



**SİNER ÜRETİMİNDE YAKIT OLARAK KOK
TOZU YERİNE ANTRASİT TOZU KULLANIMI**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Serkan ÖZEN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**SİNER ÜRETİMİNDE KOK TOZU YERİNE ANTRASİT TOZU
KULLANIMI**

Serkan ÖZEN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2024**

Serkan ÖZEN tarafından hazırlanan “SİNER ÜRETİMİNDE KOK TOZU YERİNE ANTRASİT TOZU KULLANIMI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/06/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Muhammet KAYFECİ (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ (GÜ)

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Serkan ÖZEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİNER ÜRETİMİNDE KOK TOZU YERİNE ANTRASİT TOZU KULLANIMI

Serkan ÖZEN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Haziran 2024, 46 sayfa

Bu çalışmada, Kardemir A.Ş. Sinter Tesisinde sinter üretiminde yakıt olarak kok tozu yerine maliyeti daha düşük, kalorisi kok tozuna göre daha yüksek, nem içeriği daha az olan antrasit tozu kullanımı ve daha ucuz yakıt girdisi ile birlikte ton ürün başına daha düşük yakıt tüketimi araştırılmıştır. Sinter Tesisinde bulunan toplam 3 adet sinter makinesinde yakıt olarak kok tozu kullanılmaktadır. Antrasit tozunun kok tozuna göre daha ucuz olması ve kalorisinin yüksek olması nedeniyle sinter tesislerinde kullanım alanı üzerine yoğunlaşmıştır. Kok tozundan daha fazla kaloriye ve daha az nem içeriğine sahip olan antrasit tozu sinter üretiminde daha az tüketilmesi yani yakıt sarfiyatının daha az olması, maliyetinin kok tozuna kıyasla daha düşük ve enerji tüketiminin daha az olması hedeflenmektedir. Ayrıca baca gazı değerlerinde de değişim beklenmektedir. Bu hedefler doğrultusunda Sinter Tesisinde sinter üretiminde ton ürün başına daha az yakıt tüketimi, aylık maliyetinin kok tozuna göre azalması ve aylık olarak enerji tüketiminde düşüş olması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler : Sinter, kok tozu, antrasit tozu, yakıt

Bilim Kodu : 92807

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

USING ANTHRACITE POWDER IN SINTER PRODUCTION INSTEAD OF COKE POWDER

Serkan ÖZEN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

June 2024, 46 pages

In this study, Kardemir A.Ş. The use of anthracite powder, which has a lower cost, higher calories, and lower moisture content, instead of coke powder as fuel in sinter production in the Sinter Facility, and lower fuel consumption per ton of product with cheaper fuel input, were investigated. Coke powder is used as fuel in a total of 3 sinter machines in the Sinter Facility. Since anthracite powder is cheaper than coke powder and has high calories, it has been focused on its use in sinter facilities. Anthracite powder, which has more calories and less moisture content than coke powder, is aimed to be consumed less in sinter production, that is, to have less fuel consumption, lower cost and less energy consumption compared to coke powder. Additionally, changes in flue gas values are expected. In line with these targets, it is expected that there will be less fuel consumption per ton of product in sinter production at the Sinter Facility, a decrease in monthly costs compared to coke powder, and a decrease in monthly energy consumption.

Key Word : Sinter, coke powder, anthracite powder, fuel

Science Code : 92807

TEŞEKKÜR

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

Sinter Tesisi Müdürü Batuhan GÜLEÇ, İşletme Baőmühendisi Ruően BAĞ, Elektrik Elektronik Baőmühendisi Ahmet BALIK, İşletme Mühendisi Tuncay ÖZTÜRK, Elektrik ve Elektronik Mühendisi Mustafa Sefa DİNÇER' e teşekkür ederim.

Sevgili eőime ve oğluma, manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3	9
SİNTER TESİSİ.....	9
3.1. SİNTER ÜRETİM AŞAMALARI.....	12
3.1.1. Dozajlama İşlemi	13
3.1.2. Karıştırma İşlemi	14
3.1.3. Sinterleme İşlemi	16
3.1.4. Kırma İşlemi	17
3.1.5. Soğutma İşlemi	17
3.1.6. Eleme İşlemi	18
3.2. ELEKTRO FİLTRE VE TOZ TOPLAMA SİSTEMLERİ.....	19
3.3. TESİSTE KULLANILAN GAZLAR	20
3.3.1. Kok Gazı.....	20
3.3.2. Azot Gazı	21

3.4. TESİSTE KULLANILAN HAMMADDELER.....	21
3.4.1. Demir Cevheri	21
3.4.2. Kok Tozu	21
3.4.3. Antrasit Tozu	22
3.4.4. Kireç Taşı.....	23
3.4.5. Sinter Geri Dönüş Tozu	23
BÖLÜM 4	24
SİNER ÜRETİMİNDE KULLANILAN YAKITLAR	24
4.1. KOK TOZU.....	25
4.2. ANTRASİT TOZU.....	27
BÖLÜM 5	30
SİNER ÜRETİMİNDE YAKITLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	30
5.1. KOK VE ANTRASİT TOZU KARŞILAŞTIRMA SONUÇLARI	32
BÖLÜM 6	37
SİNER TESİSİNDE ANTRASİT TOZU KULLANIMI PROJESİ	37
6.1. KOK VE ANTRASİT TOZUNUN TESİS ANALİZLERİ	38
BÖLÜM 7	42
SONUÇLAR.....	42
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Türkiye’de birincil enerji arzı	2
Şekil 1.2. Dünyada kullanılan enerji kaynakları	3
Şekil 3.1. Sinter üretim aşamaları	12
Şekil 3.2. Dozajlama tesisi besleyici ve toplayıcı bant	13
Şekil 3.3. Dozajlama tesisi bunkerleri	14
Şekil 3.4. Karıştırma işleminin yapıldığı ekipman (tromel).....	14
Şekil 3.5. Kuru karıştırıcı.	15
Şekil 3.6. Sulu karıştırıcı.	15
Şekil 3.7. Sinter makinasında sinter harmanının tutuşturulması.....	16
Şekil 3.8. Sinter makinasında pişirilen sinter harmanı.	16
Şekil 3.9. Sinter makinası sonunda bulunan kırıcı.	17
Şekil 3.10. Sinter soğutucuları.	18
Şekil 3.11. İlk aşama elek.....	18
Şekil 3.12. İkinci aşama elek.....	19
Şekil 3.13. Elektro filtre sistemi.....	19
Şekil 3.14. Multi siklon toz toplama sistemi.....	20
Şekil 3.15. Demir cevheri.....	21
Şekil 3.16. Kok tozu.	22
Şekil 3.17. Antrasit tozu.	22
Şekil 3.18. Kireç taşı.	23
Şekil 3.19. Sinter geri dönüş tozu.....	23
Şekil 4.1. Kömürleşme dereceleri.	25
Şekil 4.2. Kömürün koka dönüşümü.	26
Şekil 4.3. Kok tozu.	27
Şekil 4.4. Dünya kömür rezervlerinin dağılımı.....	28
Şekil 4.5. Antrasit tozu.	29
Şekil 5.1. Kok kömürü ve antrasitin yoğunlukları ve gözenekleri.....	31
Şekil 5.2. Yanma sıcaklıkları ve yanma süreleri.	32
Şekil 5.3. Antrasit ve kok kömürünün fourier kızılötesi spektrumları.....	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Enerji kaynakları.....	1
Çizelge 2.1. Sinterleme sıcaklığının toz parçaların özelliklerine etkisi.....	6
Çizelge 5.1. Kok ve antrasit elementel ve yakın analiz sonuçları.....	31
Çizelge 5.2. Antrasit ve kok kızılötesi spektrum absorpsiyon zirvesi sınıflandırma .	35
Çizelge 5.3. Antrasit ve kok tozunun yanma özellikleri..	36
Çizelge 6.1. Antrasit tozu kalori kıyaslama tablosu.....	38
Çizelge 6.2. Antrasit tozu nem içeriği kıyaslama tablosu.....	39
Çizelge 6.3. Antrasit tozu maliyet oranı kıyaslama tablosu.....	39
Çizelge 6.4. Antrasit tozu yakıt maliyet oranı kıyaslama tablosu.....	40
Çizelge 6.5. Antrasit tozu enerji verimi kıyaslama tablosu.....	40
Çizelge 6.6. 2023 son çeyrek antrasit ve kok tozu kimyasal analizleri.....	41
Çizelge 6.7. Baca gazı değerleri tablosu.....	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- °C : sıcaklık ölçü birimi
P : fosfor
S : kükürt
C : karbon
H : hidrojen
O : oksijen
N : azot
NO_x : nitrik oksit
CO₂ : karbondioksit
SO₂ : kükürtdioksit
erf(z) : hata işlevi
 γ : birim hacim ağırlığı
 $\Gamma(x)$: gama işlevi
 θ : kutupsal açı
 σ : normal gerilme
 σ_c : tek eksenli basınç dayanımı

KISALTMALAR

- SM1 : Sinter Makinası 1
SM2 : Sinter Makinası 2
SM3 : Sinter Makinası 3
ESP1 : Electrostatic Precipitator 1 (Elektrostatik Filtre 1)
ESP2 : Electrostatic Precipitator 2 (Elektrostatik Filtre 2)
LPG : Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MW : Mega Watt (Avrupa Normu)
YEK : Yenilenebilir Enerji Kanunu
YEPP : Yenilenebilir Enerji Eylem Planı
KJ : Kilo Joule
KG : Kilogram
KCAL : Kilo Kalori
TL : Türk Lirası
SK : Sabit Karbon
UM : Uçucu Madde
TSS : Ton Skip Sinter

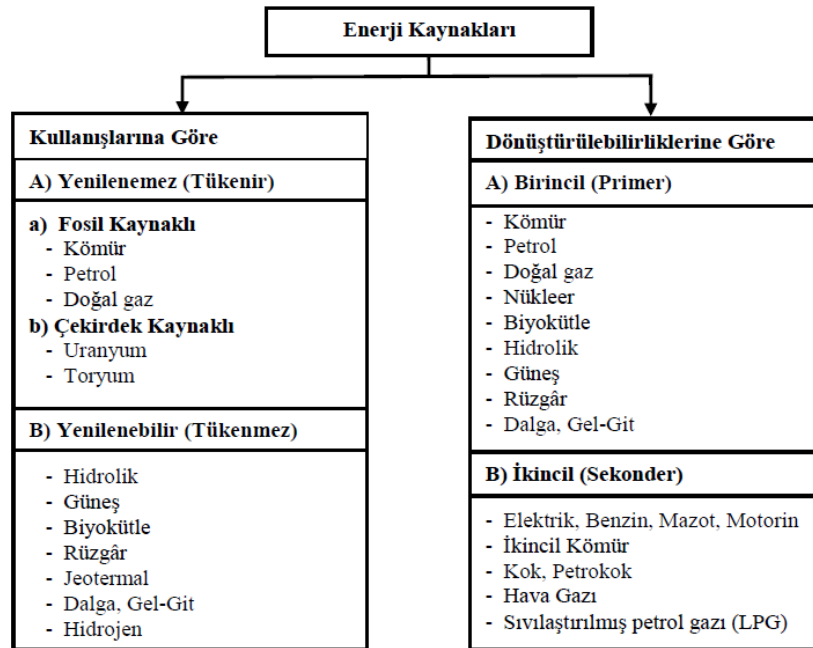
BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknoloji alanında gelişme, sanayinin ve dünya nüfusunun artışı, enerjiye olan ihtiyacı arttırmaktadır. Üretimin ana yapısı olan enerji, toplumun daha rahat bir seviyeye çıkması için gerekli olup, günlük hayatta hemen her alanda kullanılmaktadır. Enerji, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır, mekanik (potansiyel ve kinetik), ısı, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi değişik türlerde bulunabilmekte, uygun yöntemlerle bir türden diğerine dönüşebilmekte olup, farklı şekillerde sınıflandırılabilir.

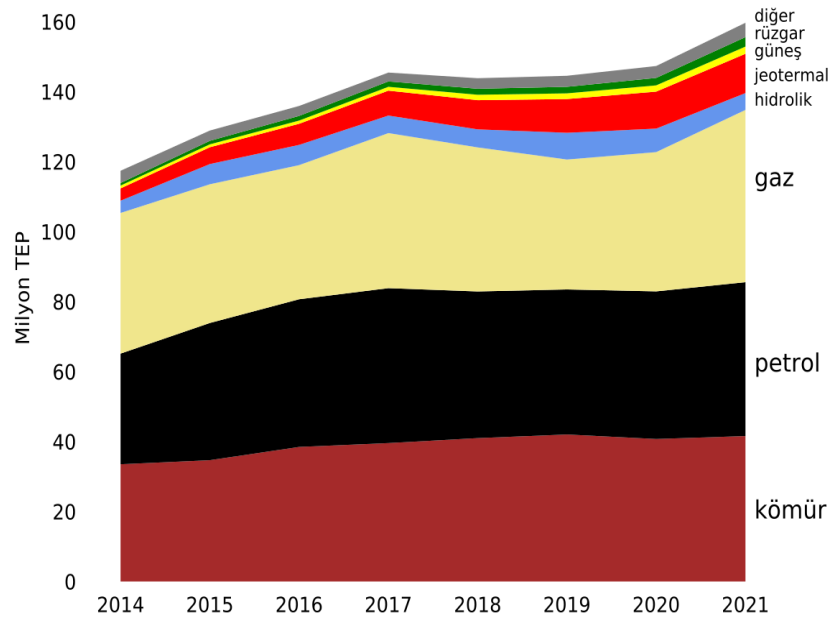
Enerji kaynakları kullanılışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Kullanılışlarına göre yapılan sınıflandırmaya göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez; dönüştürülebilirliklerine göre ise birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. [2].

Çizelge 1.1. Enerji kaynakları [1].



Enerjinin, değişim ya da dönüşüme uğramamış şekli birincil (primer) enerji olarak ifade edilmektedir. Birincil enerji kaynakları, petrol, kömür, doğal gaz, nükleer, hidrolik, biyokütle, güneş ve rüzgârdır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu ortaya çıkan enerji, ikincil (sekonder) enerjidir. Elektrik, benzin, mazot, motorin, kok kömürü, ikincil kömür, petrokok, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) bu tip enerji kaynaklarıdır. [1].

Türkiye’de birincil enerji ortalama 6 exajoule tüketiliyor, bu durum kişi başı 20 megawatt saat MW/s'tan fazladır. Türkiye’de enerji büyük çoğunlukta fosil yakıtın: %31 petrol, %28 doğalgaz ve %27 kömür (2016 itibarıyla). Ülkemizde enerji kaynaklarının fosil yakıt olması nedeniyle sera gazı emisyonları dünyada ortalama kişi başından daha büyük, yılda ise kişi başına 6 ton'dan fazla miktar düşmektedir. [3].



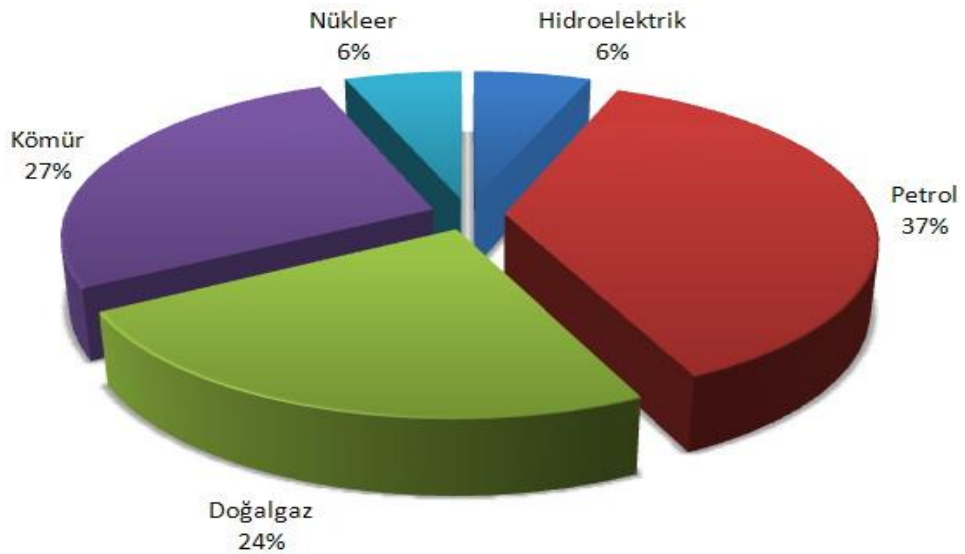
Şekil 1.1. Türkiye’de birincil enerji arzı [3].

Günümüzde çok sık kullanılan diğer bir sınıflandırma türü ise enerji kaynaklarının kullanımını sonunda tükenebilirlik ya da yenilenebilirlik özelliklerine göre yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre, doğal bir çevrim sürecinde olduğu gibi kalabilen, kullanılmasına rağmen azalmayan, tükenmeyen enerji kaynaklarına yenilenebilir enerji kaynakları; bir kez kullanıldığında kendini yenileyemeyen enerji kaynakları ise yenilenemez enerji kaynakları olarak bilinirler. Yenilenemez enerji

kaynakları kendi arasında fosil kaynaklı ve çekirdek kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kömür, petrol ve doğal gaz fosil kaynaklı yenilenemez enerji kaynağı grubunda yer alırken, uranyum ve toryum ise çekirdek kaynaklı yenilenemez enerji kaynağı grubunda yer almaktadır. Hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle, dalga gelgit, hidrojen birer yenilenebilir enerji kaynağıdır [1].

Nüfus artışı, toplumun refah seviyesinin yükselmesi ve teknolojik alanlardaki gelişmeler nedeniyle dünyanın enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılayabilmek, rezervleri sınırlı olan yenilenemez enerji kaynaklarının planlı bir şekilde kullanımını ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılmasını sağlamak amacıyla dünyada ve Türkiye’de var olan enerji kaynaklarının durumu tespit edilmelidir. [1].

Dünyada enerji üretiminde öncelikli kaynaklar olan petrol, doğalgaz ve kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Doğalgazın çevreyi daha az kirletmesinden dolayı enerji üretimindeki payı giderek artmaktadır. Grafikte de görüldüğü üzere, dünyada en çok kullanılmakta olan enerji kaynağı petroldür. Grafiğe bakıldığında ikinci sırada kullanımı gittikçe azalan maden kömürü ve üçüncü sırada üretim ve tüketimi hızla artan doğalgaz bulunmaktadır. Dönem dönem belirli bir enerji kaynağı önem kazanmaktadır. Kömürün yerini zamanla petrol almış ve sonraki yıllarda doğalgazın önemi artmıştır. [4].



Şekil 1.2. Dünyada kullanılan enerji kaynakları [4].

Nüfusun hızlı artışı ve sanayinin sürekli gelişimi, enerji ihtiyacı kısıtlı kaynaklarla karşılanamamakta ve enerji üretimi ile tüketimi arasındaki fark giderek artmaktadır. Küresel enerji tüketiminin, 2035 yılına gelindiğinde 1998 yılında tüketilen enerji miktarının iki katı, 2055 yılında ise üç katı olması tahminle arasında yer almaktadır.

Ülkemizde yenilenebilir enerjinin resmi bir yapı kazanması 2005 yılında çıkarılan Yenilenebilir Enerji Kanununa dayanmaktadır. Avrupa Birliğine uyum kapsamında 2011 ile 2020 yıllarını kapsayan Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı yürürlüğe girmiştir.

Türkiye’de 2023 yılında elektrik üretiminin %36.3’ü kömürden, %21.4’ü doğal gazdan, %19.6’sı hidrolik enerjiden, %10.4’ü rüzgardan, %5.7’si güneşten, %3.4’ü jeotermal enerjiden ve %3.2’si diğer kaynaklardan elde edilmiştir. 2023 yılı sonu itibarıyla ülkemizin kurulu gücü 106.668 MW’a olmuştur. 2023 yılı sonu itibarıyla kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı ise; %30 hidrolik enerji, %23.8’i doğal gaz, %20.5’i kömür, %11’i rüzgâr, %10.6’sı güneş, %1.6’sı jeotermal ve %2.6’sı diğer kaynaklar şeklindedir. Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2023 yılı sonu itibarıyla 13.077’ye yükselmiştir. Mevcut durumdaki santrallerin 756 adedi hidroelektrik, 68 adedi kömür, 365 adedi rüzgâr, 63 adedi jeotermal, 344 adedi doğal gaz, 10.990 adedi güneş, 491 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir. [5].

Ülkemizde, özellikle ağır sanayi olan demir ve çelik üretim sektöründe enerji çok önemlidir. Endüstride enerji; gaz, ısı, buhar, hava ve elektrikteki enerji kayıplarını önlemek, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi, daha ileri teknoloji ile üretimi düşürmeden enerji talebinin azaltılması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bir bütünüdür. Enerji tüketimini en az seviyeye indirmek için proseslerin en verimli şekilde sürdürülmesi önem arz etmektedir. Yüksek verimli fan ve motorların seçilmesi, floresan ve halojen ampul yerine led aydınlatma yapılması, pompaların verimli olması, kullanılacak ham maddelerin verimliliği demir ve çelik sektöründe enerji verimliliği açısından önem arz etmektedir.

BÖLÜM 2

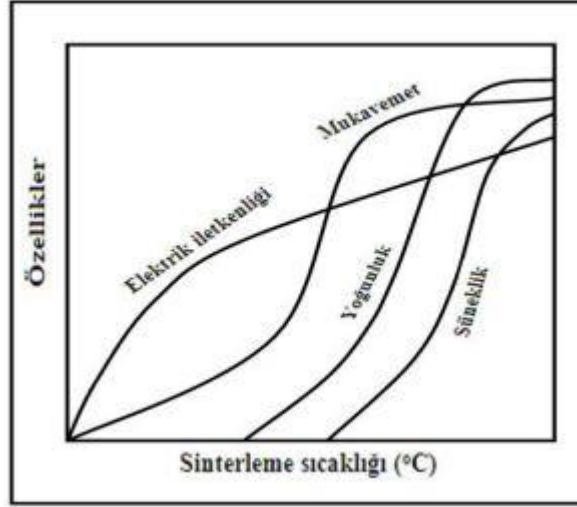
LİTARATÜR TARAMASI

Sinter kelimesi Almanca kül anlamına gelmektedir. Teknik olarak sinterleme işlemi, metal veya seramik tozlara termal enerji uygulanması ile yoğunluk kontrollü malzemeler geliştirme prosesidir. Diğer bir ifadeyle sinterleme işlemi, toz malzemelerin ana bileşenlerinin ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta ısıtılması ile tozların biraraya gelip birleşmesi ile dayanıklılığı yüksek ürünler elde edilmesidir. Katı faz sinterlemesi, sıvı faz sinterlemesi ve reaktif sinterleme olarak üç ana gruba ayırmak mümkündür.

Sinter tesislerinde kullanılan, demir cevherine iyi özellikte karışımlar kazandırılmakla beraber, direkt kullanımı olmayan demir cevheri tozlarının, tufal ve baca tozu gibi atık durumda olan diğer demir içerikli maddelerin, sıvı ham demir üretimi yapılan yüksek fırınlarda kullanılabilmesi sağlanmaktadır. Sinterleme işleminde, toz boyutu sayıları demir cevherinden ve çoğu demir oksit diğer demirli maddelerden oluşan sinter harmanı, harmanda bulunan kok tozunun yanması sonucu çıkan ısı ile kısmi olarak eriyerek bloklar hâline gelir. Bu duruma aglomere olma denir. Yanma sonunda partiküllerin yüzeyleri ergime sıcaklığına ulaşır ve gang bileşenleri yarı sıvı bir cüruf oluşturur. [6].

Sands, R. L., Shakespeare C. R., demir içerikli malzemelerin sinterleme işlemindeki sıcaklık 1100 - 1200 °C arasında bir sıcaklıktır. Sinterleme sıcaklığı ile sinterleme zamanı arasında önemli bir ilişki olup, sinterleme süresi kısaltılmak istenir ise sinterleme sıcaklığının artırılması gerekmektedir. 1150 °C üzerindeki sinterleme işlemi sıcaklığı sinterleme maliyetini artırır. Sinterleme sıcaklığının artması ile malzemenin mukavemeti, elektriksel iletkenliği, yoğunluk ve süneklik gibi özellikleri artmaktadır. [7].

Çizelge 2.1. Sinterleme işlemi sıcaklığının toz parçalara etkisi [7].



German, M. R., sistemin enerjisindeki azalış, sinterleme işleminin gerçekleşmesini sağlayan itici bir güç olmaktadır. Sistemin enerjisinde azalmaya neden olan etkenler, gözeneklerin boyutsal ve şekilsel değişikliği, partiküllerin birbiri ile olan temas alanlarının büyümesi sonucunda yüzey alanının azalması, gözenek hacminde azalma veya gözeneklerin küreselleşmesi ve çok bileşenli sistemlerde, katı fazın sıvı faz içerisinde çözünmesi sonucunda oluşan yoğunluk farkının giderilmesidir. [8].

Yılmaz, S. B., katı hal sinterlemesi tek maddeden oluşan malzemelerin sinterlenmesinde kullanılır. Tek bir maddeden oluşan malzemelerin sinterlenmesi sırasında malzemenin küçük ölçekli yapısında meydana gelen değişimler, parçanın boyutu, fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişimleri ortaya çıkarmaktadır. Sinterleme için itici güç sistemin serbest enerjisinin düşürülmesidir. Tane boyutlarının büyümesi, toplam tane sınırı alanının azalması, serbest enerjide düşüşe neden olur. Tane sınırlarının eğrilik derecesi büyüdükçe sınırın hareket hızı artmaktadır. Atomların ve sınırın hareketine etki eden en önemli faktör sıcaklık olup, sıcaklığın artışı ile atom yayınımları hızla artmaktadır. Tane sınırının bu şekildeki hareketi, küçük tanelerin yok olmasını ve büyük tanelerin oluşmasını sağlamaktadır. [9].

Kardemir A.Ş. Sinter Tesislerinde sinter üretimi belirli süreçlerden geçerek sağlanmaktadır. Yüksek fırınların ana ihtiyaç malzemesi olan sinter ürünü, belirli aşamaları geçtikten sonra üretilerek fırınlara gönderilmektedir.

Sinterleme bilindiği üzere toz demir cevherini boyutlandırma işlemdir. Toz haldeki demir cevheri fabrika sahası içerisinde yer alan ve harmanlama adı verilen tesise demir yolu vasıtası ile ulaştırılır. Vagonlarda getirilen ve değişik oranlarda içeriği bulunan demir cevherleri yer altında bulunan çukur bunkerleri adı verilen bölgeye dökülerek tahliyesi sağlanır. Bant konveyör vasıtası ile açık sahaya belirli oranlarda serilerek farklı farklı içerik oranındaki demir cevherlerinin harmanlanması sağlanır. Harmanlanmış haldeki demir cevheri bant konveyörler ile belirli bir mesafe alarak Sinter Tesisi dozajlama ünitesine ulaşır.

Sinter tesisine gelen demir cevheri dozajlama ünitesinde belirli işlemlere tabi tutulur. Demir cevheri üzerine kok veya antrasit tozu, bu malzemelerin üzerine kireç taşı ve en son olarak sinter geri dönüş tozu eklenir. Bant konveyör üzerinde üst üste toplanan bu malzemeler homojen bir karışımın sağlanması amacıyla kuru karıştırıcıya gönderilirler. 360 derece dönen bu ekipman içerisinde malzemelerin homojen karışımı sağlanır.

Kuru karıştırıcıdaki karışımın sonra topaklanmayı sağlamak için sulu karıştırıcılarda bir işlem daha görür. Su püskürtme yöntemi ile malzeme nemlendirilerek topaklaşması sağlanır. Buradaki karışımın sonra sinterlik malzeme sinter makinalarına ısıl işlem görmesi için gönderilir.

Sinter makinasına ulaşan ve belirli aşamalardan geçmiş olan demir cevherinin makina içerisine serimi yapılır. Ocak adıyla adlandırılan kısımda malzemenin yüzeyi alev ile tutuşturulur. Yüzeyde başlayan yanmanın alt kısımlara inmesini sağlamak için ana fanlar aracılığıyla emiş yaptırılır. Bu sayede üstten başlatılan yanmanın tüm malzeme boyunca olması sağlanmış olur. Ergime derecesinin altında bir sıcaklıkta yanması sağlanan malzeme makina sonunda bulunan kırıcıda kırılarak soğutma amacıyla döner soğutucuya dökülür.

Soğutucuda soğuma işlemi gerçekleşen sinter ürünü eleme amacıyla eleklerle gönderilir. Eleme işlemi tamamlandıktan sonra istenilen boyutlara ulaşmış sinter malzemesi yüksek fırınlara bant konveyörler vasıtası ile ulaştırılır. Elek altı tabiri kullanılan malzeme sinter üretiminde tekrar geri kullanılır.

Kardemir A.Ş. Sinter Tesislerinde demir cevherinin sinter ürününe dönüşümü yukarıda bahsedilen süreçleri tamamlaması ile sağlanmış olur.

Sinter üretim aşamaları, kontrol (kumanda) odasında operatörler tarafından 7 gün 24 saat sürekli bir şekilde kontrol altındadır. Oluşan arızalar, yapılması gerekli müdahaleler ilgili bakım gruplarına bildirilir. Ekipmanların çalışması veya durması gibi işlemler planlı bir şekilde yapılır. Diğer bir ifadeyle sinter tesisinin verimli ve sürekli çalışmasını sağlamak amacıyla kontrol odasından sevk ve idaresi yapılır.

Sinter Müdürlüğü bünyesinde işletme, elektrik, otomasyon ve mekanik bakım grupları yer almaktadır. Oluşan arızalarda, yapılması gerekli olan bakım ve kontrollerde ilgili bakım grubu müdahalede bulunur. Yapılan çalışmalar, kumanda odasında yer alan operatörler ile İletişim halinde koordineli bir şekilde gerçekleşir.

Bu tez çalışmasında sinter üretiminde, yakıt olarak kullanılan kok tozu yerine alternatif yakıt olan antrasit tozunun kullanılması ile enerji verimliliği, maliyetin azalması ve yakıt tüketiminde azalma olması açısından etkileri araştırılmıştır.

BÖLÜM 3

SİNER TESİSİ

Sinterleme yoluyla, tozlardan metal parçalar oluşturma tekniği, insan uygarlığının başlangıcına kadar uzanır. Hemen hemen her metal veya seramik malzeme başlangıçta toz yoluyla yapılmıştır. Malzeme teknolojisinde sinterlemenin modern uygulamaları yaygındır. Yapısal çelik parçaların toz teknolojisiyle üretimi, kendinden yağlamalı yataklar, filtreleme için gözenekli metaller, lamba filamanları için tungsten teller, yumuşak ve sert manyetik malzemeler, elektrik kontaktları, yüksek düzeyde entegre elektronik için kompozit paketler cihazlar, yüksek sıcaklık motorları için oksit dispersiyonla güçlendirilmiş süper alaşımlar, dişçilik uygulamaları için amalgamlar, tıbbi uygulamalar için metalik ve seramik malzemeler, kesici takımlar için semente karbürler ve çok çeşitli seramik bileşenler, sinterlemeyi içeren birçok teknik üretim sürecinden sadece birkaçıdır. [10].

Sinterleme, 1100 - 1350 °C sıcaklıkta çalıştırılan demir ve çelik endüstrisinin indirgeyici, eritkenler ve diğer yan ürünleri ile birlikte 0.5 - 8 mm'lik demir cevheri mineral tozlarını kullanan en eski aglomera termal işlemidir. Sinter yapımında yakıt tüketimi hayati bir rol oynar. Maliyete etkisi büyüktür. [30].

Sinter tesislerinde, boyut açısından yüksek fırınlarda direkt olarak kullanılmayan toz demir cevherlerin kullanılması sağlanır. Ayrıca kükürtlü cevherlerin değerlendirilmesi de sağlanmaktadır. Yüksek fırın için gerekli dolomit ve kireçtaşı tozu gibi curuf yapıcılarının sinterde kullanımı sayesinde yüksek fırında kok tasarrufu sağlanır. Sinter cevhere göre daha süngerimsi olduğundan fırınlarda reaksiyonlar daha hızlı olur.

Sinterlemenin amacı konsantreden sülfürü çıkarmak ve sinterde bulunan oksitlerin ve sülfatların karbon yoluyla metale indirgendiği yüksek fırında iyi performans göstermeye yetecek dayanıklılığa sahip gözenekli bir katı ürün üretmektir. [11].

Sinter prosesinde ana hammadde cevher tozudur. Yakıt olarak -3 mm boyutunda kırılan kok tozu, antrasit tozu ve kok tozunu tutuşturmak için ateşleme fırınında kok gazı kullanılır. Ayrıca haddehane tufalı, yüksek fırın baca tozu, çelikhane cürufu gibi fabrika atıkları tekrar değerlendirilir.

Sinterleme işlemi kolay bir ifadeyle; harmanlanmış toz demir cevheri, kok tozu, antrasit tozu, kireçtaşı tozu ve sinter dönüş tozlarının atık malzemelerin (baca tozu, tufal, çelikhane cürufu vb.) belirli oranlarda karıştırılması ve elde edilen sinterlik karışımın bir tutuşturma ocağında 900 - 1100 °C'de kok gazı vasıtası ile tutuşturulmasını takiben ana fanın yapmış olduğu hava emişi yardımıyla sinter makine üzerindeki ham karışımın külçeleştirilmesidir. Yapılan işleme Sinterleme, elde edilen ürüne ise sinter denir.

Kardemir Sinter Tesinde; SM1-SM2-SM3 olmak üzere her biri 110 m² sinterleme alanı, 36.6 metre makine boyu, 3 metre makine eni, 96 adet paletten oluşan ve 1.250.000 ton/yıl üretim kapasitesine sahip 3 adet Sinter Makinesi mevcuttur. SM1 ve SM2; 24.11.2011'de, SM3; 14.12.2014'de devreye alınmıştır. SM1-SM2'de ESP (Electrostatic Precipitator), SM3'te multi siklon ve tesisin diğer taraflarında torba filtreli toz toplama sistemi mevcuttur. [12].

Cevher Hazırlama ve Harmanlama Tesisinde, Sinter Tesisleri için harman sahası oluşturularak hazırlanan (-10 mm) ham cevher Reclaimer Makinesi ile sahadan alınarak bantlı konveyörler vasıtası ile dozajlama tesisinde bulunan SM1-SM2-SM3 cevher bunkerlerine stoklanır.

Dozajlama tesisinde bulunan kantarlı besleyicilerden istenilen miktarlarda ayarlanabilen cevher, kok tozu, antrasit tozu, kireç taşı, sinter tozu ve katkı malzemeleri (baca tozu, kalsine kireç vb.) bantlı konveyörler vasıtası ile birincil karıştırıcıya (tromel) gelir. Burada homojen karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra ikincil karıştırıcıya gelir. Bura da istenilen oranda nemlendirilip çok küçük tozların granülasyonu sağlanan sinter harmanı yine bantlı konveyörler ile sinter makineleri üzerinde bulunan harman bunkerine gelir buradan da sinterlenmek üzere hız ayarlı harman besleme tamburu ile Sinter makinelerine serilir.

Ürün hattında bulunan yatak malzemesi SM1-SM2 için 1 adet SM3 için 1 adet olmak üzere toplam 2 adettir. Yatak malzemesi elekleri iki perdeli olup üst perde 25 mm, alt perde 15 mm açıklıktadır. Eleğinin iki perdesi arasında kalan (15 - 25mm) sinter yatak malzemesi adı verilen malzemedir. Bu malzeme Bantlı konveyörler vasıtası ile sinter makineleri üzerinde bulunan yatak malzemesi bunkerlerine alınır ve buradan da dönüş hız ayarlı besleyici tambur ile Sinter makine ızgaraları üzerine serilir. Yatak malzemesi ızgaraların yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilenmesini önlemekle birlikte ince boyutlu harman malzemesinin ızgaraların arasını tıkayıp emişi zorlaştırmasını önlemektedir.

Sinter Makineleri her biri 110 m² sinterleme alanına sahip 3 metre genişliğinde ve 36.6 metre uzunluğundadır. Makinedeki ızgaralar yüksek kromlu çelik dökümdendir.

Sinterleme işlemi Sinter makine üzerinde ham karışım içerisindeki kok tozunun yanarak meydana getirdiği ergimelerle olur. Gerekli olan hava, sinter ana fanı tarafından temin edilir. Emilen hava sinter yatağından geçerken yanmaları ısı iletimi ve soğutmaları yapar. Hava kasaları, ana gaz borusu, elektro filtre ve baca yolu ile dışarı atılır. Sinter makinelerinde sinterlenen ürün sinter kırıcıda kırıldıktan sonra sıcak ileticiler (çelik tava) vasıtasıyla soğutuculara gelir. [12].

Her bir Sinter makinesi için 1 adet olmak üzere toplam 3 adet dairesel soğutucu mevcuttur. Soğutucuların genel özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Soğutucu kapasitesi 350 ton/saat, soğutucu çapı 16.6 metre,
2. Bunker sayısı 16 adet,
3. Tahrik motor miktarı 8 adet,
4. Dönme hızı minimum 2 devir/saat, maximum 10 devir/saat,
5. Soğutma fan miktarı ise her bir soğutucu için 2 adet, toplam da 6 adet,
6. Soğutma fan kapasitesi 400.000 m³/saat

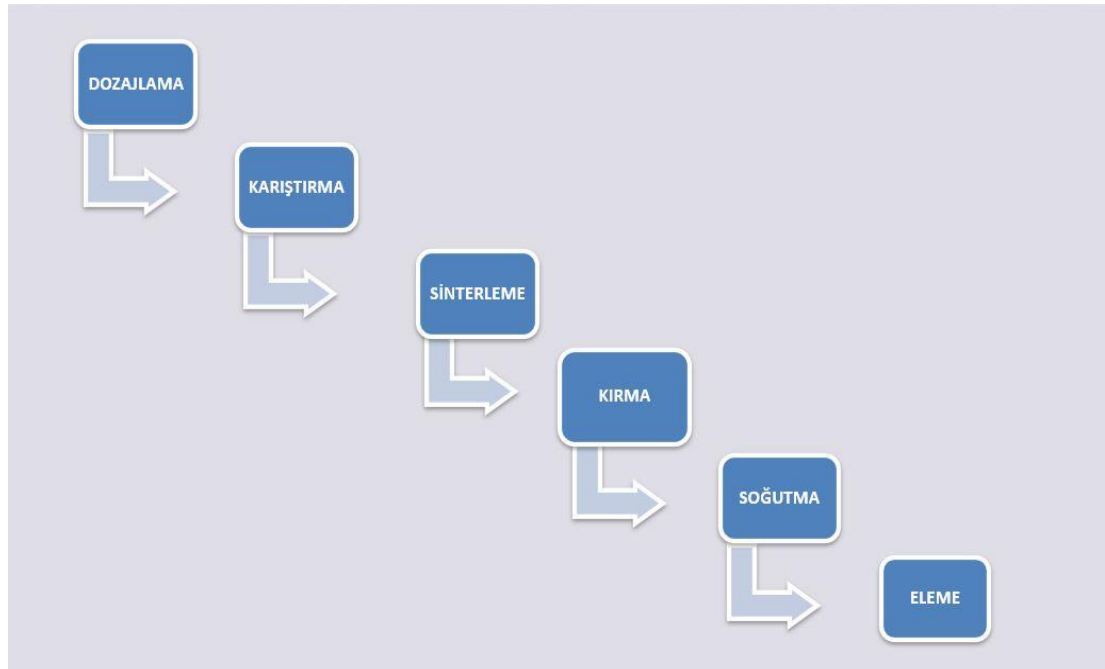
Soğutucu 16 Adet bunkerin bir daire oluşturacak şekilde çelik kontrüksiyonlarla tabla, ray ve taşıyıcı roleler üzerine yerleştirilmesiyle oluşur. Soğutucu hızı sinter makinesi ile otomasyon halindedir. Soğutucuya beslenen sıcak sinter. Soğutucu alt merkezinden üflenen hava vasıtasıyla soğutularak bantları yakmayacak şekilde 100 °C altına

düşürülür. Soğutucu dönerken, soğutucu bunkerleri ile tabla arasından ileriye doğru dalan sıyrıcı bıçak soğutucu bunkerlerindeki soğuyan sinteri altındaki banta boşaltır.

Sinter makinelerinde sinterlenmiş ürün ve soğutucularda soğuyan ürün soğuk eleklerde (6 mm) elenerek elek altı toz bunkerlerine elek üstü 'nün 15 - 25mm arasından yetri kadar kısmı yatak malzemesine geri kalan kısmı bant konveyörler vasıtası ile Yüksek Fırın Sinter bunkerlerine veya Sinter stok sahasına stoklanır. [12].

3.1. SİNER ÜRETİM AŞAMALARI

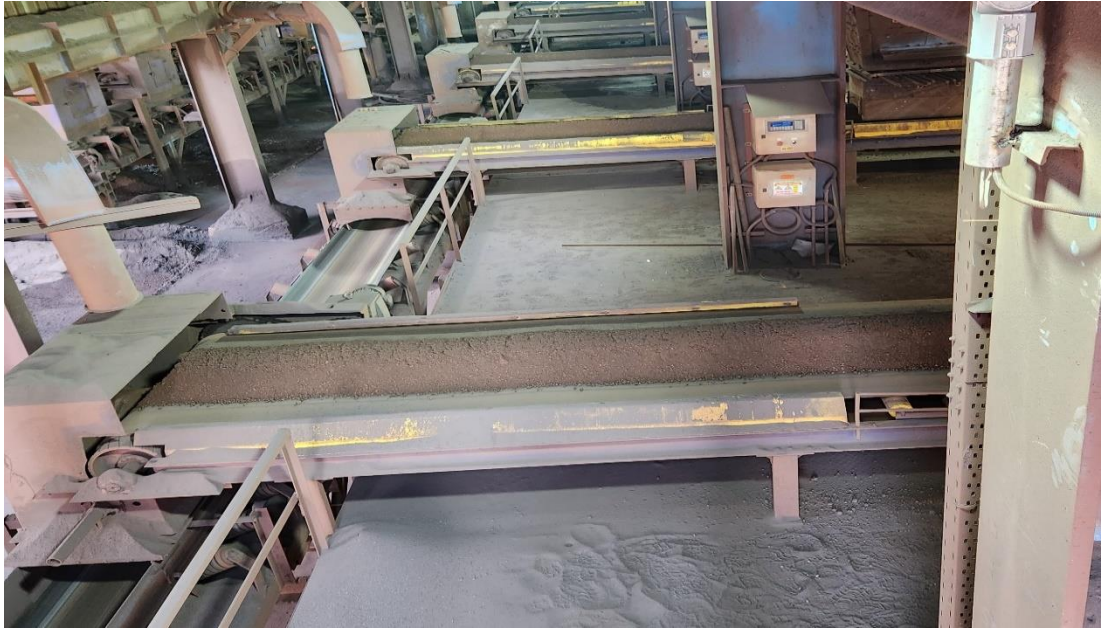
Sinterleme işlemi, yüksek fırınlarda doğrudan kullanılmayacak boyuttaki toz demir cevherinin, ergime sıcaklığı altında, yüzey ergitme işlemi yapılarak, birleştirilmesi sonucunda yüksek fırınların direct kullanabileceği boyuta getirilmesi sürecidir. Sinterlemede yüzey ergitme işlemi sağlamak için kok tozu, cevher içerisinde yer alan silisi nötralize etmek için ise kireç taşı kullanılmaktadır. Sinter Tesisinde sinter üretim aşamaları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Sinter üretim aşamaları [13].

3.1.1. Dozajlama İşlemi

Sinterleme işlemi için gerekli hammaddelerin reçetemize göre uygun miktarlarda besleyici bantlar ile alınarak toplayıcı banta serildiği aşamadır. Şekil 3.2' de besleyici bantların bir kısmı ve bu besleyici bantların üretim için gerekli olan hammadeyi döktüğü toplayıcı bant gösterilmektedir. [13].



Şekil 3.2. Dozajlama tesisi besleyici ve toplayıcı bant

Sinter üretimi kapsamında, dozajlama işlemi için gerekli olan hammadeler aşağıda sıralanmıştır.

1. Demir cevheri (0 - 10mm)
2. Kok tozu (-3.15 mm, Min. %85)
3. Antrasit tozu (-3.15mm, Min. %85)
4. Kireç taşı (0 – 3 mm)
5. Sinter elek altı (geri dönüş) tozu

Yukarıda sıralanan hammaddeler, bunkerler vasıtası ile besleyici bantlara belirli mikratlarda alınır. Besleyici banttan toplayıcı banta dökülen hammaddeler homojen karışım için karıştırıcı ünitesine gönderilir. [13].



Şekil 3.3. Dozajlama tesisi bunkerleri [13].

3.1.2. Karıştırma İşlemi

Dozajlama ünitesinde hazırlanan sinter harmanı bant yolları ile karıştırma ünitesine sevk edilir. İki aşamalı karıştırma işleminde tromel adını verdiğimiz 7 metre uzunluğundaki ekipmanlarımızda yapılır. vardır.

İlk aşama olarak sinter harmanını oluşturan bileşenlerin homojen olarak karışımının sağlanması adına kuru karıştırma işlemi yapılır.



Şekil 3.4. Karıştırma işleminin yapıldığı ekipman (tromel)



Şekil 3.5. Kuru karıştırıcı

İkinci aşamada olarak tromel içerisindeki nozullarda suyun püskürtülmesi ile sinter harmanının nemlendirme işlemi yapılır. Nemlendirme sonunda harmanın toprak bir yapı kazanması hedeflenerek sinter makinesi üzerinde hava geçirgenliği sağlanır.



Şekil 3.6. Sulu karıştırıcı

3.1.3. Sinterleme İşlemi

Dozajlama ve karıştırma işlemleri yapılan sinter harmanı bant yolları ile sinter makinelerine sevk edilir. Sinter makinesine serimi yapılan harmanın ilk olarak ocak bölgesinde yüzeyi tutuşturulur. Tutuşturma sonrası ana fanlar vasıtası ile emiş yapılarak yanma aşağı yönde çekilir. Bu sayede tüm yatağın yanması, diğer bir ifadeyle tüm yatağın sinterlenmesi sağlanmış olur.



Şekil 3.7. Sinter makinasında sinter harmanının tutuşturulması



Şekil 3.8. Sinter makinasında pişirilen sinter harmanı

3.1.4. Kırma İşlemi

Tesiste işlem süreci tamamlanan sinter ürünü palet üzerinde bütün olarak külçeleşmiş haldedir. Makine ile soğutucu arasında bulunan kırıcılarda 150 mm ızgara aralığında kırıldıktan sonra soğutuculara gönderilir.



Şekil 3.9. Sinter makinası sonunda bulunan kırıcı

3.1.5. Soğutma İşlemi

Üretilen sinterin bekleme ve hava üfleme yöntemleriyle soğutulması işlemine denir. Soğutma işlemi 350 ton/saat kapasiteli döner soğutucularda yapılır.



Şekil 3.10. Sinter soğutucuları

3.1.6. Eleme İşlemi

Sinter ürününün elemesi işlemi iki aşamalı olarak yapılmaktadır. İlk aşama olarak, sinterlenmiş ama istenilen boyuta ulaşmamış olan sinterin elenmesi yapılır. Bu aşamada elek aralığı 6.35 mm'dir.



Şekil 3.11. İlk aşama elek

İkinci aşama elekte, sinter makinesi tabanına toz boyuttaki harmanın emiş vasıtasıyla emilmesini ve makine tabanına sinterin yapışmasını önlemek amacıyla yatak malzemesi adını verdiğimiz sinterin ayrılması işlemi yapılır. Çift katlı elek vasıtasıyla -25mm + 15mm boyutundaki sinter ihtiyacımız kadar ayrılarak sinter makinesine gönderilir.



Şekil 3.12. İkinci aşama elek

3.2. ELEKTRO FİLTRE VE TOZ TOPLAMA SİSTEMLERİ

Sinter tesisinde konveyör geçiş yerlerinde, elekler bölgesinde oluşan tozlar dozajlama ünitesinde mevcut olan torba filtreli tozsuzlaştırma ünitesi ile toplanarak pünomatik olarak toz bunkerine taşınır ve buradan kamyon ile dışarı alınarak Sinter harmanına karıştırılmak üzere harmanlama tesislerine gönderilir.

SM1-SM2 için ESP 1 ve ESP 2’de SM3 için Multi Siklonlarda tutulan tozlar kamyon ile dışarı alınır. [12].

Sinterleme esnasında proses gereği, sinter makinesi üzerinden ana fan tarafından çekilen hava içerisindeki tozu üzerinde bulunan trafolar ile statik elektrik kullanılarak plakalar üzerinde toplayarak atmosfere atılmasını engelleyen toz toplama sistemidir.



Şekil 3.13. Elektro filtre sistemi



Şekil 3.14. Multi siklon toz toplama sistemi

3.3. TESİSTE KULLANILAN GAZLAR

3.3.1. Kok Gazı

Maden kömürünün kok bataryalarında koklaştırılması esnasında elde edilen yanıcı ve zehirleyici özelliği olan bir gazdır. Havadan hafif olduğu için ortamda dağılır. Kokulu bir gaz olduğu için ortamda hemen hissedilmektedir. Patlayıcı ve parlayıcı bir gaz olması nedeniyle kullanımını esnasında tedbirli olunmalı ve iş güvenliği kurallarına uyulmalıdır. Sinter tesislerinde ateşleme fırınlarında kullanılır.

3.3.2. Azot Gazı

Renksiz ve kokusuz bir gazdır. Fabrika içinde boru hatlarıyla taşınmaktadır. Azot basit boğucu bir gazdır. [12].

3.4. TESİSTE KULLANILAN HAMMADDELER

3.4.1. Demir Cevheri

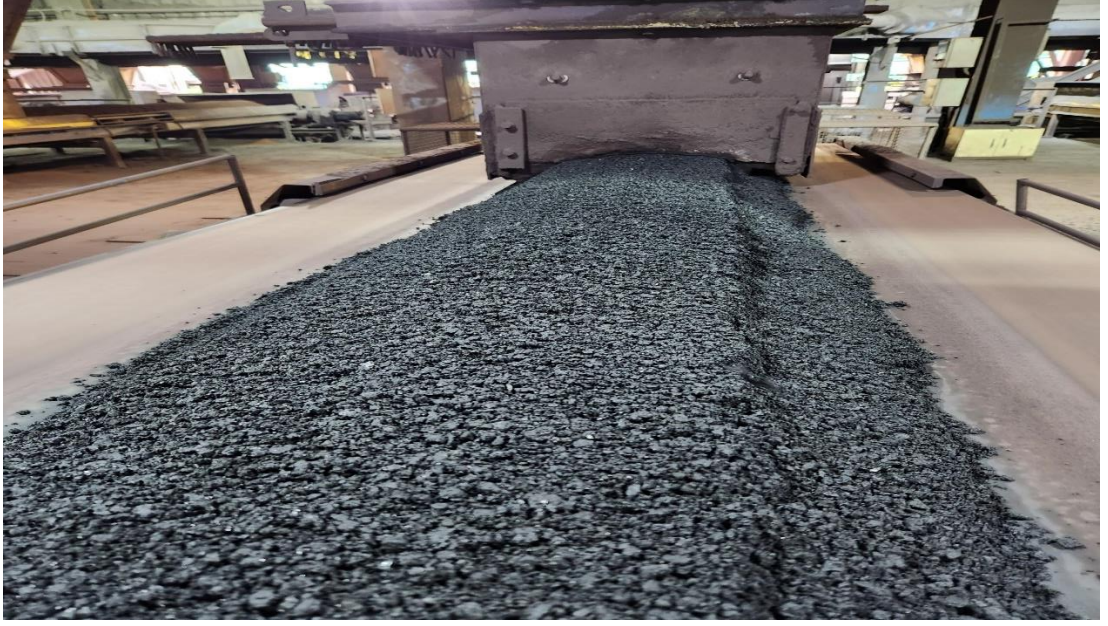
Yurt içi ve yurt dışından temin edilen 0 - 10 mm aralığındaki demir cevherleri harmanlama tesislerinde uygun kimyasal ve fiziksel kompozisyonlarda harmanlanır. Hazır hale getirilen demir cevheri harmanı dozajlama ünitemize bant knveyörler vasıtası ile sevk edilir.



Şekil 3.15. Demir cevheri

3.4.2. Kok Tozu

Sinter işlemi için gerekli ısı enerjisinin karşılamak için kok tozu kullanılmaktadır. Kok Fabrikalarımızın yüksek fırınlar için ürettiği metalürjik kokun elek altı ve yurt dışından temin edilen ithal kok tozunun kaba ve ince kırma ünitelerinde %85'i 3.15 mm altında olacak şekilde ufalanması ile elde edilir. Ufalanmış kok tozu bant yolları ile dozajlama ünitesine sevk edilir.



Şekil 3.16. Kok tozu

3.4.3. Antrasit Tozu

Sinterleme için gerekli ısı enerjisini karşılamak adına kok tozu yerine ikame edebildiğimiz hammaddemizdir. Kok tozuna göre düşük maliyetli ve yüksek kalorili olması antrasit tozu kullanımını avantajlı kılmaktadır. Proses gereği antrasit tozu ESP ünitelerine zarar verdiği için sadece SM3 makinesinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.17. Antrasit tozu

3.4.4. Kireç Taşı

Sinter için hazırlanan harman cevherinin bünyesindeki silisi nötrale etmek adına sinterin baziklik oranını ayarlama adına kireç taşı kullanılır.



Şekil 3.18. Kireç taşı

3.4.5. Sinter Geri Dönüş Tozu

Sinterleme işlemi tamamlanan ürün sinter yüksek fırınlara gönderilmeden önce eleme işlemine tabii tutulur. Sinterlenmiş fakat istenilen boyuta erişememiş taneler eleme sonrasında tekrar sinterleme işlemi için dozajlama ünitesine gönderilir.



Şekil 3.19. Sinter geri dönüş tozu

BÖLÜM 4

SİNER ÜRETİMİNDE KULLANILAN YAKITLAR

Sinter tesisinde üretim aşamasında yakıt olarak kok tozu ve antrasit tozu kullanılmaktadır.

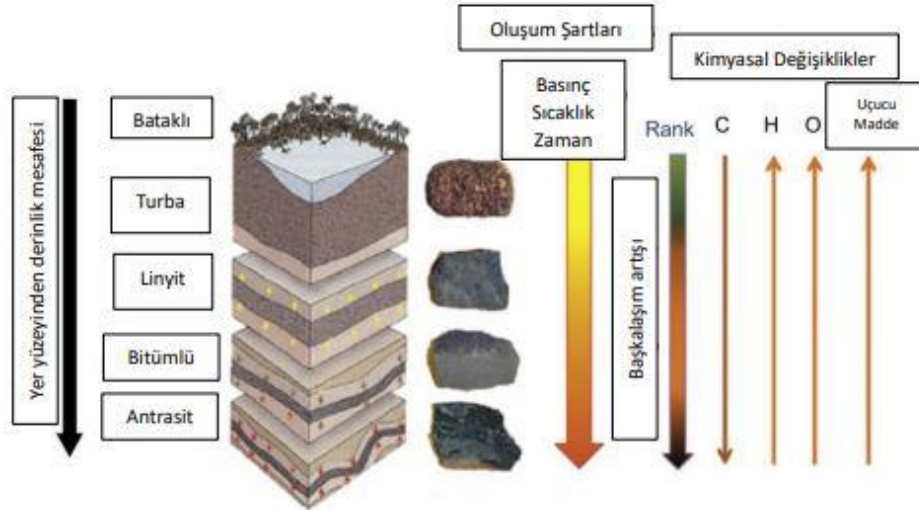
Toz haldeki cevherin birbirine bağlanması ile yüksek fırın için istenen malzeme boyutuna, dayanıklılık ve gaz geçirgenliğine sahip duruma getirilmesine sinterleme işlemi denir. Sinterleme, diğer bir ifadeyle, partiküllerin atomlarının, ısı etkisi ile oluşan çekim sonucu birbirine bağlanmasıdır. Sinter oluşumu genellikle demir cevherlerinin erime noktasının altında bir sıcaklıkta meydana gelir. Sıcaklığın artması ile sertliği artar ve elektriksel direnci ile gözenekliliği azalır. Tane yapısında bazı değişiklikler meydana gelir ve yeniden kristalleşme tane yapısında büyüme olur. Demir ve çelik endüstrisinde sinter ürünü, 1100 ile 1200 °C sıcaklıkta toz demir cevherlerinin kok tozu ve antrasit tozu ile pişirilmesi sonucu yüksek fırınların girdi ürününü oluşturmaktadır.

Yüksek fırının en büyük girdi malzemesi olan sinter üretiminde asıl amaç, toz cevheri yüksek fırında kullanmak için uygun bir duruma getirmektir. Yüksek fırınlarda sinter kullanılmasının sıvı ham demir maliyetine doğrudan etkisi vardır. Fırınlara daha verimli olmasını büyük ölçüde etkileyen sinter ürününün maliyetini istenen düzeyde tutmak için sinter tesisini verimli çalıştırmak gerekmektedir. Sinter tesislerinin temel amacı azami sinter üretimini asgari maliyetle yapmaktır. Bunun için sinter girdileri olan toz cevher, kireçtaşı, yakıt olarak kullanılan kok tozu ve antrasitin doğru oranlanması gerekir.

Kok tozu ve antrasit tozunun doğru oranda kullanılmaması sinter makinesindeki ısı dengesi olumsuz etkiler ve bu durumda istenen kalitede ürün elde edilemez. [14].

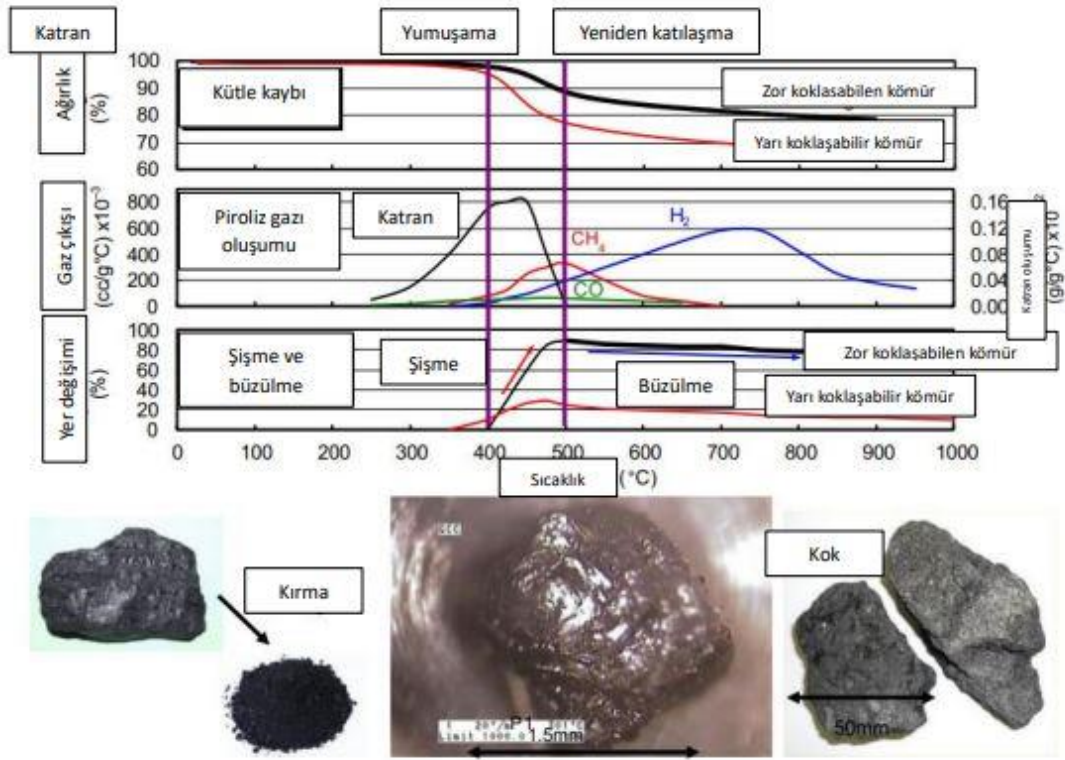
4.1. KOK TOZU

Kok tozu; kömür, petrol, doğal gaz ile beraber fosil yakıtlar kategorisine giren tortul bir kayadır. Yenilenemez bir doğal kaynak olarak kabul edilmektedir. Kok tozunun oluşması milyonlarca yıl sürmektedir. Bu nedenle insan zaman çerçevesi içinde yenilenme meydana gelmemektedir. Kömür dünyanın çok ucuz, fazla miktarda ve yaygın olarak kullanılan fosil yakıtıdır. Elektrik enerjisi üretiminde, çelik endüstrisinde, çimento ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır. Çelik endüstrisinde ise yüksek fırınlarda, çelikhanelerde, sinter tesislerinde ve kok bataryalarında kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Kömürleşme dereceleri [16].

Kömür sınıflandırmalarında bazı kömürlerin koklaşabilir olduğu görülmüştür. Kömürün koklaşma işlemi, yüksek sıcaklıklarda ve inert atmosferli bir ortamda gerçekleştirilir. Kömürün ısıtılması ile önce yumuşamasını sağlanarak içerisinde yer alan gazların salınmasına imkân vermek ve devamında ergime işlemi ile koklaşmanın son evresi olan sertleşme ve sonrasında kok oluşumu meydana gelmektedir. Meydana gelen kok kömürü uçucu maddelerinden arınmış, gözenekli ve sert bir yapıdır. [16].



Şekil 4.2. Kömürün koka dönüşümü [16].

Kok tozu; diğer adıyla metalurjik kok, koklaşabilir kömürlerden hazırlanmış olan kömürünün oksijen olmayan ortamda ısıtılarak, uçucu maddelerinden arınmış ve demir-çelik üretim tesislerinde sık kullanılan bir hammaddedir. Kok tozu, sabit karbon içeriğinin yüksek olmasından dolayı demir çelik tesislerinde indirgeyici bir madde olarak kullanılır. Verimli bir yakıt olarak metalurjik ve kimyasal işlemlerde kullanılmaktadır. Bu nedenle üretilecek olan kok tozu en üst seviyede sıvı metal üretimine katkı sağlamalı, karbon dışı maddelere zarar veren bir yapıda olmamalı ve mukavim olmalıdır.

Kok, sinter üretiminde kullanılan en temel yakıttır. Kömür, kok formunda sinter tesisini, sinter üretiminde yakıt olarak beslenmektedir. Sinter Tesisi SM-1 ve SM-2 makinalarında yakıt olarak kok tozu kullanılmaktadır. Şekil 4.3' te sinter üretiminde yakıt olarak kullanılan kok tozu görünmektedir. [16].



Şekil 4.3. Kok tozu

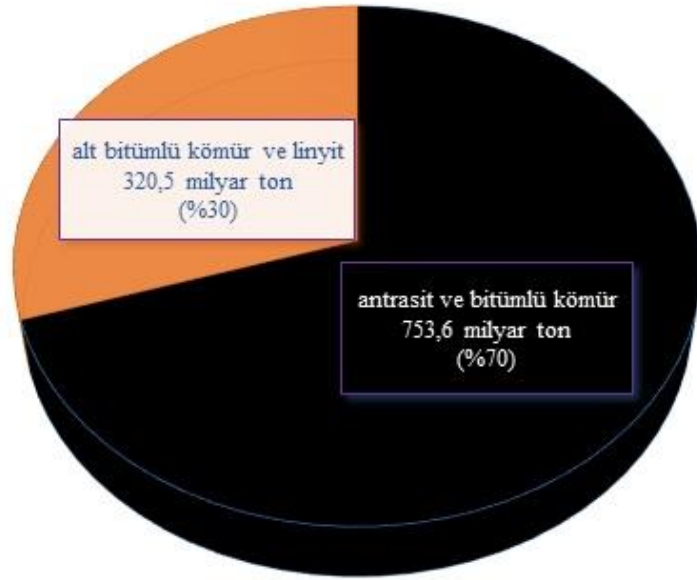
4.2. ANTRASİT TOZU

Antrasit kömürü, doğal katı yakıtlardan olan yüksek kalorili bir kömür türüdür. Isınma amacıyla çok kimyasal reaksiyonlarda indirgeyici olarak kullanılır. Kömürün en yüksek derecelisidir. Genellikle sert kömür olarak adlandırılan, yüksek oranda sabit karbon ve düşük oranda uçucu madde içeren sert, kırılabilir ve siyah parlak bir kömürdür. Güçlükle tutuşur, koku ve duman çıkarmadan yanan bir çeşit taş kömürüdür. Katılık ve yoğunluğu diğer kömürlerden çoktur. Parmak üstünde herhangi bir leke bırakmaz. Mavi renkli kısa bir alevle yanar. [17].

En eski ve karbon yönünden oldukça zengin kömürdür. Oluşumu 300 ile 400 milyon yıl öncesine kadar uzanan antrasit kömürlerin karbon yüzdesi % 90-95 civarındadır. Uçucu maddesinin düşük olması (%2 - 12) nedeniyle antrasitin yanma süreci yavaştır. Çoğu antrasit düşük nem içeriğine sahiptir (%3-6) ve ısı değeri 34.890 kJ/kg'dir. Taş kömürü veya kara kömür olarak da bilinen antrasit, yarı metalik parlaklığa sahip sert, yoğun bir kömür türüdür. Tüm kömür türleri arasında en yüksek karbon içeriğine, en düşük safsızlıklara, en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve kömürler arasında en yüksek sıralarda yer alır. [17].

Antrasit, düşük miktarda kükürt ve uçucu madde içeren, sıcak, temiz alevle yanar. Bu özelliklerinden dolayı antrasit bazen evsel uygulamalarda veya dumansız yakıt gerektiren diğer özel endüstriyel kullanımlarda kullanılır Elektrik enerjisi üretiminde ve endüstride kullanılır. Taş kömürüne göre demir ve çelik tesislerinde kullanımı daha uygundur. Çünkü içerisinde fosfor ve kükürt gibi zararlı maddeler bulunmamaktadır.

Dünyada antrasit ve bitümlü kömür rezervlerinin en büyük kısmı %29.1'lik yüzde ile (218.94 milyar ton) ABD'de yer almaktadır. ABD'yi; %18 payla Çin (135.07 milyar ton), %14'le Hindistan (105.98 milyar ton), %9.8'le Avustralya (73.72 milyar ton), %9.5'le Rusya (71.72 milyar ton) izlemektedir. Dünya alt bitümlü kömür ve linyit rezervlerinin ise en büyük kısmı %28.2'lik yüzde ile (90.45 milyar ton) Rusya Federasyonu'nda bulunmaktadır. Rusya'yı; %24 ile Avustralya (76.51 milyar ton), %11.2'yle Almanya (36 milyar ton), %9.4'le ABD (30 milyar ton), %3.7'yle Endonezya (11.73 milyar ton) ve %3.4'le (10.98 milyar ton) Türkiye izlemektedir. [19].



Şekil 4.4. Dünya kömür rezervlerinin dağılımı [19].

Sinter Tesisinde sadece SM3 makinasında yakıt olarak antrasit tozu kullanılmaktadır. Şekil 4.5' te sinter üretiminde yakıt olarak kullanılan antrasit tozu görünmektedir.



Şekil 4.5. Antrasit tozu

BÖLÜM 5

SİNER ÜRETİMİNDE YAKITLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Siner Tesisi'nde sinter üretiminde yakıt olarak kok tozu ve antrasit tozu kullanılmaktadır. SM1 ve SM2 makinalarında kok tozu, SM3 makinasında antrasit tozu kullanımı yapılmaktadır. Sinter üretiminde antrasit tozu kullanımı, kok tozu ile kıyaslandığında üretim maliyetini azaltmakta, ürünün kalitesini ve ısı verimini artırmaktadır.

Demir üretimi sırasında yüksek fırında bulunan toplam demir içeren yükün %40 ile %60'ı sinterdir. Demir cevheri sinterleme prosesi, entegre bir demir ve çelik üretim zincirindeki hayati adımlardan biridir. Bunun amacı ise demir cevheri tozlarını yüksek mekanik dayanıma ve yüksek termal ve indirgeyici davranışlara sahip gözenekli sinterlere aglomere etmektir. Bu süreç, demir ve çelik endüstrilerinde kullanılan toplam enerjinin yaklaşık %9 - 12'sini oluşturan enerji ve kirlilik yoğunluğuyla karakterize edilir.

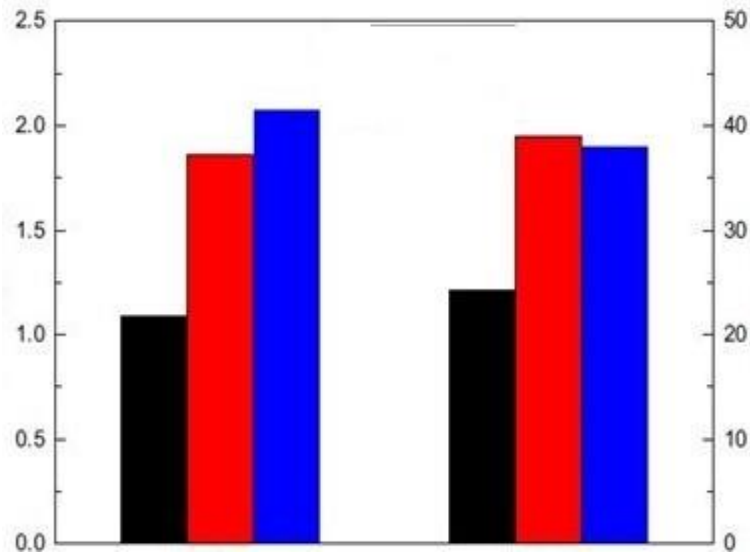
Sinterleme işlemi sırasında gerekli enerjiyi sağlamak için sinter yakıtları kullanılır. Kok tozu, kok fabrikasından gelir ve benzersiz yanma özellikleri ile mekanik ve yapısal özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılır. Kok kömürünün pahalı olması nedeniyle sinterleme tesislerinin yakıt maliyetleri yüksektir. Ayrıca kok kömürü, antrasite göre daha yüksek NO_x emisyonu nedeniyle daha fazla çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu sorunu çözmek için demir ve çelik üretim sanayisinde uzmanlar, kok tozunun tamamen veya kısmen yerini alacak başka yakıtlar aramaya başlamıştır. Biyokütle yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır ve artık demir cevheri sinterleme prosesinde önemi giderek artan bir alternatif enerji kaynağı haline gelmiştir. Geleneksel yakıtlardan farklı olarak biyokütle, karbon nötr olan ve daha düşük CO₂, NO_x ve SO₂ emisyonlarına sahip çevre dostu bir kaynaktır ve bu da onu çevre koruma baskısını hafifletmede faydalı kılar.

Çizelge 5.1. Kok ve antrasit elementel ve yakın analiz sonuçları

		Kok	Antrasit
Elementsel Analiz (%)	C	87,86	86,04
	H	0,63	1,34
	O	9,42	11,85
	N	1,55	0,56
	S	0,54	0,21
Yakın Analiz (%, kuru baz)	Uçuculuk	2,26	4,99
	Sabit Karbon	83,75	76,69
	Kül	13,99	15,32
Isıl Değer (kcal/kg)		6294	5971

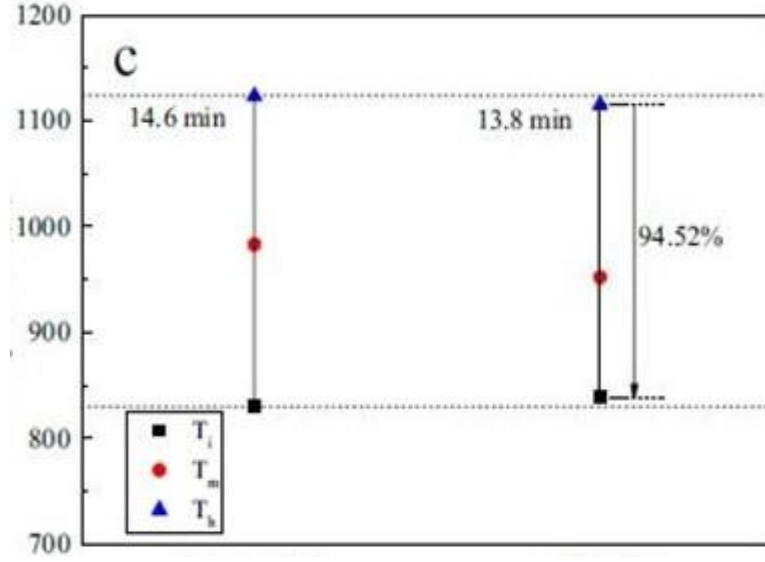
Demir cevherlerinin sinterlenmesinde, kok tozu yerine kısmen antrasit kullanılmasının, kirletici emisyonları ve üretim maliyetini azaltmanın etkili bir yoldur. Antrasitin gözenekli yapısı, kok tozundan daha düşüktür ancak yoğunluğu ve yanma reaktivitesi daha yüksektir.

Şekil 5.1.'de kok tozu ve antrasit tozunun sol tarafta yoğunluklarını, sağ taraf ise gözeneklerinin değerini göstermektedir. Siyah renkli kutucuk kütle yoğunluğunu, kırmızı renkli kutucuk gerçek yoğunluğunu, mavi renkli kutucuk ise gözenekliliğini göstermektedir.



Şekil 5.1. Kok kömürü ve antrasitin yoğunlukları ve gözenekleri [21].

Yanma özellikleri bakımından antrasitin reaktivitesi kok tozundan daha fazladır. Antrasit tamamen yanarak yanma süresinin kısalmasına neden olur. Antrasit 13.8 dakika, kok tozu ise 14.6 dakika gibi daha uzun bir yanma süresinde yanar. Bu durum sinterleme esnasında yanma koşullarını etkileyen bir durumdur.



Şekil 5.2. Yanma sıcaklıkları ve yanma süreleri [21].

Antrasit mevcutta en temiz yanan kömür olarak kabul edilmektedir. Diğer kömürlere kıyasla daha fazla ısı ve daha az duman oluşur ve elle ateşlenen fırınlarda çok yaygın kullanılmaktadır. Normalde topaklaşmayan, klinkerleşmeyen ve serbest yanan kömürdür. Çünkü ateşlendiğinde koklaşmaz, genleşmez ve birbirine kaynaşmaz. Düşük kül yüzdesine ve yüksek kül füzyon sıcaklığına sahiptir. Antrasit kömürünün tutuşma sıcaklığı 480°C ile 500°C civarındadır ve dolayısıyla kendi kendine tutuşma şansı çok düşüktür. Yandığında kurum kalıntısı oluşturmaz.

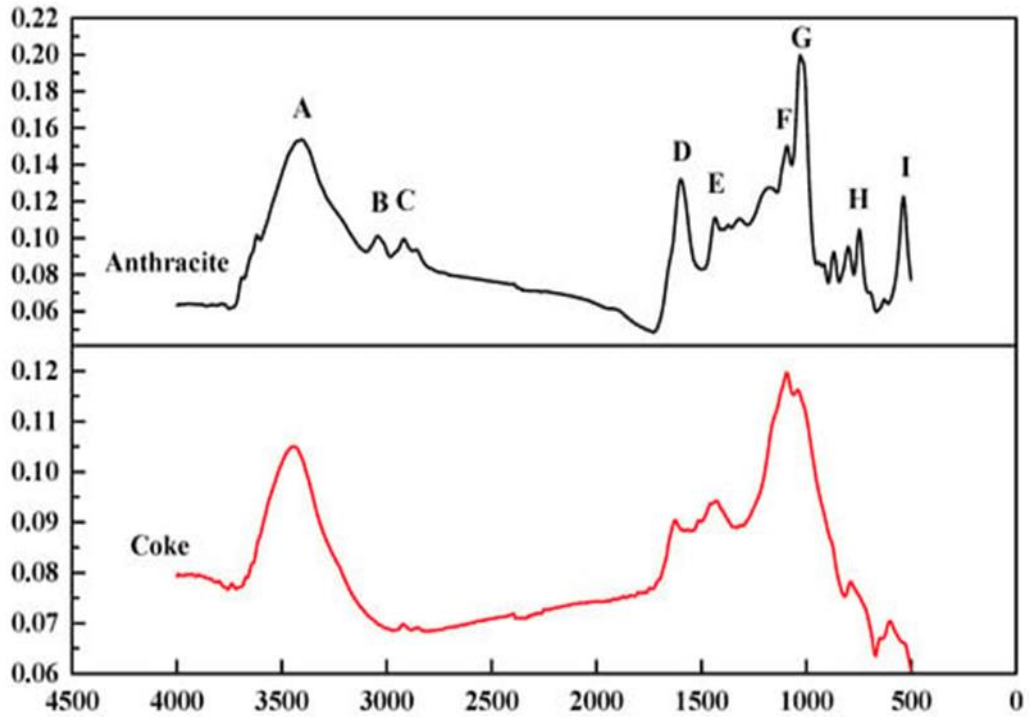
5.1. KOK VE ANTRASİT TOZU KARŞILAŞTIRMA SONUÇLARI

Ülkemizde ve diğer ülkelerde demir üretimi hala yüksek fırına bağımlıdır. Yüksek fırın demir üretiminin ana hammaddesi olan yüksek bazik sinterin doğrudan indirgenebilirliği ve yoğunluğu, demir üretiminin üretim verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Sinter üretiminde, karışım malzemelerindeki yakıtın yanma

karakteristiği, sinter kalitesinde belirleyici rol oynar. Bu nedenle, yanma verimliliğini artırmak, sinter kalitesini iyileştirmek ve katı yakıt tüketimini azaltmak için teorik bir temel sağlamak amacıyla sinterleme işleminde katı yakıtın yanma özelliklerini araştırmak önemli hale gelmiştir. Kok, havasız ortamda 950 °C ile 1050 °C arasında ısıtılan doğal bitümlü kömürden yapılır. Sinterleme sahasındaki ana yakıttır. Daha önce, sinterleme yakıtının yanması üzerine yapılan araştırmalar çoğunlukla kok esintisine dayanıyordu. Ancak çelik endüstrisinin gelişmesi ve yüksek fırındaki grog oranının sürekli iyileştirilmesiyle birlikte, sinterleme için kok tozu temini yetersiz kalmıştır. Bu nedenle birçok sinterleme tesisi, sinterleme için yakıt olarak kok tozunun yerine tamamen veya kısmen antrasit kullanımına başlamıştır.

Sinterleme işleminde birçok fiziksel ve kimyasal reaksiyon vardır. Sinterleme sıcaklığı ve atmosferinin etkisiyle demir oksitler farklı derecelerde indirgenme ve oksidasyon reaksiyonlarına maruz kalır. Bu reaksiyonların meydana gelmesi, sinterin kalitesini büyük ölçüde etkileyen yakıtın yanması ile birleşir. Bu çalışma, yakıt verimliliğini artırmak ve sinterleme üretim maliyetini azaltmak için, kok tozu yerine antrasitin kullanılması, yarı parçacık yapısı ve demir oksidin indirgenmesi ve oksidasyonunun sinterleme yakıtının yanma özellikleri üzerindeki birleştirme etkisi gibi faktörlerin etkisini sistematik olarak araştırmaktadır.

Sinterleme sahasında kullanılan antrasit ve kok tozunun yanma özelliklerini karşılaştırmak ve analiz etmek amacıyla, iki yakıtın fonksiyonel grup yapısını tespit etmek ve yapılar arasındaki farkları karşılaştırmak için Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi benimsendi. Kızılötesi spektrum tespitinde her fonksiyonel grubun soğurma zirvesinin belirli bir spektral konumu vardır. Karşılık gelen fonksiyonel grup, spektrumdaki karakteristik zirvesine göre bulunabilir. İlgili çalışmalara göre kömür örneklerinin kızılötesi spektral eğrileri hidroksile ($3700 \sim 3000 \text{ cm}^{-1}$), alifatik hidrokarbon ($3000 \sim 2800 \text{ cm}^{-1}$), oksijen içeren fonksiyonel grup ($1800 \sim 1000 \text{ cm}^{-1}$) ve aromatik hidrokarbon ($900 \sim 700 \text{ cm}^{-1}$) spektral dalga sayısına, fonksiyonelin yapısına ve özelliklerine göre gruplar. Bu nedenle, antrasit ve kok tozunun kızılötesi spektral eğrileri, fonksiyonel gruplarının yapısındaki farklılıkları daha iyi ayırt etmek amacıyla dokuz (A ~ I) noktasına bölündü. Şekil 5.3.'de iki spektral eğri arasında büyük bir boşluk olduğu görölmektedir. [23].



Şekil 5.3. Antrasit ve kok kömürünün fourier kızılötesi spektrumları [23].

Aşağıdaki tabloda kok tozu ile antrasit arasında sırasıyla aromatik halkadaki -CH grubunu temsil eden B ve H'de ve kömürdeki alifatik hidrokarbonlarda önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Uçucu maddelerin artmasıyla -CH içeriği kok tozuyla karşılaştırıldığında artacağından, antrasit hala az miktarda uçucu madde içerir, dolayısıyla antrasitteki -CH grubunun içeriği kok tozundan önemli ölçüde daha yüksektir. Aynı zamanda, kızılötesi spektrumda A noktasında ikisinin absorpsiyonunun karşılaştırılması, koklaşabilir taş kömürünün piroliz işlemindeki hidroksil içeriğinin, yani aktif grupların sayısının ve kömürün aktivitesinin büyük ölçüde azaldığını göstermektedir. azalır, dolayısıyla kok tozunun reaktivitesi antrasitinkinden önemli ölçüde daha düşüktür.

Çizelge 5.2. Antrasit ve kok kızılötesi spektrum absorpsiyon zirvesi sınıflandırma

Zirve Konumu	Dalga sayısı/cm ⁻¹		Fonksiyonel grup
	Antrasit	Kok	
A	3414.4	3439.1	-AH
B	3042.2	-	-CH (Aromatik hidrokarbon)
C	2923.3	2914.7	-CH ₃ , -CH ₂ -
D	1604.1	1626.3	-C=C-
E	1439.1	1444.1	-CH ₂ -
F	1089,9	1094.2	C-O (Fenol, alkol, eter, ester)
G	1023.2	1037.7	-Si-O-
H	870.1	-	Karbonat mineralleri
	793.1	786.2	İkame edilmiş benzen sınıfı
	746.9	-	-CH ₂ -

Sinterleme için antrasit ve kok tozunun yanma sürecini daha iyi karakterize etmek amacıyla, aynı ısıtma hızında termogravimetrik deneyler yoluyla iki yakıt üzerinde bir TG-DTG analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda antrasit ve kok tozunun yanma aralığının belli bir bölgede yoğunlaştığı, ağırlıksızlığın ise sadece bir bölüm olduğu görülmektedir. Antrasit ve kok tozunun uçucu içeriği düşük olduğundan reaksiyon ağırlık kaybının büyük bir kısmının sabit karbon yanması sonucu olduğu düşünülebilir. Ancak antrasitin uçucu içeriği %6.94 olup, bu da kok tozundan önemli ölçüde daha yüksektir. Bu nedenle antrasitin yanma aralığı kok tozundan açıkça daha kısadır.

Yanıcılık indeksi, numunenin yanma başlangıcında reaksiyona girme yeteneğini yansıtır. Bu indeks, yanma sırasında numunenin tutuşma stabilitesini ölçer. Burada v_P min⁻¹ cinsinden maksimum yanma reaksiyonu hızıdır.

$$C = v_P / T^2$$

Yanma karakteristik indeksi, numunenin tutuşması ve yanmasının birleşik karakteristiğini yansıtır. S değeri büyükse numunenin yanma performansı daha iyidir. Burada v_M , örneğin T i'den T j'ye min⁻¹ cinsinden ortalama yanma hızıdır.

$$S = vP \times vM / (T2Ben \times TJ) [2]$$

Denklemler birleştirildiğinde, sinterleme için antrasit ve kok tozunun yanma karakteristik parametreleri elde edilebilir. Çizelge 5.3.'te gösterildiği gibi ortalama yanma hızı, tutuşma stabilitesi C değeri ve yanma karakteristik indeksi S antrasitin değerinin kok tozundan daha yüksek, yanma süresinin ise kok tozundan daha düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle antrasit kok tozuna göre daha iyi bir yanma performansına sahiptir. Bunun nedeni, kok tozunun uçucu içeriğinin ve hidroksil emme zirvesinin gücünün düşük olmasıdır; bu, doğrudan antrasitin tutuşma sıcaklığının kok tozundan daha düşük olmasına yol açar ve bu da ikisinin yanma performansında önemli farklılıklara neden olur. Bu nedenle sinterleme hammaddelerinde kullanılan kömür kok karışımı yakıt, yanma işlemi sırasında çok aşamalı ağırlıksız reaksiyonlara sahip olacaktır. Antrasit içerisinde çok sayıda -CH grubu ve hidroksil grubu bulunması, antrasitin yanma performansını kok tozundan önemli ölçüde daha iyi hale getirir. Kok tozunun yerini kısmen antrasit aldığı anda tüm yanma süreci hızlanacaktır.

Çizelge 5.3. Antrasit ve kok tozunun yanma özellikleri [23].

	$T_i / (^\circ\text{C})$	$T_p / (^\circ\text{C})$	$v_p / (\text{dak}^{-1})$	$T_j / (^\circ\text{C})$	$v_m / (\text{dak}^{-1})$	$C \times 10^{-6} / (\text{dk}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-2})$	$S \times 10^{-9} / (\text{min}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-3})$	$\tau / (\text{dak})$
Antrasit	353.7	516.6	10.529	619.3	0,0974	84.562	13.237	10.27
Kok	443.5	708.7	0,5672	846.4	0,0726	28.837	0.2473	13.77

BÖLÜM 6

SİNER TESİSİNDE ANTRASİT TOZU KULLANIMI PROJESİ

Kardemir A.Ş. Sinter Müdürlüğü tarafından yakıt olarak kullanılan kok tozundan daha iyi kimyasal özelliklere sahip olan aynı zamanda daha ekonomik olan alternatif yakıt arayışlarına gidilmiştir. Bu araştırmalar sonucunda antrasit tozunun kimyasal özellikleri ve ekonomik açıdan daha avantajlı olması ve Sinter Tesislerinde prosesi bozmadan ve geçiş aşamasında hiçbir değişiklik yapmadan direkt olarak kok tozu yerine kullanılacak bir yakıt olduğu anlaşılmıştır.

Dünyada sürekli olarak artan talebi karşılayabilmek için hammadde ve enerji ihtiyacının da paralel olarak artması ile birlikte şirketimizin enerji verimliliği ve karlılığını artırmak amacıyla kok tozu yerine kullanılacak alternatif bir yakıt olan antrasit tozunun tercih edilme nedenleri aşağıda sıralanmıştır;

1. %9 oranında daha yüksek kaloriye sahip olması,
2. %19 oranında daha düşük nem içeriğine sahip olması,
3. Maliyetinin % 33 daha düşük olması,
4. Enerji tüketimlerinde %5.08 oranında düşüş olması

Sinter Müdürlüğü tarafından geliştirilen antrasit tozu için 5.000 tonluk deneme kullanımı yapılmıştır. Antrasit tozu kullanımına 2017 yılının Ağustos ayı sonunda başlanmış olup multisiklon çalışma ve toz tutma verimi, multisiklon içinde meydana gelebilecek yapışma ve aşınma, multisiklon çıkış noktalarında tutulan tozun sıcaklığı ve baca emisyon değerleri sürekli gözlem ve kontrol altında tutulmuştur. [24].

İlk aşamada SM3 yakıt tüketiminin %20'si antrasit tozu olacak şekilde kullanımına başlanmış olup, olumsuz bir durumla karşılaşılmadığı için antrasit tozu kullanım

miktarı %5'lik dilimler halinde artırılarak yaklaşık %75' e kadar ve sonrasında ise %100 seviyelerine çıkarılarak devam edilmiştir. [24].

6.1. KOK VE ANTRASİT TOZUNUN TESİS ANALİZLERİ

Kok tozu yerine kullanılan, alternatif bir yakıt olan antrasit tozu, %9 oranında daha yüksek kaloriye sahiptir. Kok tozu yerine kullanılacak, alternatif bir yakıt olan antrasit tozunun yüksek kaloriye sahip olması nedeniyle Ağustos ayında %10.23, Eylül Ayında %9.98, Ekim Ayında %8.47, Kasım Ayında %8.86 oranında artış gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.1. Antrasit tozu kalori kıyaslama tablosu [25].

Antrasit Tozunun ile Kok Tozu Kalori Kıyaslaması			
AYLAR	Antrasit Tozu Kcal/kg	Kok Tozu Kcal/kg	Antrasit Tozu Kok Tozu Kalori Kıyaslaması
AĞUSTOS	7057	6335	10,23%
EYLÜL	7102	6393	9,98%
EKİM	7074	6475	8,47%
KASIM	7035	6412	8,86%

Kok tozu yerine kullanılan, alternatif bir yakıt olan antrasit tozu, yaklaşık %18.76 daha düşük neme sahiptir. Antrasit tozu nem içeriği ile kok tozu nem içeriği karşılaştırıldığında Ağustos ayında % 21.89, Eylül ayında %19.32 Ekim ayında %12.49 ve Kasım ayında %21.34 daha az nem içeriğine sahip olduğu görülmüştür. [25].

Çizelge 6.2. Antrasit tozu nem içeriği kıyaslama tablosu [25].

NEM ORAN KARŞILAŞTIRILMASI			
Aylar	Kok Tozu Nem	Antrasit Tozu Nem	Antrasit Tozunun Kok Tozuna Göre Nem Oran Karşılaştırılması
AĞUSTOS	11,86%	9,73%	21,89%
EYLÜL	11,55%	9,68%	19,32%
EKİM	11,80%	10,49%	12,49%
KASIM	12,51%	10,31%	21,34%

Kok tozu yerine kullanılan alternatif bir yakıt olan antrasit tozu, yaklaşık %42 oranında daha düşük maliyete sahiptir. Kok tozu ile antrasit tozunu satın alma fiyatı karşılaştırıldığında Eylül ayında %33.77, Ekim Ayında %41.89, Kasım Ayında %44.23, Aralık Ayında ise %49.73 oranında düşüşlerin gerçekleştiği görülmektedir.

Çizelge 6.3. Antrasit tozu maliyet oranı kıyaslama tablosu [25].

SM3 KOK TOZU TÜKETİMİ				SM3 ANTRASİT TOZU TÜKETİMİ			
AYLAR	Kok Tozu Sarfiyatı	Girdi Fiyatı	Kok Tozu Maliyeti	Antrasit Tozu Sarfiyatı	Girdi Fiyatı	Antrasit Tozu Maliyeti	Antrasit Tüketim Kazancı
	Ton	TL/Ton	TL	Ton	TL/Ton	TL	
EYLÜL	10.292	5054	52015768	6748	3778	25493944	26521824
EKİM	8117	5216	42338272	6596	3676	24246896	18091376
KASIM	8306	5217	43332402	6458	3617	23358586	19973816
ARALIK	10.099	5329	53817571	6417	3559	22838103	30979468
TOPLAM	36814	5202	191504013	26219	3659	95937529	95566484

Kok tozu yerine kullanılan, alternatif bir yakıt olan antrasit tozu, Yakıt tüketim maliyetlerinde Eylül ve Ekim ayında sırasıyla %20.61 ve %10.38 oranında azalışlar meydana getirmiştir. Antrasit tozunun kullanıldığı aylar olan Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında yakıt tüketim maliyetlerinde düşüşler meydana gelmiştir. Maliyetlerde meydana gelen düşüşler Ağustos ayında 34.40 TL/Ton, Eylül ayında 27.39 TL/Ton, Ekim ayında 27.39 TL/Ton ve Kasım ayında %34.40 TL/Ton olarak gerçekleşmiştir. [25].

Çizelge 6.4. Antrasit tozu yakıt maliyet oranı kıyaslama tablosu [25].

AYLARA GÖRE TOPLAM YAKIT ÜRETİM MALİYETİ				
AYLAR	Kok Tozu Kg/Tss	Antrasit Tozu Kg/Tss	Toplam Yakıt Kg/Tss	Yakıt Tüketim Maliyeti
OCAK	73,40	0	73,40	43,10
ŞUBAT	77,19	0	77,19	49,90
MART	75,79	0	75,79	58,70
NİSAN	73,29	0	73,29	48,50
MAYIS	65,64	0	65,64	39,30
HAZİRAN	70,66	0	70,66	37,00
TEMMUZ	75,63	0	75,63	37,30
AĞUSTOS	79,06	0,08	79,14	34,40
EYLÜL	53,05	13,78	66,83	27,39
EKİM	61,21	7,09	68,30	27,46
KASIM	74,77	0,12	74,89	31,10

Kok tozu yerine kullanılan, alternatif bir yakıt olan antrasit tozu, Enerji tüketimlerinde %5.08 oranında düşüş gerçekleştirmiştir. Antrasit tozundan, Ağustos ayında 1 gün için kullanılan miktar 17 ton olup Kasım ayında ise 1 gün için kullanılan miktar 26 ton dur. Eylül ve Ekim ayında antrasit tozu 4964 ton kullanılmasından dolayı, enerji tüketiminde azalma meydana gelmiştir. Antrasit tozu kullanılması sonucu Eylül ayında 388 Mcal/Tss, Ekim ayında 394 Mcal/Tss enerji tüketimi gerçekleşmiştir. [25].

Çizelge 6.5. Antrasit tozu enerji verimi kıyaslama tablosu [25].

ANTRASİT TOZU KULLANIMINA GÖRE ENERJİ TÜKETİMİ				
AYLAR	TOPLAM YAKIT TÜKETİMİ kg/Tss	KOK TOZU KALORİ kcal/kg	ANTRASİT TOZU KALORİ kcal/kg	TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ Mcal/Tss
OCAK	73,4	6393		401
ŞUBAT	77,19	6390		418
MART	75,79	6482		419
NİSAN	73,29	6474		412
MAYIS	65,64	6436		369
HAZİRAN	70,66	6367		391
TEMMUZ	75,63	6349		420
AĞUSTOS	81,53	6335	7057	457
EYLÜL	66,83	6393	7102	388
EKİM	68,3	6475	7074	394
KASIM	74,89	6412	7035	420

Sinter Tesisinde üretimde kullanılan kok ve antrasit tozunun 2023 yılı son 4 aylık kimyasal verilerinin analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analiz çalışması sonucunda antrasit tozunun kok tozuna göre avantajlı olduğu görülmüştür. Antrasit tozunun nem, kül ve sabit karbon içeriği kok tozuna kıyasla daha düşüktür. Alt ısıl değeri ve uçucu madde oranı ise antrasit tozunun kok tozuna göre daha yüksektir. Aşağıdaki tablolarda bu durum gözükmektedir.

Çizelge 6.6. 2023 son çeyrek antrasit ve kok tozu kimyasal analizleri [26].

AYLAR	SİNERLİK ANTRASİT TOZU KİMYASAL						AYLAR	KOK TOZU KİMYASAL					
	Nem (%)	Kül (%)	U.M (%)	S.K (%)	S (%)	Alt Isıl Değer kcal/kg		Nem (%)	Kül (%)	U.M (%)	S.K (%)	S (%)	Alt Isıl Değer kcal/kg
EYLÜL	8,77	15,33	4,78	79,89	0,83	6693	EYLÜL	12,45	17,76	2,11	80,13	0,59	6357
EKİM	9,29	14,17	5,19	80,64	0,87	6828	EKİM	13,75	20,04	2,16	77,79	0,62	6153
KASIM	11,02	14,97	5,88	79,15	0,89	6753	KASIM	13,93	17,52	1,64	80,83	0,64	6350
ARALIK	11,13	14,25	6,37	79,38	0,85	6841	ARALIK	14,10	18,06	1,63	80,31	0,72	6311

Antrasit tozu kullanımı ile birlikte tesis baca değerlerinde değişimler gözlemlenmiştir. Aşağıda yer alan tabloda bu durum detaylı bir şekilde gözükmektedir.

Çizelge 6.7. Baca gazı değerleri tablosu.

78-KARDEMİR KARABÜK- SİNER TESİSİ SM 3 BACASI			78-KARDEMİR KARABÜK- SİNER TESİSİ SM 1-2 BACASI		
10885.00 ^{mg/Nm3@O2} COm	137.56 ^{mg/Nm3@O2} NOm	407.99 ^{mg/Nm3@O2} SO2m	6479.00 ^{mg/Nm3@O2} COm	169.00 ^{mg/Nm3@O2} NOm	409.00 ^{mg/Nm3@O2} SO2m
42.00 ^{kg/h} SO2k	4.00 ^{kg/h} TO2k	8098.26 ^{mg/m3} CO	625.00 ^{kg/h} SO2k	51.00 ^{kg/h} TO2k	6507.00 ^{mg/m3} CO
15.44 ^{mg/m3} TOZ (KGS2 FONKSİYONLU)	139502.00 ^{Nm3/h} Debi	142.21 ^{°C} BacagazıSıcaklığı	20.16 ^{mg/m3} TOZ (HAM)	1521015.00 ^{m3/h} Debi (HAM)	144.46 ^{°C} BacagazıSıcaklığı
8460.00 ^{mg/m3} CO (HAM)	62.77 ^{mg/m3} NO (HAM)	303.50 ^{mg/m3} SO2 (HAM)	6357.28 ^{mg/m3} CO (HAM)	92.87 ^{mg/m3} NO (HAM)	410.14 ^{mg/m3} SO2 (HAM)

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu çalışmada, sinter üretiminde yakıt olarak kullanılan kok tozu yerine alternatif ürün olan antrasit tozunun kullanımını araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda sinter üretiminde antrasit tozunun kullanımının birçok alanda faydalı olduğu görülmüştür. Sinter makinasında, sinter üretiminde, kok tozu yerine antrasit tozunun yakıt olarak kullanıldığı bu çalışma sonucunda;

1. Antrasit tozunun kok tozuna kıyasla daha yüksek kaloriye sahip olduğu görülmüştür. Bu durum antrasit tozunun kok tozuna göre daha az tüketilmesine yani kok tozundan daha az miktarda yakıt sarfiyatının olmasını sağlamaktadır.
2. Antrasit tozu kok tozuna göre daha düşük nem içeriğine sahiptir. Antrasitin düşük nem içeriğine sahip olması nedeniyle kok tozuna nazaran daha az yakıt tüketimi sağlamaktadır.
3. Sinter üretiminde kullanılan antrasit tozu daha düşük satın alma ve yakıt tüketim maliyetine sahiptir. Kok tozuna kıyasla antrasit tozunun aylık tüketim değerleri daha düşük maliyetlerdedir. Bu durum antrasit tozu kullanımının daha yüksek kazanç sağlanmasına neden olmaktadır. Çizelge 6.3.'te 2023 yılı son 4 ayın maliyetleri, aylık kazançlar vb. detaylı olarak görülmektedir.
4. Antrasit tozunun kullanılması ile enerji tüketiminde düşüş meydana gelmiştir. Çizelge 6.5.'te bu durum detaylı olarak yer almaktadır.
5. Antrasit tozunun kullanılması ile baca gazı değerlerinde değişimler görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Koç E., Kaya K., “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu”, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü*, Samsun, 36-39 (2015).
2. İnternet: Ceysan Geri Kazanım, “Enerji Nedir? Birincil ve İkincil Enerji Kaynakları Nelerdir?”, <http://www.ceysangerikazanım.com/enerji-nedir-kisaca-enerji-kaynaklari-nelerdir>
3. İnternet: Wikipedi, “Türkiye’de Enerji”, https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de_enerji
4. İnternet: Bilgi Ustam, “Enerji Kaynakları”, <https://www.bilgiustam.com/dunyada-kullanilan-enerji-kaynaklari>
5. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Enerji, Elektrik”, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (2024).
6. Samal P., Newkirk J., “Powder Metallurgy”, *ASM Handbook*, United States of America, 1727-1745 (2014)
7. Sands, R. L., Shakespeare C. R., “Powder Metallurgy”, *George Newnes Ltd.*, London (1996).
8. German, M. R., “Sintering Theory and Practice”, *Wiley-Interscience*, New York, USA (1996).
9. Yılmaz, S. B., “Toz Metalurjisi ile Üretilen Bağlı Grafitli Demir Parçalarda Kullanılan Farklı Demir Tozu Cinslerinin Parçalardaki Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, F.B.E.*, İstanbul (1999).
10. Exner H., Arzt E., “Physical Metallurgy”, *North Holland*, Holland, (1996).
11. Sohn H.Y., Olivas M., “Treatise on Process Metallurgy”, *Elsevier*, Amsterdam, 1727-1745 (2014).
12. Oztürk T., “Kardemir Sinter Tesisleri”, *Sinter Müdürlüğü, Kardemir A.Ş.*, Karabük (2018).
13. Oztürk T., Akçay O., “Sinter Tesisleri Sunum”, *Sinter Müdürlüğü, Kardemir A.Ş.*, Karabük (2020).
14. Kaya A., Elmas E., “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu”, *Iğdır Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu*, Iğdır, 170-175 (2022).

15. Bostancı S., “Demir Çelik Entegre Sinter Tesisleri Palet Yan Duvarlarında Oluşan Çatlak Hasarının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, (2022).
16. Türkyılmaz S., “Entegre Demir Çelik Tesisleri Yan Ürünleri Kullanılarak Reaktivitesi Yüksek Kok Üretimi” Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, (2022).
17. İnternet: Wikipedi, “Antrasit”, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Antrasit>
18. İnternet: Academic Accelerator, “Anthracite”, <https://academic-accelerator.com/encyclopedia/anthracite> (2020).
19. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Kömür”, <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabii-kaynaklar-komur> (2023).
20. Han J., Lou G., Zhang S., Wen Z., Liu X., Liu J., “The Effects Of Coke Parameters and Circulating Flue Gas Characteristics On NOx Emission During Flue Gas Recirculation Sintering Process”, **University of Science & Technology Beijing**, China (2019).
21. İnternet: Scientific Reports, “Partial Substitution Of Anthracite For Coke Breeze In Iron Ore Sintering”, <http://www.nature.com/articles/s41598-021-80992-4> (2021).
22. İnternet: MDPI Energies, “The Effects Of Coke Parameters and Circulating Flue Gas Characteristics On NOx Emission During Flue Gas Recirculation Sintering Process”, <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/20/3828> (2019).
23. İnternet: MDPI Processes, “Combustion Kinetics Characteristics of Solid Fuel in the Sintering Process”, <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/4/475> (2020).
24. Bağ R., Öztürk T., “Sinter Tesislerinde Antrasit Tozu Kullanımı”, **Sinter Müdürlüğü, Kardemir A.Ş.**, Karabük (2018).
25. Öztürk T., “Kardemir Sinter Antrasit Tozu Kullanımı Sunum”, **Sinter Müdürlüğü, Kardemir A.Ş.**, Karabük (2018).
26. Öztürk T., “Antrasit Ve Kok Tozu Aylık Ortalamalar”, **Sinter Müdürlüğü, Kardemir A.Ş.**, Karabük (2023).
27. Suk-Joong L., Kang., “Sintering”, **Butterworth-Heinemann**, Oxford, 261-265 (2005).

28. Zhigang Zak Fang., “Sintering Of Advanced Materials”, **Woodhead Publishing**, Cambridge, 65-85 (2010).
29. Xuyang B., Shaoqi K., Jiawei Z., Gang L., Jiajun L., Pengcheng W., Guochao Y. “Molecular mechanism study of nonionic surfactant enhanced anionic surfactant to improve the wetting ability of anthracite dust”, *Taiyuan University of Technology*, China (2024).
30. Mohammad S., Patra S., Harichandan B., “Fuel”, **Hazira**, India, 261-265 (2022)

ÖZGEÇMİŞ

Serkan ÖZEN lise öğrenimini Karabük 75. Yıl Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Karabük Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında mezun oldu. 1 yıl süre ile Etisan Enerji firmasında Stajyer Mühendis olarak görev yaptı. Akabinde askerlik görevini yedek subay olarak tamamladı. 2019 yılında Kardemir A.Ş. Sinter Müdürlüğü'nde Elektrik Bakım Mühendisi olarak iş hayatına başladı. Halen aynı yerde çalışma hayatına devam etmektedir. Serkan ÖZEN evli ve 1 çocuk babasıdır.