

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PÜLVERİZE KÖMÜR SANTRALLERİNDE KAZAN VERİMİ VE  
VERİME ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

**AHMED DÜZCAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. HASAN HÜSEYİN ERDEM**

**İSTANBUL, 2014**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PÜLVERİZE KÖMÜR SANTRALLERİNDE KAZAN VERİMİ VE  
VERİME ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

Ahmed DÜZCAN tarafından hazırlanan tez çalışması 05.03.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Süleyman Hakan SEVİLGEN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yasin ÜST  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

Dünyadaki enerji ihtiyacı fosil yakıtlardan (kömür, doğalgaz, petrol), hidrolik enerjiden, yenilenebilir enerji kaynaklarından ve nükleer enerjiden sağlanmaktadır. Ülkemizde ise, enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu dışa bağımlı olduğumuz kaynaklardan karşılanmaktadır. Bunun sonucunda ülke ekonomisi zarar görmektedir. Ülkemizde bulunan yerli kaynakların kullanılması sonucunda dışa bağımlılık azalacak ve enerji üretimi düşük maliyetlerde olacaktır. Ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak için bulunan kaynaklar ise çok az miktardadır. Bu yüzden kaynakları kullanırken dikkatli olmalı ve verimi yüksek, çevreye zarar vermeyecek şekilde üretimler yapılmalıdır. Ülkemizde yerli kaynak olarak hidrolik potansiyel ve kömür rezervleri bulunmaktadır. Kömür rezervlerinin çoğunluğu linyittir ve az miktarda taş kömürü de bulunmaktadır. Ülkemiz linyitlerinin nem ve kül miktarı yüksek olduğundan ısı değerleri düşük diğer bir deyişle kaliteleri düşüktür. Bu nedenle de daha çok elektrik üretmek amacı ile kazanlarda yakılmaktadırlar. Termik santrallerde farklı sebepler ile termik verimin düşmesi ise hem enerji üretim maliyetlerinin hem de yanma sonucunda çevreye zararlı atıkların miktarını artırmaktadır.

Bu çalışmamızda ise, pülverize kömür kazanlarında yanma ile ilgili problemlerin, yanma sonucunda oluşan emisyon ve katı atıkların minimize edilmesi, ayrıca iyi bir yanma için yanma öncesi ve yanma sırasında yapılabilecek olan durumlar incelenerek iyi bir yanma oluşmasının (veriminin artırılması) nasıl olacağı araştırılacaktır.

Tez çalışmam boyunca bana desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme, Orhaneli Termik Santralinde gerekli verileri almama yardımcı olan Kimya Mühendisi Mustafa SOYORAL ve Makine Mühendisi Umut AKTAŞ'a, Boğaziçi Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Fazıl Önder SÖNMEZ'e, tez hocam Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM'e çok teşekkür ederim.

Mart,2014

Ahmed DÜZCAN

## İÇİNDEKİLER

---

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	viii
KISALTIMA LİSTESİ .....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xiv
ÖZET .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ .....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	5
1.3 Hipotez.....	6
BÖLÜM 2	
PÜLVERİZE KÖMÜR KAZANI VE SİSTEMDE BULUNAN BAZI EKİPMANLAR	7
2.1 Toz Kömür Kazanları .....	7
2.2 Toz Kömür Değirmenleri.....	9
2.2.1 Toz Kömürün Özellikleri .....	11
2.3 Toz Kömür Yakıcıları (Bekleri) .....	12
2.4 Kızdırıcılar .....	14
2.4.1 Kızdırıcı Tipleri .....	16
2.4.1.1 Konveksiyonlu Kızdırıcılar .....	16
2.4.1.2 Radyasyonlu Kızdırıcılar .....	16
2.4.1.3 Kombine Kızdırıcılar .....	17
2.4.1.4 Ayrı Ateşlenen Kızdırıcılar .....	17
2.4.1.5 Ara Kızdırıcı .....	17
2.5 Ekonomizerler.....	18
2.6 Hava Isıtıcısı .....	20
2.6.1 Hava Isıtıcıları Çeşitleri.....	21

## BÖLÜM 3

YAKMA SİSTEMLERİ .....	23
3.1 Izgaralı Yakma Sistemleri .....	23
3.1.1 Sabit Izgaralı Yakma Sistemleri .....	23
3.1.2 Sonsuz Zincirli Döner Izgaralı Yakma Sistemleri.....	24
3.1.3 Yatak Gevşetme Etkili Eğik Izgaralı Yakma Sistemleri .....	24
3.2 Akışkan Yatakta Yakma Sistemi .....	25
3.3 Hacimde (Toz Kömür) Yakma Sistemleri .....	26

## BÖLÜM 4

YAKITLAR VE YANMA.....	28
4.1 Teorik ve Gerçek Yanma İşlemleri.....	30
4.2 Yanmayı Etkileyen Faktörler.....	32
4.2.1 Yanmayı Etkileyen Yakıt Boyutlu Faktörler.....	33
4.2.2 Yanmayı Etkileyen Yakma Sistemi Boyutlu Faktörler .....	34
4.2.3 Yanmayı Etkileyen İşletme Boyutlu Faktörler .....	35
4.3 Toz Kömür Yanmasına Etki Eden Faktörler .....	35
4.4 Yanma Verimi.....	36

## BÖLÜM 5

KÖMÜR TANIMI, ÖZELLİKLERİ VE OLUŞUMU .....	37
5.1 Kömürleşme Olayı.....	38
5.2 Kömür Çeşitleri ve Kömürün Sınıflandırılması.....	39
5.2.1 Grafit.....	39
5.2.2 Antrasit .....	39
5.2.3 Taş Kömürü .....	39
5.2.4 Linyit .....	40
5.2.5 Turba.....	40
5.3 Kömürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	41
5.3.1 Nem .....	42
5.3.2 Özgül Ağırlık.....	44
5.3.3 Yapı ve Kırılma .....	45
5.3.4 Tane Boyut Dağılımı .....	46
5.3.5 Sertlik .....	46
5.3.6 Gevreklik ve Mukavemet .....	46
5.3.7 Ögünebilirlik.....	47
5.3.8 Açık Havada Dağılganlık .....	47
5.3.9 Aşındırıcılık.....	47
5.3.10 Renk ve Çizgi Rengi.....	47
5.3.11 Parlaklık.....	48
5.3.12 Isıl İletkenlik.....	48
5.3.13 Özgül Isı .....	48
5.3.14 Uçucu Madde Miktarı.....	49
5.3.15 Kükürt.....	49
5.3.16 Kül .....	50
5.3.17 Kömürde Porozite.....	51

## BÖLÜM 6

YANMA SONUCU OLUŞAN ZARARLI EMİSYONLAR VE EMİSYONLARIN ÇEVREYE ETKİLERİ .....	52
6.1 Zararlı Emisyonlar .....	52
6.1.1 Katı Haldeki Emisyonlar .....	52
6.1.2 Gaz Haldeki Emisyonlar.....	53
6.1.2.1 Karbonmonoksit Emisyonları .....	53
6.1.2.2 Karbondioksit Emisyonları .....	54
6.1.2.3 Azotoksit Emisyonları.....	55
6.1.2.4 Kükürtoksit Emisyonları .....	57
6.1.2.5 Hidrokarbonlar .....	60
6.1.2.6 Tanecik Kirleticiler .....	60
6.2 Zararlı Emisyonların Çevreye Etkileri.....	61
6.2.1 Emisyonların İnsan Sağlığına Etkisi .....	61
6.2.2 Karbonmonoksitin Etkisi .....	61
6.2.3 Azotoksitlerin Etkisi .....	61
6.2.4 Kükürtoksitlerin Etkisi .....	61
6.2.5 Emisyonların Bitkilere Etkisi .....	62
6.2.6 Emisyonların Eşyalara Etkisi .....	62

## BÖLÜM 7

YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLARA ETKİ EDEN FAKTÖRLER .....	63
7.1 Yakıtın Etkisi .....	63
7.2 Sistemin Etkisi .....	64
7.3 Bacanın Etkisi .....	64
7.4 Meteorolojik Şartların Etkisi .....	65
7.5 Topografik Yapı ve Kentsel Dokunun Etkisi .....	66

## BÖLÜM 8

YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLARIN KONTROLÜ .....	67
8.1 Enerjinin Verimli Kullanılmasıyla Zararlı Emisyonların Azaltılması.....	67
8.2 Yakıt Hazırlamayla Zararlı Emisyonların Azaltılması .....	68
8.3 Zararlı Emisyonların Yanma Odasında Tutulması .....	70
8.4 Zararlı Emisyonların Baca Gazlarından Arıtılması .....	72
8.5 Kirletici Emisyonların Azaltılması için Geliştirilen Teknolojiler .....	74
8.5.1 Aktif Karbon Enjeksiyonu.....	74
8.5.2 Elektrostatik Tutucular .....	75
8.5.3 Bez Filtreler .....	75
8.5.4 Baca Gazı Sülfür Giderme.....	75
8.5.5 Sıcak Gaz Süzme Sistemi .....	75
8.5.6 Seçimli Katalitik İndirgeme ve Seçimli Katalitik Olmayan İndirgeme .....	76
8.5.7 Yaş Tanecik Gaz Temizleyiciler .....	76

## BÖLÜM 9

HESAPLAR.....	77
---------------	----

BÖLÜM 10

SONUÇ VE ÖNERİLER..... 106

KAYNAKLAR..... 108

EK-A

KÖMÜR ANALİZ RAPORU ..... 111

EK-B

BACA GAZI EMİSYON DEĞERLERİ ..... 114

ÖZGEÇMİŞ..... 115

## SİMGE LİSTESİ

---

$Al_2O_3$	Alüminyum oksit
$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O$	Semektik
$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$	Kaolinit
C	Karbon
C(%)	Kömür içerisindeki karbon yüzdesi
$CaCO_3$	Kalsiyum karbonat
$CaCO_3MgCO_3$	Dolomit
CaO	Kalsiyum oksit
$CaSO_4$	Kalsiyum sülfat (Jips)
CH	Karbon hidrür
CHN	Karbon hidrür nitrür
$CH_4$	Metan
$C_nH_m$	Hidrokarbon
CO	Karbon monoksit
$CO_2$	Karbon dioksit
CO(%)	Bacadan çıkan karbon monoksit gazının hacimsel yüzdesi
$CO_2(\%)$	Bacadan çıkan karbon dioksit gazının hacimsel yüzdesi
CoHb	Karboksi-hemoglobin
$c_p$	Baca gazı veya su buharının özgül ısı değeri
d/d	Devir/dakika
$FeCO_3$	Siderit
$FeO_3$	Demir(III) oksit (Hematit)
$FeS_2$	Demir sülfür (Pirit)
$FeSO_4$	Demir sülfat
$Fe^{+2}$	Demir iyonu
g	Gram
$g/cm^3$	Gram/santimetre küp
gr/ltr	Gram/litre
Hg	Cıva
$H_2$	Hidrojen
$H_2O$	Su
$H_2SO_4$	Sülfirik asit
$H^+$	Hidrojen iyonu
H(%)	Kömür içerisindeki hidrojen yüzdesi
$HNO_3$	Nitrik asit
$HOSO_2$	Hidroksi sülfonil
$h_y$	Yanma verimi
$h_k$	Kazan verimi



$KAl_2(AlSiO_{10})(OH)_2$	İllit
kcal/kg	Kilokalori/kilogram
kcal/kg°C	Kilokalori/kilogram santigrat
kg	Kilogram
kWh/ton	Kilovat saat/ton
M	Mol kütlesi
m	Kütle
mg/m <sup>3</sup>	Miligram/metre küp
MgSO <sub>4</sub>	Magnezyum sülfat
MgO	Magnezyum oksit
MoO <sub>3</sub>	Molibden oksit
MW	Megavat
MPa	Mega paskal
M(%)	Kömür içerisindeki toplam nem oranı
m/s	Metre/saniye
mg/Nm <sup>3</sup>	Miligram/normal metreküp
mm	Milimetre
n	Mol
N(%)	Kömür içerisindeki azot yüzdesi
NaOH	Sodyum hidroksit
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Sodyum karbonat
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Sodyum silikat
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Sodyum sülfat
NH <sub>3</sub>	Amonyak
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Amonyum sülfat
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Amonyum sülfat
NO	Azot monoksit
NO <sub>2</sub>	Azot dioksit
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Azot trioksit iyonu
NO <sub>x</sub>	Azot oksit
N <sub>2</sub>	Azot
O(%)	Kömür içerisindeki oksijen yüzdesi
O <sub>2</sub>	Oksijen
OH	Hidroksil
P	Kömür içerisindeki kül oranı
S	Kükürt
S(%)	Kükürt içerisindeki kükürt yüzdesi
SiO <sub>2</sub>	Silikon dioksit (Kuarz)
SO <sub>2</sub>	Kükürt dioksit
SO <sub>x</sub>	Kükürt oksit
SO <sub>3</sub>	Kükürt trioksit
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Sülfat iyonu
t/h	Ton/saat
T <sub>g</sub>	Kazandan çıkan baca gazı sıcaklıkları
T <sub>h</sub>	Kazana giren taze havanın sıcaklıkları
TiO <sub>2</sub>	Titan dioksit
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Vanadyum pentoksit
W	Havadaki mutlak nem oranını
WO <sub>3</sub>	Wolfram oksit
Å	Bağ uzunluğu

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
$\Delta T$	Sıcaklık dağılımı
$^{\circ}\text{K}$	Kelvin
$\mu\text{m}$	Mikrometre
$*\text{O}_2(\%)$	Kazandan çıkan yanmış gazda bulunan oksijen yüzdesi
$Q$	Kalori değeri
$q$	Isı akısı

## KISALTMA LİSTESİ

---

AID	Kömür alt ısı değeri
AID <sub>BK</sub>	Uçucu külün alt ısı değeri
AID <sub>KC</sub>	Kazan altı cürufun alt ısı değeri
AID <sub>kömür</sub>	Kömür alt ısı değeri
A.S.T.M	American society for testing materials
BK	Uçucu külün kömür içerisindeki toplam küle oranı
FH	Fazla hava
GH	Kömürün yanması için kazana giren hava kütle oranı
HY	Hava yakıt oranı
K <sub>1</sub>	Kazan çıkışından kuru baca gazıyla birlikte atılan ısıdan oluşan ısı kaybı
K <sub>2</sub>	Hidrojenin suya dönüşmesi ve sıcak olarak kazandan atılmasıyla oluşan kayıp
K <sub>3</sub>	Yakıttaki nemin sıcak olarak kazandan atılmasından dolayı oluşan kayıp
K <sub>4</sub>	Havadaki nemin sıcak olarak kazandan atılmasından dolayı oluşan kayıp
K <sub>5</sub>	Kazanda eksik yanmadan dolayı oluşan kayıp
K <sub>6</sub>	Uçucu küldeki yanmamış karbondan dolayı oluşan eksik yanma kaybı
K <sub>7</sub>	Kazan altı cüruftaki yanmamış karbondan dolayı oluşan eksik yanma kaybı
KC	Cüruf miktarının kömür içerisindeki toplam küle oranı
LPG	Liquid petroleum gas
m <sub>gaz</sub>	Birim kütle kömür başına çıkan baca gazı kütle oranı
PC	Pülverize kömür
ppm	Parts per million
SCR	Selective catalytic reduction
SOFA	Separated over fire air
TH	Teorik hava kütle oranı
u <sub>1</sub>	Birinci hava yakacak hızı
u <sub>2</sub>	İkinci hava hızı
584	Suyun buhar haline gelmesi için gerekli ısı
5646	CO'in yanması ile açığa çıkacak ısı miktarı

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Toz kömürün depolanıp kazanlara gönderildiği sistem .....	8
Şekil 2. 2	Toz kömürün doğrudan yakıldığı sistem .....	9
Şekil 2. 3	Silindirik değirmen .....	10
Şekil 2. 4	Sarkaçlı tip değirmen .....	11
Şekil 2. 5	Vurmalı tip değirmen .....	11
Şekil 2. 6	Türbülanslı tipten toz kömür yakıcı .....	13
Şekil 2. 7a	Türbülanslı tip kömür yakıcısının ocak duvarına yerleştirilişi .....	14
Şekil 2. 7b	Türbülanslı tip için düzenlemeler .....	14
Şekil 2. 7c	Doğrusal akışlı tip için düzenlemeler .....	14
Şekil 2. 8	Kızdırıcılar .....	16
Şekil 2. 9	Ekonomizer .....	19
Şekil 2. 10	Hava ısıtıcıları .....	22
Şekil 3. 1	Sabit ızgara üzerinde yakma sistemi .....	24
Şekil 3. 2	Akışkan yataklı yakma sistemi .....	25
Şekil 3. 3	Pülverize kömür yakma sistemi bulunan santralin şematik resmi .....	26
Şekil 5. 1	Kömürün nem içeriği .....	43
Şekil 5. 2	Isıl işlem öncesi ve sonrası kömür bünyesindeki mevcut nemin davranımı .....	44
Şekil 5. 3	Kömürün poroz yapısındaki çatlaklar, açık ve kapalı porların görünüşü ....	51
Şekil 6. 1	Yanma odası sıcaklığına bağlı olarak $NO_x$ oluşumu .....	56
Şekil 6. 2	$SO_3$ emisyonunun yanma odası sıcaklığına ve hava fazlalığına göre değişimi .....	58
Şekil 7. 1	Sisin güneş ışınlarını engellemesi .....	66
Şekil 8. 1	Kömür ve safsızlıkları .....	68
Şekil 8. 2	Emisyonların hava fazlalığına bağlı olarak değişimi .....	71
Şekil 8. 3	Kireçtaşı ile kükürt dioksit tutma reaksiyonu .....	71
Şekil 8. 4	Bir atalet ayırıcının çalışma prensibi .....	72
Şekil 8. 5	Aktif kokla duman gazlarındaki $SO_2$ ve $NO_x$ 'in birlikte giderimi .....	73
Şekil 9. 1	Psikometrik diyagram .....	78
Şekil 9. 2	Taze hava giriş sıcaklığı ile kazan verimi arasındaki ilişkisi .....	83
Şekil 9. 3	Kazan çıkışındaki oksijen oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki .....	84
Şekil 9. 4	Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki ..	84
Şekil 9. 5	Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki .....	85
Şekil 9. 6	Taze hava giriş sıcaklığı ile kazan verimi arasındaki ilişkisi .....	88
Şekil 9. 7	Kazan çıkışındaki oksijen oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki .....	89
Şekil 9. 8	Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki ..	89

Şekil 9. 9	Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki.....	90
Şekil 9. 10	Taze hava giriş sıcaklığı ile kazan verimi arasındaki ilişkisi.....	93
Şekil 9. 11	Kazan çıkışındaki oksijen oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki.....	94
Şekil 9. 12	Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki ..	94
Şekil 9. 13	Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki.....	95
Şekil 9. 14	Taze hava giriş sıcaklığı ile kazan verimi arasındaki ilişkisi.....	98
Şekil 9. 15	Kazan çıkışındaki oksijen oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki.....	99
Şekil 9. 16	Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki ..	99
Şekil 9. 17	Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki.....	100
Şekil 9. 18	Taze hava giriş sıcaklığı ile kazan verimi arasındaki ilişkisi.....	103
Şekil 9. 19	Kazan çıkışındaki oksijen oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki.....	104
Şekil 9. 20	Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki	104
Şekil 9. 21	Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki.....	105

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Birinci havanın toplam havaya oranı .....	12
Çizelge 3. 1 Kömür yakma sistemleri ve özellikleri .....	27
Çizelge 5. 1 Kömürün kimyasal bileşiminin değişimi .....	39
Çizelge 5. 2 Kömürlerin A.S.T.M sınıflandırması .....	41
Çizelge 5. 3 Bazı kömür ve kömür ürünlerinin ısı iletkenlik katsayıları ile ortalama özgül ısıları .....	49
Çizelge 5. 4 Türk linyitlerinin kükürt içerikleri .....	50
Çizelge 5. 5 Türk linyitlerinin kül içerikleri .....	51
Çizelge 6. 1 Karbon monoksitin fiziksel özellikleri .....	54
Çizelge 6. 2 Karbon dioksitin fiziksel özellikleri .....	55
Çizelge 6. 3 Azot monoksit ve azot dioksitin fiziksel özellikleri .....	57
Çizelge 6. 4 Kükürt dioksit ve kükürt trioksidin fiziksel özellikleri .....	59
Çizelge 8. 1 Kömürlerin içerdiği mineral maddeler .....	69
Çizelge 8. 2 Yaş yıkama yöntemleriyle duman gazlarından kükürt giderimi .....	74
Çizelge 9. 1 03.03.2012 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler .....	81
Çizelge 9. 2 03.03.2012 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler .....	82
Çizelge 9. 3 03.03.2012 tarihli kayıp yüzdeleri ve kazan verimi .....	83
Çizelge 9. 4 12.05.2011 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler .....	86
Çizelge 9. 5 12.05.2011 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler .....	87
Çizelge 9. 6 12.05.2011 tarihli kayıp yüzdeleri ve kazan verimi .....	88
Çizelge 9. 7 13.10.2010 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler .....	91
Çizelge 9. 8 13.10.2010 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler .....	92
Çizelge 9. 9 13.10.2010 tarihli kayıp yüzdeleri ve kazan verimi .....	93
Çizelge 9. 10 22.06.2011 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler .....	96
Çizelge 9. 11 22.06.2011 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler .....	97
Çizelge 9. 12 22.06.2011 tarihli kayıp yüzdeleri ve kazan verimi .....	98
Çizelge 9. 13 24.02.2012 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler .....	101
Çizelge 9. 14 24.02.2012 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler .....	102
Çizelge 9. 15 24.02.2012 tarihli kayıp yüzdeleri ve kazan verimi .....	103
Çizelge A. 1 03.03.2012 tarihli kömür analiz raporu .....	111
Çizelge A. 2 12.05.2011 tarihli kömür analiz raporu .....	112
Çizelge A. 3 22.06.2011 tarihli kömür analiz raporu .....	112
Çizelge A. 4 24.02.2012 tarihli kömür analiz raporu .....	113
Çizelge A. 5 13.10.2010 tarihli kömür analiz raporu .....	113
Çizelge B. 1 Baca gazı emisyon değerleri .....	114

# PÜLVERİZE KÖMÜR SANTRALLERİNDE KAZAN VERİMİ VE VERİME ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Ahmed DÜZCAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Türkiye’de elektrik üretiminde PC kazanlı termik santraller önemli bir paya sahiptir. Bu santrallerin yaşlarının ilerlemiş olması başta yakma sistemleri olmak üzere birçok işletme problemine ve performans kayıplarına neden olmaktadır. Özellikle kazan ve yakma sistemi kaynaklı performans kayıplarının azaltılabilmesi için kazanların yakma sistemlerinin incelenerek yanma optimizasyonunun yapılması gerekmektedir. Yanma optimizasyonu ayrıca dizayn kömüründen çok farklılaşan mevcut kömür özelliklerine kazanın ayarlanarak, kazandan daha iyi performans alınması içinde gereklidir.

Bu çalışmada Türkiye’de yaygın olarak kullanılan PC kazanlarının yakma sistemleri incelenerek, yanmaya etki eden parametreler belirlenmiş ve yanma optimizasyonu için gereken hususlar belirtilmiştir. Ayrıca sistemde verime etki eden parametreler incelenerek kazan verimi hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pülverize kömür, yakma sistemi, yanma optimizasyonu, kazan verimi

## ABSTRACT

---

# EFFICIENCY OF BOILER IN PULVERIZED COAL POWER PLANT AND EXAMINATION OF PARAMETERS AFFECTING THE EFFICIENCY

Ahmed DÜZCAN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

PC boiler thermal power plant to generate electricity have a great share in Turkey. These aged power plants cause first firing systems, many business problems and performance losses. By examining the firing systems of boiler, combustion optimization has to be done in order to reduce the performance losses of boiler and firing systems. Combustion optimization is also necessary to gather better performance from boiler by arranging boiler to existing coal which has different properties from design coal.

In this work, the parameters affecting combustion were determined and necessary cases for the optimisation of combustion was stated by examining the combustion system of PC boilers used commonly in Turkey. Also, the efficiency of the boiler was calculated by examining the parameters which affect the efficiency on the system.

**Keywords:** Pulverized coal, firing systems, combustion optimization, boiler efficiency

---

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES



### GİRİŞ

Bu bölümde pülverize kömür kazanlarında yakma sistemleri ve yanma optimizasyonu ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Pülverize kömür kazanları, kazanlarda bulunan yakma sistemleri, kömür ve yanma ile ilgili yapılan tezler, makaleler, vs. irdelenmiştir. Ayrıca yanma sonu oluşan emisyonlar ve bu emisyonların nasıl minimize edileceği ile ilgili makaleler de incelenmiş ve sonrasında tezin amacı anlatılmıştır.

#### 1.1 Literatür Özeti

Hiçyılmaz vd. [1] yaptıkları çalışmada kömürün yıkanması sonrasında kül miktarının azaldığını, aynı zamanda uçucu madde miktarı, sabit karbon miktarı ve ısı değerinin ise arttığını gözlemlemişlerdir. Yıkama sonucunda kömür külünün % 62'si uzaklaştırılarak % 20 kül miktarı olan temiz kömür elde edilmiştir. Isıl miktarında % 100'lük, sabit karbon miktarında ise % 10-20 arasında bir artış meydana gelmiştir. Fakat yıkanmış kömür yıkanmamış kömüre göre daha uzun sürede yanmaktadır. Bu çalışmada farklı boyutlarda 4 kömür kullanılmıştır. Kullanılan bu kömürlerde 3 bölge olduğu saptanmıştır. Birinci bölgede, nem buharlaşmakta, ikinci bölgede uçucu madde uzaklaşmakta ve sabit karbon yanmakta, üçüncü bölgede ise mineral maddeler bozunmaktadır.

Duranay ve Pehlivan [2] yaptıkları çalışmada havanın hızının kömürün ısınmasında, tutuşmasında ve uçucu maddelerin yanmasında etkili olduğunu fakat karbon yanmasında fazla etkili olmadığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca tane çapının artmasıyla karbon yanma zamanı artmıştır ve karbon yanma olayınca sabit karbon yüzdesinin önemli olduğu görülmüştür.

Akar [3] yaptığı çalışmada aynı yakma sistemi ile çalışan farklı santrallerin cüruflaşma eğilimlerinin farklı olmasında kömürün kimyasal içeriğinin farklı olmasının önemli bir

etken olduğunu vurgulamaktadır. Bazı santrallerde kuvars veya  $Al_2O_3$  oranı yüksek olan bileşenin, kömür ile ilave edilmesi sonucunda cüruflaşma eğiliminin azaldığı saptanmıştır.

Akkoyunlu [4] Türkiye’de bulunan çeşitli kömür santrallerinde kullanılan yüksek nem miktarına sahip kömürlerin kazana gönderilmeden önce kurutulması sonucunda nem miktarının önemli ölçüde azalacağını ve bunun sonucunda ise kazana giren yakıt miktarının azalacağını, buna bağlı olarak baca gazı emisyonlarının da azalacağını vurgulamaktadır. Ayrıca kurutma işleminin diğer faydaları ise, az yakıt kullanılacağı için daha az hava kullanılacak ve fanlar daha az enerji harcayacaktır. Daha az yakıt kullanıldığı için atık kül miktarında da azalma olacaktır. Kurutma işlemi öncesi gerekli olan enerjinin sağlanması için harcanan kömür miktarı, kurutma işlemi sonrasında aynı enerji miktarının elde edilmesi için gereken kömür miktarından daha fazladır. Dolayısıyla kurutma işlemi sonrasında verimde de artış meydana gelmektedir. Ayrıca kömür değirmenlerinde harcanan güç ve bakım-onarım işlerinde de kurutma öncesine göre azalmalar meydana gelecektir. Nem miktarının azaltılması sonucunda yıllık olarak % 15-20 arasında yakıt tüketiminde azalma meydana gelmektedir. Kazan veriminde ise % 5-10 arasında artış meydana gelmektedir.

İlten [5] 5 mm ile 80 mm tane irilik aralıklarındaki kömürlerde yapılan deney sonucunda; 20-30 mm tane irilik aralığındaki kömürlerin yakılması sonucunda CO emisyonları sınır değere yakın olmaktadır. Diğer boyutlardaki kömürlerde ise CO emisyonları istenmeyen seviyelere çıkmaktadır. Yapılan deney sonucunda ise,  $SO_2$  emisyonlarının tane iriliğine bağlı olmadığı saptanmıştır. Ayrıca,  $SO_2$ ’yi azaltmak için kömür ile  $CaCO_3$  karıştırılmış ve  $CaCO_3/S$  oranının artışına göre önemli ölçüde  $SO_2$  emisyonlarında azalma olmuştur. Bu oranın artışı ıslilikte azalma meydana getirmekte fakat CO emisyonlarını artırmaktadır. Yakma havasının değişimi  $SO_2$  ve ısliliği değiştirmemektedir. Minimum CO emisyonunu elde etmek için hava fazlalık katsayısının 1,7 alınması gerektiği belirtilmiştir.

Demirbaş [6] yapmış olduğu çalışmada partikül çapı ile yanma odası sıcaklığının ters orantılı olarak değiştiğini gözlemlemiştir. 3 farklı çapta (ortalama 135  $\mu m$ , ortalama 125  $\mu m$ , ortalama 150  $\mu m$ ) kömürler kullanılmıştır. Partikül çapının azalması kömür yanma oranını artırmaktadır. Yapılan deneyde 100-150  $\mu m$  arasındaki kömürlerde tam yanmanın (% 100) gerçekleştiği görülmüştür. Hava hızının değişmesiyle emisyonların nasıl değiştiği konusunda da bir analiz yapılmış ve bu analizde hız 15 m/s alınmıştır. Bu

hız değeri değiştirilerek emisyonların ve yanma süresinin nasıl değiştii hakkında da araştırma yapılmıştır. Hız artırılıp azaltılarak veriler elde edilmeye çalışılmıştır. Havanın hızının değişmesi yanma süresini de değiştirmektedir. Hava hızı düştükçe yanma süresi artmaktadır. Dolayısıyla oksidasyon artacağı için, eksik yanma azalacak ve tam yanma olacaktır. Hava hızının artması CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmakta, CO emisyonlarını ise artırmaktadır.

Avcı [7] Türkiye'deki linyitlerin düşük kaliteli olması, aynı sahada bulunan linyitlerin bile farklı özelliklere sahip olması santral verimini etkilemekte ve tüketilen yakıt miktarı artmaktadır. Bu olumsuzlukların önüne geçmek için Orhaneli, Soma-B ve Çayırhan termik santrallerinde kömürlerin yıkanması gerektiği, Muğla çevresinde bulunan Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy (Gökova) termik santrallerinde ise harmanlama ve homojenizasyon işlemlerinin yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Bilirgen [8] makalesinde rehabilitasyon ve iyileştirmeleri ekonomik ve çevresel açıdan analiz etmiştir. Termik santrallerde çevreye zarar veren NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Hg ve toz emisyonların azalmasıyla daha sağlıklı bir yaşam sürülebileceğinden bahsetmektedir.

Doğan vd. [9] yapmış oldukları araştırmada Türkiye'de bulunan bazı linyitlerin öğütülebilirliklerinin rutubete bağlı olarak nasıl değiştiiğini gözlemlenmişlerdir. Yüksek rutubetteki kömürlerin tanelerinin tutunma eğilimi fazla olduğundan dolayı kısıtlı hareket etmekte ve daha fazla öğütme işlemine maruz kalmaktadırlar. Bundan dolayı öğütülebilirlik indeksi artmaktadır. Rutubet miktarı azaldıkça kömür tanecikleri rahat hareket ettiklerinden öğütme işlemine fazla tabi tutulmayacaklardır.

Hacıfazlıoğlu [10] makalesinde çok sayıda kömür öğütme değirmenlerinin olduğunu, kömürün özelliklerine göre istenilen tane boyutunda hangi değirmenin ekonomik bir şekilde öğütme işlemi gerçekleştireceği konusunda dikkatli olunması gerektiğini vurgulamaktadır.

Çürüksulu [11] yapmış olduğu çalışmada kazan enerji denge modeli çıkarmıştır. Bu modelde alt ısıl değeri 1300 kcal/kg olan linyitle çalışan 150 MW lık bir termik santralin tasarımı yapılmıştır. Çalışma sonunda model ile gerçek şartlar arasında çok büyük farklar olmamıştır. Stabil yanma için gerekli olan kömür kurutma oranını, kömür öğütme inceliğini ve kazan boyutlarını bu model üzerinden hesaplamıştır. Ayrıca kömürü kurutmak için yüksek ekserjili (1000 °C) yanma gazını kullanmak yerine,

düşük ekserjili ara buhar uygulamalı düşük kurutma oranı kullanılarak (% 60- % 30) kömür kurutulursa verimde artış meydana gelmektedir.

Ikeda vd. [12] yapmış oldukları araştırmada, sub-bitümlü kömür ile yüksek nem miktarına sahip bitümlü kömürün harmanlanması sonucu oluşan kömürler üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu araştırmada, harmanlanmış kömürün uçucu kül içerisindeki yanmamış karbon konsantrasyonu harmanlanmamış kömüre göre yüksektir. Ayrıca sekonder havanın girdap kanat açısının optimize edilmesiyle hem NO<sub>x</sub> konsantrasyonları hem de uçucu kül içerisindeki yanmamış karbon miktarında azalma görülmüştür.

Huang vd. [13] yapmış oldukları çalışmada alev görüntü işleme tekniğine bağlı olarak kömür yanmasını optimize etmişlerdir. Optimize edilen ikincil hava ile, hava/yakıt oranının akış hızı güçlendirilmiş ve stabilize yanma koşullarında kazan elde edilebilmiştir. Optimizasyon sonrasında kazan verimi artmakta ve NO<sub>x</sub> emisyonları ise azalmaktadır.

Zhou vd. [14] yapmış oldukları çalışmada 1000 MW lık teğetsel kömür kazanında SOFA'nın NO<sub>x</sub> emisyonlarına olan etkisini incelemişlerdir. O<sub>2</sub> konsantrasyonu ve kazan sıcaklığının NO<sub>x</sub> oluşumuna önemli derecede etkili olduğunu yapmış oldukları çalışmanın sonucunda görmüşlerdir. SOFA'dan yoğun bir şekilde havanın enjekte edilmesiyle O<sub>2</sub> konsantrasyonu hızlı bir şekilde artmaktadır ve hemen NO<sub>x</sub> oluşmaktadır. Birden fazla SOFA grubunun olduğu sistemlerde O<sub>2</sub> konsantrasyonu stratejik olarak artmaktadır ve NO<sub>x</sub> oluşumu sınırlandırılmaktadır.

Fang vd. [15] yapmış oldukları çalışmada sekonder hava tabakasının eğiminin değiştirilmesiyle kazandaki performans değişiminin nasıl olacağını incelemişlerdir. Bu çalışmada 4 farklı eğim açısı (0°, 15°, 25°, 35°) kullanılmıştır. Ayrıca 300 MW, 240 MW ve 190 MW yüklü santrallerde bu eğim açısının değişmesiyle kazan veriminde sırasıyla % 3.55, 3.31 ve 2.20 artış meydana gelmiştir. NO emisyonlarında ise sırasıyla % 28.65, 19.47 ve 12.53 azalma meydana gelmiştir. Bu çalışma sonucunda optimum açı değerinin ise 25° olduğu saptanmıştır.

Pisa [16] yapmış olduğu çalışmasında pülverize kömür ile talaşın karışımıyla oluşan yakıtı yakarak NO miktarında nasıl değişimlerin olduğunu gözlemlemeye çalışmıştır. Burada matematiksel model ile hesaplanan NO değerleri, ölçülen NO değerlerinden daha düşük olmuştur. İlk olarak sadece pülverize kömür yakılmış (<60 µm) ve tüm

şartlarda birincil hava katsayısını sabit kabul ederek hesaplanan NO değeri 428 mg/Nm<sup>3</sup> iken, ölçülen NO değeri ise 371 ppm (496.4 mg/Nm<sup>3</sup>) dir. Pülverize kömür (<90 µm) ile ağırlıkça % 10 talaş karışımıyla oluşan yanma sonucunda hesaplanan NO değeri 402 mg/Nm<sup>3</sup> iken, ölçülen NO değeri ise 480 ppm (642.2 mg/Nm<sup>3</sup>) olmaktadır. Bu şekilde ağırlıkça % 20, % 30 ve % 40 talaş ile pülverize kömür karıştırılarak yanma işlemi gerçekleştirilmiş ve talaş miktarı arttıkça oluşan NO emisyonlarında azalma meydana gelmiştir.

Aksan [17] yapmış olduğu çalışmada yerel kaynak olarak kullanılan linyitlerimizin uygun teknolojiler ile değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Kömür ile çalışan santrallerde kömürün kalitesinin oldukça önemli olduğu, bunun için kömür ile ilgili çok sayıda analiz yapılarak uygun tasarım ve işletme değerlerinde kullanılması gerektiğini söylemektedir. Ayrıca farklı fiziksel yöntemlerle kömürün kalitesinin iyileştirilmesi sonucunda emisyonlar azalmakta ve verimde istenilen değerlere yaklaşılabilmektedir. Ülkemiz linyitlerinin yüksek kükürt oranına sahip olmasından dolayı baca gazındaki kükürt içerikli gazların, baca gazı desülfürizasyon tesisi kurularak veya kireçtaşı kullanılarak azaltılabileceği vurgulanmaktadır.

Yapılan bir çalışmada kömürlerin öğütülme işlemi istenilen seviyede olmadığı zaman yanma veriminin düştüğü ve bir miktar kömür yanmayarak cürufu meydana getirdiği görülmüştür. Dikey, pinli, halkalı gibi farklı değirmen tipleri olmasına rağmen, yapılan çalışmada dikey pinli bir karıştırma değirmen kullanılmıştır. 4 farklı çaptaki bilyaların (6.5, 5.5, 4.5, 3.5 mm) kullanılmasıyla farklı sürelerde (2.5, 5, 10, 20, 40, 60, 120, 240 saniye) öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı çaplardaki bu bilyalar (6.5, 5.5, 4.5, 3.5 mm) ile öğütme işlemi yapılarak ürünlerin çapları sırasıyla 19, 18, 16, 11 µm olarak elde edilmiştir. Burada bilya çapının azalmasıyla elde edilen ürünün çapının da azaldığı görülmektedir. Öğütme işlemi 60 saniyeyi aştığı zaman öğütme verimi azalmakta ve 120 saniyeden sonra öğütme işlemi gerçekleşmemektedir. Örnek olarak 3.5 mm çapındaki bilya ile yapılan çalışmada 2.5, 5, 10, 20, 40,60, 120 ve 240 saniyelik sürelerde öğütme işlemi yapılarak kömürün çapının sırasıyla 300, 95, 36, 21, 13, 11, 11 ve 11 µm olduğu gözlemlenmiştir.[18]

## **1.2 Tezin Amacı**

Türkiye'nin sahip olduğu en önemli yerli kaynak linyittir. Ancak Türkiye'de bulunan linyitlerin neredeyse hepsinin nem ve kül miktarı oldukça fazla olduğundan ısı

değerleri dünya ortalamasının çok altındadır. Bu nedenle en önemli yerli kaynak olan linyit elektrik üretiminde kullanılabilir. Ancak kömür kalitesinin düşük olması elektrik üretiminde de sorunları beraberinde getirmektedir. Bunların başlıcaları kazan ve ünite termik veriminin düşük olması, işletme sırasında yaşanan sorunların kaliteli kömürlere göre daha fazla olması, kömür kalitesinin kaynak bazında da sık sık değişmesi nedeni ile kazanlarda dizayn verimlerine çıkılamaması, kömürün istenen kalitede öğütülememesi, cüruf ve uçucu küldeki yanmamış karbon miktarlarının artması ve birim elektrik üretimi başına salınan emisyon fazlalığıdır.

Bu çalışmamızda, yakma sistemleri ve yanmaya etki eden faktörler incelenmiş, oluşan emisyonların yanma öncesinde, yanma sırasında ve yanma sonrasında alınabilecek önlemlerle azaltılabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, verime etki eden parametreler incelenmiş ve Orhaneli Termik Santrali'ndeki değerler kullanılarak kazan verimi hesaplanmıştır.

### **1.3 Hipotez**

Ülkemizde bulunan kömürlerin düşük kaliteli olması (nem ve kül miktarının yüksek olması) ve kalitesinin işletme sırasında sık sık değişmesi hem birim elektrik üretim maliyeti hem de ünite termik verimi açısından olumsuz yönde etkilemektedir. Kömür kalitesinin düşük ve sürekli değişmesi özellikle kazan verimini önemli oranda etkilemektedir. Bu nedenle genel olarak yanma optimizasyonu olarak adlandırılan, kömürün kalitesine bağlı olarak kazan ayarlarının ( kömür/hava oranı, birincil ve ikincil hava miktarları vb.) yapılması gerekmektedir. Özellikle eski kazanlarda bu ayarların yapılamaması kazan verimini düşüren cüruf ve uçucu küldeki yanmamış karbon miktarının artmasına, baca gazı sıcaklıklarının yükselmesine, kazanda cüruf oluşumunun artmasına ve ocak çıkış sıcaklıklarının artarak kazanın ısı dengesinin bozulması nedeni ile kazan boru patlaklarının artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden sistemin verimini artırmak ve temiz enerji elde etmek için kömür kaynaklarımıza, kazan sistemlerinde, yanma öncesi ve sonrasında gerekli olan işlemler yapılmalıdır.

# PÜLVERİZE KÖMÜR KAZANI VE SİSTEMDE BULUNAN BAZI EKİPMANLAR

### 2.1 Toz Kömür Kazanları

Buhar santrallerindeki mekanik yüklemeli ızgaralar, belirli bir kapasiteden sonra yeterli olamamaktadır. 80 t/h buhar kapasitesinden sonra mekanik ızgaralar ile üretim mümkün değildir. Izgara boyutları arttıkça yanmanın kontrolü, hava fazlalık katsayısının bölgesel ayarı güçleşmektedir. Ayrıca çok küllü ve uçucu maddesi az yakacakların ızgara üzerinde yakılmasında çeşitli güçlüklerle karşılaşmaktadır. İşte büyük kapasitelerdeki buhar üretimini gerçekleştirmek ve küllü çok kömürleri yakmak için toz kömür kazanları devreye sokulmuştur. [19]

Pülverize yakma sistemlerinde, ince toz halinde öğütülen kömür parçacıkları, genelde sıcak hava (birinci hava) ile birlikte bir yakıcıdan püskürtülerek ocak içinde havada asılı olarak yakılır. Kömür tozlarının ocağa girmesinden hemen sonra (yaklaşık 2 saniye içinde) tutuşmasının sağlanabilmesi için, tozlar çok küçük (genellikle 0,1 mm çapında) olmalıdır. Ayrıca yanmanın tam olabilmesi için tozlar etrafına ikinci, bazen de üçüncü hava verilir. [19]

Büyük kapasitelerde yegane alternatif olarak ortaya çıkan toz kömür kazanlarının diğer üstünlükleri şunlardır: [19]

1. Aynı miktar kömürün toz haline getirilmesi ile parçalı hali karşılaştırıldığında, toz halindeki kömürün dış yüzeyinin çok fazla artması nedeniyle, yanma için daha küçük hava fazlalık katsayısı ile çalışılabilir. Bu şekilde baca kayıpları

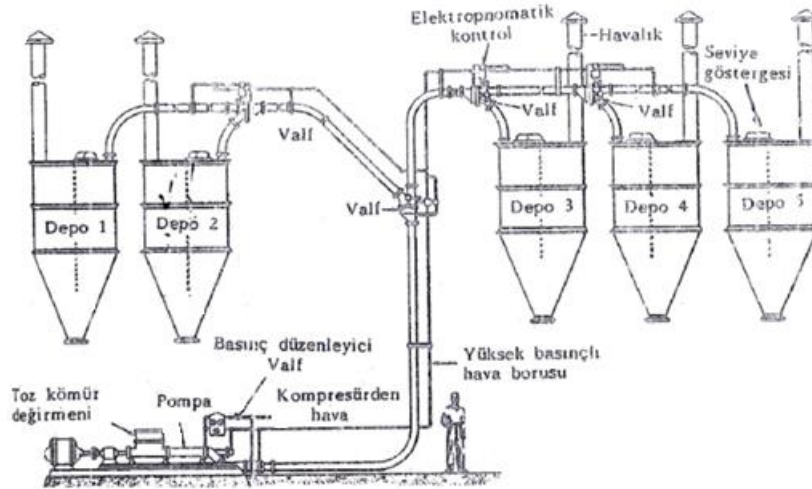
azalır, yanma iyileşir, duman kanalları boyutları, vantilatör ve aspiratör güçleri küçültülür.

2. Her kalitede ve içerikteki kömür bu sistem yardımı ile yakılabilir. Isıl değeri küçük; külü bol linyitler, kömür madenlerindeki lavuar artıkları bu şekilde yakılarak değerlendirilebilir.
3. Toz kömür kazanlarında, hiçbir değişiklik yapılmadan sıvı ve gaz yakacaklar da yakılabilir.
4. Sistemi çalıştırmak için daha az insan gücüne ihtiyaç vardır, sistemin otomatik kontrolü daha kolaydır.

Sıralanan bu üstünlükleri nedeniyle, toz kömür kazanları kısa zamanda gelişmiş olup bugün büyük kapasiteli buhar kazanlarında tercih edilen sistemdir. Toz kömür kazanlarının belli başlı elemanları; [19]

1. Kömürü toz haline getiren değirmenler
2. Toz kömür yakıcıları
3. Kömür nemli ise kurutma için kullanılan tesisat (genellikle kazandan yüksek sıcaklıkta gaz alınarak değirmen içinde kurutma)
4. Toz kömürün taşınmasını ve yakılmasını sağlayan vantilatörler olarak sayılabilir.

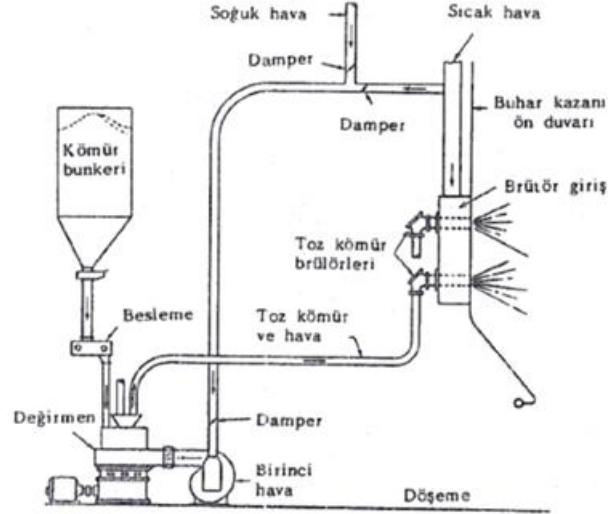
Toz kömür elde etmede iki prensip sistem vardır. Bunlardan birisi, kömür, merkezi bir sistemde toz haline getirilip, depolandıktan sonra birkaç kazanı beslemektedir. Bunlara ait şema Şekil 2.1 de verilmiştir. [19]



Şekil 2.1 Toz kömürün depolanıp kazanlara gönderildiği sistem [19]



İkinci sistem ise, toz kömürün depolanmayıp doğrudan yakıldığı yöntemdir. Bu halde her kazan kendisini besleyen toz kömür tesisatına sahiptir. Basitliği ve daha az yer kaplaması nedeniyle, modern işletmelerde bu sistem tercih edilmektedir. Türkiye'deki linyit yakıtlı santrallerde de her bir yakıcı grubu için değirmenin olduğu bu sistemler bulunmaktadır. Şekil 2.2 de bunlara ait bir prensip şeması görülmektedir. Doğrudan yakmalı sistemin yük ayarı, kömür beslemesi ve hava debisi ile yapılabilir. [19]



Şekil 2.2 Toz kömürün doğrudan yakıldığı sistem [19]

## 2.2 Toz Kömür Değirmenleri

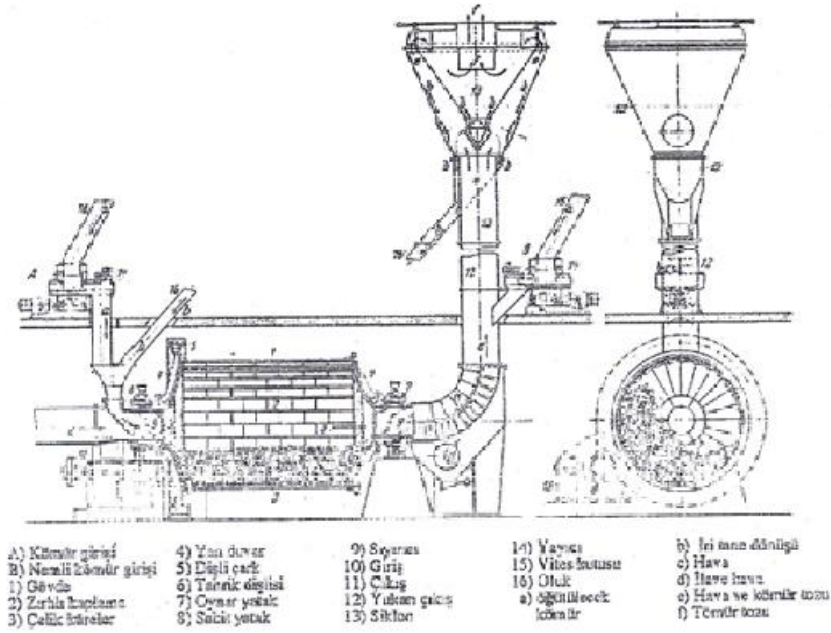
Ocaklardan gelen parça kömürler, değirmenlerde öğütülerek toz haline getirilir. Santrale gelen kömürün tane iriliği 40 mm değerinden fazla ise değirmenlere gönderilmeden önce bu parçalar kırıcılar yardımıyla 30-40 mm aralığında kırılır. Ayrıca kömür içindeki nem de fazla ise, kömür kurutuculardan geçirilerek içindeki nem miktarı azaltılmalıdır. Kömür içindeki nem miktarı % 8 değerini aştığında öğütülmesi çok zorlaşır. Yaklaşık olarak nem miktarı yarı yarıya düşürüldüğünde, değirmenlerin verimi iki kat artmaktadır. Özellikle kömür içindeki nem oranı % 15 değerini aşınca sistemde ek bir kurutucu kullanmak gerekir. [19]

Toz kömür değirmenleri çeşitli şekillerde yapılabilir. Bunlardan istenen ortak özellikler şunlardır: [19]

1. Yük değişimlerini anında karşılayabilmeli, otomatik kontrol imkanı olabilmelidir.
2. Öğütücü elemanların ömürleri uzun olmalıdır.

3. Geniş bir aralıkta kömür özellikleri için kolaylıkla kullanılabilir.
4. Kapladığı hacim az olmalıdır.
5. Az güç harcamalıdır.

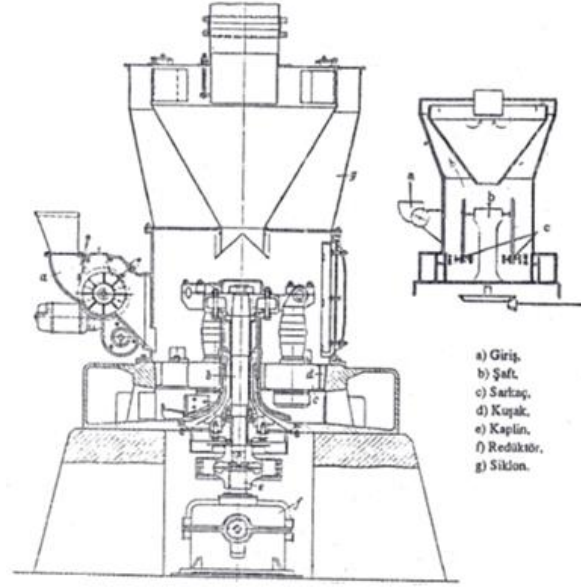
Toz kömür değirmenlerinin en eskisi çimento üretimindeki öğütücülere benzeyen silindirik değirmenlerdir. Kömürün öğütme işi bunların içindeki çelik küreler yardımıyla yapılmaktadır. Silindir döndükçe küreler yukarı çıkmakta ve aşağı düşerken kömür tanelerini parçalamaktadır. Silindirin dönme hızı yaklaşık 25 d/d değerindedir. Küreler zamanla aşındığında yenileri takılır. [19]



Şekil 2.3 Silindirik değirmen [19]

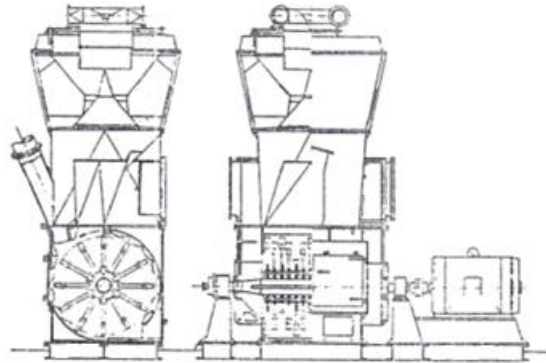
Kömür silindirin bir ucundan girer, içinde toz haline gelince de sıcak hava ile sürüklenerek, silindirin diğer ucundan çıkar. Sürüklenen kalın kömür taneleri bir siklonda ayrılarak tekrar değirmene geri gönderilir. Bu tip değirmen basit ve dayanıklıdır, özellikle sert ve çok küllü kömürler için çok uygundur. Buna karşılık silindirik değirmenlerin kapladığı hacmin fazla olması, güç ihtiyacının sabit olması nedeniyle küçük yüklerde ekonomik olmaması gibi sakıncaları vardır. [19]

Sarkaçlı tipten değirmenlerde, merkezkaç kuvvetle açılan silindir veya küre şeklindeki elemanlar, bir kuşak içinde 100-150 d/d hızla dönerler. Bu esnada kuşak ile elemanlar arasındaki kömür taneleri ezilir. Toz haline gelen kömür tozları hava ile emilirken, büyük kömür taneleri siklondan dökülerek tekrar ezilir. Bu değirmenin prensip şeması Şekil 2.4 te görülmektedir. [19]



Şekil 2.4 Sarkaçlı tip değirmen [19]

Vurmalı tipten olan değirmenlerde, kömür paletler ile vurularak toz haline getirilir. Paletlerin dönme hızı 1000-1500 d/d değerindedir. Bunlara ait bir örnek Şekil 2.5 te verilmiştir. [19]



Şekil 2.5 Vurmalı tip değirmen [19]

Değirmenlerde harcanan güç, değirmenin tipine, kömürün cinsine, kapasitesine, içindeki nem miktarına, öğütülme derecesine bağlıdır. Pratik olarak değirmenlerde 10-20 kWh/ton (kömür) değerinde bir elektrik sarfıyatı göz önüne alınır. [19]

### 2.2.1 Toz Kömürün Özellikleri

Toz kömürün taşınmasında rol oynayan birinci hava, yanma için gerekli toplam havanın belirli bir yüzdesidir. Bu yüzden kömür cinsine çok bağlıdır. Uçucu madde miktarı fazla yakacalarda birinci hava yüzdesi çok, uçucu maddesi az yakacalarda ise az almak

gerekir. Bu yüzdelere ait bazı pratik değerler Çizelge 2.1 de görülmektedir. Uçucu maddesi çok kömürlerde ikinci hava yeterli olabilirken, az olan kömürlerde ikinci havadan başka ocağa üçüncü bir hava da vermek gerekebilir. Borular içinde kömür tozları ikinci hava ile taşındığından, bu havanın hızı önemli rol oynar. [19]

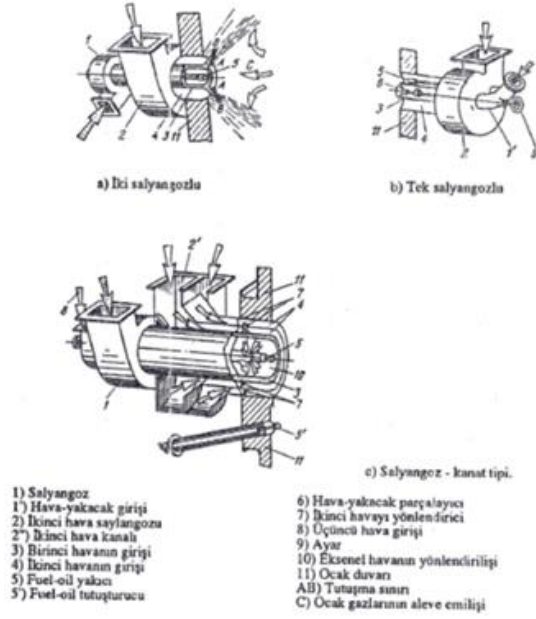
Çizelge 2.1 Birinci havanın toplam havaya oranı [19]

Yakacak Cinsi	Uçucu Madde(%)	Önerilen Birinci Hava (%)
Antrasit	5-10	15-30
Kuru Kömür	10-20	25-40
Yağlı Kömür	24-25	35-50
Gazhane Kömürü	27-28	45-60
Uzun Alevli Kömür	29-30	60-75

### 2.3 Toz Kömür Yakıcıları (Bekleri)

Havayla taşınan toz kömür, çeşitli konstrüksiyonlarda yapılabilen bekler yardımı ile ocak içinde yakılır. Beklerden elde edilen alev, kararlı olmalı, şeklinin değiştirilebilmesi ve ocak içinde istenen bölgelere ayarlanabilmesi kontrollü olarak yapılabilmelidir. Ayrıca yanmanın iyi olabilmesi için hava ile yakacak iyi bir şekilde karışabilmelidir. Daha önce de belirtildiği gibi, kömür tozu değirmenden beklere kadar birinci hava ile taşınır. Birinci hava ile kömür tozu bekin ortasından, ikinci ve üçüncü hava ise beklerin çevresinden veya yakınından üflenir. [19]

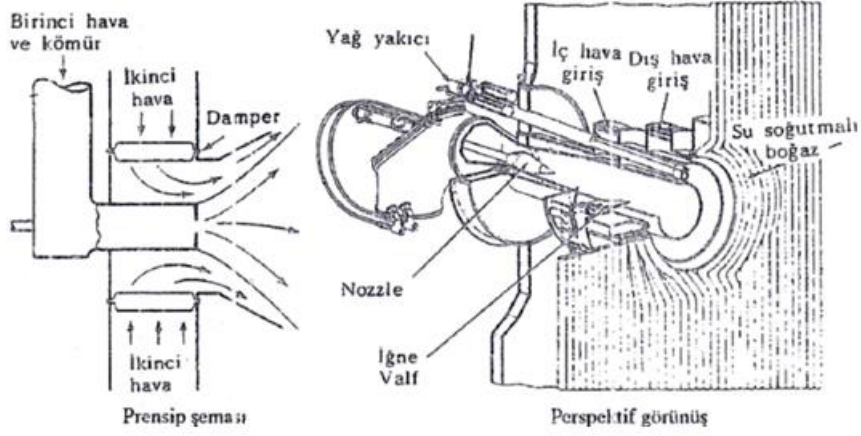
Pratikte en çok kullanılan toz kömür yakıcıları, türbülanslı tipten olanlardır. Bunların içine konulmuş kanatlar yardımıyla hem birinci hem de ikinci havaya dönme hareketi verilir. Bu şekilde kömür ile havanın çok iyi bir şekilde karışımı sağlanır. Şekil 2.6 da türbülanslı tipten toz kömür yakıcıları görülmektedir. Birinci hava yakacak hızı genellikle  $u_1 = 16-25$  m/s iken, ikinci hava hızı  $u_2 = (1,3-1,4) u_1$  olarak seçilir. Türbülanslı tipten yakıcılar her çeşit katı yakacak için kullanılabilmesine rağmen çoğunlukla düşük uçucu maddeli yakacaklar için uygundur. [19]



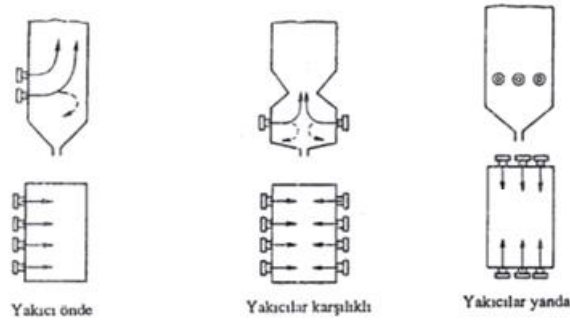
Şekil 2.6 Türbülanslı tipten toz kömür yakıcı [19]

Pratikte kullanılan ikinci tip toz kömür yakıcıları doğrusal akışlı olanlardır. Bunlarda hava jet şeklinde çıktığından, akıştaki türbülans ile birinci ve ikinci havanın karışımı azdır. Etkili bir yanma kazan duvarlarına uygun yerleştirme ile sağlanabilir. Sabit tipten yapılabildikleri gibi eğilebilen tipleri de vardır. Genelde yüksek uçucu maddeli linyit, turba gibi yakacaklar için uygundur. Birinci hava yakacak hızı  $u_1 = 20-28$  m/s, ikinci hava hızı  $u_2 = (1,5-1,7) u_1$  değerlerindedir. Termik santrallerin bazılarında aynı anda birkaç yakacağın yakılması arzu edilir. Esas yakacak toz kömür olmasına rağmen, bu tip yakıcı ile istenirse fuel-oil ve doğal gaz da yakılabilir. [19]

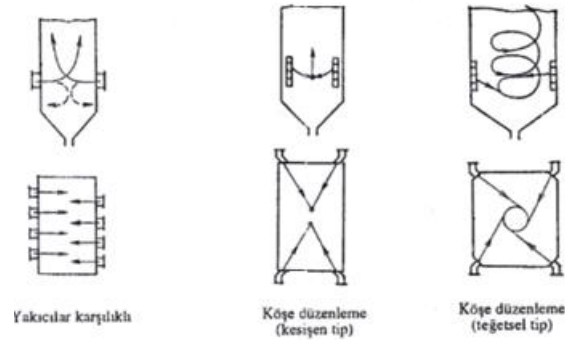
Toz kömür yakıcıları buhar kazanı ocağına, yakacak cinsi ve kazan konstrüksiyonu göz önünde tutularak çeşitli şekillerde yerleştirilebilir. Şekil 2.7a da türbülanslı toz kömür yakıcısının ocak duvarına yerleştirilişi, Şekil 2.7b de aynı tip yakıcının ocak duvarlarına yerleştirilişi düzenlemeleri, Şekil 2.7c de ise doğrusal akışlı tipin yerleştirilişi düzenlemeleri görülmektedir. [19]



Şekil 2.7a Turbulanslı tip toz kömür yakıcısının ocak duvarına yerleştirilişi [19]



Şekil 2.7b Turbulanslı tip için düzenlemeler [19]



Şekil 2.7c Doğrusal akışlı tip için düzenlemeler [19]

## 2.4 Kızdırıcılar

Asıl ısıtma yüzeylerinden çıkan ıslak buhara sabit basınçta ısı verilerek, buhar çevriminin veriminin artırılmasının sağlandığı elemandır. Kızdırma sıcaklığı ne kadar artarsa verim o kadar yükselir. Kızma sıcaklığını sınırlayan etken kızdırıcı malzemesinin mukavemetidir. Kızdırıcı tipleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: [20]

### 1. Konveksiyonlu kızdırıcılar

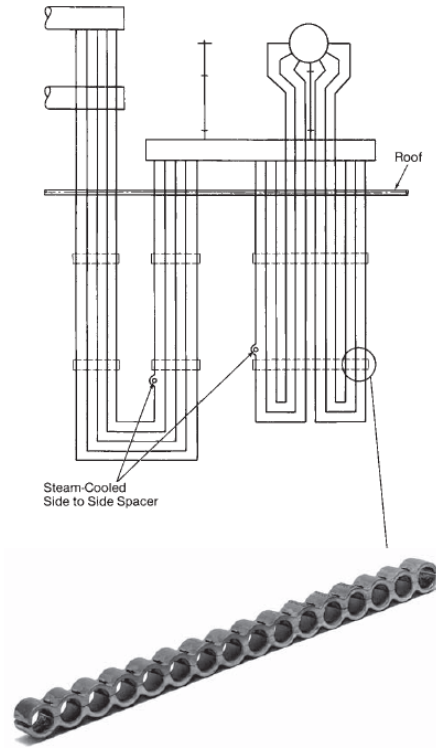
2. Radyasyonlu kızdırıcılar
3. Kombine kızdırıcılar
4. Ayrı ateşlenen kızdırıcılar

Pratikte genellikle büyük su hacimli kazanlar ile az eğimli su borulu kazanlarda yatay ve düşey konveksiyonlu kızdırıcılar, dik su borulu kazanlarda asılı tipten düşey konveksiyonlu kızdırıcılar, radyasyonlu kazanlarda ise radyasyonlu kızdırıcılar veya kombine kızdırıcılar kullanılır. [20]

Buhar kazanlarının asıl ısıtma yüzeylerinden çıkan ıslak buharın kuruluk derecesi 0,95-0,99 arasındadır. Bu ıslak buhara kızdırıcı adı verilen elemanlar içinde sabit basınçta ısı vererek kızdırmak mümkündür. Kızdırma işlemi, buhar çevriminin verimini arttırması bakımından faydalıdır. [20]

Kızdırma sıcaklığını sınırlayan etken kızdırıcı malzemesinin mukavemetidir. Genellikle bir kızdırıcının aşağıdaki görevleri yerine getirmesi beklenir. [20]

1. Isıl genleşmeleri karşılayabilecek bir konstrüksiyona sahip olmalıdır.
2. Yüksek sıcaklık, yüksek basınçtaki ani değişmelere dayanacak malzemedendir yapılmalıdır.
3. Bağlama yerlerinde conta kullanılıyor ise bunlar zamanla sıcak gazlardan bozulmamalıdır.
4. Dış ve iç tarafında biriken kül, kurum ve tortu kolaylıkla temizlenebilmelidir.
5. İstenilen bir kızma sıcaklığının ayarı ve otomatik kontrolü kolay olmalıdır.
6. Herhangi bir nedenle kızdırıcı içine su sürüklenmesi halinde bu su kolayca boşaltılabilmelidir.
7. Mümkün olduğu kadar küçük hacim kaplamalıdır.
8. İlk yatırım ve işletme masrafları az olmalıdır.
9. Hem duman hem de buhar tarafında basınç kaybı küçük olmalıdır.



Şekil 2.8 Kızdırıcılar [21]

### 2.4.1 Kızdırıcı Tipleri

Kızdırıcıların buhar kazanı içine yerleştiriliş yerine göre, konveksiyonlu, radyasyonlu veya her iki durumun karışımı olan kombine kızdırıcı tipleri vardır. [20]

#### 2.4.1.1 Konveksiyonlu kızdırıcılar

Doğrudan doğruya duman gazlarının yolu üzerine bazen de lokomotif kazanlarında olduğu gibi U şeklinde kıvrılarak büyük çaplı duman boruların içine yerleştirilir. Bunlar 450 °C kızma sıcaklığına kadar kullanılabilir. [20]

#### 2.4.1.2 Radyasyonlu kızdırıcılar

Yüksek basınç, yüksek kızdırma sıcaklığı ve büyük buhar kapasitesi istenen durumlarda kullanılır. Genellikle 30 bar dan büyük buhar basınçları için idealdir. Bu kızdırıcıların belli başlı üstünlükleri: [20]

1. Ocak sıcaklığı düştüğü için küller ergime sıcaklığına ulaşmadığından küllerin yüzeylere yapışarak ısı transferine kötü etkisi biraz daha azalmıştır.
2. Buhar yüküne göre kızgın buhar sıcaklığı sabit kalır.



Ayrıca bu kızdırıcıların yakacak cinsine bağlı olmaması üstünlük olarak söylenebilir.[20]

#### **2.4.1.3 Kombine kızdırıcılar**

Konveksiyonlu ve radyasyonlu kazanların üstünlükleri birleştirilerek kombine kızdırıcılar geliştirilmiştir. İşletme şartları ve buhar gücü değişikçe kızgın buhar sıcaklığının sabit bir değerde kalması üstün bir özelliktir. [20]

#### **2.4.1.4 Ayrı ateşlenen kızdırıcılar**

Bazı işletmelerin özelliği dolayısıyla buharın kızma işlemi kazandan başka bir yerde ayrı ateşlenen bir sistem içerisinde yapılır. Bu tip kızdırıcılara ayrı ateşlenen kızdırıcılar denir. Bu kızdırıcılar bir veya daha fazla kazandan beslenebilir. Kızgın buhar sıcaklığı çok hassas olarak ayarlanabilir. Çok düşük basınçlarda yüksek kızma sıcaklığına çıkmak mümkündür. Genellikle sıvı veya gaz yakacak kullanılır. Düşük buhar kapasitesinden dolayı kimya endüstrisi ve petrol rafinelerinde kullanılabilir. [20]

#### **2.4.1.5 Ara kızdırıcı**

Prensip olarak ara kızdırıcılar aynı radyasyonlu ve konveksiyonlu kızdırıcılara benzer yüksek sıcaklığa kadar kızma yaptıklarından duman gazlarının nispeten sıcak olduğu yerlere yerleştirilir. Kurum ve kül birikmesinin daha az olması nedeniyle ısı değeri küçük, kül miktarı fazla yakacaklarda radyasyonlu ara kızdırıcılar daha ekonomiktir.[20]

Sistemdeki toplam buhar debisindeki azalma nedeniyle tekrar kızdırma işleminin üstünlükleri; [20]

1. Buhar kazanı boyutları % 15-18 azalır.
2. Kazan besleme pompası gücü % 15-18 azalır, pompa boyutları küçülür.
3. Yoğuşturucu boyutları % 7-8 azalır.
4. Yakma kapasitesi % 5 azalır.
5. Besleme suyu ısıtıcıları boyutları azalır.

Üstünlüklere karşı sakıncaları; [20]

1. Sistemin ilk yatırım maliyeti artar.
2. Buhar türbini fiyatı artar.

3. Sistemin kontrol ve işletmesi biraz daha güçtür.
4. Türbin oturma alanı biraz daha fazladır.
5. Boru donanımı biraz daha karışıktır.

Kızdırıcılar, buhar kazanlarında elde edilen buharı kurutmak (kızgın buhar elde etmek) ve sıcaklığı yükseltmek amacıyla kullanılır. Kızdırıcı sayesinde buhar sıcaklığını yükseltmek için basıncı yükseltmeye gerek kalmaz. [20]

## **2.5 Ekonomizerler**

Kazan besleme suyu, kazanın asıl ısıtma yüzeylerine girmeden önce ekonomizer adı verilen elemanlar içinde duman gazları ile ısıtılabilir. Bu şekilde kazana gönderilen su ile buharlaşmakta olan su arasındaki sıcaklık farkı küçüldüğünden kazandaki ısı gerilmeler azalır, su içindeki gazların çıkışı kolaylaşır ve kazanın ısı verimi artar. [20]

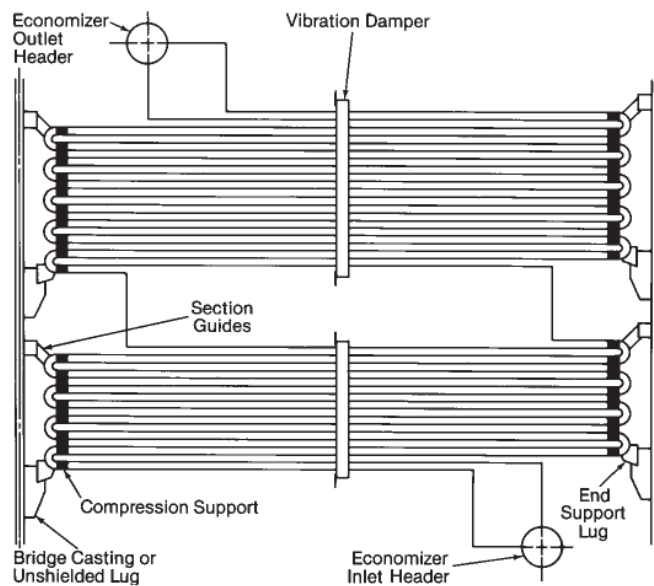
Özellikle yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında veya buhar basıncına bağlı olarak baca gazı sıcaklıkları yüksekse tavsiye edilir. Ekonomizer performansını etkileyen faktörlerden biri duman içinde kükürt oksit oranı, dolayısıyla korozyondur. Yakıt ne kadar temizse ekonomizer çıkışında baca gazı sıcaklığı o kadar küçük tutulabilir. [20]

Bir kazandan bacaya verilmek üzere çıkan duman gazları genellikle kazan çalışma rejimi sıcaklığından 40 °C ile 80 °C daha yüksek olmaktadır. Kazan çalışma sıcaklığı ve buna bağlı olarak kazan duman gazı çıkış sıcaklığı yükseldikçe, duman gazları vasıtasıyla çevreye atılan enerji miktarı da artmaktadır. Bacadan atılan bu atık ısının bir kısmının geri kazanılması, kazan veya sistem verimini yükselterek yakıt tasarrufu sağlayacaktır. Ekonomizerler, ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan çıkarak bacaya verilen duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü, bünyelerinde sirküle eden suya aktarmak suretiyle, geri kazanmak amacıyla kullanılır. Geri kazanılan bu ısı, kazan besleme suyuna verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, banyo, yıkama, vb. amaçlar için kullanılacak suya da verilebilir. Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı, kazanın çalışma rejimine, kazanın bünyesel verimine, kazan-brülör uyumuna ve yakıt cinsine bağlı olarak belli bir büyüklükte olur. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığını ise, kullanılan yakıtın cinsi ve ısının aktarılacağı akışkanın çalışma koşulları belirler. Bir ekonomizerde geri kazanılabilecek ısının büyüklüğü, kazan duman gazı çıkış sıcaklığına bağlı olduğu gibi duman gazları sıcaklıkları farkı ne denli büyük olursa geri kazanılan ısı, dolayısıyla verim artışı da o denli büyük olur. Ancak korozyona sebep olabilecek asit gazlarının yoğunlaşmasını önlemek için atık gazların sıcaklıklarının belli bir

derecenin altına indirilemeyeceği göz önüne alınmalıdır. Bir ekonomizerde, doğal gaz ve benzeri gaz yakıtlı kazanlarda 140 °C, motorin, fuel oil ve kömür yakıtlı kazanlarda 220 °C ve daha büyük duman gazı sıcaklıklarından ekonomik olarak yararlanmak olanaklıdır. Bir duman gazı ısı geri kazanım sisteminde ulaşılabilecek baca gazı sıcaklığının minimum seviyesi, kullanılan yakıtın cinsine bağlıdır. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığı, fuel oil yakıtlı kazanlarda 180 °C, motorin yakıtlı kazanlarda 150 °C, doğal gaz ve LPG yakıtlı kazanlarda 110 °C ye kadar düşürülebilir. [20]

Isı, buhar veya güç üretim tesislerinde ekonomizer kullanılmasıyla sağlanacak yararlar şunlardır: [20]

1. Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı ve yakıt cinsine bağlı olarak kazan veya tesis veriminde % 3 ile % 7 arasında verim artışı sağlanır.
2. Sağlanan verim artışına bağlı olarak, aynı kapasite için daha az yakıt harcanması veya aynı miktarda yakıt harcamı için daha fazla ısı üretimi gerçekleşir.
3. Kazanılan ısının kazan besleme suyuna verilmesi halinde, kazanın max. yüklerde dahi zorlanmadan çalışması, değişik yüklerle daha iyi bir şekilde uyum sağlaması ve kazan veriminin değişik yüklerde nispeten yüksek ve sabit kalması sağlanır.
4. Optimal kapasitenin üzerinde çalışan veya yapısı itibariyle düşük verimli olan kazanlara ekonomizer ilavesi ile kazan kapasitesi ve verimi optimum düzeylere çıkarılabilir.



Şekil 2.9 Ekonomizer [21]

## 2.6 Hava Isıtıcısı

Hava ısıtıcılarında yakma havası duman gazları ile ısıtılarak, yakıt tasarrufu ve ocakta daha iyi yanma sağlanır. Havanın her 50 °C fazladan ısıtılması, yakıtta % 2,5 tasarruf sağlar. [20]

Hava ısıtıcıları, ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan çıkarak bacaya verilen duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü geri kazanmak amacıyla kullanılırlar. [20]

Geri kazanılan bu ısı, kazanda yakma havası olarak kullanılan taze havaya verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, pişirme, kurutma, vb. amaçlar için kullanılacak havaya da verilebilirler. Bir hava ısıtıcısında, kazanda yakılan yakıt cinsine bağlı olmakla birlikte 200 °C ve daha büyük duman gazı sıcaklıklarından ekonomik olarak yararlanmak olanaklıdır. [20]

Isı, buhar veya güç üretim tesislerinde hava ısıtıcısı kullanılmasıyla sağlanacak yararlar şunlardır: [20]

1. Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı ve yakıt cinsine bağlı olarak kazan veya tesis veriminde % 3 ile % 7 arasında verim artışı sağlanır.
2. Sağlanan verim artışına bağlı olarak, aynı kapasite için daha az yakıt harcanması veya aynı miktarda yakıt harcamı için daha fazla ısı üretimi gerçekleşir.
3. Özellikle orta ve büyük kapasiteli katı yakıtlı kazanlarda yakma havası olarak ön ısıtılmış sıcak havanın kullanılması ocak sıcaklığını, buna bağlı olarak yanma verimini ve duman gazlarının radyasyon verimini yükseltir. Ayrıca konstrüksiyonlarının basit, temizliklerinin kolay yapılabilmesi ve yatırım maliyetlerinin düşük olması nedeniyle orta ve büyük kapasiteli katı yakıtlı ön ocaklı kazanlarda hava ısıtıcısı kullanılması özellikle tavsiye edilir.

Bir hava ısıtıcısında geri kazanılabilecek ısının büyüklüğü, kazan duman gazı çıkış sıcaklığına bağlı olduğu gibi duman gazının hava ısıtıcısından çıkış sıcaklığına da bağlıdır. Hava ısıtıcısına giren ve çıkan duman gazları sıcaklıkları farkı ne denli büyük olursa geri kazanılan ısı, dolayısıyla verim artışı da o denli büyük olur. Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı, kazanın çalışma rejimine, kazanın bünyesel verimine, kazan-brülör uyumuna ve yakıt cinsine bağlı olarak belli bir büyüklükte olur. Hava ısıtıcısı gaz çıkış sıcaklığını ise, kullanılan yakıtın cinsi ve ısının aktarılacağı akışkanın çalışma koşulları belirler. [20]

### 2.6.1 Hava Isıtıcıları Çeşitleri

#### 1) Reküparatif hava ısıtıcıları [20]

- Borulu hava ısıtıcıları
- Levhalı hava ısıtıcıları
- Buharlı hava ısıtıcıları

#### 2) Rejeneratif hava ısıtıcıları [20]

- Ljungsrom tipi hava ısıtıcısı
- Rothemuhle tipi hava ısıtıcısı

Ekonomizelerde olduğu gibi hava ısıtıcılarında da duman gazları bir miktar daha soğutulmuş olarak hem daha fazla yakıt ekonomisi hem de yakma havasının ısıtılmasıyla ocakta daha iyi bir yanma sağlanmış olur. [20]

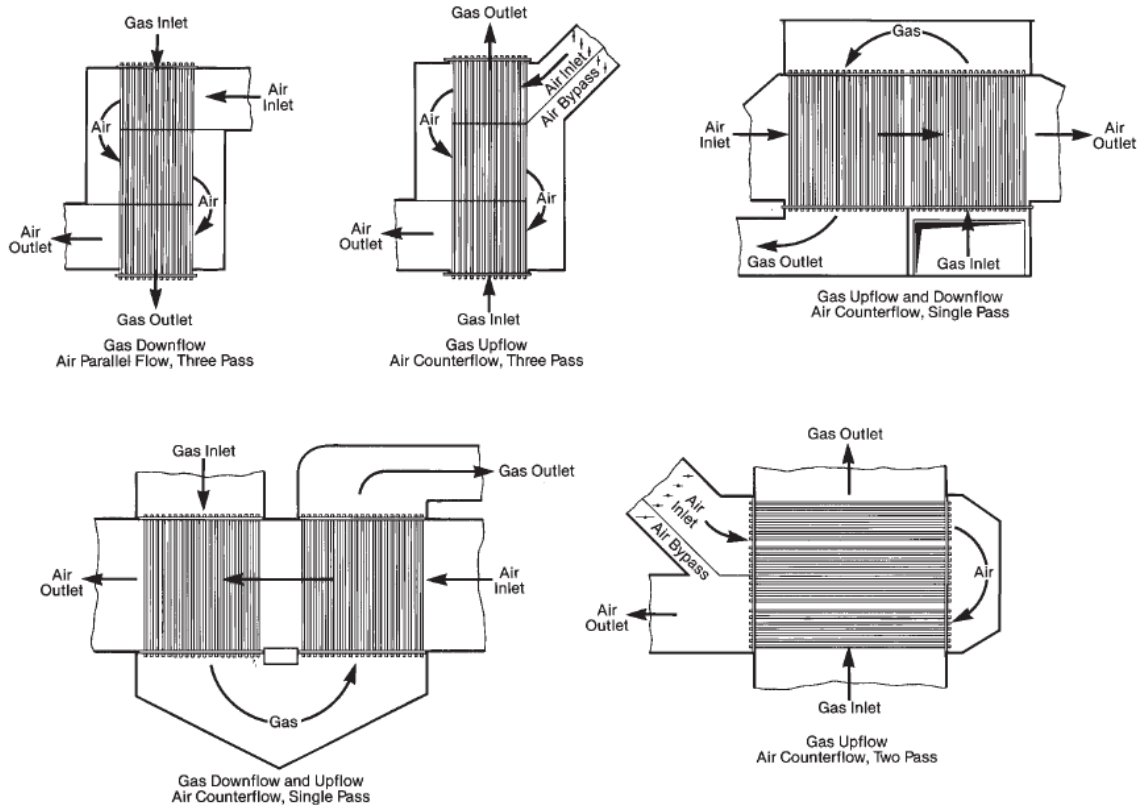
Hava ısıtıcılarının üstünlükleri şunlardır; [20]

1. Hava ısıtıcısına giren hava sıcaklığı ekonomizere giren su sıcaklığından daha düşük olduğundan duman gazları hava ısıtıcısında daha düşük bir sıcaklığa kadar kolaylıkla soğutulabilir.
2. Hava ısıtıcısındaki basınçlar su ısıtıcısına göre çok daha azdır.
3. Daha düşük hava sıcaklık kat sayısı ile tam yanmaya yaklaşıldığından yanma verimi artar.
4. Küçük yüklerde dahi yakıtın tutuşması kolaydır.
5. Tutuşmanın hızlanması daha geniş yük aralığında çalışmayı sağlar.
6. Yanmanın iyileşmesi ve ocak sıcaklığının artması kompakt kazanların imalatına imkan verir.
7. Sıcak hava ile toz kömür kurutulduğundan taşınması, beslenmesi ve yakılması kolaylaşır.
8. Çok nemli testere talaşı, odun zeytinyağı ve pancar atıkları sıcak hava ile kurutulmuş olarak kolayca yakılabilir.
9. Aynı çeşitli bölgelerin ısıtılmasında ve bazı maddelerin kurutulmasında sıcak havadan yararlanılabilir.

Bu üstünlüklere karşılık sakıncaları; [20]

1. Havanın ısınması stoker ve ocak duvarlarının refrakterlerinde çabuk bozulmalara neden olduğundan ilave bir bakım masrafı doğurur.

2. Sıcak hava içine karışabilen yanıcı tozlar tutuşarak önemli tahribat yapabilir.
3. Hava ısıtıcısının mümkün olduğu kadar küçük projelendirilmesi vantilatör ve kanalların uygun dizaynı için dikkatli bir ön çalışma gerekir.
4. Hava kaçaklarını karşılamak için vantilatör kapasitesi artırılır.
5. Hava ve duman taraındaki kaçakların tespiti kolay değildir.



Şekil 2.10 Hava ısıtıcıları [21]

### YAKMA SİSTEMLERİ

Kömür yakma sistemleri, kömürün tane büyüklüğüne ve yanma sırasında yakıtı bağlı olarak yüzeyde yakma, akışkanlaştırılmış ortamda yakma ve hacimde yakma olmak üzere üç gruba ayrılabilir. [5]

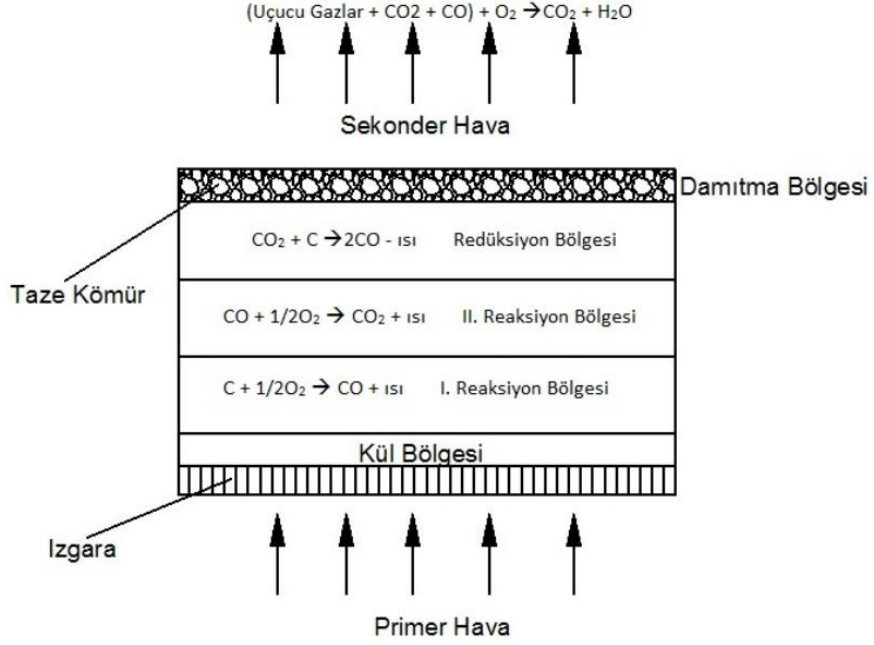
#### 3.1 Izgaralı Yakma Sistemleri

Izgara üzerine yakma, yapısal olarak; sabit karbon oranları yüksek, yanıcı uçucu madde oranları düşük yakıtlar için uygundur. Bu tür yakma sistemlerinde, verimli ve temiz bir yanmanın sağlanabilmesi için, uygun biçim ve tane büyüklüğüne, taşınabilirlik ve depolanabilme özelliklerine, yanma yönünden uygun ısıl değer ve içeriğe sahip, standart özellikte yakıtlara gereksinim vardır. [6]

Bu özellikteki yakıtlar standart yakıt olarak isimlendirilir. Bu tür yakıtlar yerine, yanıcı uçucu nem, kül ve kükürt oranı yüksek, ucuz yakıtların kullanılması, yakıt ile yakma sistemi arasında uyumsuzluğa, yanma veriminin düşmesine ve hava kirletici emisyonların aşırı biçimde artmasına neden olur. [6]

##### 3.1.1 Sabit Izgaralı Yakma Sistemi

Sabit ızgarada, yakıt hareketsiz olarak ızgara üzerinde durur. Alttan yakma durumunda, yanma ızgara üzerinde başlar. Oluşan ısı, iletim ile yanma odasına taşınır. Yatak sıcaklığının değişimi, en başta yatak kalınlığına bağlıdır. Belli yatak kalınlığı üzerinde, ızgara üst yüzeyinin sıcaklığı, külün ergime sıcaklığı üzerine çıkarak, külün ergimesine, birincil havanın azalmasına ve yanmanın bozulmasına neden olur. Uygun ızgara tasarımı, ızgara boyutlandırılması ve uygun yatak kalınlığı ile kül ergimesi önlenir. Kül ayırıştırma, yatak şişleme işlemi ile sağlanır. [6]



Şekil 3.1 Sabit ızgara üzerinde yakma sistemi [22]

### 3.1.2 Sonsuz Zincirli Döner Izgaralı Yakma Sistemleri

Sonsuz zincirli döner ızgaralı yakma sistemlerinde; kömür bunkerinin ve fırlatmalı kömür besleyicisinin, ızgara sonuna, kül atma bölgesi üzerine yerleştirilmesi ile parça kömürün, yanma yönünden daha uygun koşullarda ızgara üzerine düşmesi sağlanır. Bu tür, sonsuz zincirli döner ızgaralı yakma sistemleri, fırlatmalı ters beslemeli sistem olarak isimlendirilir. Son yıllarda görülen bu uygulama ile ızgara dönüşüne ters yönde fırlatılan parça kömür, tane büyüklüğüne göre, yanma odasında çeşitli yörüngeler çizerek ızgara üzerine düşer. [6]

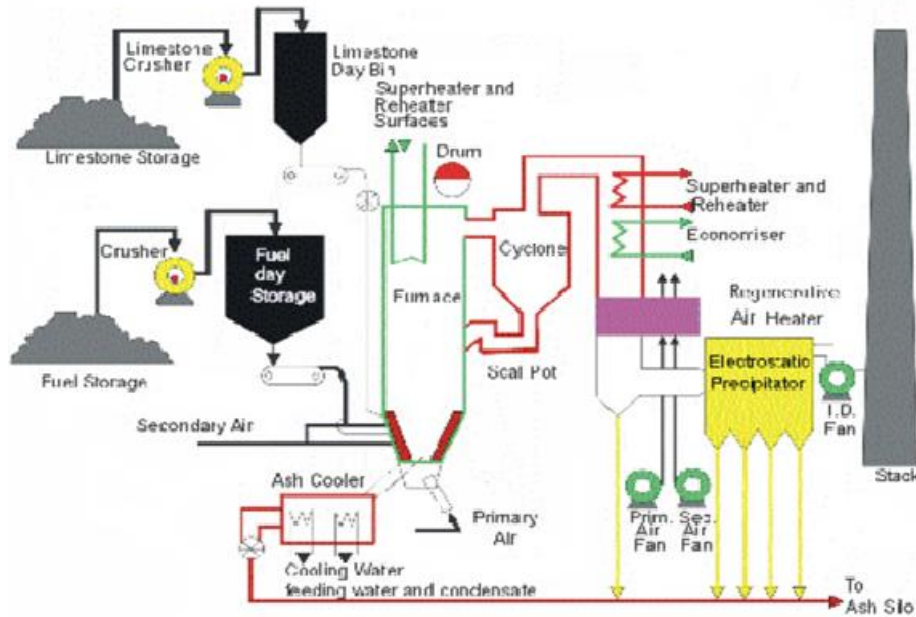
### 3.1.3 Yatak Gevşetme Etkili Eğik Izgaralı Yakma Sistemleri

Bu sistemlerde ızgara eğik biçimde konumlandırılır, ızgara dilimlerinin bazılarında ileri itme hareketi veya geri itme hareketi verilerek yatak gevşetilir, oluşturulan yatakta şişleme ile kül ayrıştırılarak,  $\text{O}_2$ 'nin difüzyonu kolaylaştırılır. İleri-geri hareketli ızgaralarda, yatak gevşetme işlemi ile yakıt nemi, yanıcı uçucu ve kül ayrışmaları etkinleştirilir; kurutma, yanıcı uçucu gazlaştırılması, tutuşturma, kok yakma bölümleri kısmen de olsa birbirinden işlevsel olarak ayrılır. [6]



### 3.2 Akışkan Yatakta Yakma Sistemi

Akışkan yatakta yanma, yakıt taneciklerinin hava ile akışkanlaştırılmış ve tutuşma sıcaklığının üstündeki bir sıcaklığa kadar ısıtılmış olan kum, kül ve benzeri inert maddelerden oluşmuş bir ortamda yanması şeklinde gerçekleşmektedir. % 1'lik yakıt oranı, akışkan yatakta yanmanın kararlı halde devamı için yeterlidir. Çünkü akışkan yataklarda, yakıt/inert madde oranı çok küçük olduğundan sistemdeki yanma süreci yakıtın özelliklerine (kum, nem, v.b) bağlı değildir. Yüksek oranda inert maddenin karışması ile oluşan türbülans, yakıt taneciklerinin yanması sonucu açığa çıkan ısının hızla yatağa yayılmasını ve homojen bir sıcaklık dağılımının oluşmasını sağlamaktadır. Yatakta işlem sıcaklığı 800-1000 °C olduğundan NO<sub>x</sub> oluşumu önlenmektedir. Yatak malzemesi içine ilave edilen kireçtaşı ve dolomit ile SO<sub>2</sub> çıkışı önlenmektedir. Akışkan yataklı yanma sürecinin alt sınırını yakıtın tutuşma sıcaklığı ile kararlı yanmanın sürdürülmesi koşulları, üst sınırını ise aglomerasyon olayı belirlemektedir. [5]



Şekil 3.2 Akışkan yataklı yakma sistemi [23]

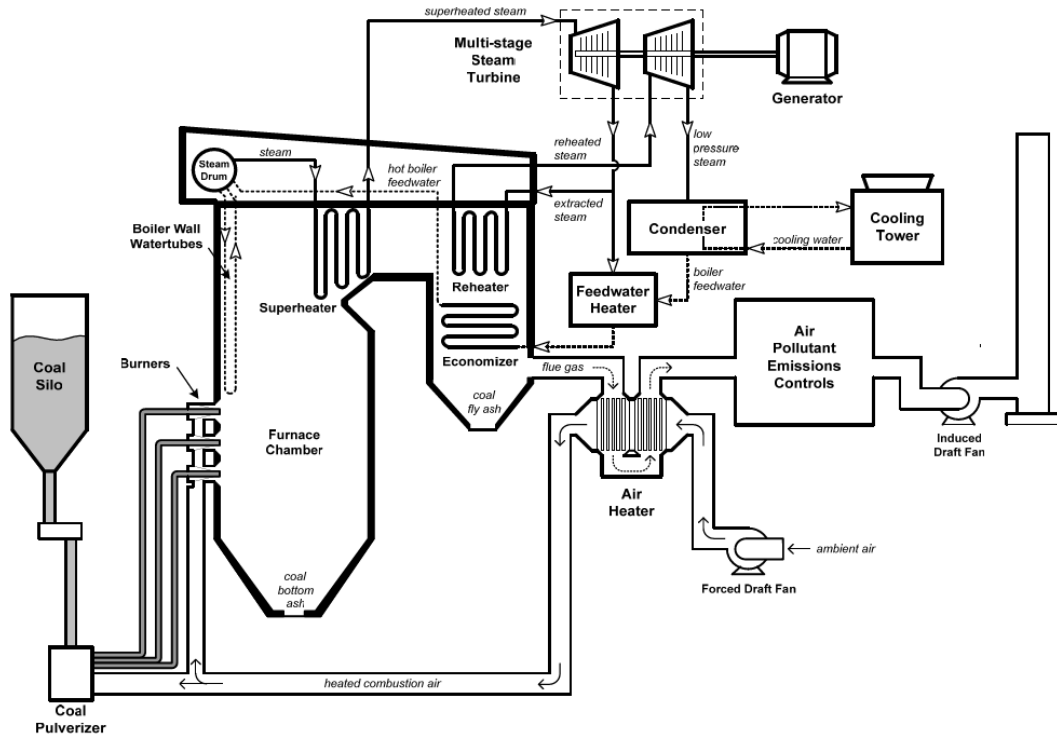
Akışkan yataklı yanma sistemleri çeşitli yönlerden sınıflandırmak mümkündür. Sistemin çalışma basıncına göre; atmosferik basınçlı ve basınçlı akışkan yataklı yanma olmak üzere ikiye ayrılır. Atmosferik basınçlı akışkan yataklı yanmalarda yatak malzemesinin sirkülasyonuna bağlı olarak kabarcıklı ve dolaşımli yataklı olmak üzere ikiye ayrılır. Kabarcıklı olanlar üzerinde en yoğun çalışma yapılmış akışkan yataklı yanma tipidir. Dolaşımli olanların avantajı ise kireçtaşı tüketim miktarının büyük ölçüde

azaltmış olmalarıdır. Basınçlı tiplerde reaktör hacmi daha da küçülmekte ve kombine çevrim kullanılabilir. Ancak gerek dolaşımın gerekse basınçlı akışkan yataklı yanmalar büyük sistemlerde ve termik santrallerde uygulama alanı görmektedir. [24]

### 3.3 Hacimde (Toz Kömür) Yakma Sistemleri

Toz kömür yakma sistemlerinde, öğütülmüş kömür, gaz ve sıvı yakıtlarda olduğu gibi, uygun brülörler yardımıyla yanma odasına püskürtülerek yakılır. Kömür taneciği, yanma odasında, yakma havası içinde askıda, oluşturulan türbülans etkisi ile hızlı biçimde kurur, gazlaşır, tutuşur ve yanmasını tamamlar. Kömür taneciğinin dış reaksiyon alanının hacmine oranının büyük olması yanma süresini kısaltır, sıvı ve gaz yakıt yakma sistemlerinin yanma süresine yaklaştırır. Bu nedenle, toz kömür yakma sistemleri ile çok büyük yanma ısı kapasitelerine ulaşılabilir. [6]

Oluşturulan uygun brülör düzeni ve işletme koşulları ile alevin, yanma odası duvarlarını yalamadan, olabildiğince türbülanslı biçimde, yanma odasını doldurması sağlanır ve kararlı yanma koşullarının oluşturulmasına çalışılır. [6]



Şekil 3.3 Pülverize kömür yakma sistemi bulunan santralin şematik resmi [25]

Günümüzde toz kömür yakma sistemleri, genelde, kuru küllü sistemlerdir. Oluşan külün, yaklaşık % 20'si kazan altından, % 80'i ise bacadan, dışarı verilir. Isıtma

yüzeyle ile kaplı yanma odasında, alev sıcaklığı, kül ergime sıcaklığının altında tutulur. Alevin boyu, biçimi, ışım özelliği, yanma ve emisyon davranışı gibi özellikler, kullanılan brülör tipi ve brülör düzeni tarafından belirlenir. [6]

Çizelge 3.1 Kömür yakma sistemleri ve özellikleri [6]

SİSTEM ÖZELLİKLERİ	YAKMA SİSTEMİ		
	IZGARALI	AKIŞKAN YATAKLI	BRÜLÖRLÜ
Yakma biçimi	Yüzeyde yakma	Akışkanlaştırılmış ortamda yakma	Yanma odası hacminde askıda yakma
Yakıtın tane büyüklüğü	(150-5) mm	(10-0.5) mm	(200-0) µm
Yanma ısı kapasitesi	Küçük	Orta	Büyük
Yanma evrelerinde yakıt dinamiği	Yüzeyde hareketsiz	Akışkanlaştırılmış ortamda yoğun türbülanslı	Hacimde askıda
Kömür gazlaşma ve tutuşma ( $Q_{IT}$ ) deposu	Kor tabakası	Akışkan yatak	Alev
Yakıt	Kok, taş kömürü, briket(standart kömür)	Her türlü kömür ve atıklar	Toz kömür, sıvı ve gaz yakıtlar
Yapısal emisyon filtreleme	Yok	Var	Çok sınırlı
Emisyon kontrolü	Standart kömür	Baca gazı arıtma sistemleri gereksiz	Baca gazı arıtma sistemde gerekli

## BÖLÜM 4

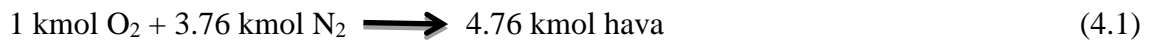
### YAKITLAR VE YANMA

Yakıldığı zaman enerji veren herhangi bir maddeye yakıt adı verilir. En çok kullanılan yakıtlar temelde hidrojen ve karbondan oluşur. Bu yakıtlara hidrokarbon yakıtlar adı verilir ve  $C_nH_m$  genel formülüyle belirtilir. Her fazda hidrokarbon yakıt vardır, örnek olarak kömür, benzin ve doğal gaz verilebilir. [26]

Kömürün ana bileşeni karbondur. Kömürde ayrıca oksijen, hidrojen, azot, kükürt, nem ve kül bulunur. Kömürün kütle analizini tam olarak belirtmek olanaksızdır, çünkü kömürün bileşimi belirli bir bölgede bile bir yöreden diğerine değişir. [26]

Yanma, yakıtın oksijenle birleştiği ve büyük miktarda enerjinin açığa çıktığı bir kimyasal reaksiyondur. Yanma için gerekli oksijen, parasız ve her yerde bulunabilir olması bakımından, havadan sağlanır. Saf oksijen, sadece kaynak ve kesme gibi havanın kullanılmayacağı bazı özel uygulamalarda kullanılır. Bu nedenle havanın bileşiminin incelenmesinde yarar vardır. [26]

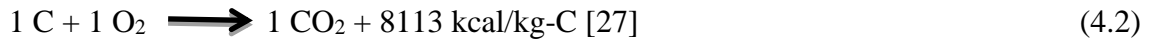
Mol oranı veya hacimsel oran olarak, kuru hava yüzde 20.9 oksijen, yüzde 78.1 azot, yüzde 0.9 argon ve az miktarda karbon dioksit, helyum, neon ve hidrojenlerden oluşur. Yanma işlemini çözümlerken, argon azotla birlikte düşünülür ve az miktarda bulunan diğer gazlar da ihmal edilir. Bu durumda kuru havayı oluşturulan karışanların mol oranları yaklaşık yüzde 21 oksijen ve yüzde 79 azot olarak kabul edilir. Böylece, yanma işlemine giren her mol oksijenin yanında,  $0.79/0.21 = 3.76$  mol azot bulunur. Başka bir anlatımla,



olur. Olağan yanma sıcaklıklarında azot eylemsiz (inert) bir gazdır, diğer kimyasal elementlerle reaksiyona girmez. Fakat azotun varlığı, yanma sonu halini önemli ölçüde etkiler, çünkü büyük miktarda azot yanma işlemine düşük bir sıcaklıkta girer ve yüksek bir sıcaklıkta çıkar. Yanma işleminde açığa çıkan enerjinin büyük bir bölümü, azotun sıcaklığını yükseltmek için kullanılmış olur. Bu bölümde azot tüm koşullarda eylemsiz bir gaz olarak kabul edilecektir. Fakat, çok yüksek sıcaklıklarda, azotun oksijenle birleşerek, azot oksit gibi zararlı gazlar oluşturduğu unutulmamalıdır. [26]

Yanma odasına giren havada, göz önüne alınması gereken bir miktar su buharı da vardır. Yanma işlemlerinin birçoğunda havadaki su buharı da azot gibi eylemsiz bir gaz olarak kabul edilebilir. Fakat çok yüksek sıcaklıklarda su buharının bir bölümü H<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>'ye, ayrıca H, O ve OH'ye ayrışır. Yanma sonu gazları, su buharının çığ noktası sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa soğutulduğu zaman, bir miktar su buharı yoğuşur. Çığ noktası sıcaklığının bilinmesinin büyük önemi vardır, çünkü su damlacıkları genellikle kükürt dioksitle birleşerek, paslanmaya yol açan sülfirik asiti oluşturur. [26]

Yanma işlemi sırasında, kimyasal reaksiyondan önce var olan maddelere yanma işlemine girenler, reaksiyondan sonra oluşan maddelere de yanma işleminden çıkanlar veya yanma sonu ürünleri denir. Örneğin, 1 kmol karbonun 1 kmol oksijenle yanması sonunda 1 kmol karbon dioksit oluşur: [26]



Burada C ve O<sub>2</sub> yanma işlemine girenlerdir, çünkü yanma işleminden önce var olan maddelerdir. CO<sub>2</sub> ise yanma işleminden çıkan veya yanma sonu ürünüdür, çünkü yanmadan sonra oluşmaktadır. Yanma işlemine girenlerin, yanma odasında mutlaka kimyasal reaksiyona girmeleri gerekmez. Örneğin, karbon saf oksijen yerine havayla yandığı zaman, yanma denkleminin her iki tarafında N<sub>2</sub> bulunacaktır. Başka bir deyişle, N<sub>2</sub> hem yanma işlemine giren, hem de yanma işleminden çıkan bir madde veya yanma sonu ürünü olacaktır. [26]

Bir yakıtın oksijenle yakın temasa getirilmesinin yanmanın başlaması için yeterli olmadığı vurgulanmalıdır. Yanmanın başlayabilmesi için yakıtın tutuşma sıcaklığına getirilmesi gerekir. Bazı yakıtların atmosferik havada tutuşma sıcaklıkları şöyledir. Benzin 260 °C, karbon 400 °C, hidrojen 580 °C, karbon monoksit 610 °C, metan 630 °C. Yanmanın başlayabilmesi için ayrıca yakıt ve havanın uygun oranlarda bir arada

bulunması gerekir. Örneğin doğal gazın hava içindeki konsantrasyonu yüzde 5'ten az, yüzde 15'ten çok olduğu zaman yanma olmaz. [26]

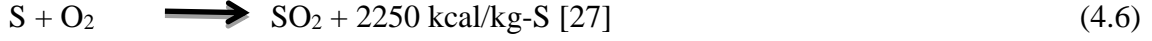
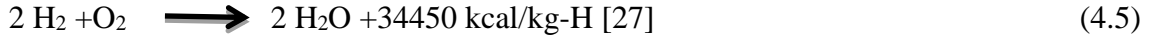
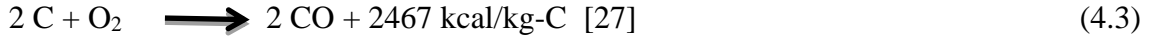
Kimya derslerinden hatırlanacağı gibi, kimyasal denklemler kütlelerin korunumu ilkesine göre dengelenirler. Bu ilke şöyle ifade edilebilir: bir kimyasal reaksiyon sırasında her elementin kütlesi sabit kalır. Başka bir deyişle, reaksiyon denkleminin sağ tarafındaki (çıkanlar) her elementin toplam kütlesi, o elementin denklemin sol tarafındaki (girenler) toplam külesine eşit olmak zorundadır. Bir elementin denkleminin her iki tarafında da değişik bileşimlerde bulunabileceği not edilmelidir. Ayrıca bir kimyasal reaksiyon sırasında, her elementin toplam atom miktarı da değişmez, çünkü elementin atom miktarı, toplam külesini atomik külesine bölerek elde edilir. [26]

Yanma işlemine girenler karbon ve oksijen elementleri, yanma işleminden çıkan karbon dioksit bileşimi olmasına karşın, denklemin her iki tarafında, 12 kg karbon ve 32 kg oksijen vardır. Ayrıca yanma işlemine girenlerin toplam kütlesi 44 kg, yanma sonu ürünlerinin toplam külesine eşittir. Bununla birlikte, yanma işlemine girenlerin toplam mol miktarı 2 kmol, yanma sonu ürünlerinin toplam mol miktarından 1 kmol farklı olduğu vurgulanmalıdır. Başka bir deyişle, kimyasal reaksiyon sırasında mol miktarının korunumu söz konusu değildir. [26]

Hava ve yakıtın miktarlarını belirlemek için yanma işlemlerinde sıkça kullanılan bir büyüklük hava yakıt oranıdır (HY). Genellikle kütleli olarak ifade edilir ve bir yanma işleminde hava külesinin yakıt külesine oranı diye tanımlanır. Başka bir anlatımla;  $HY = (m_{hava}/m_{yakıt})$  şeklinde yazılabilir. Bir maddenin kütlesi  $m$  ile mol miktarı  $n$  arasındaki ilişki,  $m=nM$  bağıntısıyla verilir. Burada  $M$ , mol külesidir. Hava yakıt oranı, mol miktarı esas alınarak da ifade edilebilir ve bu durumda havanın mol miktarının yakıtın mol miktarına oranı olur. Hava yakıt oranının tersi yakıt hava oranı diye adlandırılır. [26]

#### **4.1 Teorik ve Gerçek Yanma İşlemleri**

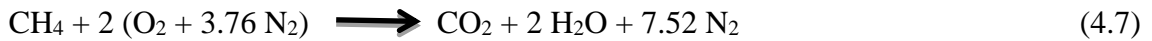
Bir yanma işleminde, yanmanın tam olduğunu kabul ederek yapılan çözümlenmenin sağladığı bazı bilgiler vardır. Yanma işlemi sırasında, eğer yakıt içindeki karbonun tümü  $CO_2$ 'ye, hidrojenin tümü  $H_2O$ 'ya ve varsa kükürdün tümü  $SO_2$ 'ye dönüşüyorsa, yanma tamdır. Başka bir deyişle, yakıt içinde bulunan yanabilecek tüm bileşenler tam olarak yanarlar. Yanma sonu ürünleri arasında yanmamış yakıt veya C,  $H_2$ , CO ve OH gibi bileşenler varsa yanma işlemi tam değildir. [26]



Yanma için yeterli oksijenin bulunmaması, yanmanın tam olmamasının açık nedenlerinden biridir, fakat tek nedeni değildir. Hatta yanma odasında tam yanma için gerekli oksijenden daha çoğunun bulunduğu durumlarda bile, yanma tam olmayabilir. Bunun nedenlerinden biri, yakıtın ve oksijenin bir arada olduğu süre içinde yeterince karışmamasıdır. Yanmanın tam olmamasının bir başka nedeni de yüksek sıcaklıklarda önem kazanan ayrışmadır. [26]

Hidrojen atomlarının oksijen atomlarını çekim kuvveti, karbon atomlarına oranla daha büyüktür. Bu nedenle yakıt içindeki hidrojen, ortamda tam yanma için gerekli oksijenden daha az oksijen bulursa bile tümüyle H<sub>2</sub>O'ya dönüşür. Buna karşılık karbonun bir bölümü yanma sonu ürünleri arasında CO veya C parçacıkları olarak görülür. [26]

Bir yakıtın tam olarak yanması için gerekli en az hava miktarına, stokiometrik veya teorik hava miktarı adı verilir. Böylece bir yakıt teorik havayla tam olarak yandığı zaman yanma sonu ürünleri arasında serbest oksijen bulunmaz. Teorik hava aynı zamanda kimyasal olarak gerekli hava miktarı veya yüzde 100 teorik hava diye de adlandırılır. Teorik havadan daha az havayla gerçekleşen bir yanma işleminin tam olması mümkün değildir. Yakıtın teorik havayla tam olarak yandığı ideal bir yanma işlemi, yakıtın stokiometrik veya teorik yanması diye bilinir. Örneğin metanın teorik yanması aşağıdaki gibidir: [26]



Gerçek yanma işlemlerinde yanmanın tama yakın olmasını sağlamak veya çıkış sıcaklığını belirli bir düzeyde tutabilmek için, genellikle stokiometrik miktardan daha fazla hava kullanılır. Stokiometrik miktarın üzerinde olan hava miktarına fazla hava adı verilir. Fazla hava genellikle, stokiometrik hava esas alınarak, fazla hava yüzdesi veya teorik hava yüzdesi olarak ifade edilir. Örneğin, yüzde 50 fazla hava, yüzde 150 teorik hava ve yüzde 200 fazla hava yüzde 300 teorik hava anlamına gelir. Doğal olarak

stokiyometrik miktarda hava, yüzde 0 fazla hava veya yüzde 100 teorik hava demektir. Stokiyometrik miktardan daha az hava, eksik hava diye nitelenir ve eksik hava yüzdesi olarak ifade edilir. Örneğin yüzde 90 teorik hava ve yüzde 10 eksik hava aynı miktarı belirtir. Yanma işleminde kullanılan hava miktarı, hava fazlalık katsayısı ile de gösterilebilir. Hava fazlalık katsayısı, gerçek hava yakıt oranını stokiyometrik hava yakıt oranına bölerek bulunur. [26]

Yanma işleminde kullanılan yakıt ve hava miktarları biliniyorsa, ayrıca yanma tam kabul edilirse, yanma sonu ürünlerinin oranlarının hesaplanması daha kolay olur. Bu durumda, hiçbir ölçüme gerek kalmadan, yanma denkleminde yer alan her elemente kütle korunumu denklemini uygulamak yeterlidir. Gerçek bir yanma işleminde ise yanma sonu ürünlerinin miktarlarının belirlenmesi daha zordur. Her şeyden önce, gerçek yanma işlemleri, fazla havanın olması durumunda bile tam değildir. Bu nedenle yanma sonu ürünlerini sadece kütle korunumu ilkesine göre belirlemek olanaksızdır. Bu durumda kalan tek seçenek, yanma sonu ürünlerinin miktarlarını doğrudan ölçmektir. [26]

Yanma sonu ürünlerinin analizi genellikle Orsat cihazı ile yapılır. Bu cihazda yanma sonu ürünlerinin bir örneği alınır, oda sıcaklık ve basıncına soğutulmuş hacmi ölçülür. Örnek daha sonra CO<sub>2</sub>'yi soğutan bir kimyasal maddeyle bir araya getirilir. Geri kalan gazlar yeniden oda sıcaklığı ve basıncına getirilerek kapladıkları hacim ölçülür. Hacimdeki azalmanın, önceki hacme oranı, CO<sub>2</sub>'nin yanma sonu ürünleri içindeki hacimsel oranıdır. Mükemmel gaz davranışı kabul edilirse, bu aynı zamanda CO<sub>2</sub>'nin mol oranıdır, diğer gazların hacimsel oranları da yukarıdaki işlemi tekrarlayarak bulunur. Orsat analizinde gaz örneği her zaman su üzerinde toplanır ve karışım doymuş haldedir. Bu nedenle suyun buhar basıncı tüm deney süresince sabit kalır. Böylece deney odasında su buharının varlığı göz ardı edilebilir ve sonuçlar kuru esasa göre verilir. Yanma sırasında oluşan H<sub>2</sub>O, her zaman yanma denkleminin dengelenmesiyle bulunabilir. [26]

#### **4.2 Yanmayı Etkileyen Faktörler**

Yanmayı etkileyen faktörlerin belirlenebilmesi için, öncelikle; amaçlanan teknik yanmanın özelliklerinin, bu özelliklerin sağlanması için gerekli koşulların ve bu koşulların oluşturulmasına yönelik temel kriterlerin tanımlanması gerekir. Bu bağlamda, uygun yanma, ısı kullanıcı için ucuz, temiz ve sürekli bir yanmanın oluşturulmasıdır. [6]



Ayrıca, yakıt özellikleri, yakma sistemi yapısı ve işletme koşulları, yakıcının ısı yük değişimini karşılayabilecek niteliklerde olmalıdır. Ucuz ısı üretimi, yanma veriminin yüksek, işletme ve yatırım maliyetlerinin düşük olduğu bir yakma sisteminin oluşturulmasını gerektirir. Temiz yanma, yanmadan kaynaklanan çevre kirletici emisyonların, ilgili yönetmeliklerde öngörülen emisyon sınır değerlerinin altında tutulduğu yanmadır. Sürekli ısı üretimi ise, yakma sisteminin, işletme ömrü boyunca planlı durmalar dışında emniyetli, güvenilir ve işlerlikli bir biçimde sürekli çalışmasının sağlanmasıdır. [6]

#### **4.2.1 Yanmayı Etkileyen Yakıt Boyutlu Faktörler**

Alt Isıl Değer : Yakıt özellikleri, yakma havası nemi, miktarı, ısı yük koşulları, alev ısı aktarımı koşulları ile ilgili değişimler durumunda, kararlı bir alevin sağlanabilmesi için, yakıt ısıtma değerinin belli sınırlar içerisinde olması gerekir. Yararlanılabilen net yakıt ısı değerini tanımlayan alt ısı değere karşın, yakıt üst ısı değeri, brüt yakıt ısı değeri tanımlar ve yakma teknolojisinde, yanma ısısı olarak da isimlendirilir. [6]

Yanma uçucu oranı : Yanıcı uçucu oranı, kömürün tutuşması işlevini gören, hacimde doğal gaz benzeri homojen yanma özelliği taşıyan kömür içeriğidir. Uçucu oranı arttıkça alev boyu, dolayısıyla yanma odası boyutları artar. Uygun yanma yönünden, yanıcı uçucuların, kömürü tutuşturabilecek ve kömür yatağında veya alev içinde yanmasını tamamlayabilecek boyutta olması istenir. [6]

Sabit karbon oranı : Kömürün sabit karbon oranının artışı; ısı değerini, yanma gazlarının oluşumunu ve baca gazındaki CO<sub>2</sub> oranını artırır. Kömür yanmasından oluşan; üç atomlu gazlar (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), uçucu kok, is ve partiküller, yüksek ışıma özellikleri nedeni ile alev soğumasını kolaylaştırır. Böylelikle, sabit karbon oranı yüksek kömürlerin (taş kömürü, antrasit) yakıldığı hacimlerde, ışıma ile büyük ısı aktarımı sağlanabildiğinden, yanma odası boyutu küçülür. [6]

Nem oranı : Yakıtın ısıtma değerini düşürür, kömürün ısı parçalanmasına, kok gazlaşmasına, CO'nin tutuşma hızının artmasına ve alev soğumasına, olumlu katkı sağlar. Bu nedenle, belli sınırlar altında kalması kaydıyla, kömürün belli oranda nem içermesi istenir. [6]

Kül oranı ve kül özellikleri : Kül, kömür öğütme için gerekli enerjinin miktarını artırır; değirmende, kazan ısıtma yüzeylerinde, kömür-gaz kanallarında, aspiratör kanatlarında,

bacada aşınmalara neden olur. Yanma sırasında, oksijen difüzyonunu ve tutuşmayı zorlaştırır, yanma hızını düşürür. Kül ergimesi sonucu, ısıtma yüzeyleri ergimiş küle kaplanarak ısı transferi engellenir, korozyon oluşabilir ve kazanın ısı verimi düşer. Kazan tasarımının, kömür külünün mekanik ve ısı özelliklerinin ayrıntılı biçimde dikkate alınarak yapılması, enerji ekonomisi ve işletme güvenilirliği yönünden büyük önem taşır. [6]

Dokusal, fiziksel ve ısı özellikler : Kömürün, dokusal, fiziksel ve ısı özellikleri; yakıt-hava karışımını, O<sub>2</sub> difüzyonunu, yanma biçimini, ısı ve kütle transferi özellikleri ile alev kararlılığını etkiler. [6]

Tane boyutu ve biçimi : Yanma koşullarını, alev davranışını, yanma hızını, yakma sisteminin ısı kapasitesini, yanma kökenli emisyonları, yakma sistemi yapısını ve yanma odası özelliklerini belirler. [6]

Kükürt oranı : Yanan kükürt, yanma gazındaki SO<sub>2</sub> oranı ve SO<sub>2</sub>'in kısmi basıncını belirler. SO<sub>2</sub>, emisyonlarını artırır, çığ noktasının altına düşülmesi durumunda, düşük sıcaklık (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) korozyonu oluşur. Bu oluşum, sistemin işlevliliğini düşürür ve sistem ömrünü kısaltır. [6]

Azot oranı : Azot oranı arttıkça azot oksit emisyonları artar. [6]

#### **4.2.2 Yanmayı Etkileyen Yakma Sistemi Boyutlu Faktörler**

Yakma sistemi (yakıt hazırlama, brülör, yanma odası) ile kazan ısıtma yüzeylerinin ve donanımlarının tasarımı (boyutlandırma ve biçimlendirme), belli bir yakıt özellik bandı esas alınarak yapılır. Bu bant, yakma sistemine göre değişir. Toz kömür yakma sistemlerinde daha dar, akışkan yatak yakma sistemlerinde ise daha geniştir. Kazan girişindeki kömür özellikleri, yakıt hazırlama sistemleri ile kazan tasarımına esas olan kömür bandı sınırı içerisine getirilir. [6]

Yakıt hazırlama : Kırma, yıkama, harmanlama, öğütme, kurutma, gazlaştırma, briketleme işlemleri ile kömürün özellikleri, yakılacağı yakma sisteminin girdi özelliklerine uygun hale getirilir. [6]

Yakıt-hava karışımı : Uygun brülör, ızgara, akışkan yatak tasarımı; uygun yakıt ve hava besleme uygulamaları ile öngörülen yakma biçimi için gerekli yakıt-hava karışımı sağlanır. Kademeli yakma, özellikle, CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının yanma odasında tutulması yönünden etkin bir birincil emisyon kontrol uygulamasıdır. [6]

Yanma odası tasarımı : Kömürün, yanma odasında, uygun ve sürekli biçimde gaz fazına geçmesi, hava ile karışması, tutuşması, kararlı alev koşullarında tam yanmanın sağlanması; yanma odasının ve alevi çevreleyen ısıtma yüzeylerinin, uygun alev soğumasını sağlayacak biçimde tasarımı ve konumlanmasını gerektirir. Bu ise, alevin, yanma odasını olabildiğince doldurulmasını, ısıtma yüzeylerini yalamamasını, yanma odası çıkış sıcaklığının kül ergime sıcaklığının altında tutulmasını ve ızgara yüzeyinde kül ergimesinin önlenmesini gerektirir. Bu koşulların sağlanması ile yanma verimi ve alev kararlılığı iyileştirilir. Kazan işletme ömrü artırılır ve yanmadan kaynaklanan emisyonlar azaltılmış olur. [6]

Kademeli yakma : Yakıt ve havanın türlü biçimlerde kademelendirilerek beslenmesi, alev içi ve alev dışı gaz resirkülasyonları, baca gazı geri beslemesi vb. uygulamalar yardımıyla yakma sisteminin yanma verimi artar ve emisyon çıkışı azaltılır. [6]

Baca gazı arıtma : Yanmadan kaynaklanan; CO, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> ve yanıcı uçucu partiküller gibi emisyonlar, yanma koşullarının iyileştirilmesi ile azaltılabilir. Toz kömür yakma sistemlerinde NO<sub>x</sub> oluşumu, kademeli yakma uygulaması ile azaltılmaya çalışılır. [6]

#### **4.2.3 Yanmayı Etkileyen İşletme Boyutlu Faktörler**

Tekniğine uygun işletme, bakım-onarım ve yanma kontrolü uygulamaları ile yakma sisteminde, tasarımında öngörülen, verimli, temiz yakmaya yönelik uygun alev koşullarının oluşumunun sürekliliği sağlanır. Tasarıma esas alınan özellikte yakıt sağlanamaması veya hava kirletici emisyon sınır değerlerinin yönetmeliklerce sıkılaştırılması durumlarında, girdi hazırlama ve çıktı koşullandırma sistemlerinde yapılacak iyileştirme ve değişikliklerle, ilgili standart ve yönetmeliklerde istenilen yanma ve emisyon değerlerine ulaşılmaya çalışılır. [6]

#### **4.3 Toz Kömür Yanmasına Etki Eden Faktörler**

Tane büyüklüğü : Taneler ne kadar küçük ise yanma o kadar çabuk ve daha iyi olur. (30-70 µm) [28]

Uçucu gaz miktarı : Uçucu gaz miktarı arttıkça yanma süresi kısalmır. [28]

Hava türbülansı : Havaya hareket veren eleman (türbülator) bulunmayan brülörlerde alev boyu daha uzundur. [28]

Hava fazlalık katsayısı : Hava fazlalık katsayısı arttıkça yanma iyileşir. Ancak hava fazlalık katsayısının 1.3'ten büyük olması yanmayı yavaşlatır. [28]

Ocak sıcaklığı : Ocak sıcaklığı arttıkça yanma hızı artmaktadır. [28]

#### **4.4 Yanma Verimi**

Baca gazı analizörü tarafından, baca gazlarında ölçülen, oksijen, karbondioksit, karbon monoksit, baca gazı sıcaklığı ve ortam sıcaklığı gibi parametreler değerlendirilerek, yanma verimi ( $h_v$ ) otomatik olarak hesaplanabilmektedir. İşletmeci tarafından yanma verimi üzerinde yorum yapılırken, sonuca etki eden faktörler kolayca görülebilmektedir. Yanma veriminden yola çıkarak, kazan veriminden ( $h_k$ ) söz ederken, kazan radyasyon kayıpları, külde yanmamış karbon kayıpları gibi ölçülemeyen değerler için yakıt cinsine ve kazan kapasitesine bağlı olarak, yanma veriminden belirli bir oranda azaltma yapmak gerekmektedir. Baca gazında is ve kurum ile külde ki yanmamış karbon (C) dikkate alındığında, yaklaşık kazan verimini belirlerken yanma veriminden radyasyon ve kül kayıpları olarak düşülmesi gereken miktar, yaklaşık olarak, doğal gazda % 1, fuel-oil de % 2-3, kömürde ise % 4-5 olarak kabul edilmektedir. Ancak, belirtilen yöntemle, baca gazı analizörü kullanılarak kazan verimlerinin tespiti, işletmede yanmanın optimizasyonu ile verimin yüksek tutularak enerji ekonomisi sağlanmasına yönelik olmalı, söz konusu yöntem kazan verim ve kapasite değerlerinin tescilinde kullanılmamalıdır. [29]

### KÖMÜR TANIMI, ÖZELLİKLERİ VE OLUŞUMU

Kömür homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla odunsu bitki parçalarından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içerisinde çoğunlukla C, az miktarda H-O-S ve N elementlerinin bulunduğu ama inorganik (kil, silt vb.) maddelerinde olabildiği, bataklıklarda oluşan, kahverengi ve siyah renk tonlarında olan, yanabilen, katı fosil organik kütlelerdir. Kömürler yakıt hammaddesi oldukları gibi, değişik amaçlarda (kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi alanlarda) da kullanılırlar. [6]

Kömürler, bataklık ortamlarda, uygun (nemli ve sıcak iklimin bulunması, yeterli organik maddenin ortama gelmesi, bataklık suyunun Ph şartlarının 4-5 civarında bulunması, bataklığın malzeme gelimi ile birlikte aşağı doğru çökmesi, bataklığın zamana bağlı olarak örtülmesi gibi) şartların sağlanması durumunda, bitki parçalarının reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu meydana gelirler. [6]

Kömür yatakları giderek ağırlaşan tortul kütleler altına gömülürken, su ve öteki uçucu maddeler, karbon, oksijen ve hidrojen bileşiği olan kömürden ayrılır. Bitkisel madde, yani selüloz, yüksek nitelikli kömür haline gelmeden önce, turba, linyit, taşkömürü evrelerinden geçer. Kömürleşme süreci boyunca, bileşiklerin fiziksel özellikleri de değişir. Turba, henüz bitki kalıntısı niteliğini bütünüyle taşıyan bir maddedir; linyit az çok sertleşmiş, ama tutarsız bir kütledir; taşkömürü, sert ve kırılmandır; antrasitse taşkömüründen daha sert ve daha kırılğan bir nitelik gösterir. Kömürün antrasit haline dönüşmesi için, çok derinde olması zorunludur; yerin basıncı yada çevredeki erimiş kayalardan gelen yüksek sıcaklık, bu oluşuma yardımcı olabilir. Antrasit oluşumunu izleyen bir gelişme evresi daha vardır ve bu evrede arı karbon olan grafit ortaya çıkar.[6]

## 5.1 Kömürleşme Olayı

Çoğunlukla bitkisel maddeler yada bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çökeler ve jeolojik işlemlerle birlikte yer altına gömülürler. Yerin altında, bu organik kütleler, gömüldükten sonra, önceleri gömülmenin oluşturduğu basınç şartları, daha sonrada ortamın ısısal şartlarından etkilenirler. Bu etkilenme sonucu bu organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Önceleri turba olarak adlandırılan ve kömürlerin ataları olarak bilinen bu organik maddeler zamanla daha koyu renklere ve daha sert yapıya sahip olurlar. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, bu ortamdan, sırasıyla önceleri (turbadan-taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, karbon dioksit, oksijen ve en ileri aşamalarda hidrojen (antrasit aşamasında) uzaklaşır. Tabii ki bu süreçte ideal şartlar ve ortamın ısısal şartlarının uzun bir dönem içerisinde (binlerce yıl) baskın olması ve artması gerekmektedir. Yer ısısı her 30 metrede 10 °C artmaktadır. Şüphesiz sıcaklık artışı ideal ve normal şartlar için geçerlidir. Bu şartların dışında (volkanik faaliyet, fay hareketleri, radyoaktif elementlerin bulunduğu ortamlarda) yerin ısısı olağan üstü bir şekilde ve normalden çok fazla bir şekilde artmaktadır. Yerin ısısı arttıkça önceleri “turba” olarak adlandırılan ama kömür sayılmayan bu organik madde, önce “linyit” daha sonra “alt bitümlü kömür”, sonra “taşkömürü”, “antrasit” ve en sonunda şartlar uygun olursa “grafit’e dönüşür. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine “kömürleşme” denmekte, her seviyeye de “kömürleşme derecesi” denmektedir. [4], [6]

Kömürler şüphesiz içlerinde kil, silt, kum ve değişik oranlarda inorganik (mineral) madde bulundurlar. Kömürlerin içerisinde bulunan bu inorganik maddeler kömürün kalitesini direkt olarak negatif yönde etkilerler. Bir kömürün kalitesi, kullanıldığı alana göre farklı anlamlar içerebilir. Örneğin; kok imalinde en kaliteli kömür, şişebilen, gözenekli hale gelebilen ve dayanıklı olabilen, okside olmamış kömürler en iyi kömürlerdir. Yakıt hammaddesi olarak kömürün koklaşması bir anlam ifade etmez, en aranan özellik fazla ısısal niteliğe sahip olmasıdır. Kömürü sıvılaştırma işlemine tabi tuttuğumuzda ise en aranan özelliği uçucu maddesinin fazla olması vs. gelmektedir. Ama tümünde inorganik madde istenen bir bileşen değildir. [4], [6]

Kömürleri meydana getiren bataklıkların geliştiği ortamlar; [4]

- Deltalar (En kalın kömür damarlarının oluştuğu ortamlardır.)

- Göller (Göl kıyıları, kalın kömür damarlarının meydana geldiği uygun bataklık ortamlarıdır.)
- Lagünler (Deniz etkisinin olduğu ince kömür damarcıklarını meydana getirirler.)
- Akarsu taşma ovaları (İnce kömür damarcıklarını oluştururlar.)

## 5.2 Kömür Çeşitleri ve Kömürün Sınıflandırılması

Bitki örtüsünün türüne, kömürün yaşına, sıkışma miktarına ve yerkürenin hareketine göre kömürün karakteri de değişik olmaktadır. [6]

Çizelge 5.1 Kömürün kimyasal bileşiminin değişimi [6]

Malzeme	Kütlesel yüzde (%)		
	Karbon	Hidrojen	Oksijen
Ağaç	44	6	50
Turba	59	6	35
Linyit	71	5	24
Subbitümlü Kömürler	74	5	21
Bitümlü Kömürler	84	5	11
Antrasit	94	3	3
Grafit	100	-	-

### 5.2.1 Grafit

Grafit, karbon denilen kimyevi maddenin, tabiatta bulunan saf durumudur. Elmas da saf bir karbon olduğu halde aralarındaki fark grafitin kristalsiz bir yapıya sahip oluşudur. Grafit, ark lambası kömürlerinin yapımında ve yağlama maddelerinde kullanılır. Kil ile belirli bir nispette karıştırılırsa, kalem ucu yapımına yarayan bir madde elde edilir. [6]

### 5.2.2 Antrasit

En eski ve karbon yönünden en zengin kömür çeşididir. Meydana geliş tarihi 300 milyon yıl geriye dayanan antrasitteki karbon yüzdesi 90-95'i bulur. Sert ve parlaktır.[6]

### 5.2.3 Taş Kömürü

Antrasit kadar eski olmamakla beraber 200-250 milyon yıllık bir geçmişe sahip olduğu tahmin edilmektedir. Karbon yüzdesi 80-90'ı bulur. En değerlisidir. Linyitten yüksek oranda karbon, az su ve oksijen, önemli oranda gaz içerir. [6]

#### **5.2.4 Linyit**

Bileşiminde % 60 ile 73 oranında karbon bulunan kahverengi veya siyah fosil kömür olan linyitin tozu kahverengidir. [6]

Linyitin oluşum süreci taşkömürününkine benzer; linyit, bataklıklardaki bitki kalıntılarının bozuşması, sonra da yavaş yavaş alüvyon çökeltileriyle örtülmesi sonucu oluşur. Taşkömürü yataklarının büyük bir kısmı birinci zamandan kalmadır; oysa linyit yatakları, genellikle, çok daha yenidir (ikinci ve üçüncü zaman). Bitki kalıntılarını kömüre dönüştüren fiziko kimyasal olayların gerekli etkime süresi, taşkömürü için uzun, linyit için daha kısadır. Linyitin birçok çeşidi olmakla birlikte hepsinin ortak özelliği, bileşimlerinde yüksek oranda su (ortalama % 20 ile % 60'ın üstünde) ve uçucu maddeler (% 15'ten fazla, hatta % 60'ın üstünde) bulunmasıdır. Isı değerleri, kilogram başına 7000 kaloriye ulaşmaz. Genellikle bir ton linyitin 0.3 ton taşkömürüyle, eşdeğerli olduğu kabul edilir. Bu özellikleri, birçok linyit yatağının neden işletilmediğini ve hala bazı ülkelerde linyit rezervlerinin neden değerlendirilmediğini açıklar. Dünyadaki linyit rezervlerinin yaklaşık olarak 1700 milyar ton olduğu sanılmaktadır. [6]

Bununla birlikte, yatakların az derinde oluşu ve üzerindeki katmanların kolayca kaldırılabilmesi, linyit yataklarının açık havada işletilmesine imkan verir. Bu şartlar taşkömürüne oranla linyitin maliyetini düşürür ve iktisadi alanda linyit üretimini çekici hale getirir. Ayrıca termik santrallerde linyitten yararlanılması ucuza iletilebilen bir enerjinin üretilmesini sağlar. Uçucu madde bakımından zengin olması, linyitin kimyasal sanayinin başlıca hammaddesi haline gelmesini sağlamıştır. [6]

#### **5.2.5 Turba**

Bu kömüre daha çok bataklık yerlerde rastlanmaktadır. İçindeki su miktarı yüksektir. Karbon yüzdesi ise 60'ı geçmez. Turba, henüz karbonlaşma safhasını tamamlamamış genç kömürlere dendir. Çamurlu çöl ve bataklıklarda, çeşitli bitki artıklarının yığılması ile çok yakın bir geçmişte yani birkaç bin yıl önce oluşmuş bir kömür çeşididir. [6]

Kömürlerin sınıflandırılmasında genel olarak sabit karbon yüzdesi, kalorifik değer, uçucu madde, nem ve hidrojen yüzdeleri temel olarak alınmıştır. Bu sınıflamaların tamamı 30'a yakındır. Bunların arasında en çok kullanılan A.S.T.M. sınıflamasıdır. Bu sınıflandırmada kömürleşme derecesi esas alınarak; yüksek kaliteli kömürler, kuru ve külsüz bazda, sabit karbon ve uçucu madde yüzdelerine ve düşük kaliteli kömürlerde



kalori değerleri göz önüne alınarak ana ve alt sınıflara ayrılmışlardır. Kömürlerin A.S.T.M. sınıflaması izelge 5.2’de verilmiştir. [30]

Ülkemiz kömürlerinin ulusal sınıflaması; kömürlerimizin kalori değeri, kükürt içeriği ve koklaşma özellikleri baz alınarak hazırlanmıştır. Kmrlerimiz önce, kalori değerlerine(Q) göre sınıflandırılmış ve her bir sınıf bir büyük harf ile ifade edilmiştir.[30]

Örneğin; [30]

A sınıfı : Taşkömürü	$Q > 6500$ kcal/kg
B sınıfı : Yarı taşkömürü	$4000 < Q < 6500$ kcal/kg
C sınıfı : İyi kaliteli linyit	$3000 < Q < 4000$ kcal/kg
D sınıfı : Linyit	$2000 < Q < 3000$ kcal/kg
E sınıfı : Düşük kaliteli linyit	$Q < 2000$ kcal/kg

Çizelge 5.2 Kömürlerin A.S.T.M. sınıflandırması [30]

Ana Sınıflar	Alt Sınıflar	Sabit C* %	Uçucu Madde* %	Kalori Değeri* kcal/kg	Koklaşma ve Hava etkisi ile Bozulma
I. Antrasit	1. Meta Antrasit	98	2		Koklaşmaz ve hava etkisi ile bozulmaz
	2. Antrasit	92	8		
	3. Sem Antrasit	89	14		
II. Taş Kömürü	1. Düşük Uuculu	78	22		Koklaşır ve hava etkisi ile bozulmaz
	2. Orta Uuculu	69	31		
	3. Yüksek Uuculu A	<69	>31	>7800	
	4. Yüksek Uuculu B			7200-7800	
	5. Yüksek Uuculu C			7200-6400	
III. Yarı Taş Kömürü	1. Yarı Taş Kömürü A			6400-5800	Koklaşmaz ve hava etkisi ile bozulur.
	2. Yarı Taş Kömürü B			5800-5200	
	3. Yarı Taş Kömürü C			5200-4600	
IV. Linyit	1. Linyit A			4600-3500	Koklaşmaz ve hava etkisi ile bozulur.
	2. Linyit B			<3500	

\*Kuru külsüz baza göre

### 5.3 Kömürün Fiziksel ve Kimyasal zellikleri

Kömürün zellikleri; bileşimine, kömürleşme derecesine ve oluşum Şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu kapsamda kömür analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

sırasında analiz numunesinin seçiliş ve hazırlanış şartlarıyla beraber, kömürün havayla olan temas süresinde göz önünde bulundurulmalıdır. Kömürün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında (yansıtma, yoğunluk, gözeneklilik, vb.) kömür üzerinde etkisi olan nem, uçucu madde, kül ve sabit karbon içerikleri gibi özellikler de analiz sonucu belirlenmeli ve kömür üzerine olan çalışmalarda hesaba katılmalıdır. [4]

### 5.3.1 Nem

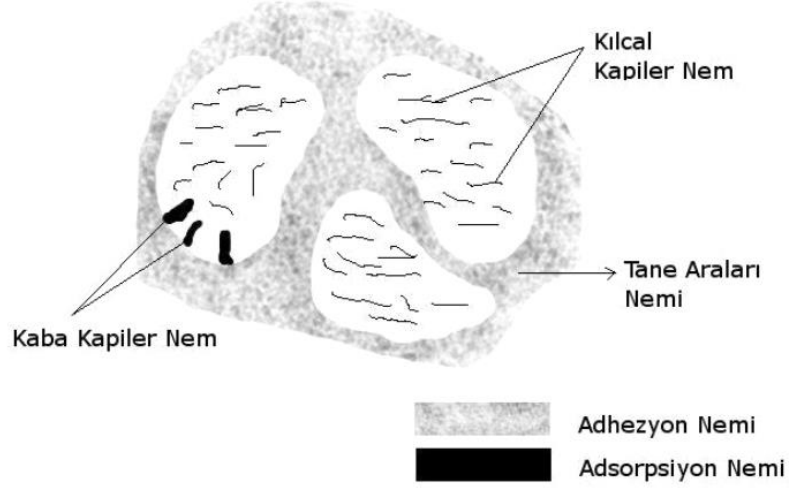
Kömürler, kömürleşme derecelerine göre farklı oranlarda nem içermektedirler. Ocak çıkışında taşkömürü % 1-3, sert linyitler % 20-30, yumuşak linyitler % 40-60, turbalar ise % 60'ın üzerinde nem içerirler. Buradan kömürleşme derecesinin kömür nemi içeriğindeki önemi anlaşılmaktadır. Kömürleşme derecesi arttıkça kömürdeki rutubet miktarı azalmaktadır. [4]

Kömürün yapısında bulunan nem miktarı kömürü fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bundan dolayı rutubet miktarının yapılan analizlerde belirlenmesi önemlidir. Özellikle kömürün nem oranının bünye neminin altına düşürüldüğü durumlarda, artan öğütülebilme ve pülverize edilebilme özelliğine bağlı olarak kömürün kalitesinin de önemli ölçüde artacağı belirlenmiştir. [4]

Kömür bünyesinde bulunan nemin değişik şekillerde bulunması ve bu nem içeriklerinin tespiti sırasındaki zorluklar nedeniyle net bir değerlendirme yapılması oldukça zordur. Kömürde bulunan nem kimyasal olarak bağlı nem, absorbe edilen nem ve mekanik kuvvetler sonucu tutulan nem olmak üzere üç grupta incelenebilir. Kimyasal olarak bağlı nem, kömürün temel bileşenleri arasında olup kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak oluşmakta ve daha güçlü bağlara sahip oldukları tahmin edilmektedir. Kömür içeriğindeki miktarı da oldukça düşüktür. Absorbe edilen nem yani fiziksel nem, su molekülleri ile kömür gözenek yüzeyleri arasında ince bir tabaka halinde bulunmaktadır. Bu tabaka, yüzeyin durumuna göre şekil almakta ve kömür içerisindeki nemin en büyük kısmını oluşturmaktadır. Mekanik kuvvetler sonucu kömürde tutulan nem büyük boyutlu çatlaklar, kılcallık ve yüzey gerilim kuvvetleri etkisiyle kömür içeriğinde tutulan sıvıdan oluşmaktadır ve diğer nem içeriklerine göre daha serbesttir.[4]

Yapılan bir çalışmada kömür içindeki suyun üç kaynaktan oluştuğu görülmüştür. Bunlardan ilki kömürün su ile temasından kaynaklanan yüzey nemi olup serbesitesi oldukça fazladır. İkincisi kömürün yapısındaki inorganik maddelerden kaynaklanan

bünye nemidir. Bünye nemi bitümlü kömürlerde % 1-3 arasındayken, linyitlerde bu oran % 60'a kadar çıkabilmektedir. Kömür içindeki nemin son kaynağı ise kimyasal olarak bağlı olan hidrotasyon suyundan kaynaklanmakta ve bu nem miktarlarının diğerlerine kıyasla kömür içeriğinde bulunma yüzdesi oldukça düşüktür. Kömürün içerdiği rutubet çeşitleri Şekil 5.1'de gösterilmektedir. [4]

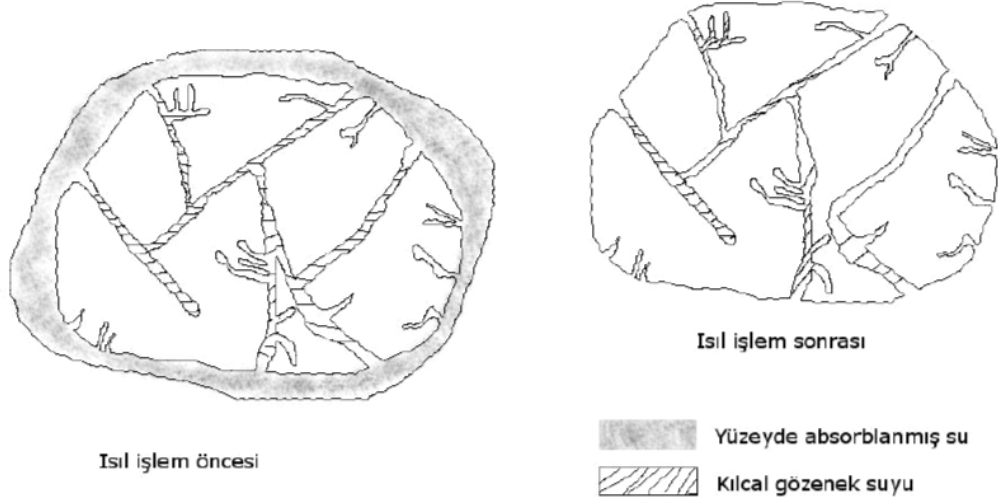


Şekil 5.1 Kömürün nem içeriği [4]

- 1) Yüzey nemi
  - a) Adhezyon (bağlı) nemi
  - b) Taneler arası nem
  - c) Adsorpsiyon nemi
- 2) Bünye nemi
  - a) Kaba kapiler nem
  - b) Kılcal kapiler nem

Yukarıda sınıflandırmada ifade edilen nem türleri ve kömürün oluşumuna bağlı derecelendirilmesi birlikte değerlendirildiğinden nemin bünye içerisindeki dağılımının ve yanma sürecindeki davranımının değişiklikler gösterebileceği anlaşılmaktadır. Linyit ve genç kömürlerde su yüzeyde çok gevşek bir şekilde bağlanırken, büyük ve mikro gözeneklerde hidrojen bağları vasıtasıyla kuvvetli bir şekilde bağlandığına işaret edilmektedir. [4]

Isıl işlem sonrası, nem veya nemin uzaklaştırılma durumunun genç kömürlerde şematik olarak ifadesi Şekil 5.2'deki gibidir. [4]



Şekil 5.2 Isıl işlem öncesi ve sonrası kömür bünyesindeki mevcut nemin davranımı [4]

### 5.3.2 Özgül Ağırlık

Ocaklardan çıkarılan tüvenan kömür farklı özgül ağırlıktaki parçaların karışımı halinde bulunmaktadır. Tüvenan kömürdeki herhangi bir parçanın özgül ağırlığı bu parçanın külüne, rutubetine, sabit karbon miktarına ve uçucu madde oranına bağlıdır. Kömürün külü arttıkça özgül ağırlığı artmaktadır. Ancak bu artışlar birbirleri ile doğru orantılı değildir. Ayrıca külün özgül ağırlık üzerindeki etkisi kül yapıcı maddelerin cinsine göre değişmektedir. Örneğin; alüminyumlu bir külün özgül ağırlığı, demirli bir külden daha azdır. [30]

Saf kömürün özgül ağırlığı, kömürün ait olduğu sınıfa göre değişerek; linyitten antrasite doğru gittikçe artmaktadır. [30]

Özgül ağırlık ( $g/cm^3$ ) [30]

Linyit	0,05 - 1,30
Bitümlü kömür	1,15 - 1,50
Antrasit	1,40 - 1,70

Aynı sınıftaki kömürlerin özgül ağırlığı arasındaki fark bunların içerdikleri farklı bünye kullerinden ileri gelmektedir. Kömürlerdeki kül yapıcı ve kükürt taşıyıcı maddelerin özgül ağırlıkları kömürden yüksektir. Bu maddelerin özgül ağırlıkları aşağıda verilmiştir. [30]

### Özgül ağırlık (g/cm<sup>3</sup>) [30]

Pirit	4,8 - 5,1
Şeyl, kil, kumtaşı	2,6
Jips	2,3
Kaolin	2,6
Kalsit	2,7

Çoğunlukla kullanılan kömür temizleme yöntemleri flotasyon dışında gravite yöntemleri şeklindedir. Bu nedenle kömür ile birleşmiş emprütelerin özgül ağırlıkları büyük bir öneme sahiptir. Karbonlu maddenin miktarına bağlı olarak karbonlu şist özgül ağırlığı 2,0 g/cm<sup>3</sup>'ten 2,6 g/cm<sup>3</sup>'e kadar olabilmektedir. Saf kömürün özgül ağırlığı literatürde 1,23 g/cm<sup>3</sup>'ten 1,72 g/cm<sup>3</sup>'e kadar değişmektedir. Bu değişimler kömür sınıfındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni nem, kül içeriği ve özgül ağırlığın belirlenmesinde farklı yöntemlerin kullanılmasından dolayıdır. [30]

Verilen sınıfın kömürü yaş olduğu zaman kuru olduğu durumdan daha yüksek bir özgül ağırlığa sahiptir. Benzer olarak özgül ağırlıktaki herhangi bir değişim kül içeriğindeki değişim ile gösterilmiş olup; daha yüksek kül içeriği daha yüksek özgül ağırlık vermektedir. [30]

Havada kurutulmuş kömürün gözle görülür özgül ağırlığı aynı kömürün “taze şeklinden” veya nem ile doyurulmuş aynı kömürden daha düşüktür. Fakat havada kurutulmuş kömür 24 saat su içinde bırakılırsa kömürün orijinal özgül ağırlığı tekrar elde edilir. [30]

### **5.3.3 Yapı ve Kırılma**

Kömürde ilk kırılma madencilik işlemleri sırasında meydana gelmektedir. Bu işlemlerdeki kırılmalar sonucunda meydana gelen parçaların büyüklük ve şekilleri uygulanan kazı yöntemi ile kömür yatağının ana kırık, çatlak ve zayıf yüzeyler sistemine bağlıdır. Bu sistemin özellikleri kömürden kömüre değişir ve kazı işlemleri önem taşımaktadır. Kırık ve çatlak sistemine en yoğun biçimde düşük uçucu maddeli bitümlü kömürlerde rastlanmaktadır. Bu kömürler çok kırılmalıdır ve kırıldıkları zaman fazla oranda ince malzeme meydana getirmektedirler. Bu tür kömürler bazen “zayıf” yapılı olarak tanımlanmaktadır. [30]

Kırık ve çatlak sisteminin fazla belirgin olmadığı ve kırılma yüzeylerinin birbirinden uzak bulunduğu kömürler ise “sağlam” yapılı olarak tanımlanmaktadır. Bir kömür yatağı parçalandığı zaman kırılma sisteminin özelliğine bağlı olarak blok şeklinde, kübik veya yassı parçalar meydana gelebilir. [30]

### **5.3.4 Tane Boyut Dağılımı**

Temiz kömürün satış değerini belirleyen kül, kükürt ve ısı değer gibi ana faktörlere, daha az önem taşımakla birlikte tane boyutu ilave edilebilir. Bazı satışlarda, kömürde belli bir boyutun altındaki malzeme oranının belli sınırı geçmemesi koşulu aranmaktadır. [30]

Ocaktan çıkarılan tüvenan kömürlerin tane boyut dağılımına çeşitli faktörler etki etmektedir. Bu faktörler, kömürün sertliği, mukavemeti, kırık ve çatlak sistemi gibi yapısal özelliklerden ve uygulanan madencilik yönteminden kaynaklanmaktadır. [30]

### **5.3.5 Sertlik**

Kömürün sertliği, ufalanabilme ve öğünebilme özelliklerine etki etmektedir. Kömürün sertliği, kömürün ait olduğu sınıfa bağlı olup karbon ve uçucu madde oranlarına göre değişmektedir. [30]

Kömürler arasında en yumuşak olanı linyit en sert olanı antrasittir. Ancak kömürler fiziksel yapı bakımından çok farklılık gösterdiğinden sertlik dereceleri de çok değişken olup antrasit dışında herhangi bir kömür için kesin bir sertlik derecesi belirtmek mümkün değildir. Antrasitin sertliği Mohs sisteminde 2,73-3 arasında olup çakı ile kolaylıkla çizilebilir. [30]

### **5.3.6 Gevreklik ve Mukavemet**

Gevreklik, herhangi bir parçanın kendinden küçük parçalara kırılabilme eğilimi olup kömürün önemli özelliklerinden birisidir. Kolay ufalanabilen kömürlerde fiyatı daha yüksek olan iri malzeme oranı azdır. Bu kömürlerde ince malzemenin fazla olması yüzey alanının büyük olmasına neden olmaktadır. Yüzey alanının büyük olması oksitlenmeyi hızlandırarak ani yanmalara ve koklaşan kömürlerde koklaşma kalitesinin azalmasına veya tamamen kaybolmasına neden olur. [30]

### **5.3.7 Öğünelirlik**

Öğünelirlik özelliği özellikle kömürün toz yakıt olarak kullanılmak üzere öğütülmesi sırasında önem taşımaktadır. Öğütme için kullanılan aygıtların kapasitelerinin belirlenmesinde, öğütme için gerekli enerjinin saptanmasında ve tesis kontrolünde, öğünelirlik özelliğinden yararlanır. [30]

### **5.3.8 Açık Havada Dağılganlık**

Açık havada bırakılan bazı kömürler, ıslanma ve kuruma olaylarının etkisi altında dağılırlar. Dağılma derecesi kömür sınıfına bağlıdır. Düşük sınıflı kömürler; havaya maruz bırakıldığında gevşeme veya parçalara ayrılıp dağılmaya belirgin bir eğilim göstermekte iken, ıslanıp ve kurutulduğunda veya güneş ışığına bırakıldığında linyitler kolaylıkla yumuşarken; alt bitümlü ve bitümlü kömürler bu durumdan az etkilenmektedirler. [30]

Bureau of Mines; kömürlerin gevşeme özelliklerinin laboratuvar ölçeğinde belirlenmesi için test yöntemi geliştirilmiştir. Yaklaşık olarak 1,25 inç boyutunda parçalardan oluşan bir kömür numunesi kontrollü olarak bir dizi ıslatma ve kurutma işlemine tabi tutulmakta ve işlem sonunda eleme yapılarak 3 mesh altındaki malzeme oranı bulunmaktadır. Bu oran eleme sırasında meydana gelebilecek ufalanmalar göz önüne alınıp düzeltildikten sonra kömür numunesinin kendiliğinden dağılma indeksini vermektedir. Bu yöntemle alınan sonuçlara göre bitümlü kömürlerde % 5'in altında olan dağılma indeksi, linyitlerde % 100'e çıkabilmektedir. [30]

### **5.3.9 Aşındırıcılık**

Kömürün aşındırma özelliği ekonomik yönden önemli bir faktördür. Bu özellik kömür maddesinden ziyade kömürdeki artık maddelerden ileri gelmektedir. Bu nedenle madencilikte kömür bir aşındırıcı madde olarak kabul edilir. [30]

### **5.3.10 Renk ve Çizgi Rengi**

Kömürlerin rengi, açık kahverengiden koyu siyaha kadar değişmektedir. Linyitler açık kahverengi ile koyu kahverengi arasındadır. Üst sınıftaki kömürlerde ise siyahın açıktan koyuya kadar değişen çeşitli tonlarına rastlanır. Çizgi rengi ise bir kömür parçası ile pürüzlü bir porselen yüzey üzerine çizgi çekilerek elde edilir. Bitümlü kömürlerden

daha düşük dereceli kömürlerin çizgi rengi sarı ile kahverengi arasında değişir. Bitümlü ve daha yüksek dereceli kömürlerin çizgi rengi ise kahverengi ve siyah arasındadır. [30]

### **5.3.11 Parlaklık**

Parlaklık, ışığın bir madde yüzeyinden yansıma şiddetidir. Işığın kuvvetli yansıdığı yüzeyler “parlak”, zayıf yansıdığı yüzeyler ise “mat” olarak tanımlanmaktadır. Kömürler mat veya parlak olabilmektedirler. Antrasit genellikle parlaktır fakat mat kısımlarda bulunur. Linyitler mat ve toprağımsı görünüşlüdürler. Bitümlü kömürler ise mat ile parlak arasında değişir. [30]

### **5.3.12 Isıl İletkenlik**

Bir maddenin ısı iletkenliği, ısı enerjisini sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye iletme özelliğidir ve birim alandan, birim zamanda, birim kalınlıktaki bir derecelik sıcaklık farkı nedeniyle iletilen ısı birimini gösteren bir katsayı ile ifade edilir. Bu sayı, Fourier'nin birinci kanunundaki orantı sabiti olup, bir maddenin içindeki denge hali ısı akısıyla ( $q$ ), sıcaklık dağılımı ( $\Delta T$ ) arasında bir bağıntı oluşturmaktadır. Isıl iletkenlik katsayısı,  $q$  ve  $\Delta T$ 'nin, uygun bir deney düzeneğiyle ölçülmesi sonucunda saptanabilir.[6]

Uçucu maddesinin, nem içeriğinin ve yoğunluğunun artmasıyla, kömürün ısı iletkenliği artmaktadır. Sıcaklığın yükselmesi de ısı iletkenliğinin artmasına neden olmaktadır ki bu artış gözeneklerin kaybolmasından ötürü, kömürün yumuşama sıcaklığı olan 400-600 °C de hızlanmaktadır. Çeşitli kömürlere ait ısı iletim katsayıları Çizelge 5.3'te gösterilmiştir. [6]

### **5.3.13 Özgül Isı**

Özgül ısı, birim kütlenin ısı kapasitesi olarak tanımlanabilir. Kömürün özgül ısısının en çok kullanıldığı yer, koklaştırma prosesi için gereken ısının hesaplanmasıdır. Özgül ısı, kömürün özelliklerine bağlı olarak, genellikle 0.2 – 0.4 kcal/kg°C arasında değişir. Çeşitli kömürlere ait, 20-100 °C arasında geçerli olan ortalama özgül ısı değerleri Çizelge 5.3'te görülmektedir. [6]

Kömürün karbonizasyon derecesi, özgül ısısını önemli ölçüde etkilemektedir. Suyun özgül ısısı kömürünün yaklaşık dört katı kadar olduğundan, kömürün nem içeriğinin artması, özgül ısısında büyük ölçüde artışa neden olmaktadır. Kömürün uçucu madde



içeriği ile sıcaklığının artması da özgül ısısında artışa neden olmaktadır. Çevre sıcaklığında, kokun özgül ısısı, kömürünkünden azdır ve artan sıcaklıkla sürekli bir şekilde artar; ancak, artış hızı yüksek sıcaklıklarda daha düşüktür. [6]

Çizelge 5.3 Bazı kömür ve kömür ürünlerinin ısı iletkenlik katsayıları ile ortalama özgül ısıları [6]

KÖMÜR	Uçucu Madde İçeriği (% kuru baz)	30°C'deki Isı İletim Katsayısı(Kcal/mh°C)	Ortalama Özgül Isı (C) 20-100°C (kcal/kg°C)
Linyit % 47.6 H <sub>2</sub> O	52.1	0.283	0.618
%12.1 H <sub>2</sub> O	52.1	0.142	0.36
%3.4 H <sub>2</sub> O	52.1	0.133	0.297
%0 H <sub>2</sub> O	52.1	-	0.306
Uzun alevli kömür	36.9	0.2	0.312
Gazlı kömür	31	0.187	0.28
Yağlı kömür	25	0.181	0.29
Yağsız kömür	13	0.182	0.267
Antrasit	8.2	0.205	0.26
Yarı kok	7.4	0.13	0.264
Yüksek fırın koku	0.6	0.834	0.206
Grafit	0	140	0.195

#### 5.3.14 Uçucu Madde Miktarı

Kömürün uçucu madde ve reaktivitesi arasındaki bağlantı, kömürün işlem gördüğü sıcaklığa bağlıdır. Bu arada kömürdeki uçucu maddelerin uçması sırasında, kömürle gaz arasındaki teması azalttıkları ve bu yüzden reaktiviteye olumsuz etki yaptıkları bilinmektedir. [4]

#### 5.3.15 Kükürt

Bütün kömürler az miktarda da olsa, kükürt içerirler. Kömürlerde bulunan kükürt üç formda olabilir: Organik, inorganik ve sülfat kükürdü. Bunlara ek olarak bazı kömürlerde elementer kükürtle karşılaşmıştır. Organik kükürt, kömürün organik materyalinin bir parçasıdır. Bu nedenle, kömürden fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılması mümkün değildir. Sülfat kükürdü, kömürde toplam kükürdün çok az bir kısmını

oluşturur. Jips ( $\text{CaSO}_4$ ) halinde bulunduğu gibi, kömürün hava ile uzun süre teması sonucu  $\text{FeSO}_4$  olarak da bulunabilir. Piritik kükürt ise, pirit ve markasit minerallerine bağlı olarak bulunur. Kömür içerisinde bantlar, damarlar, merccekler, küresel veya dissemine tanecikler halinde türlü şekil ve biçimlerde dağıtılabılırler. İster gözle görülebilir (makroskobik), ister mikroskobik olsun piritik kükürt, kömürden serbestleştiği takdirde flotasyon veya diğer zenginleştirme yöntemleriyle kömürden temizlenebilir. Çizelge 5.4'te linyit rezervlerimiz için kükürt içerikleri verilmiştir. [4]

Çizelge 5.4 Türk linyitlerinin kükürt içerikleri [4]

<b>Toplam Kükürt Aralığı (%)</b>	<b>Rezervdeki Pay (%)</b>
Toplam kükürt içeriği 0-1 arasındakiler	3.7
Toplam kükürt içeriği 1-2 arasındakiler	68.29
Toplam kükürt içeriği 2-3 arasındakiler	14.11
Toplam kükürt içeriği 3-4 arasındakiler	5.86
Toplam kükürt içeriği 4'ten fazla olanlar	8.04

### 5.3.16 Kül

Bütün kömürler organik olmayan maddeler içerirler. Kömürün yanmasından sonra, yanmayan maddelerden oluşan artığa kül denir. Külün büyük bir kısmı kimyasal bileşim olarak silisyum, alüminyum ve demir oksitlerinden ibarettir. [4]

Kömürlerde iki türlü kül bulunur: bünye külü ve harici kül (istihsal külü-üretim külü). Bünye külü, kömürü oluşturan bitkilerden gelen inorganik maddelerdir ve kömürdeki toplam külün % 2-3'ünü oluştururlar. Harici kül ise, kömürü oluşturan bitkilerin dışında kömüre karışan yabancı maddelerdir. Bu maddeler, kömüre, kömürleşme esnasında karışabileceği gibi, kömürleşmeden sonra da kömür damarları içindeki çatlak ve kırıklar boyunca girebilir. Bu yabancı maddeler kil, şist, kumtaşı, kireçtaşı ve benzerleri olabilir. Bunlar, kömür içinde mikroskobik parçalar halinde bulunabileceği gibi, damarlar ve/veya tabakalar halinde de bulunabilir. Yabancı maddeler, tüvenan kömüre, üretim esnasında tavan ve taban yantaşlarından da karışabilir. Bunların hepsi harici külü oluştururlar. Bünye külü, kömürden, yıkama yöntemleriyle uzaklaştırılmazken, harici kül, kömür yıkama yöntemleriyle belli oranda azaltılabilir. Çizelge 5.5'te linyit rezervlerimiz için kül içerikleri verilmiştir. [4]

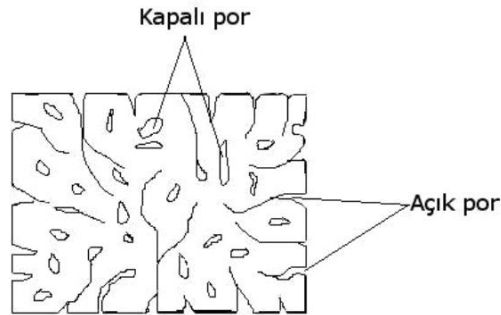
Çizelge 5.5 Türk linyitlerinin kül içerikleri [4]

Kül Aralığı (%)	Rezervdeki Pay (%)
Kül içeriği % 10-15 arasındakiler	1.54
Kül içeriği %15-20 arasındakiler	2.19
Kül içeriği %20-25 arasındakiler	52.37
Kül içeriği %25-30 arasındakiler	19.03
Kül içeriği %30'dan fazla olanlar	24.87

### 5.3.17 Kömürde Porozite

Kömür içerisindeki mevcut porlu yapı nemin tutulmasını sağlayan etmenlerin başında gelir. Bu porozitenin yapısı, boyutu ve şekli, mevcut yapı içerisindeki miktarı kömürün gözenek nemiyle belirlenir. Ancak por boyut dağılımını, yapısını ve mevcut içerisindeki miktarını belirlemek o kadar kolay değildir. Bu amaçla kullanılan birçok metot olmasına rağmen kömürün porozitesini tam olarak açıklayabilen veya tanımlayabilen mevcut bir metot bulunmamaktadır. [4]

Kömür yapısındaki porlu yapı birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve değişik sınıflandırmalara tabii tutulmuştur. Şekilden de anlaşılacağı üzere açık boşluklar veya katı yüzeyi ile bağlantılı kanallar ve kapalı boşluklar veya katı yüzeyi ile bağlantısı olmayan kanallardır. Gözenekler ve kömür partikülleri ile kayaların bağlandığı yapılar; çatlaklar, açık ve kapalı porlar ve aynı zamanda düzensiz yönlenmiş kısmi aromatik tabakalar arasındaki boşlukları içermektedir. [4]



Şekil 5.3 Kömürün poroz yapısındaki çatlaklar, açık ve kapalı porların görünüşü [4]

Mevcut por hacimleri ve poroz yapısı üzerine yapılan bir başka çalışmada ise, kömürleşme derecesinin artmasıyla beraber toplam por hacminde azalma olduğu ve bunun sonucu olarak da kömür bünyesindeki mevcut nem seviyesinin azaldığı gözlemlenmiştir. [4]

### YANMA SONUCU OLUŞAN ZARARLI EMİSYONLAR VE EMİSYONLARIN ÇEVREYE ETKİLERİ

Yanma reaksiyonunun doğal ürünleri olan karbon dioksit ve su buharı zararlı emisyon olarak sayılmayabilir. Fakat, karbon dioksitin atmosferde bulunma yüzdesinin artması yeryüzüne gelen radyasyon miktarını değiştirir ve bunun sonucu olarak sera etkisi denilen yer kürenin daha sıcak bir iklime dönmesini meydana getirir. [5]

#### 6.1 Zararlı Emisyonlar

Yanma sonucu; su buharı ve karbon dioksit ile birlikte partiküler maddeler, organik ve anorganik bağlar oluşturan kükürt oksitler ( $SO_x$ ), azot oksitler ( $NO_x$ ), karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbonlar gibi havayı kirleten zararlı ürünler dışarı çıkmaktadır. Bunları, katı ve gaz emisyonlar olarak da sınıflandırmak mümkündür. [5]

##### 6.1.1 Katı Haldeki Emisyonlar

Katı madde şeklindeki, yanmayla oluşan emisyonlar esas olarak uçucu toz, uçucu kok ve isten oluşmaktadır. Uçucu kül veya uçucu tozlar, küçük kül partikülleridirler. Bunlar, duman gazları ile taşınırlar ve özel filtrelerle ayrılırlar. Uçucu kok, tam olmayan yanmayla oluşan yakacak partiküllerinin koklaşmasıdır. İs, fosil kökenli yakıtların yanmasıyla oluşan karbon ve hidrokarbon bileşiklerinden meydana gelmektedir. Kısmen yüksek sıcaklıklarda yanmanın ani soğumasından da oluşabilir. [5]

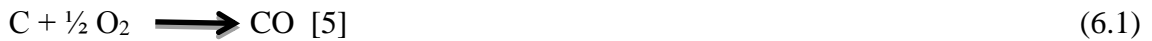
Tane iriliği  $0.1 \mu m$ 'den küçük tozlar serbest hareketler yaparak birbirine yapışırlar ve büyüyebilirler.  $0.1 - 1.0 \mu m$  arası tozların çökme hızları düşük olduğundan rüzgarlarla taşınırlar. Çapı  $20 \mu m$ 'den büyük olan tozlar havadan çökme ile ayrılabilirler. Toz emisyonlar, yakıtın kül miktarlarına da bağlıdır. [5]

## 6.1.2 Gaz Haldeki Emisyonlar

Yanma sonucu oluşan; karbon dioksit, karbon monoksit, azot oksitler, kükürt oksitler ve hidrokarbonlar önemli gaz haldeki emisyonlardır. [5]

### 6.1.2.1 Karbonmonoksit Emisyonları

Karbonmonoksit, karbon ve hidrokarbon esaslı yakıtların tam yanmamasından, kısmen karbonun karbon dioksit ile redüksiyonundan veya karbonun su buharı ile reaksiyonundan oluşmaktadır. [5]



veya



Yanma anında karbon monoksitin oluşmasının sebepleri: [5]

- Optimum yakma havasının sisteme gönderilememesinden dolayı tam yanma oluşmaması
- Sisteme gereğinden fazla hava gönderilmesi ile yanma sıcaklığının giderek düşmesi,
- Oluşan sıcak duman gazlarının soğuk yüzeylerden geçmesi ve böylece reaksiyonun kırılmasıdır.

Karbon monoksit; renksiz, kokusuz, hava ile eşit mol ağırlığına sahip (0 °C ve 760 mmHg basıncında 1.15 gr/lt özgül ağırlığı ile havadan hafif), kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmayan, varlığı kolay kolay fark edilmeyen, atmosferde kolayca yok olmayan, ömrü 2-4 ay olan zehirli bir gazdır. [5]

Aşağıdaki Çizelge 6.1’de karbon monoksitin fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Karbon monoksitin fiziksel özellikleri [6]

Özellikler	CO
Molekül ağırlığı (g)	28,1
Yoğunluk (g/l)	1.25 (273 °K, 1atm)
Erime noktası (°K)	67.94 (1atm)
Kaynama noktası (°K)	81.5 (1atm)
Kritik sıcaklık (°K)	132.8
Oluşum entalpisi (kJ/mol)	-110,5
Çözünürlük (H <sub>2</sub> O, g/100cm <sup>3</sup> )	0.4425 (273 °K)
Bağ uzunluğu (Å)	1.1282
Bağ enerjisi (kJ/mol)	1069

Neden olduğu enerji kaybı ve isilik sonucu kirlenme nedeniyle karbon monoksit, baca gazları içerisinde arzu edilmemekte ve emisyon kabul edilmektedir. Yakıtı verilen oksijen artırılarak, eksik yanma tamamlanmak suretiyle karbon monoksit mutlaka karbon dioksite dönüştürülmelidir. Baca gazı analizlerinde karbon monoksit miktarı 100 ppm değerine kadar normal kabul edilebilmektedir. [29]

#### 6.1.2.2 Karbon Dioksit Emisyonları

Karbonlu yakıtların tam yanma ürünü olan karbon dioksit, zehirli olmayan, renksiz, kokusuz ve suda çözünebilen bir gazdır.[6] Yakıt cinsine bağlı olarak karbon dioksitin baca gazları içerisinde yüksek oranda bulunması tercih nedeni olmaktadır. İyi bir yanmanın doğal sonucu olarak baca gazlarında yüksek oranda arzu edilen karbondioksit atmosferde neden olduğu sera etkisiyle son yıllarda emisyon kabul edilmektedir. [29]

Aşağıdaki Çizelge 6.2’de karbon dioksitin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.2 Karbon dioksitin fiziksel özellikleri [6]

Özellikler	CO <sub>2</sub>
Molekül ağırlığı (g)	44.1
Yoğunluk (g/l)	1.977
Erime noktası (°K)	329.6 (5.2 atm)
Kaynama noktası (°K)	194.5 (süblimleşir)
Kritik sıcaklık (°K)	304
Oluşum entalpisi (kJ/mol)	75.282
Çözünürlük (H <sub>2</sub> O, g/100cm <sup>3</sup> )	-393.5
Bağ uzunluğu (Å)	1.1632
Bağ enerjisi (kJ/mol)	530.9

### 6.1.2.3 Azot Oksit Emisyonları

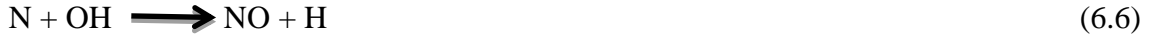
Yakıt cinsine bağlı olarak, ocağa verilen havanın fazlalık katsayısı ile ocak dizaynından kaynaklanan nedenlerle oluşan azot oksitler, çevre açısından emisyon kabul edilmektedir. Yakıt hava ayarının elverdiği oran dışında azot oksitlere müdahale imkanı bulunmamakta, kazan alımı sırasında dikkate alınması gereken bir parametre olarak değerlendirilmektedir. [29] Azot oksitler; NO, NO<sub>2</sub>,... olarak ayrılırlar. Tutulan NO<sub>x</sub>, yaklaşık olarak % 95 NO içerir. Bunlar:

- Termik NO<sub>x</sub>,
- Radikal oluşumlu NO<sub>x</sub>,
- Kimyasal NO<sub>x</sub>

şeklinde oluşmaktadırlar. [5]

Termal azot monoksit oluşumunda aktivasyon enerjisi çok önemli bir etkiye sahip olduğundan bu oluşum, sıcaklığa çok bağımlıdır ve yüksek alev sıcaklıklarında gerçekleşmektedir. Yakma sistemindeki yüksek sıcaklık ve yüksek oksijen derişimi, azot monoksit oluşumunu teşvik etmektedir. Termal azot monoksit oluşumunu engellemek için bu iki değişkenden birinin veya her ikisinin aynı anda kontrol edilmesi gerekmektedir. Termal azot monoksit oluşum mekanizması Zeldovich tarafından aşağıdaki tepkimelerle açıklanmaktadır; [6]





Yakıt kimyasal olarak bağlı azot bileşiklerinin oksidasyonu sonucu, yakıt kaynaklı azot monoksit oluşmaktadır. Yakıttaki azotlu organik bileşiklerin miktarının artmasıyla yakıt kaynaklı azot monoksit oluşumu da doğal olarak artmaktadır. Kömürün yanması sırasında oluşan azot monoksitin yaklaşık % 50-90'ı yakıt kaynaklıdır. Yakma havasında bulunan moleküler azot çok karardır.[6] Bu NO<sub>x</sub>, yaklaşık olarak 250 °C sıcaklığında açığa çıkmaktadır. [5]

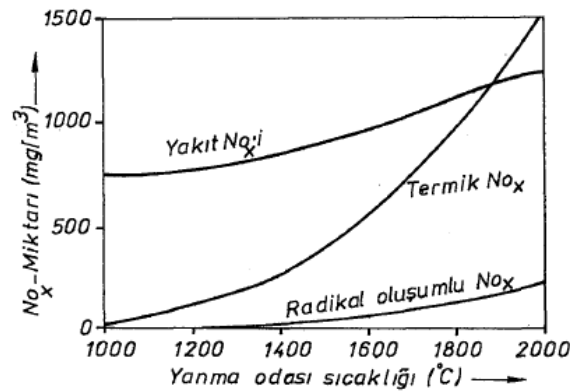
Radikal oluşumlu NO, özellikle yakıtça zengin olan bölgelerde ve hidrokarbon radikallerinin azot molekülleriyle yaptıkları reaksiyon sonucu oluşur. Bu NO oluşumunda Fenimore mekanizması geçerlidir. [5]



Radikal NO; N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>'den , yanma prosesindeki organik maddelerden aşağıdaki radikal reaksiyonlara göre de oluşabilir. [5]



Yakma sistemlerinde oluşan bu üç tür NO<sub>x</sub> yanma odası sıcaklığına bağlı olarak değişim gösterir. NO<sub>x</sub>'in, iç ortamlarda, gazlı ısıtıcılar ve pişirme cihazlarından da yüksek oranlarda oluştuğu belirlenmiştir. [5]



Şekil 6.1 Yanma odası sıcaklığına bağlı olarak NO<sub>x</sub> oluşumu [5]



Azot monoksit (NO); renksiz, kokusuz, suda az çözünebilir, görülemeyen, kolay oksitlenebilir (hemen azot dioksite oksitlenir) zehirli bir gazdır. Atmosferde kalma süresi 4 gündür. [5]

Azot dioksit (NO<sub>2</sub>); ağır, sarı-esmerimsi kalıcı kokuda olan, kolay oksitlenebilir, asit yağışlarında ve fotokimyasal sisin oluşmasında etken bir gazdır. Atmosferde kalma süresi 5 gündür. [5]

Aşağıdaki Çizelge 6.3'te azot oksitlerin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.3 Azot monoksit ve azot dioksitin fiziksel özellikleri [6]

Özellikler	NO	NO <sub>2</sub>
Molekül ağırlığı (g)	30.01	46.01
Yoğunluk (g/l)	1.34	3.40 (294 °K)
Erime noktası (°K)	109.4	261.7
Kaynama noktası (°K)	115.9	294.1
Kritik sıcaklık (°K)	180	431
Kritik basınç (atm)	64	100
Oluşum entalpisi (kJ/mol)	90.25	33.18
Çözünürlük (H <sub>2</sub> O, g/100cm <sup>3</sup> )	0.0098 (273 °K)	-
Bağ uzunluğu (Å)	1.14	1.19
Bağ enerjisi (kJ/mol)	627	305.1

Moleküler azot (N<sub>2</sub>), çevreyi olumsuz yönde hiç etkilemezken, azotlu bileşiklerin hemen hepsinin çevreye zararlı etkileri olduğu bilinmektedir. Hava kirliliği değerlendirmelerinde, azot monoksit ve azot dioksit gazları, atmosfere çok büyük miktarlarda atıldığı için büyük önem taşımaktadırlar. [6]

#### 6.1.2.4 Kükürt Oksit Emisyonları

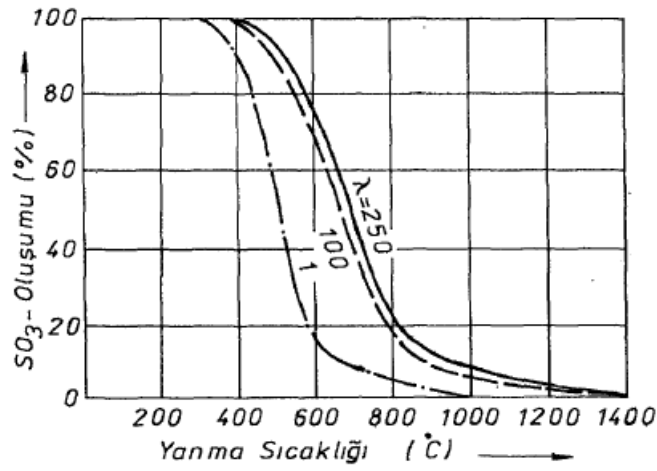
Kükürt oksitlerinin temel kaynağı, yakma sistemlerinde kullanılan kömürün içerdiği kükürttür. Kömürlerin kükürt içerikleri, oluşumları sırasındaki çevre şartlarına ve kömürleşme derecesine bağlı olarak % 0.2 ile % 11 gibi oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir. [6] Kükürt içerikli yakıtların oksidasyonunda, organik veya anorganik bağlı kükürt, kükürt dioksite yükseltgenir. Yakıtta hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan organik kükürttten egzotermik reaksiyon sonucu SO<sub>2</sub> oluşur. [5]



Anorganik bağlı kükürt; sülfat, disülfür ve elementer halde olabilir. Disülfür bağının yüksek oranda olduğu bu durumda aşağıdaki reaksiyona göre SO<sub>2</sub> oluşmaktadır; [5]



Yanma hacminde oluşan SO<sub>2</sub>'in küçük bir miktarı (maksimum % 10) SO<sub>3</sub>'e oksitlenir. Yanma bölgesindeki sıcaklık 400-1200 °C arasında SO<sub>3</sub> oluşabildiği halde 1250 °C'de sadece kükürt dioksit oluşmaktadır. Aşağıdaki Şekil 6.2'te, yanma sıcaklığı ve yanma için gönderilen hava fazlalığına bağlı olarak SO<sub>3</sub>'in oluşumu verilmiştir. [5]



Şekil 6.2 SO<sub>3</sub> emisyonunun yanma odası sıcaklığına ve hava fazlalığına göre değişimi [5]

Kükürt dioksit, renksiz, yanıcı ve patlayıcı olmayan, hafif kokulu bir gazdır. 0.3-1 ppm'lik derişimlerde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm'in üstünde ise boğucu bir hisse yol açmaktadır. Kükürt içeriği % 1 olan 1 ton kömürün yanması sonucunda, kömürde bulunan 10 kg kükürt oksijenle birleşerek 20 kg kükürt dioksit oluşturmaktadır. [6]

Kükürt dioksit gazı, atmosferde bulunan çeşitli bileşiklerle tepkimeye girebilmektedir. Bu tepkimeye örnek olarak, kükürt dioksitin (OH) serbest radikaliyle tepkimesi sonucu kükürt trioksit (SO<sub>3</sub>) oluşumu verilebilir. [6]



SO<sub>3</sub>'i meydana getiren reaksiyonlar sırası ile; [5]



şeklinde verilmektedir. Kükürt trioksit ( $\text{SO}_3$ ) su buharı ile kükürt asitini oluşturur;



Kükürt trioksit; renksiz, yanmayan boğucu bir kokuya sahip, suda çözülebilen, havada 0.5 ppm konsantrasyonunda kokusu hissedilebilen, 0.3-1.0 ppm'de acı lezzeti duyulan zehirli bir gazdır. [5]

Yakıt içerisindeki kükürdün yanmasıyla ortaya çıkan kükürt dioksit, brülör ve kazanda alınacak önlemlerle ilgisi olmamakta, ancak düşük kükürtlü yakıtlarla baca gazlarında azaltılabilmektedir. Doğalgaz kullanımında, baca gazında "0" olan kükürt dioksit değeri, % 0,5 kükürt ihtiva eden ithal kömür kullanıldığında, baca gazlarında 150-200 ppm değerlerinde olabilmektedir. Kükürt dioksitin, baca gazlarında, düşük sıcaklıklarda, su buharı ile birleşerek sülfirik asite dönüştüğü ve kazanlarda tahribatlara neden olduğu bilinmektedir. [29]

Aşağıdaki Çizelge 6.4'te kükürt oksitlerin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.4 Kükürt dioksit ve kükürt trioksidin fiziksel özellikleri [6]

Özellikler	$\text{SO}_2$	$\text{SO}_3$
Molekül ağırlığı (g)	64.06	80.10
Yoğunluk (g/l)	2.93 (273 °K)	1992 (sıvı)
Erime noktası (°K)	197.5	289.7
Kaynama noktası (°K)	262.8	317.8
Kritik sıcaklık (°K)	115.8	491.3
Kritik basınç (atm)	77.7	83.8
Oluşum entalpisi (kJ/mol)	-296.8	-395.7 (gaz)
Çözünürlük ( $\text{H}_2\text{O}$ , g/100cm <sup>3</sup> )	10.5 (293 °K)	$\text{H}_2\text{SO}_4$ oluşur
Bağ uzunluğu (Å)	1.43	1.43
Bağ enerjisi (kJ/mol)	547.6	-

### 6.1.2.5 Hidrokarbonlar

Kömürün temel bileşeni olan karbonun değişik kimyası metandan, uzun zincirli polimerlere kadar hemen hemen sonsuz sayıda farklı hidrokarbonların oluşumuna olanak vermektedir. Genellikle, atmosferdeki uçucu hidrokarbonlar,  $C_1 - C_{10}$  aralığındaki hidrokarbonlar olarak bulunmaktadır. [6]

Hidrokarbonların insan sağlığına etkisi, bu maddelerin ağızdaki oksijenle etkileşimi sonucunda meydana gelmektedir. Zehirli fotokimyasal oksitleyiciler ve sis karışımı gibi ikincil kirleticilerin oluşumunda belirleyici rol oynamaları nedeniyle, kontrol edilmesi gereken bir kirletici olarak değerlendirilmektedir. Hidrokarbonlar, ayrıca,  $SO_2$  ve  $SO_3$ 'ü  $H_2SO_4$  dumanına (sisine) dönüştürebilmektedir. [6]

### 6.1.2.6 Tanecik Kirleticiler

Tanecikler genel olarak, boyutları tek bir küçük molekülden (çapı  $0.0002 \mu m$ ) büyük,  $500 \mu m$ 'den küçük olan katı veya sıvı maddeler olarak tanımlanmaktadır. Bu boyutlardaki tanecikler, birkaç saniyeden birkaç aya kadar değişen sürelerde askıda kalarak, atmosferdeki konumlarını koruyabilmektedir. Çökme hızlarındaki farklılıklar, tanecik kirleticilerin atmosferdeki davranışlarının önemli ölçüde değişmesine neden olmaktadır. [6]

Atmosferde bulunan tanecikleri sınıflandırmak üzere çeşitli terimler kullanılmaktadır. Atmosferde doğal olarak, belirli seviyede tanecik yapıya sahip madde bulunmaktadır. Ancak, çeşitli aktiviteler sonucu oluşan emisyonlar, atmosferdeki tanecik derişimlerini artırmaktadır. Tanecik maddeler, doğrudan kirletici olmalarının yanı sıra, diğer kirleticiler için bir katalizör görevi de görmektedir. Kömürün yakılmasından kaynaklanan taneciklerin boyut dağılımı ve miktarı, kömürün özelliklerine ve yakıcı tipine bağlı olarak değişmektedir. [6]

Yanma olayı genel olarak dört farklı tipte taneciğinin oluşmasına neden olabilmektedir.[6]

- Isı, daha sonra yoğuşabilen maddeleri buharlaştırabilir; böylece  $0.1 - 1 \mu m$  arasındaki tanecikler meydana gelir. [6]
- Yanma prosesindeki kimyasal tepkimeler, yaklaşık  $0.1 \mu m$ 'nin altında, kararsız moleküler kümeler içeren kısa ömürlü tanecikler oluşturabilir. [6]

- Mekanik prosesler, 1 µm veya daha büyük boyutlarda kül veya yakıt taneciklerinin yayınımına neden olabilmektedir. [6]
- Yakma işleminin sıvı yakıtlarda olduğu gibi spreyleyler halinde gerçekleştirilmesi durumunda çok ince kül doğrudan kaçabilmektedir. [6]
- Fosil yakıtların kısmi yanması, kurum oluşturabilmektedir.[6]

## **6.2 Zararlı Emisyonların Çevreye Etkileri**

### **6.2.1 Emisyonların İnsan Sağlığına Etkisi**

Yanma sonucu oluşan zararlı emisyonlar, ya kendileri ya da diğer emisyonlarla bir arada birçok zararlı etkiler oluştururlar. Yapılan araştırmalar, kirleticilerin yoğun olduğu bölgelerde özellikle çocukların ve üst solunum yolları rahatsızlığı bulunan kişiler üzerine etkisinin çok daha fazla olduğunu ortaya çıkarmıştır. [5]

### **6.2.2 Karbon Monoksitin Etkisi**

Karbon monoksit, kandaki hemoglobin ile birleşerek karboksi-hemoglobini (CoHb) oluşturur. İnsan kanındaki hemoglobin, CO ile birleşmeye oksijene nazaran 210 kat fazla ilgi duyduğundan oksijen taşınmasını bozar. Karbon monoksitin; çevrede 10 µg/m<sup>3</sup>'lük bir miktarı uzun sürede, 30 µg/m<sup>3</sup>'lük bir miktarı kısa sürede (1 saatte) etkili olur.

### **6.2.3 Azot Oksitlerin Etkisi**

Solunumla alınan azot oksitler, kılcal damarlar yoluyla kana karışmakta, hemoglobinle birleşerek karbon monoksite benzer etki yapmaktadır. Azot oksitler, özellikle nemli havalarda NO<sub>3</sub>'e yükseltgenerek okside olmakta ve sonuçta nitrik asidi (HNO<sub>3</sub>) oluşturup asit yağışlarına neden olmaktadır. Hava şartlarına göre ya oluştuğu yerin yakınlarına inmekte veya uzak bölgelere taşınmaktadır. Nitrik asit, "H<sup>+</sup>" ve "NO<sub>3</sub><sup>-</sup>" iyonlarına ayrılmakta ve yağmur sularıyla çözülmüş olarak taşınmaktadır. [5]

### **6.2.4 Kükürt Oksitlerin Etkisi**

Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), insanlarda solunum yollarında salgı akıntısını hızlandırarak veya yavaşlatarak şiddetli akut zehirlenmelerine sebep olur ve bronş adalelerini büzerek nefes yollarını daraltır. İnsanlarda, 1 ppm (2.7 mg/m<sup>3</sup>)'den daha az SO<sub>2</sub> konsantrasyonu kısa

zamanda tesirini göstererek gözlerde, solunum yollarında alışık olunmayan durumlara sebep olmaktadır. Bronşit ve astımı olanlarda, bir defasında alınan 0.5 ppm'e kadar olan SO<sub>2</sub> konsantrasyonu solunum yollarındaki akış direncini arttırmakta 1 ppm'in üzerindeki konsantrasyonlar akış direncini çok kuvvetli arttırarak astım krizine yol açabilmektedir. Solunum fonksiyonlarının değişimi reversibi olduğundan, bir defasında etkilenme endişe verici bir durum olarak kabul edilebilir. SO<sub>2</sub>, nefes ile vücuda alınmasından itibaren 10 dakika içinde etkisini gösterir. Bunun yanı sıra solunum yollarına diğer bir hastalığı da taşıyabilir. [5]

SO<sub>2</sub>, atmosferde SO<sub>3</sub>'e ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfirik asit)'e dönüşerek asit yağışlarına neden olur. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yağmur sularında "H<sup>+</sup>" ve "SO<sub>4</sub><sup>-</sup>" iyonları şeklinde çözülmüş olarak taşınır. 3000 µg/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'e kısa süre maruz kalınmasıyla akciğer fonksiyonları etkisiz hale gelmektedir. Çocuklar üzerinde yapılan araştırmalar, kuvvetli SO<sub>2</sub> yüklenen bölgelerde hastalık sıklığının görüldüğünü ortaya koymaktadır. [5]

### **6.2.5 Emisyonların Bitkilere Etkisi**

Yanma sonucu oluşan zararlı emisyonlar bitkilere üç şekilde tesir ederler: [5]

- Yaprak dokularının harap olması,
- Yaprakların sararması veya başka renklere dönüşerek yeşilliğini kaybetmesi,
- Büyümenin yavaşlaması ve besi değerinin düşmesi,

SO<sub>2</sub> gazı, bitkilerde fotosentez olayını yavaşlatmakta, oksidasyon işlemine engel olmakta, kloroplastlardaki magnezyumu kurutmaktadır. [5]

### **6.2.6 Emisyonların Eşyalara Etkisi**

Emisyonların eşyalar üzerindeki en çok bilinen tesiri, bina cephelerinde, kumaşlar ve diğer eşyalar üzerinde lekeler meydana getirmesidir. Yüzeyler üzerine 0.3 mikron büyüklüğünde smogların birikmesi neticesi söz konusu bozulmalar ve lekeler meydana gelmektedir. Zamanla bu birikme yüzeyi tahrip ederek ve rengini değiştirerek kendini belli eder. Malzemelerde korozyonu hızlandırır. [5]

### YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLARA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Yanmada, zararlı emisyonların oluşmasında, yakma sistemi ve duman bacası büyük rol oynamaktadır. Bacadan atılan zararlı emisyonların etki derecesini de meteorolojik şartlar, topografik yapı ve kentsel doku belirler. [5]

#### 7.1 Yakıtın Etkisi

Yanma sonucu oluşan zararlı emisyonlarda kullanılan yakıtın etkisi, yakıtın cinsine ve özelliğine göre değişir. Yakma sistemlerinde katı olarak genelde linyit kömürü kullanılır. Ülkemizde kömür rezervlerinin % 57'sinin ısı değeri 1500 kcal/kg'ın altında, % 33.5'inin 1500-3000 kcal/kg arasında, % 9.5'inin ise 3500 kcal/kg'ın üzerindedir. Linyitlerimizin genel olarak ısı değeri 800-6000 kcal/kg, kül oranı % 6-54, kükürt oranı % 0.5-10, nem oranı % 1-53 arasında değişmektedir. [5]

Linyitlerimizin çevre kirlenme açısından özellikleri şöyle sıralanabilir: [5]

- Düşük ısı değere sahip yakıt kullanımı sonucunda, yeterli birim enerji üretimini sağlamak için daha yüksek miktarlarda yakıt kullanılacak, bu da daha fazla kükürt dioksit, azot oksit, tanecik ve hidrokarbonun yayılımını getirecektir.
- İçerdikleri kükürt ve azot miktarları, ısı değeri bazında incelendiğinde, dünya ortalamalarının üzerindedir.
- Kül ve nem oranları fazla olduğundan katı artık ve tanecik yayılımı yüksektir.
- Fiziksel ve kimyasal özellikleri çok önemli değişimler gösterdiğinden, yakma sistemlerinin tasarlanma zorlukları, yakma sorunları ve kirlenme (özellikle CO, yanmamış hidrokarbon, duman ve kurum) ile karşılaşmaktadır.

- Kül yumuşama sıcaklıkları düşük olduğu için yakma sistemlerinde kolayca aglemerasyona uğrayıp yanma verimini düşürmektedir.

## 7.2 Sistemin Etkisi

Hava kirliliğine yakma sisteminin etkisi çok büyüktür. Bu etki genelde yakıt-yakma sistemi uyumsuzluğundan kaynaklanmaktadır. Yakıt olarak çoğunlukla linyit kömürü kullanılmaktadır. Linyit kömürlerinin kimyasal özelliklerinde çok büyük farklılıklar vardır. Bu da yakma sisteminin hangi özelliklere göre yapılacağı problemini ortaya çıkarmaktadır. [5]

Yakma sisteminin, kullanılan yakıt ve yakma havası dengesini çok iyi kuracak nitelikte olması gerekir. Bu denge tam sağlanmadığında, ya yakma havasının yetersiz olmasıyla eksik yanma oluşacak ve karbon monoksit, yanmamış karbon veya hidro-karbon gibi zararlı emisyonlar artacak ya da yakma havasının gereğinden fazla olmasıyla yanma bölgesinde soğuma meydana gelerek ısı kapasitesinin düşmesinin yanında azot oksit gibi zararlı emisyonları da arttıracaktır. [5]

Özellikle düşük kapasiteli yakma sistemlerinde yanma yukarıdan aşağıya doğru yapılmaktadır. Çünkü, yanma aşağıdan yukarıya doğru yapıldığında karbon monoksit, yanmamış karbon ve partikül gibi zararlı emisyonların daha fazla miktarlarda açığa çıktığı belirlenmiştir. [5]

## 7.3 Bacanın Etkisi

Yakma sisteminde yanma sonucu oluşan duman gazlarını atmosfere atmak için yapılan bacalarla sistem arasında uygunluk olmalıdır. Minimum baca çekiş değerinin, baca içindeki toplam sürtünme kayıplarını yenecek düzeyde olması gerekir. Buna göre çekiş, baca yüksekliğinin ve duman gazları sıcaklığının artışına göre büyür. Bacadan duman gazlarının çıkış hızı, tesisin minimum yüklenmesine göre artmalıdır. [5]

Baca çekişinin iyi olmaması halinde kötü bir yanma meydana gelir ve zararlı emisyonlar artar. Bunların dışında, zararlı emisyonları arttıracığından dolayı bacalardaki nemlenmeden kaçınılmalı ve bacanın sürekli temiz olmasına dikkat edilmelidir. [5]



#### 7.4 Meteorolojik Şartların Etkisi

Dış havanın sıcaklığı, nemi, basıncı, rüzgar hızı ve yönü, yağış ve sis gibi meteorolojik şartlar hava kirliliğinin etkinliğinde önemli rol oynamaktadır. Hava sıcaklığının düşmesiyle orantılı olarak yakma sistemlerinde kullanılan yakıt miktarı artacak ve artan miktarına paralel olarak çevreye yayılan zararlı emisyonların miktarı da artacaktır. Bu nedenle iyi bir yanma sağlamanın yanı sıra yalıtıma da gereken önem verilerek, açığa çıkan zararlı emisyonların azaltılması sağlanmış olur. [5]

Herhangi bir nedenle bir bölgenin üstünü kaplayan sıcak hava tabakası daha soğuk olan yerleşim merkezinden yukarıya doğru yükselmek isteyen havayı engeller. Bu olaya inversiyon denir. Bu durumda özellikle yakma sistemlerinden çıkan kirletici gazlar inversiyon tabakası ile yeryüzü arasında sıkışıp kalır. Kirlenen ve durgun halde olan bu hava teneffüs edildiğinde, istenmeyen sağlık problemlerine neden olabilmektedir. [5]

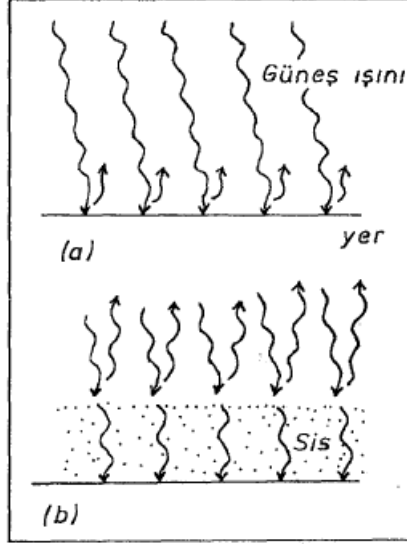
Havanın içinde bulunan nem, duman gazları içinde bulunan kükürt dioksit, azot oksit, karbon monoksit gibi gazlarla reaksiyona girerek sülfirik asit, nitrik asit ve karbonik asiti oluşturmakta ve asit yağışlarına neden olabilmektedir. İnsan sağlığı için sıcaklık ve nem orantılı olmalıdır. Sıcaklık düşük, nem yüksek olduğunda insan organizmasında rahatsızlıklar meydana gelir. Daha fazla ısınma ihtiyacı duyulur. Bunun sonucu, daha fazla yakıt yakılacağından zararlı emisyonlar da orantılı olarak artar. [5]

Rüzgarın hızı ve yönü, havaya karışan zararlı maddelerin yatay olarak taşınmasında etken olur. Bu durumda, hava yüksek binalara veya ağaçlara çarparak türbülanslı halde akmaya başlar veya çeşitli yönlerde dağılır. Yerleşim merkezi üzerinde biriken veya rüzgar yardımıyla başka yerlerden sürüklenen emisyonlar, hava şartlarının etkisiyle burada uzun süre kalabilirler. Bu durumda emisyonlar buldukları bölgede aşağı çökerek yerleşim merkezinde, rüzgarın hakim olduğu yöne göre sanayi tesisleri kurulmalı ve şehir dokusu belirlenmelidir. Evlerde veya iş yerlerinde duman bacaları, rüzgarın duman gazlarını sürükleyeceği göz önüne alınarak yapılmalıdır. [5]

Yağışlar, havada asılı bulunan bazı tozları ve kükürt dioksit gibi gaz kirleticileri yıkayarak toprağa indirirler. Fakat bu durumda da su ve toprak kirlilikleri meydana gelmektedir. Ayrıca kükürt dioksit ve azot oksit gibi gazlarla ultraviyole ışınlarının tesiri altında birleşen su, asit yağışlarına neden olabilmektedir. [5]

Atmosferdeki su buharının yoğuşmasıyla oluşan havadaki ince su damlacıklarına sis denir. Sis, güneş ışığının yeryüzüne gelmesini engeller, duman ve toz partikülleri ile

yoğunlaşabilir. Sisin üst kısımlarının daha fazla ısınması sonucu içindeki kirletici maddeler dağılamaz ve hava kirliliğine neden olur. Sis, kükürt dioksit ve azot oksitlerle birleşerek asit yağışları meydana getirebilir. [5]



Şekil 7.1 Sisin güneş ışınlarını engellemesi [5]

### 7.5 Topografik Yapı ve Kentsel Dokunun Etkisi

Dağlar, engebeli arazi, yüksek binalar, çatı gibi yakma sistemlerini çevreleyen topografik yapı, hava akımını engelleyebilmekte ve bacadan yayılan kirleticilerin atmosfere karışarak uzaklara dağılmasını zorlaştırabilmektedir. Kentsel ve endüstriyel planlamalar, arazinin topografik yapısı ve meteorolojik şartlar da göz önünde bulundurularak zararlı emisyonlardan en az etkilenecek şekilde yapılmalıdır. Planlama yapılmadan kurulan bir yerleşim merkezinde oluşan hava kirliliğini ortadan kaldırmak hem çok zor hem de yüksek maliyetlidir. [5]

Kentsel dokunun da planlı yapılması gerekir. Yolların yeterli genişlikte olması, binaların; yanma sonucu oluşan zararlı gazların dağılmasını ve taşınmasını engellemeyecek şekilde ve yükseklikte planlanması gerekir. Yüksek yapıların aralarında kalan küçük yapılarda duman gazlarının uzaklaştırılması çok zordur. Buradaki zehirli emisyonlar, sürekli, insanların teneffüs ettiği bölge içerisinde kalmaktadır. [5]

### YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLARIN KONTROLÜ

Yanma sonucu oluşabilecek zararlı emisyonların çevre ile ilgili yaptırımlara göre sınır değerlerini aşmaması gerekir. Bunun için yakıt ve yakıcı da göz önüne alınarak, emisyonların hangi kısımda kontrol edilebileceği çok iyi tetkik edilmelidir. Kirletici kaynakların neden olduğu hava kirliliğinin kontrolünde uygulanan başlıca yaklaşımlar:[5]

- Enerjinin verimli kullanımı ile zararlı emisyonların azaltılması
- Kirletici özelliği az olan yakıtların kullanılması veya yakıt hazırlama teknolojileriyle çevre ile uyumlu hale getirilmesi,
- Uygun yakma sistemleri ve teknolojileri ile hava kirleticilerin bir bölümünün yanma odasında tutulması,
- Zararlı emisyonların baca gazlarından arıtılmasıdır.

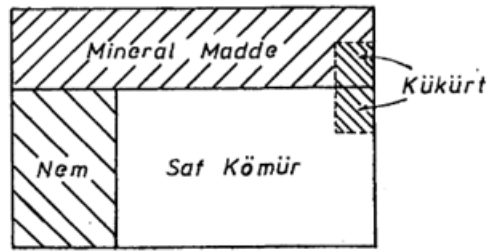
#### 8.1 Enerjinin Verimli Kullanılmasıyla Zararlı Emisyonların Azaltılması

Geleneksel kömür yakma tekniklerinin geliştirilmesiyle, yakma verimi arttırılmıştır ve bu sayede emisyonlar azaltılmaktadır. Verimlilikteki % 1 puanlık artış, emisyon oranında % 2'lik bir azalmayı doğurmaktadır. Kalite artımı veya eski santrallerin yenilenmesi CO<sub>2</sub> oranında şartlara bağlı olarak % 10'dan % 25'e kadar çok önemli bir düşüş yaratabilir. Bu azalmalar iklim değişikliği ile mücadele için gerekli olan azaltılmış emisyon değerlerine yaklaşık sonuçlar verebilmiştir. Artırılmış verimler aynı zamanda diğer kirleticileri ve genel yakıt kullanımını azalttığı için nispeten daha az maliyetle birden fazla yara sunmaktadır. [31]

## 8.2 Yakıt Hazırlamayla Zararlı Emisyonların Azaltılması

Kömürün yakılması sonucu oluşan toz (veya is), kükürt dioksit ve karbon monoksit en önemli zararlı emisyonlardır. Yakıt hazırlama teknikleri ile toz ve kükürt dioksit belirli oranlarda azaltılabilir. Karbon monoksit emisyonu, yakma sistemi yakıt dengesine göre kontrol altında tutulabilir. [5]

Yakıtın kullanım yerine göre hazırlanması gerekir. Başta demir çelik endüstrisi olmak üzere diğer endüstri dalları kömürü ancak koklaştırılmasıyla kullanabilmektedir. Metalürjik kok adı verilen bu yakıt sadece taş kömür rezervlerinin ancak bir kısmından üretilmektedir. Kömür temizleme ve arıtma teknolojileri ile kömürün içerisindeki bazı safsızlıklar giderilebilir. Şekil 8.1’de kömür ve safsızlıkları gösterilmektedir. [5]



Şekil 8.1 Kömür ve safsızlıkları [5]

Nem, kömürlerde yüzey nemi ve yatak nemi olarak bulunur. Parça kömürler için çok az olan yüzey nemi, özellikle yıkama işleminden geçmiş toz kömürlerde yüksek düzeydedir. Toz kömürlerde yüzey nemi sarsak elek, santrifüj vb. donatımla mekanik olarak kömürden ayrılır. Yatak nemi ve taneli kömürlerde yüzey nemi ısı kurutmayla giderilebilir. Ancak kurutma işlemi, kömürün tekrar nem almasına fırsat vermemek için kullanımlarının hemen öncesinde yapılmalıdır. [5]

Kömürlerde yaygın halde bulunan, yanma sonucu kül haline dönüşen mineral maddeler Çizelge 8.1’de verilmiştir. Kömürden mineral maddenin giderilmesi fiziksel, biyokimyasal ve kimyasal yöntemlerle yapılabilir. [5]

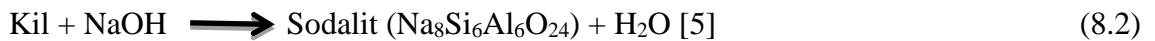
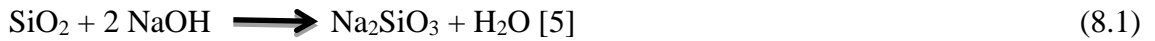
Çizelge 8.1 Kömürlerin içerdiği mineral maddeler [5]

Mineraller	Kimyasal Bileşimi
İllit	$KAl_2 (AlSiO_{10}) (OH)_2$
Semektik	$Al_2Si_4O_{10} (OH)_2 \cdot xH_2O$
Kaolinit	$Al_2Si_4O_{10} (OH)_2$
Kalsit	$CaCO_3$
Dolomit	$CaCO_3MgCO_3$
Siderit	$FeCO_3$
Pirit	$FeS_2$
Kuarz	$SiO_2$
Hematit	$FeO_3$

Kömürden mineral maddenin uzaklaştırılmasında uygulanan kömür yıkama yöntemleri fiziksel yöntemlerdir. Kömürle mineral madde arasındaki büyük yoğunluk farkı jigler, ağır ortam ayırıcıları, sarsıntılı masalar gibi yerçekimi yöntemlerinin uygulanmasını mümkün kılmaktadır. [5]

Kömürdeki piritik kükürdün % 70-80'inin, çözeltiliyle alınmasının mümkün olduğu biyokimyasal yöntemlerde genelde Thiobacillus türü bakteriler kullanılmaktadır. [5]

Kimyasal yöntemler olarak, kimyasal ufaltma, çeşitli gaz ortamlarında koklaştırma, kostik çözeltiliyle mineral madde giderimi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Kimyasal ufaltmada; metenol, amonyak gazı gibi uygun bir kimyasal maddeyle temas ettirilmekte ve işlem sonunda kömür çözünmeksizin dağılmaktadır. Piriti de içeren kül yapıcı maddenin çoğu aşırı derecede ufalmaksızın serbest hale gelmektedir. Kömürün kükürdünün giderilmesi amacıyla yapılan koklaştırma işlemlerinde inert olarak azot veya karbon dioksit gazları, indirgen olarak hidrojen, su buharı veya oksijen kullanılmaktadır. Kömürün en fazla kül yapıcı bileşenleri kuarz ve kil mineralleri sodyum hidroksit kullanılarak giderilebilir. [5]



Kömürde kükürt, organik kükürt olarak saf kömürün yapısının bir parçası olabildiği gibi mineral maddesinde de bulunur. Mineral madde içerisindeki kükürt çoğunlukla pirit biçiminde ve az miktarda da sülfat kükürdü olarak bulunur. Mineral madde içerisindeki kükürt yukarıda açıklanan yöntemlerle giderilebilir. Organik kükürdün çoğunluğunu

oluşturan tiofenler ise oldukça dayanıklıdır ve ancak yüksek sıcaklıklarda bozunurlar. Tiofenik halka 800 °C'de parçalanır. Ayrıca kükürt gidermede kullanılan Meyers yönteminde ince öğütülmüş kömür tozu, Fe<sup>+3</sup> iyonlarını içeren bir çözelti ile reaksiyona sokulursa, Fe<sup>+3</sup> iyonları Fe<sup>+2</sup> iyonlarına indirgenir ve serbest kükürt oluşur. Çözelti süzülerek kömürden ayrılır, kömür yıkandıktan sonra vakum altında ısıtılarak kurutulur ve serbest kükürdün büyük bir kısmı da kurutma sırasında buharlaşır. [5]

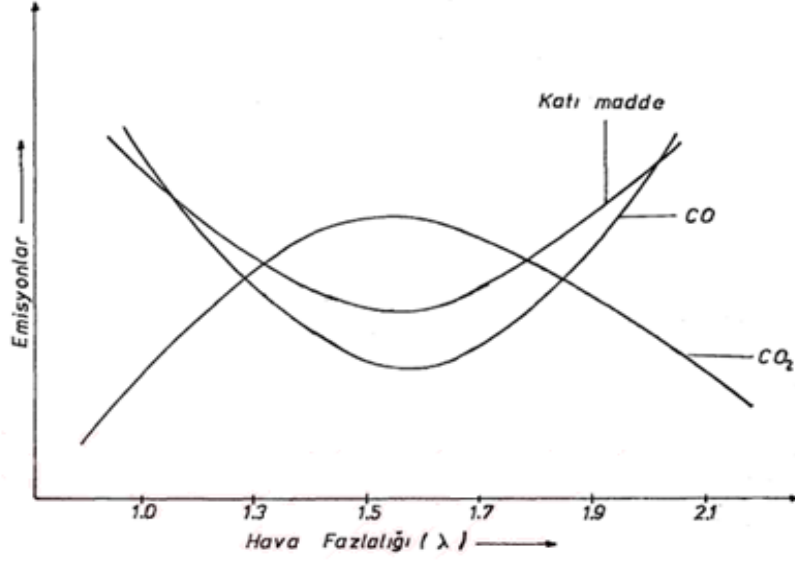
### **8.3 Zararlı Emisyonların Yanma Odasında Tutulması**

Yakma sistemleri tasarımı ve sistem seçiminde; sistem kapasiteleri, yakıt yakma ve kirletme özellikleri, enerji ve işletme ekonomisi yönünden uygunluğu göz önünde tutulmalıdır. Kirleticilerin yanma odasında tutulması; yakıt tane biçimi (briket, tane kömür, toz kömür) ve tane büyüklüğüne, kül özelliği ve kömür katkı maddesine (kireç, kireçtaşı, dolomit vb.), yakma biçimine (ızgara üzerinde, toz biçiminde, akışkan yatakta), cüruf alma özelliğine (kuru cüruf, ergimiş cüruf), yanma odası sıcaklığı ve diğer birçok tasarım ve işletme parametrelerine bağlıdır. [5]

Yanma odasında; toz, kükürt dioksit ve azot oksitlerin bir kısmı tutulabilir ve karbon monoksit çıkışı da azaltılabilir. Toz emisyonların tutulabilmesi; yakıt tane iriliğine ve yüklenmesine, yakma ve yanma odası biçimine ve yakma havası oranına bağlıdır. Izgaralı yakma sistemlerinde, külün yanma odasında tutulması oranı toz kömür yakma sistemlerinden çok daha fazladır. [5]

Genelde doğal çekişli yapılan düşük kapasiteli ızgaralı yakma sistemlerinde; yakıt, uygun tane irilik aralığında ve uygun doldurma yüksekliğinde yüklenmelidir. Çünkü küçük tanelerde, yakma havasının taneler arasından geçişi zorlaşacağından eksik yanma oranı artar. Çok iri kömürlerin yakılmasında, kömürün ısı transfer yüzeyi düşeceğinden ve üzerinde küllenme olacağından dolayı yine yanma zorlaşarak eksik yanma ürünleri artar. [5]

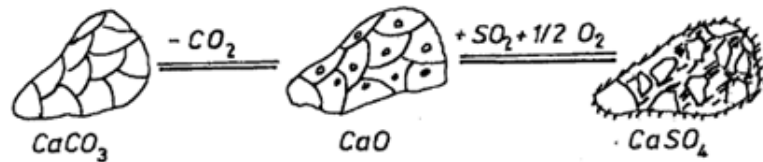
Yakma havası uygun oranda verilmelidir. Yakma havası gereğinden az verildiğinde eksik yanma artar, çok verildiğinde yanma bölgesini soğutacağından yine eksik yanma meydana gelir. Aşağıdaki Şekil 8.2'de emisyonların değişimi yakma havasına bağlı olarak verilmiştir. [5]



Şekil 8.2 Emisyonların hava fazlalığına bağlı olarak değişimi [5]

Yanma odasında kükürt dioksitin tutulması, genelde yakıtta kireçtaşı ilavesiyle gerçekleştirilmektedir. Kömürün özelliğine bağlı olarak kükürdün yanmasıyla oluşan kükürt dioksitin bir bölümü  $\text{CaCO}_3$  (kireçtaşı) ile reaksiyona girerek sülfatlı bileşikler halinde yanma odasında tutulmaktadır. Kükürt dioksit, belirli bir sıcaklık bölgesinde ( $650 - 1250 \text{ }^\circ\text{C}$ )  $\text{CaO}$  ile yeterli süre temas etmesi durumunda  $\text{CaSO}_4$ 'e dönüşür. Aşağıdaki Şekil 8.3'te kireçtaşı ile kükürt dioksitin tutulması reaksiyonu verilmektedir.[5]

Farklı fiziksel ve kimyasal yapıya sahip kireçtaşlarının kükürt dioksit tutma kapasiteleri de farklılık göstermektedir (% 20 – 64 arasında). Araştırmalar sonucunda, ızgaralı yakmalarda  $\text{Ca/S}$  oranının  $2/3$  olması halinde % 60'a varan  $\text{SO}_2$  azalmasına erişilmiştir.  $\text{NO}_x$  oluşumu, özellikle  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 'in üzerinde aşırı artış gösterdiğinden, yanma odası sıcaklığının düşürülmesi, yanmanın olabildiğince az hava ile yapılması bu emisyonu azaltabilir. [5]



Şekil 8.3 Kireçtaşı ile kükürt dioksit tutma reaksiyonu [5]

#### 8.4 Zararlı Emisyonların Baca Gazlarından Arıtılması

Yanma sonucu oluşan baca gazlarında kükürt dioksit, azot oksit ve toz emisyonlarının azaltılmasına çalışılır. Ayrıca duman gazlarının bir kısmı yanma bölgesine geri beslenerek yanmamış kısımlarının yanması sağlanabilir. Toz emisyonlarının azaltılmasında; toz konsantrasyonuna, toz irilik derecesine, toz tanecik özelliklerine ve yakma sisteminin büyüklüğüne göre çeşitli yöntemler uygulanır. Yer çekim kuvveti, santrifüj kuvvet, atalet kuvveti ile çarpışma, direk kesişme, difüzyon ve elektrostatik kuvvet esaslarına dayanan yöntemler kullanılır. [5]

Yer çekim kuvveti esasına göre toz tutma, ancak 50 mikrondan daha iri tozlar için kullanılabilir. Santrifüj kuvvet prensibinde, gazın bir girdap (vorteks) akışta dönmeye zorlandığı siklon filtreler kullanılır. Gaz, siklonun silindirik bölümün üst kısmından teğetsel olarak gövdeye girer ve konik bölümden aşağıya doğru bir girdap biçiminde iner. Daha sonra yukarıya doğru çıkarak gaz çıkış borusundan siklonu terk eder. Santrifüj kuvvetlerin etkisiyle siklon duvarlarına itilen tozlar, yerçekimi kuvveti etkisiyle siklonun alt kısmında toplanırlar. Siklonlar 5 mikrondan büyük tozların tutulmasında kullanılırlar. Atalet kuvveti prensibine göre çalışan toz tutucularda, içerisinde toz tanecikleri bulunan bir gaz kütlesi akım esnasında Şekil 8.4'teki gibi perdelerle karşılaşır, tozların bir kısmı yollarına aynı hızla devam etme eğilimleri yüzünden perdeler arasına çarpıp kalırlar. [5]



Şekil 8.4 Bir atalet ayırıcının çalışma prensibi [5]

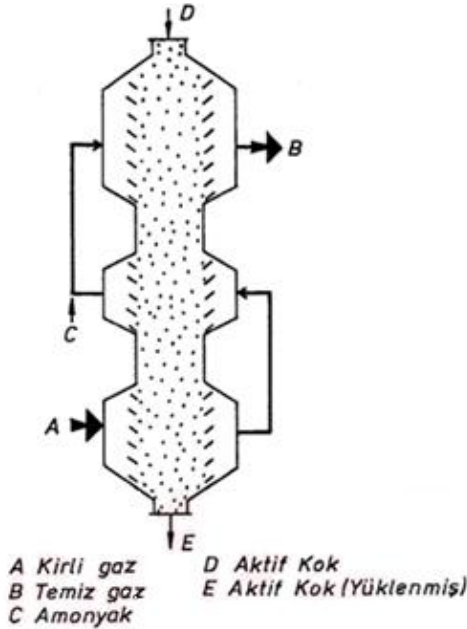
Yukarıdaki prensiple, küçük toz taneciklerini ayırmak mümkün değildir. Bu nedenle, tozu gazın sıvı damlalar içerisinde direk temas yoluyla absorplanması prensibine göre çalışan yağ toplayıcılar veya 0.5 mikrona kadar tozları yüksek verimlerde tutabilen torba filtreler kullanılır. [5]

Büyük hacimsel debilerdeki tozlu gazların temizlenmesinde elektro-filtreler kullanılır. Elektro-filtreler, bir gaz akışı içerisindeki toz taneciklerini elektriksel bir yükü yükleyerek toplarlar. Yüklenen tanecikle, zıt yükü yüklenmiş bir plakadan meydana gelmiş toplama elektrotuna sürüklenir. Nötrleştirilen tanecikler, yerçekimi etkisiyle



filtreden boşaltılırlar. Yanma sonucu oluşan duman gazlarındaki kükürt dioksiti tutmak için, SO<sub>2</sub>'in çözünmesi esasına dayanan yaş yıkama (absorpsiyon) yöntemleri ile SO<sub>2</sub>'in çözünmeden kuru olarak bir yüzeyde tutulması esasına dayanan yüzeysel tutma (adsorpsiyon) yöntemleri kullanılır. [5]

Yüzeysel tutmada (adsorpsiyon); kirli gaza kireç, kireçtaşı, NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> vb. kükürt dioksit tutucu olarak enjekte edilir. Bu yöntemde kükürt giderme verimi % 90'lara ulaşabilmektedir. Kükürt gidermede, aktif kok yöntemi de kullanılmaktadır. Bu yöntemde SO<sub>2</sub>, hareketli bir kömür yatakta SO<sub>3</sub>'e oksitlenerek H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> olarak adsorplanmakta, kok rejenere edilerek tekrar kullanılabilir. Bu sisteme NH<sub>3</sub> beslenmesiyle NO<sub>x</sub> giderimi de sağlanabilir. Aşağıdaki Şekil 8.5'te duman gazlarındaki kükürt ve azotun birlikte ayrıldığı aktif kok yöntemi görülmektedir. [5]



Şekil 8.5 Aktif kokla duman gazlarındaki SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> in birlikte giderimi [5]

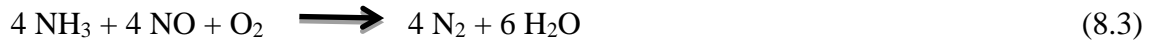
Duman gazlarından kükürt dioksitin absorpsiyonunda yaş yöntemler olarak; kalsiyum yöntemi, sodyum yöntemi, magnezyum yöntemi ve çift alkali yöntemleri kullanılmaktadır. [5]

Aşağıdaki Çizelge 8.2'de yaş yıkama yöntemleri, absorber ve reaksiyon ürünleri ile birlikte verilmiştir. Bu yöntemlerde % 90'dan fazla kükürt giderme derecesine erişilebilir. Duman gazlarından NO<sub>x</sub> giderimi için, genelde katalizörlü ve katalizörsüz kuru arıtma yöntemleri kullanılır. Redüksiyon maddesi olarak amonyak kullanılır. Azot oksit redüksiyonu şu üç mekanizma ile gerçekleşir. [5]

Çizelge 8.2 Yaş yıkama yöntemleriyle duman gazlarından kükürt giderimi [5]

Yöntemler	Absorber	Ürünler
Kalsiyum yöntemi	CaO, CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>
Sodyum yöntemi	Sodyum Asetat	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>
Magnezyum yöntemi	MgO	MgSO <sub>4</sub>
Amonyak yöntemi	NH <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Çift alkali yöntemler	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , CaO	CaSO <sub>4</sub>
	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub>	
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , CaO	
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CaCO <sub>3</sub>	

- Metal oksitin katalizörlüğünde, amonyak (NH<sub>3</sub>) ile azot oksidin katalitik redüksiyonu [5]



- Yanmayan karbon parçalarının katalizörlüğünde, NH<sub>3</sub> ile azot oksit katalitik redüksiyonu [5]
- Yanmayan karbon ile azot oksidin direk redüksiyonu [5]



SCR katalizörlerinde, aktif komponent olarak titan dioksit (TiO<sub>2</sub>), vanadyum pentoksit (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), wolfram oksit (WO<sub>3</sub>), molibten oksit (MoO<sub>3</sub>), demir oksit (FeO<sub>3</sub>) kullanılabilir.[5]

## 8.5 Kirletici Emisyonların Azaltılması için Geliştirilen Teknolojiler

### 8.5.1 Aktif Karbon Enjeksiyonu

Bu teknoloji, kazandan çıkan baca gazı buharına enjekte edilen ve taneler üzerinde bulunan civa gibi kirleticileri absorbe eden aktif karbonun var olan tanecik kontrol cihazları yardımıyla tekrar geri alınmasını kapsamaktadır. [32]

### **8.5.2 Elektrostatik Tutucular**

Elektrostatik tutucular kömür yakan termik santrallerde en fazla kullanılan tanecik emisyonu kontrol teknolojisidir. Partikül ve toz içeren baca gazları tanecikler üzerinde elektrik alan yardımıyla yük oluşturan toplama levhalarının arasından yatay olarak geçerler. Bu tanecikler daha sonra toplama levhalarında birikirler. Kuru elektrostatik tutucularda toplanmış taneler darbe ve titreşimle toz halinde toplanırlar. Yaş elektrostatik ayırıcılarda ise tanecikler sprey yardımıyla yıkanarak pülp şeklinde ayrılırlar. [32]

### **8.5.3 Bez Filtreler**

Bez filtreler baca gazındaki tanecikleri sıkıca dokunmuş kumaştan eleme suretiyle toplarlar. Elektrostatik ayırma ve bez filtreler arasındaki seçim kömürün tipine, tesis boyutuna, kazan çeşidi ve yapısına göre değişiklik göstermektedir. Elektrostatik tutucular için çok düşük ya da çok yüksek dirençli olan taneciklerde bez filtreler kullanılır. [32]

### **8.5.4 Baca Gazı Sülfür Giderme**

Baca gazı sülfür giderme, yanma sonrası oluşan sülfür emisyonunu ortadan kaldırmak için kullanılır. Bu teknoloji altı ana kategori altında sınıflandırılabilir. Bunlar, yaş gaz temizleyiciler, sprey kuru gaz temizleyiciler, tutucu enjeksiyonu işlemleri, kuru gaz temizleyiciler, geri dönüşüm işlemleri ve SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> emisyonlarının beraberce ortadan kaldırılmasını sağlayan işlemlerdir. Yaş gaz temizleyiciler daha geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu sistemde çoğunlukla kireç ya da kireçtaşı kaynaklı olan bir alkali tutucu kullanılmaktadır. Temizleme kanalı, baca gazındaki SO<sub>2</sub>'nin kireçtaşı pülpüyle tepkimeye girerek alçıtaşı oluşumunu gerçekleştirdiği yakma kazanı ve baca gazı temizleme bölgesinin, alt tarafına doğru yerleştirilir. [32]

### **8.5.5 Sıcak Gaz Süzme Sistemi**

Bu sisteme göre geleneksel tanecik emisyonu giderme teknolojilerine göre 500–1000 °C ve 1-2 MPa gibi daha yüksek sıcaklık ve basınçlarda çalışılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda çalışmak gazın soğutulması gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Siklon, seramik filtreler, yüksek sıcaklık bez filtreleri, tanecik yataklı filtreler ve yüksek sıcaklık teknolojileri gibi bir dizi teknoloji üzerinde uzun yıllardır çalışmalar devam

etmektedir. Bunlardan bazıları uygulama aşamasına kadar gelmiştir ancak ticari olarak kullanım alanı bulabilmeleri için daha ileri gelişmeler gerekmektedir. [32]

#### **8.5.6 Seçimli Katalitik İndirgeme ve Seçimli Katalitik Olmayan İndirgeme**

Seçimli katalitik indirgeme sisteminde amonyak buharı indirgeyici olarak kullanılır. Amonyak buharı, akan baca gazı içerisine enjekte edilir ve katalizör görevi yapar. En uygun sıcaklık genellikle 300 °C ve 400 °C arasındadır. Seçimli katalitik indirgeme ile seçimli katalitik olmayan indirgeme arasındaki en önemli farklılık, seçimli katalitik indirgeme yönteminde kimyasal tepkimeleri hızlandıran bir katalizörün kullanılıyor olmasıdır. Bu yöntemde seçimli katalitik olmayan yöntemine göre daha çok düşük sıcaklıklar kullanıldığı için katalizör gereklidir. Seçimli katalitik olmayan yöntem için tipik sıcaklıklar 870-1200 °C olarak verilebilir. [32]

#### **8.5.7 Yaş Tanecik Gaz Temizleyiciler**

Tanecik kontrolü için yaş gaz temizleyiciler, çoğunluğu ABD’de kurulu bulunan, sınırlı sayıda kömür yakan termik santrallerde kullanılmaktadır. Bu yöntemde SO<sub>2</sub>’ye ek olarak uçucu kül de tutulur. Damlacıklar oluşturmak için baca gazının içerisine su enjekte edilir. Daha sonra uçucu kül tanecikleri bu damlacıklara çarparlar ve tekrar düzenlenip kullanılacak yaş yan ürün oluşur. Yaş tanecik gaz temizleyiciler % 90-99,9’luk bir temizleme verimine sahiptir. [32]

## BÖLÜM 9

### HESAPLAR

$$K_1 = m_{\text{gaz}} \times c_p \times (T_g - T_h) \times 100 / \text{AID} \quad [33] \quad (9.1)$$

$$c_p = 0,23 \text{ (baca gazı özgül ısı değeri)} \quad [33]$$

$$TH = [(11,6 \times C) + \{34,8 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4,35 \times S)] / 100 \quad [33] \quad (9.2)$$

$$FH = \%*O_2 / (21 - \%*O_2) \quad [33] \quad (9.3)$$

$$GH = TH \times (FH + 1) \quad [33] \quad (9.4)$$

$$m_{\text{gaz}} = (C \times 44/1200) + (S \times 64/3200) + (N/100) + (GH \times 77/100) + [(GH - TH) \times 23/100] \quad [33], [34] \quad (9.5)$$

Burada  $m_{\text{gaz}}$  değeri, baca gazı içerisindeki su ve su buharı ihmal edilerek hesaplanmıştır.

$$K_2 = 9 \times H_2 \times \{584 + c_p \times (T_g - T_h)\} \times 100 / \text{AID} \quad [33] \quad (9.6)$$

$$c_p = 0,45 \text{ (su buharının özgül ısı değeri)} \quad [33]$$

$$K_3 = M \times \{584 + c_p \times (T_g - T_h)\} \times 100 / \text{AID} \quad [33] \quad (9.7)$$

$$c_p = 0,45 \text{ (su buharının özgül ısı değeri)} \quad [33]$$

$$K_4 = GH \times W \times c_p \times (T_g - T_h) \times 100 / \text{AID} \quad [33] \quad (9.8)$$

$$c_p = 0,45 \text{ (su buharının özgül ısı değeri)} \quad [33]$$

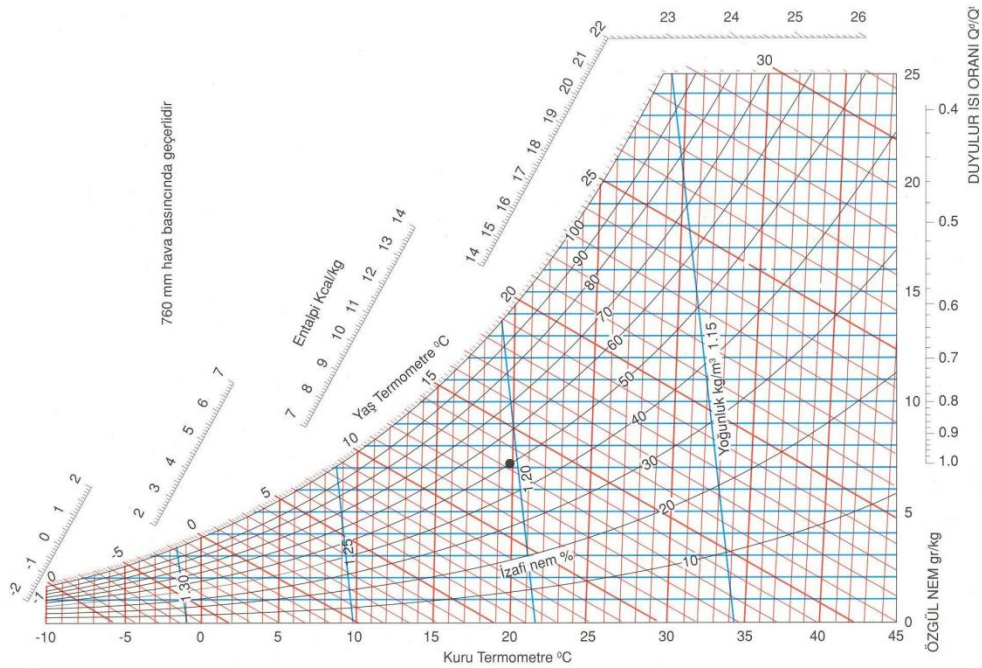
$$K_5 = CO \times C \times 5646 \times 100 / \{(CO + CO_2) \times \text{AID}\} \quad [34] \quad (9.9)$$

$$K_6 = P \times BK \times AID_{BK} \times 100 / AID_{k\ddot{m}ur} \quad [33], [34] \quad (9.10)$$

$$K_7 = P \times KC \times AID_{KC} \times 100 / AID_{k\ddot{m}ur} \quad [33], [34] \quad (9.11)$$

$$h_k = 100 - (K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7) \quad (9.12)$$

Yapılacak olan hesapta kullanılacak olan formüller yukarıda görülmektedir. Formüle gerekli olan değerlerin bir kısmı Orhaneli Termik Santralinden alınmış, bir kısmı ise kabul edilmiştir. Öncelikle havanın mutlak nemini bulmak için taze hava giriş sıcaklığına ve bağıl nemine bağlı olarak psikometrik diyagramdan havanın mutlak nemi hesaplanmıştır. Bağıl nem o günün hava şartlarına göre meteorolojiden alınmış ve o günün ortalama bağıl nemi hesapta kullanılmıştır.



Şekil 9.1 Psikometrik diyagram

Uçucu kül ve kazan altı cürufun alt ısı değerleri hesaplanırken (4.2) numaralı kimyasal denklem göz önüne alınmıştır. 1 kmol karbon yandığı zaman 1 kmol karbondioksit meydana geldiğinde 8113 kcal enerji açığa çıkmaktadır. Kömür analiz raporlarına bakılacak olursa farklı değerlerde uçucu kül ve kazan altı cüruf miktarlarının olduğu görülecektir. Örnek olarak eğer sistemde uçucu küldeki yanmamış karbon oranı % 1,8 ise;

1 kmol C yandığı zaman 8113 kcal enerji açığa çıkıyor ise

0,018 kmol C yandığı zaman x kcal enerji açığa çıkmalıdır.

$x = AID_{BK} = 146,034$  kcal/kg olur.

Aynı Şekilde bu hesaplar, kazan altı cüruf miktarı içinde yapılacak olursa, kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı % 21,16 ise;

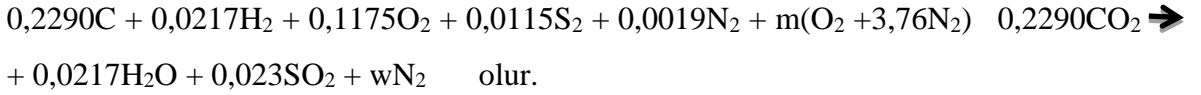
1 kmol C yandığı zaman 8113 kcal enerji açığa çıkıyor ise

0,2116 kmol C yandığı zaman x kcal enerji açığa çıkmalıdır.

$x = AID_{KC} = 1716,7108$  kcal/kg olur.

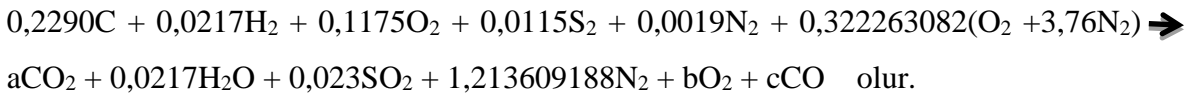
Bu hesaplamalar, diğer oranlardaki uçucu kül ve kazan altı cüruf miktarlarının yanmamış karbon oranlarına göre de yapılarak tablolarda gösterilmiştir.

Karbon monoksit ve karbon dioksit gazlarının bacadaki hacimsel yüzdeleri için örnek bir hesaplama yapılacak olursa, öncelikli olarak kömür analiz sonucunda kömürde bulunan elementlerin stokiometrik havayla tam yanması sonucu oluşan yanma denklemi;



Bu denklemde oksijen dengesi kurularak  $m = 0,2041$  bulunur. Aynı Şekilde azot dengesi kurularak  $w = 0,769316$  bulunur.

Kazanlarda yanma işlemi, her zaman stokiometrik havadan bir miktar fazla hava ile gerçekleşir. [26] Bu nedenle denklemi fazla hava vererek tekrar kuracak olursak, aynı zamanda dŐuk miktarda da olsa eksik yanma meydana gelecek ve oksijen fazlalığı da görülecektir. Fazla hava verilerek oluşan yanma denklemi;



Normal Şartlar altında 1 kmol gaz  $22,4 \text{ Nm}^3$  tür.[35]

Bu denklemde egzoz gazlarının hacmi;

$$V_{eg} = (a + b + c + 0,0217 + 0,023 + 1,213609188) \times 22,4 \text{ Nm}^3 \text{ tür.}$$

Orhaneli termik santralinden aldığımız veriye göre baca gazından çıkan karbon monoksit gazı 28 mg/Nm<sup>3</sup> tür. Bu verilere göre hesabımızı yaparsak;

$$(c \times 28000000) / [(a + b + c + 1,258309188) \times 22,4] = 28 \quad (1)$$

$$a + c = 0,2290 \quad (2) \text{ (karbon dengesinden)}$$

$$a + 2b = 0,605826164 \quad (3) \text{ (oksijen dengesinden)}$$

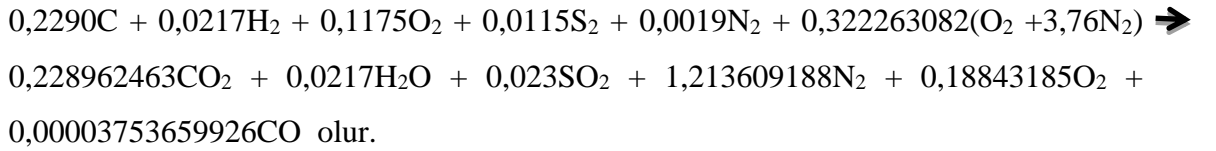
Yukarıdaki (1), (2), (3) numaralı denklemler çözülürse;

$$a = 0,228962463$$

$$b = 0,18843185$$

$$c = 0,00003753659926 \text{ bulunmaktadır.}$$

Dolayısıyla oluşan yeni denklemimiz;



Oluşan egzoz gazlarının toplam kmol sayısı 1,675741038 dir. Buradan karbon dioksit ve karbon monoksit gazlarının egzoz gazları içindeki yüzdelerini hesaplırsak;

$$1,675741038 \text{ kmol de} \quad 0,228962463 \text{ kmol karbon dioksit varsa}$$

$$\underline{100 \text{ kmol de} \quad \quad \quad x \quad \text{ olur.}}$$

$$x = 13,66335596 \text{ olur.}$$

$$1,675741038 \text{ kmol de} \quad 0,00003753659926 \text{ kmol karbon monoksit varsa}$$

$$\underline{100 \text{ kmol de} \quad \quad \quad x \quad \text{ olur.}}$$

$$x = 0,002240000001 \text{ olur.}$$

Bu hesaplamalar, hem farklı miktardaki hava girişi, hem de farklı özellikteki kömürlerin yakılması ile meydana gelen karbon dioksit ve karbon monoksit yüzdeleri içinde yapılmıştır. Bu sonuçlar tablolarda gösterilmiştir.



Çizelge 9.1 03.03.2012 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler

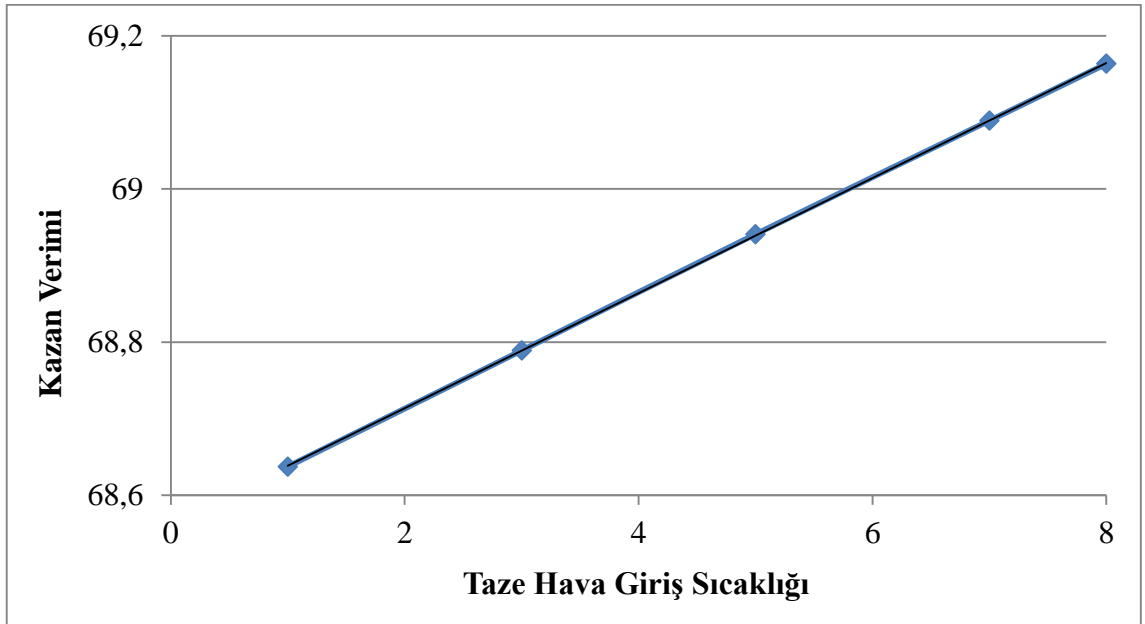
Veriler		Hesap Yapılan Tarihler		
		I	II	III
<b>Kömür Analiz Raporu</b>		<b>03.03.2012</b>	<b>03.03.2012</b>	<b>03.03.2012</b>
C	%	25,85	25,85	25,85
H	%	2,22	2,22	2,22
S	%	0,65	0,65	0,65
O	%	10,24	10,24	10,24
N	%	0,36	0,36	0,36
Nem	%	32,69	32,69	32,69
Kül	%	27,99	27,99	27,99
AID	kcal/kg	2092	2092	2092
Uçucu külün toplam küle oranı	%	0,9	0,9	0,9
Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı	%	1,8	1,8	1,8
Kazanaltı cürufun toplam küle oranı	%	0,1	0,1	0,1
Kazanaltı cürufta yanmamış karbon oranı	%	21,16	21,16	21,16
<b>Kazan Girişi ve Çıkışındaki Değerler</b>				
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	1	1	8
Baca gazı çıkış sıcaklığı	°C	155	155	155
Su buharının özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,45	0,45	0,45
Baca gazı özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,23	0,23	0,23
Kazan çıkışı oksijen oranı	%	8	9,6	9,6
<b>Hesaplanan Değerler</b>				
Teorik hava miktarı	kg hava/kg kömür	3,353995	3,353995	3,353995
Hava fazlalık katsayısı	kg gerçek hava/kg teorik hava	1,615385	1,842105	1,842105
Gerçek hava miktarı	kg gerçek hava/kg kömür	5,417991923	6,178411842	6,178411842
Gerçek baca gazı miktarı	kg baca gazı/kg kömür	5,611006406	6,371426325	6,371426325
Hava nem oranı	kg nem/kg hava	0,0035	0,0035	0,0059
CO(Baca)	%	0,00112	0,00112	0,00112
CO2(Baca)	%	17,20115596	15,23003931	15,23003931
AID_kül	kcal/kg	146,034	146,034	146,034
AID_cüruf	kcal/kg	1716,7108	1716,7108	1716,7108

Çizelge 9.2 03.03.2012 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler

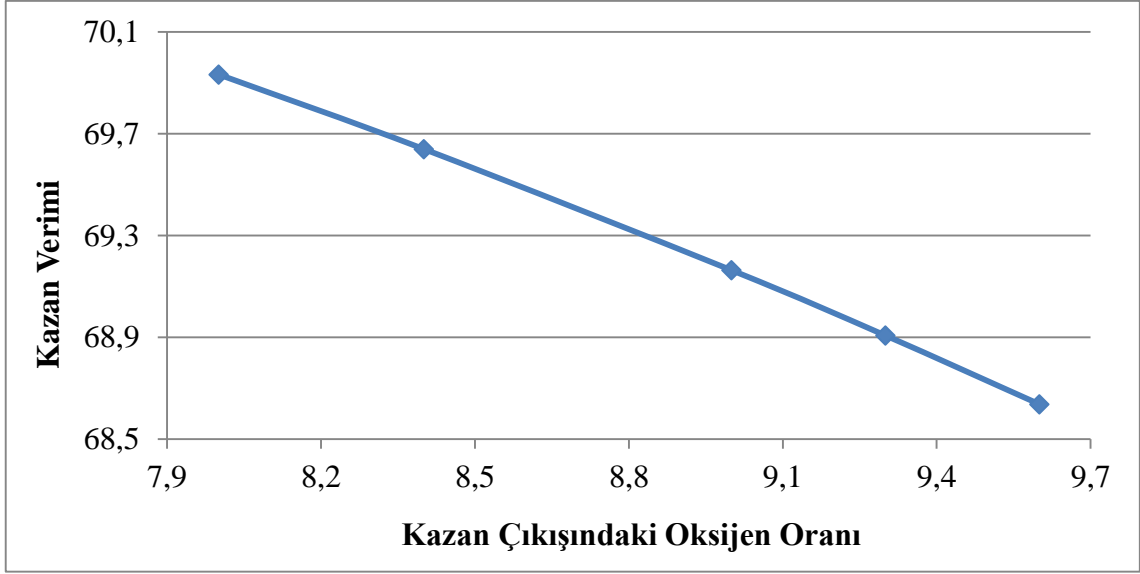
Veriler		Hesap Yapılan Tarihler		
		IV	V	VI
Kömür Analiz Raporu		03.03.2012	03.03.2012	03.03.2012
C	%	25,85	25,85	25,85
H	%	2,22	2,22	2,22
S	%	0,65	0,65	0,65
O	%	10,24	10,24	10,24
N	%	0,36	0,36	0,36
Nem	%	32,69	32,69	32,69
Kül	%	27,99	27,99	27,99
AID	kcal/kg	2092	2092	2092
Uçucu külün toplam küle oranı	%	0,9	0,9	0,9
Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı	%	2,3	1,8	1,8
Kazanaltı cürufun toplam küle oranı	%	0,1	0,1	0,1
Kazanaltı cürufta yanmamış karbon oranı	%	21,16	21,16	15,45
Kazan Girişi ve Çıkışındaki Değerler				
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	8	8	8
Baca gazı çıkış sıcaklığı	°C	155	170	170
Su buharının özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,45	0,45	0,45
Baca gazı özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,23	0,23	0,23
Kazan çıkışı oksijen oranı	%	9,6	9,6	9,6
Hesaplanan Değerler				
Teorik hava miktarı	kg hava/kg kömür	3,353995	3,353995	3,353995
Hava fazlalık katsayısı	kg gerçek hava/kg teorik hava	1,842105	1,842105	1,842105
Gerçek hava miktarı	kg gerçek hava/kg kömür	6,178411842	6,178411842	6,178411842
Gerçek baca gazı miktarı	kg baca gazı/kg kömür	6,371426325	6,371426325	6,371426325
Hava nem oranı	kg nem/kg hava	0,0059	0,0059	0,0059
CO(Baca)	%	0,00112	0,00112	0,00112
CO2(Baca)	%	15,23003931	15,23003931	15,23003931
AID_kül	kcal/kg	186,599	146,034	146,034
AID_cüruf	kcal/kg	1716,7108	1716,7108	1253,4585

Çizelge 9.3 03.03.2012 tarihli kayıp yüzdeleri ve kazan verimi

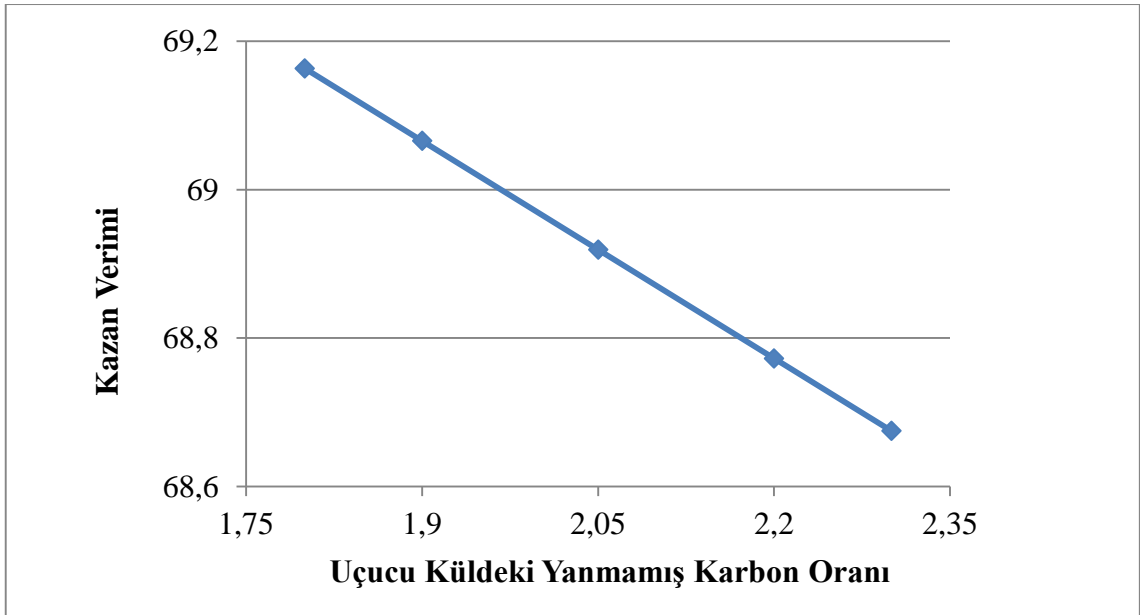
Veriler		Hesap Yapılan Tarihler					
		I	II	III	IV	V	VI
		03.03.2012	03.03.2012	03.03.2012	03.03.2012	03.03.2012	03.03.2012
K1 Kayıp yüzdesi	%	9,5000883	10,7875679	10,2972239	10,2972239	11,3479610	11,3479610
K2 Kayıp yüzdesi	%	6,2394522	6,2394522	6,2093676	6,2093676	6,2738346	6,2738346
K3 Kayıp yüzdesi	%	10,2085932	10,2085932	10,1593707	10,1593707	10,2648475	10,2648475
K4 Kayıp yüzdesi	%	0,06281711	0,0716335	0,1152649	0,1152649	0,1270266	0,1270266
K5 Kayıp yüzdesi	%	0,0000454	0,0000513	0,0000513	0,0000513	0,0000513	0,0000513
K6 Kayıp yüzdesi	%	1,7584811	1,7584811	1,7584811	2,2469481	1,7584811	1,7584811
K7 Kayıp yüzdesi	%	2,2968803	2,2968803	2,2968803	2,2968803	2,2968803	1,6770700
Kazan verimi	%	69,9336424	68,6373405	69,1633602	68,6748933	67,9309175	68,5507279



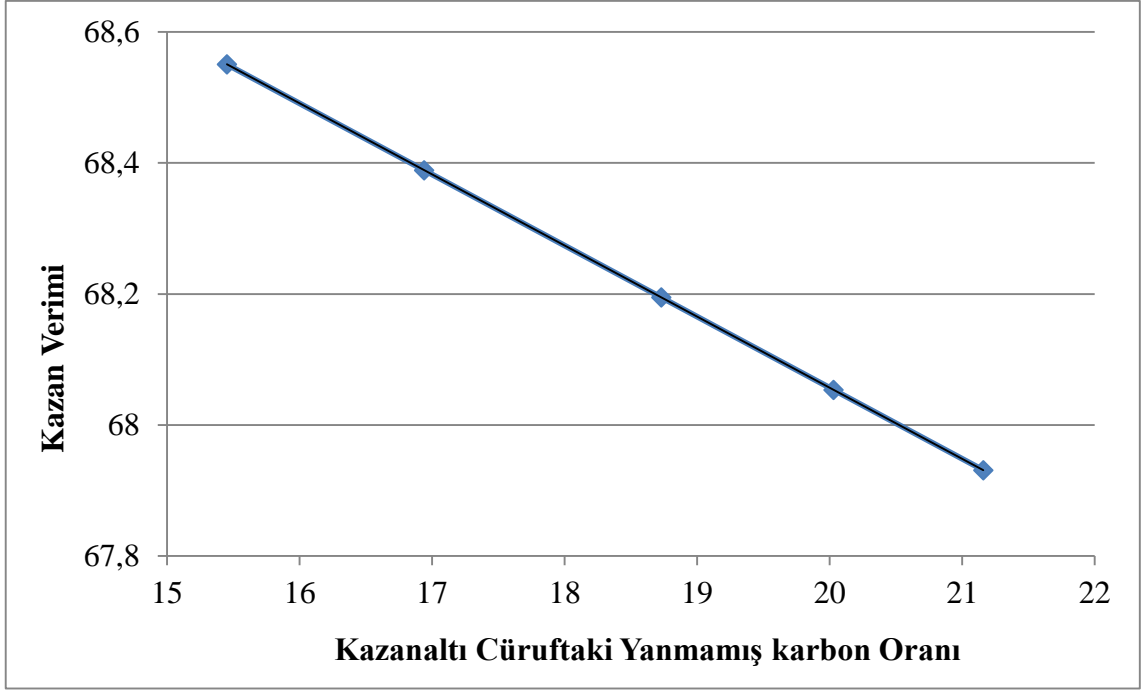
Şekil 9.2 Taze hava giriş sıcaklığı ile kazan verimi arasındaki ilişkisi



Şekil 9.3 Kazan çıkışındaki oksijen oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki



Şekil 9.4 Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki



Şekil 9.5 Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki

Çizelge 9.4 12.05.2011 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler

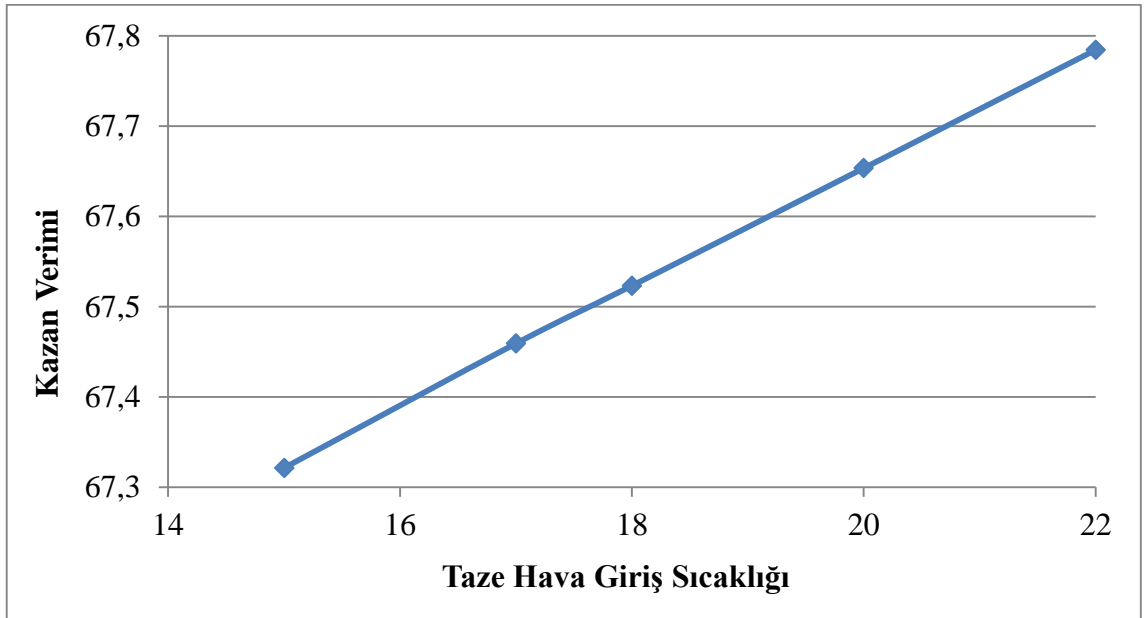
Veriler		Hesap Yapılan Tarihler		
		I	II	III
Kömür Analiz Raporu		12.05.2011	12.05.2011	12.05.2011
C	%	22,9	22,9	22,9
H	%	2,17	2,17	2,17
S	%	1,15	1,15	1,15
O	%	11,75	11,75	11,75
N	%	0,19	0,19	0,19
Nem	%	28,2	28,2	28,2
Kül	%	33,65	33,65	33,65
AID	kcal/kg	1866	1866	1866
Uçucu külün toplam küle oranı	%	0,9	0,9	0,9
Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı	%	2,6	2,6	2,6
Kazanaltı cürufun toplam küle oranı	%	0,1	0,1	0,1
Kazanaltı cürufta yanmamış karbon oranı	%	22,67	22,67	22,67
Kazan Girişi ve Çıkışındaki Değerler				
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	15	15	22
Baca gazı çıkış sıcaklığı	°C	157	157	157
Su buharının özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,45	0,45	0,45
Baca gazı özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,23	0,23	0,23
Kazan çıkışı oksijen oranı	%	7,7	8,8	8,8
Hesaplanan Değerler				
Teorik hava miktarı	kg hava/kg kömür	2,95046	2,95046	2,95046
Hava fazlalık katsayısı	kg gerçek hava/kg teorik hava	1,578947	1,721311	1,721311
Gerçek hava miktarı	kg gerçek hava/kg kömür	4,658621053	5,078660656	5,078660656
Gerçek baca gazı miktarı	kg baca gazı/kg kömür	4,84458192	5,264621523	5,264621523
Hava nem oranı	kg nem/kg hava	0,0087	0,0087	0,0135
CO(Baca)	%	0,00224	0,00224	0,00224
CO2(Baca)	%	13,66335596	12,70197491	12,70197491
AID_kül	kcal/kg	210,938	210,938	210,938
AID_cüruf	kcal/kg	1839,2171	1839,2171	1839,2171

Çizelge 9.5 12.05.2011 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler

Veriler		Hesap Yapılan Tarihler		
		IV	V	VI
Kömür Analiz Raporu		12.05.2011	12.05.2011	12.05.2011
C	%	22,9	22,9	22,9
H	%	2,17	2,17	2,17
S	%	1,15	1,15	1,15
O	%	11,75	11,75	11,75
N	%	0,19	0,19	0,19
Nem	%	28,2	28,2	28,2
Kül	%	33,65	33,65	33,65
AID	kcal/kg	1866	1866	1866
Uçucu külün toplam küle oranı	%	0,9	0,9	0,9
Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı	%	2	2,6	2,6
Kazanaltı cürufun toplam küle oranı	%	0,1	0,1	0,1
Kazanaltı cürufta yanmamış karbon oranı	%	22,67	22,67	17,36
Kazan Girişi ve Çıkışındaki Değerler				
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	22	22	22
Baca gazı çıkış sıcaklığı	°C	157	170	170
Su buharının özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,45	0,45	0,45
Baca gazı özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,23	0,23	0,23
Kazan çıkışı oksijen oranı	%	8,8	8,8	8,8
Hesaplanan Değerler				
Teorik hava miktarı	kg hava/kg kömür	2,95046	2,95046	2,95046
Hava fazlalık katsayısı	kg gerçek hava/kg teorik hava	1,721311	1,721311	1,721311
Gerçek hava miktarı	kg gerçek hava/kg kömür	5,078660656	5,078660656	5,078660656
Gerçek baca gazı miktarı	kg baca gazı/kg kömür	5,264621523	5,264621523	5,264621523
Hava nem oranı	kg nem/kg hava	0,0135	0,0135	0,0135
CO(Baca)	%	0,00224	0,00224	0,00224
CO2(Baca)	%	12,70197491	12,70197491	12,70197491
AID_kül	kcal/kg	162,26	210,938	210,938
AID_cüruf	kcal/kg	1839,2171	1839,2171	1408,4168

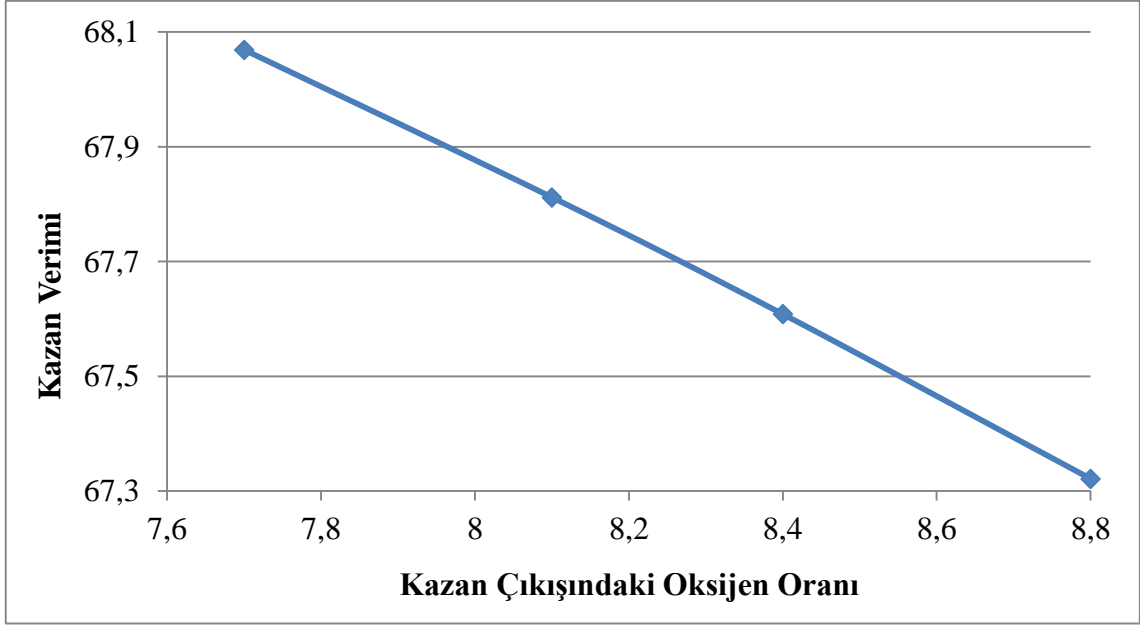
Çizelge 9.6 12.05.2011 tarihli kayıp yüzdeleri ve kazan verimi

Veriler		Hesap Yapılan Tarihler					
		I	II	III	IV	V	VI
		12.05.2011	12.05.2011	12.05.2011	12.05.2011	12.05.2011	12.05.2011
K1 Kayıp yüzdesi	%	8,4793165	9,2144983	8,7602625	8,7602625	9,6038433	9,6038433
K2 Kayıp yüzdesi	%	6,7810756	6,7810756	6,7481069	6,7481069	6,8093344	6,8093344
K3 Kayıp yüzdesi	%	9,7914148	9,7914148	9,7438103	9,7438103	9,8322186	9,8322186
K4 Kayıp yüzdesi	%	0,1387925	0,1513065	0,223212	0,223212	0,2447065	0,2447065
K5 Kayıp yüzdesi	%	0,0001136	0,0001222	0,0001222	0,0001222	0,0001222	0,0001222
K6 Kayıp yüzdesi	%	3,4235034	3,4235034	3,4235034	2,6334641	3,4235034	3,4235034
K7 Kayıp yüzdesi	%	3,3167018	3,3167018	3,3167018	3,3167018	3,3167018	2,5398299
Kazan verimi	%	68,0690819	67,3213774	67,7842809	68,5743201	66,7695697	67,5464416

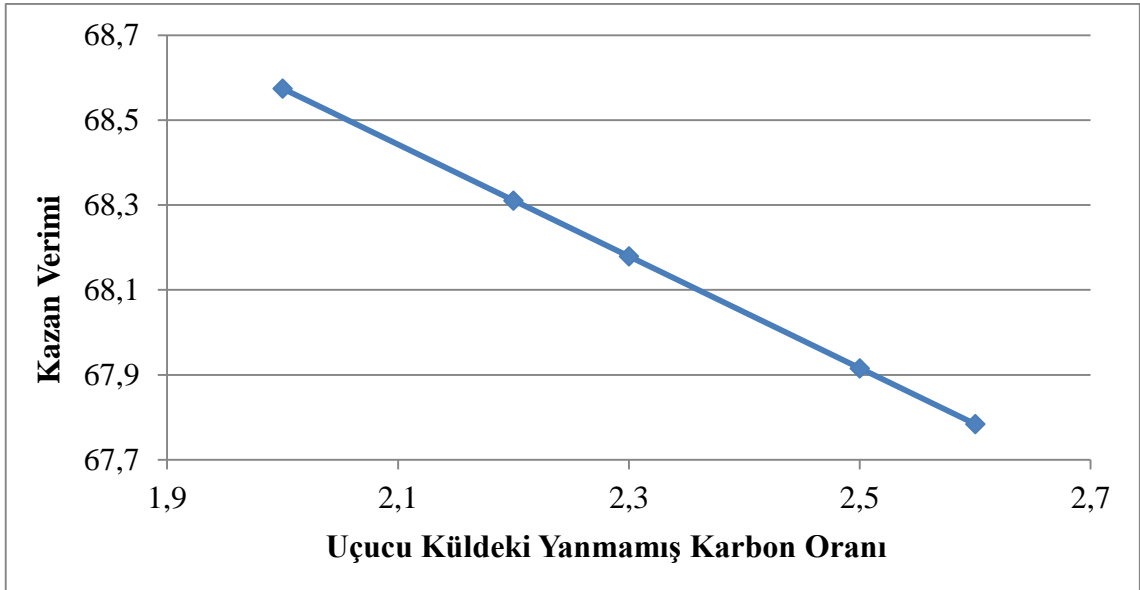


Şekil 9.6 Taze hava giriş sıcaklığı ile kazan verimi arasındaki ilişkisi

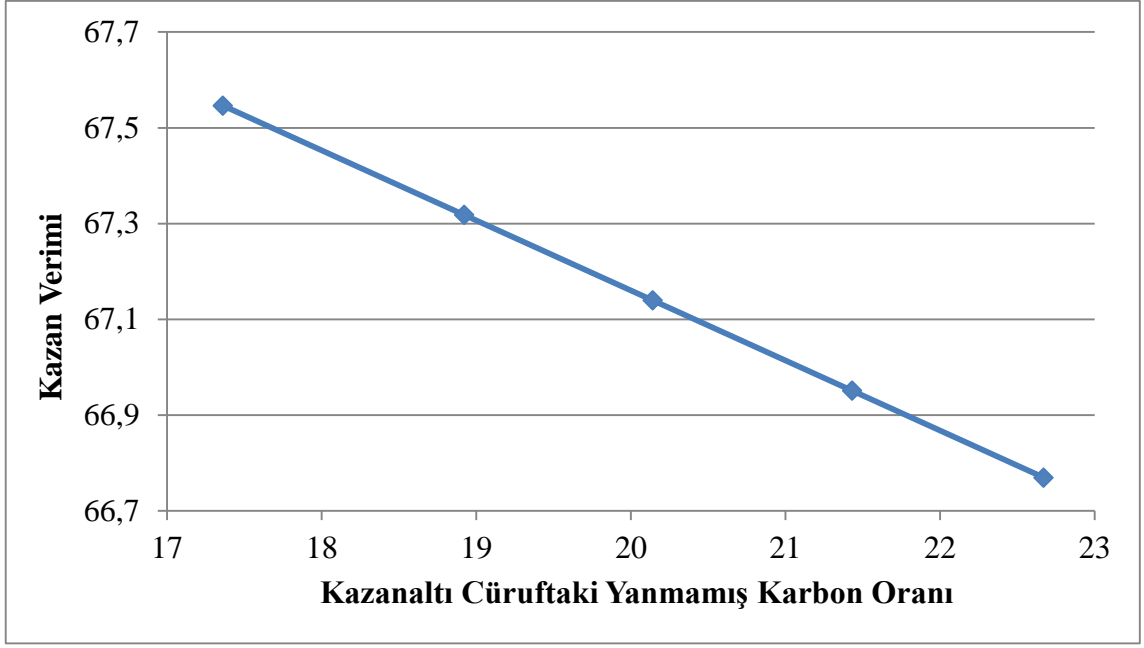




Şekil 9.7 Kazan çıkışındaki oksijen oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki



Şekil 9.8 Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki



Şekil 9.9 Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki

Çizelge 9.7 13.10.2010 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler

Veriler		Hesap Yapılan Tarihler		
		I	II	III
Kömür Analiz Raporu		13.10.2010	13.10.2010	13.10.2010
C	%	24,24	24,24	24,24
H	%	2,28	2,28	2,28
S	%	1,18	1,18	1,18
O	%	8,69	8,69	8,69
N	%	0,53	0,53	0,53
Nem	%	27,81	27,81	27,81
Kül	%	35,27	35,27	35,27
AID	kcal/kg	1906	1906	1906
Uçucu külün toplam küle oranı	%	0,9	0,9	0,9
Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı	%	1,9	1,9	1,9
Kazanaltı cürufun toplam küle oranı	%	0,1	0,1	0,1
Kazanaltı cürufta yanmamış karbon oranı	%	14,22	14,22	14,22
Kazan Girişi ve Çıkışındaki Değerler				
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	10	10	22
Baca gazı çıkış sıcaklığı	°C	148	148	148
Su buharının özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,45	0,45	0,45
Baca gazı özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,23	0,23	0,23
Kazan çıkışı oksijen oranı	%	8,8	7,4	7,4
Hesaplanan Değerler				
Teorik hava miktarı	kg hava/kg kömür	3,278595	3,278595	3,278595
Hava fazlalık katsayısı	kg gerçek hava/kg teorik hava	1,721311	1,544118	1,544118
Gerçek hava miktarı	kg gerçek hava/kg kömür	5,643483197	5,062536397	5,062536397
Gerçek baca gazı miktarı	kg baca gazı/kg kömür	5,807106347	5,226159547	5,226159547
Hava nem oranı	kg nem/kg hava	0,0047	0,0047	0,0103
CO(Baca)	%	0,00544	0,00544	0,00544
CO2(Baca)	%	11,99152911	13,28999265	13,28999265
AID_kül	kcal/kg	154,147	154,147	154,147
AID_cüruf	kcal/kg	1153,6686	1153,6686	1153,6686

Çizelge 9.8 13.10.2010 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler

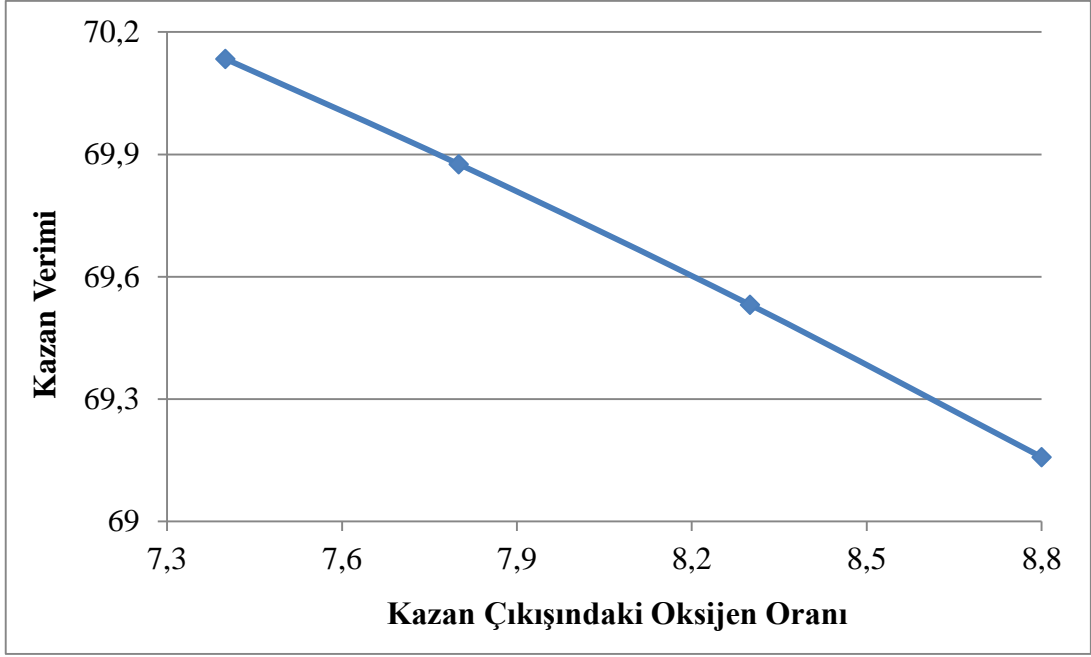
Veriler		Hesap Yapılan Tarihler		
		IV	V	VI
Kömür Analiz Raporu		13.10.2010	13.10.2010	13.10.2010
C	%	24,24	24,24	24,24
H	%	2,28	2,28	2,28
S	%	1,18	1,18	1,18
O	%	8,69	8,69	8,69
N	%	0,53	0,53	0,53
Nem	%	27,81	27,81	27,81
Kül	%	35,27	35,27	35,27
AID	kcal/kg	1906	1906	1906
Uçucu külün toplam küle oranı	%	0,9	0,9	0,9
Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı	%	2,5	1,9	1,9
Kazanaltı cürufun toplam küle oranı	%	0,1	0,1	0,1
Kazanaltı cürufta yanmamış karbon oranı	%	14,22	14,22	19,83
Kazan Girişi ve Çıkışındaki Değerler				
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	22	22	22
Baca gazı çıkış sıcaklığı	°C	148	167	167
Su buharının özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,45	0,45	0,45
Baca gazı özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,23	0,23	0,23
Kazan çıkışı oksijen oranı	%	7,4	7,4	7,4
Hesaplanan Değerler				
Teorik hava miktarı	kg hava/kg kömür	3,278595	3,278595	3,278595
Hava fazlalık katsayısı	kg gerçek hava/kg teorik hava	1,544118	1,544118	1,544118
Gerçek hava miktarı	kg gerçek hava/kg kömür	5,062536397	5,062536397	5,062536397
Gerçek baca gazı miktarı	kg baca gazı/kg kömür	5,226159547	5,226159547	5,226159547
Hava nem oranı	kg nem/kg hava	0,0103	0,0103	0,0103
CO(Baca)	%	0,00544	0,00544	0,00544
CO2(Baca)	%	13,28999265	13,28999265	13,28999265
AID_kül	kcal/kg	202,825	154,147	154,147
AID_cüruf	kcal/kg	1153,6686	1153,6686	1608,8079

Çizelge 9.9 13.10.2010 tarihli kayıp yüzdeleri ve kazan verimi

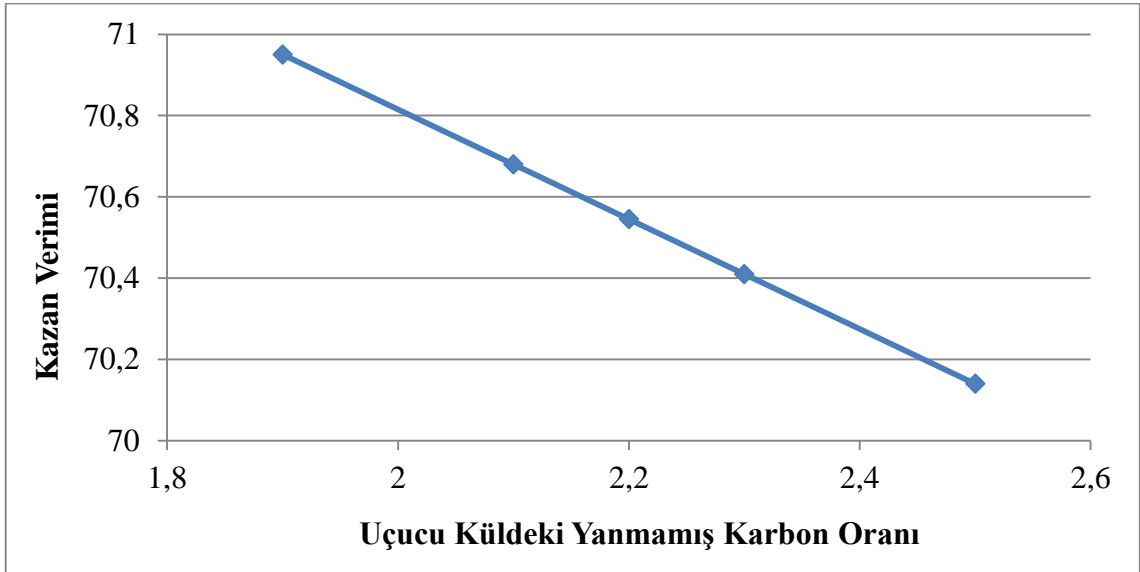
Veriler		Hesap Yapılan Tarihler					
		I	II	III	IV	V	VI
		13.10.2010	13.10.2010	13.10.2010	13.10.2010	13.10.2010	13.10.2010
K1 Kayıp yüzdesi	%	9,6703859	8,7029540	7,9461754	7,9461754	9,1444082	9,1444082
K2 Kayıp yüzdesi	%	6,9559140	6,9559140	6,8977775	6,8977775	6,9898269	6,9898269
K3 Kayıp yüzdesi	%	9,4270939	9,4270939	9,3483038	9,3483038	9,4730548	9,4730548
K4 Kayıp yüzdesi	%	0,086419908	0,0775237	0,1551192	0,1551192	0,1785102	0,1785102
K5 Kayıp yüzdesi	%	0,0003256	0,0002938	0,0002938	0,0002938	0,0002938	0,0002938
K6 Kayıp yüzdesi	%	2,5672026	2,5672026	2,5672026	3,3778982	2,5672026	2,5672026
K7 Kayıp yüzdesi	%	2,1348317	2,1348317	2,1348317	2,1348317	2,1348317	2,9770543
Kazan verimi	%	69,1578264	70,1341862	70,9502960	70,1396004	69,5118718	68,6696492



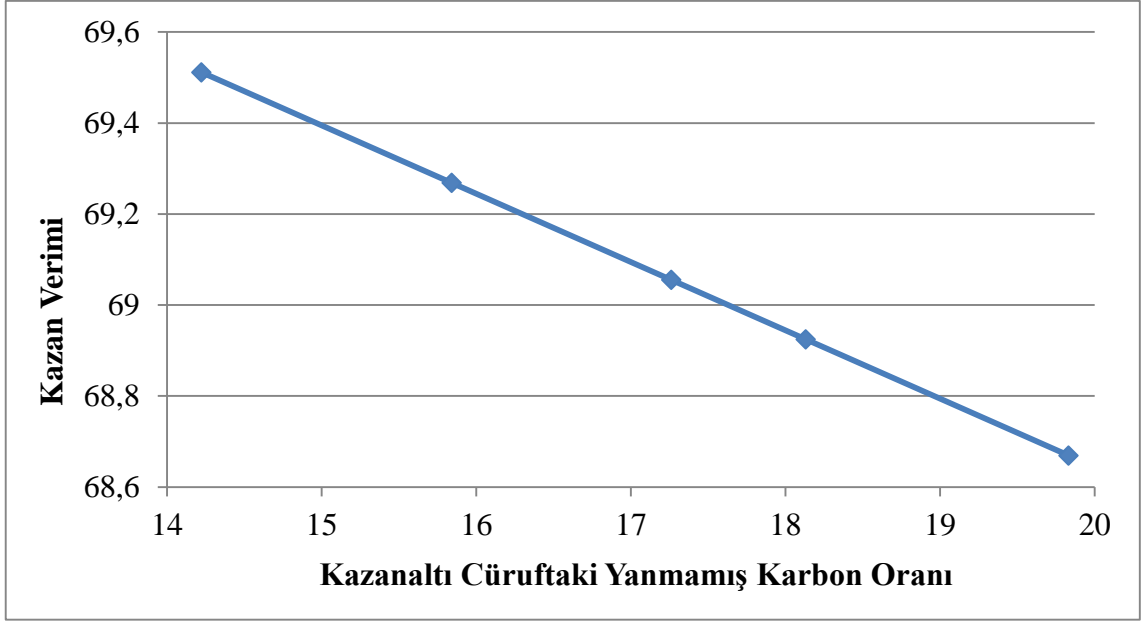
Şekil 9.10 Taze hava giriş sıcaklığı ile kazan verimi arasındaki ilişkisi



Şekil 9.11 Kazan çıkışındaki oksijen oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki



Şekil 9.12 Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki



Şekil 9.13 Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki

Çizelge 9.10 22.06.2011 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler

Veriler		Hesap Yapılan Tarihler		
		I	II	III
Kömür Analiz Raporu		22.06.2011	22.06.2011	22.06.2011
C	%	25,91	25,91	25,91
H	%	2,31	2,31	2,31
S	%	1,08	1,08	1,08
O	%	12,25	12,25	12,25
N	%	0,23	0,23	0,23
Nem	%	29,49	29,49	29,49
Kül	%	29,53	29,53	29,53
AID	kcal/kg	2239	2239	2239
Uçucu külün toplam küle oranı	%	0,9	0,9	0,9
Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı	%	1,6	1,6	1,6
Kazanaltı cürufun toplam küle oranı	%	0,1	0,1	0,1
Kazanaltı cürufta yanmamış karbon oranı	%	17,41	17,41	17,41
Kazan Girişi ve Çıkışındaki Değerler				
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	18	18	30
Baca gazı çıkış sıcaklığı	°C	140	140	140
Su buharının özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,45	0,45	0,45
Baca gazı özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,23	0,23	0,23
Kazan çıkışı oksijen oranı	%	9,3	8	8
Hesaplanan Değerler				
Teorik hava miktarı	kg hava/kg kömür	3,323545	3,323545	3,323545
Hava fazlalık katsayısı	kg gerçek hava/kg teorik hava	1,794872	1,615385	1,615385
Gerçek hava miktarı	kg gerçek hava/kg kömür	5,965337179	5,368803462	5,368803462
Gerçek baca gazı miktarı	kg baca gazı/kg kömür	6,174855162	5,578321445	5,578321445
Hava nem oranı	kg nem/kg hava	0,0064	0,0064	0,01325
CO(Baca)	%	0,00376	0,00376	0,00376
CO2(Baca)	%	12,27609873	13,54325337	13,54325337
AID_kül	kcal/kg	129,808	129,808	129,808
AID_cüruf	kcal/kg	1412,4733	1412,4733	1412,4733

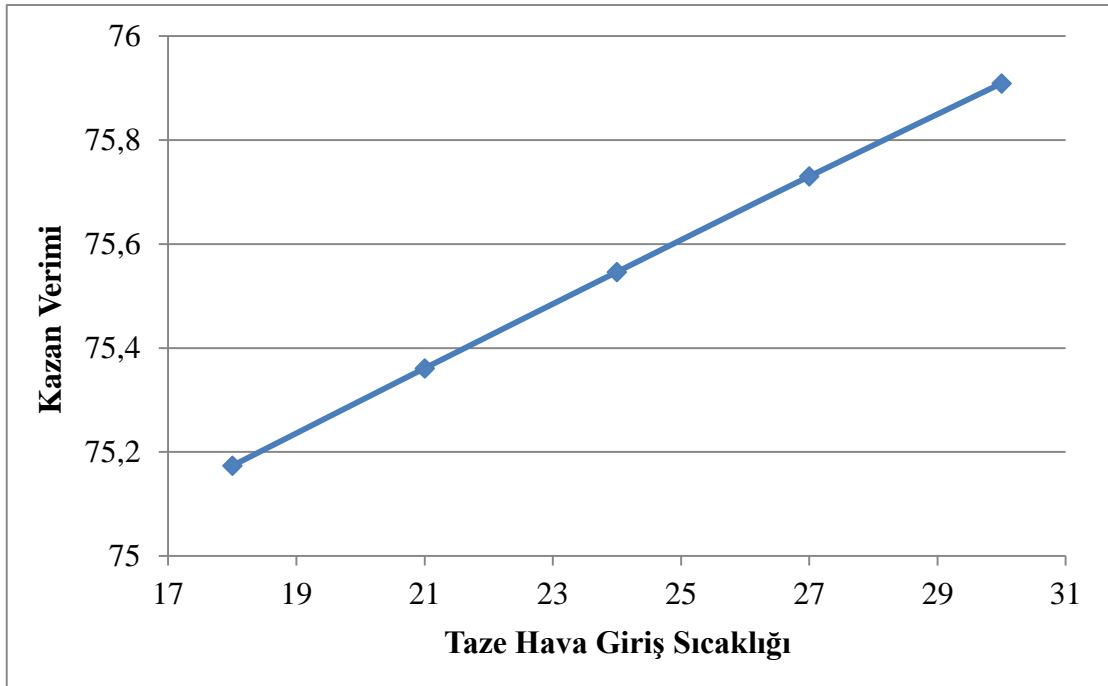


Çizelge 9.11 22.06.2011 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler

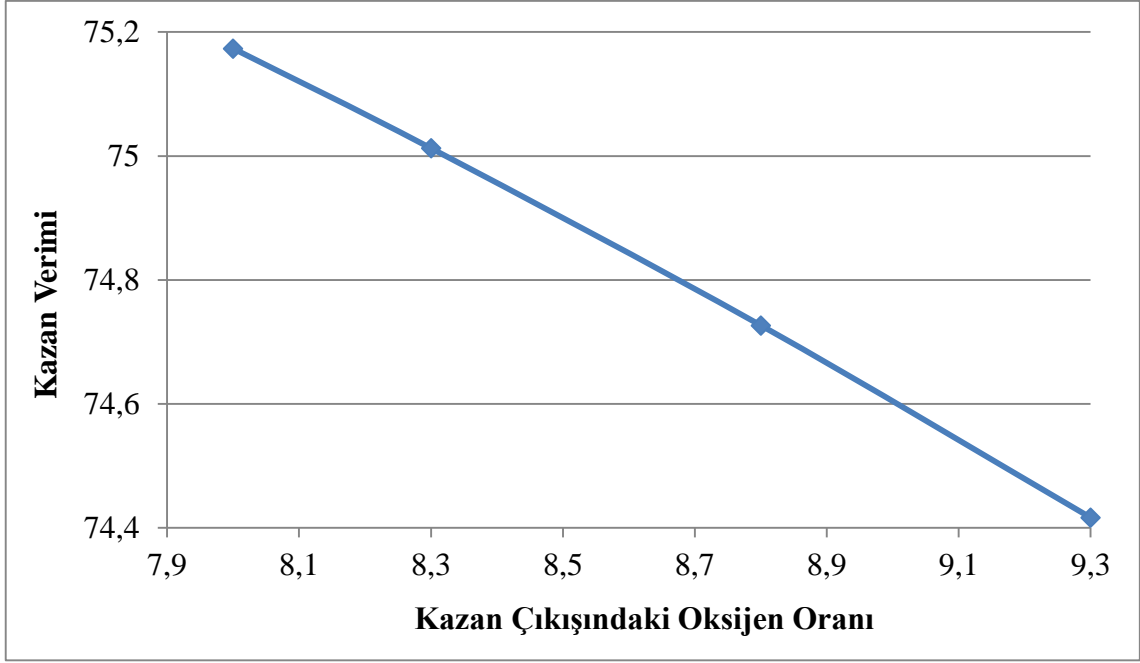
Veriler		Hesap Yapılan Tarihler		
		IV	V	VI
Kömür Analiz Raporu		22.06.2011	22.06.2011	22.06.2011
C	%	25,91	25,91	25,91
H	%	2,31	2,31	2,31
S	%	1,08	1,08	1,08
O	%	12,25	12,25	12,25
N	%	0,23	0,23	0,23
Nem	%	29,49	29,49	29,49
Kül	%	29,53	29,53	29,53
AID	kcal/kg	2239	2239	2239
Uçucu külün toplam küle oranı	%	0,9	0,9	0,9
Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı	%	2,4	1,6	1,6
Kazanaltı cürufun toplam küle oranı	%	0,1	0,1	0,1
Kazanaltı cürufta yanmamış karbon oranı	%	17,41	17,41	22,47
Kazan Girişi ve Çıkışındaki Değerler				
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	30	30	30
Baca gazı çıkış sıcaklığı	°C	140	160	160
Su buharının özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,45	0,45	0,45
Baca gazı özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,23	0,23	0,23
Kazan çıkışı oksijen oranı	%	8	8	8
Hesaplanan Değerler				
Teorik hava miktarı	kg hava/kg kömür	3,323545	3,323545	3,323545
Hava fazlalık katsayısı	kg gerçek hava/kg teorik hava	1,615385	1,615385	1,615385
Gerçek hava miktarı	kg gerçek hava/kg kömür	5,368803462	5,368803462	5,368803462
Gerçek baca gazı miktarı	kg baca gazı/kg kömür	5,578321445	5,578321445	5,578321445
Hava nem oranı	kg nem/kg hava	0,01325	0,01325	0,01325
CO(Baca)	%	0,00376	0,00376	0,00376
CO2(Baca)	%	13,54325337	13,54325337	13,54325337
AID_kül	kcal/kg	194,712	129,808	129,808
AID_cüruf	kcal/kg	1412,4733	1412,4733	1822,9911

Çizelge 9.12 22.06.2011 tarihli kayıp yüzdeleri ve kazan verimi

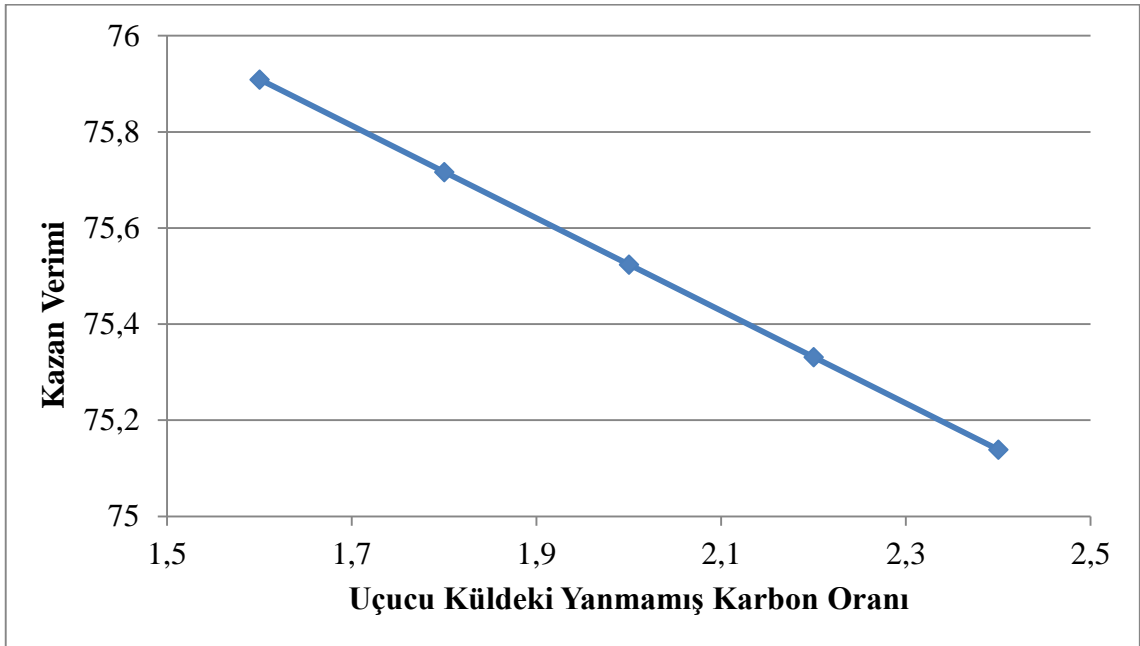
Veriler		Hesap Yapılan Tarihler					
		I	II	III	IV	V	VI
		22.06.2011	22.06.2011	22.06.2011	22.06.2011	22.06.2011	22.06.2011
K1 Kayıp yüzdesi	%	7,7385635	6,9909647	6,3033288	6,3033288	7,4493886	7,4493886
K2 Kayıp yüzdesi	%	5,9324390	5,9324390	5,8822979	5,8822979	5,9658665	5,9658665
K3 Kayıp yüzdesi	%	8,4149893	8,4149893	8,3438656	8,3438656	8,4624051	8,4624051
K4 Kayıp yüzdesi	%	0,0936124	0,0842511	0,1572695	0,1572695	0,1858639	0,1858639
K5 Kayıp yüzdesi	%	0,0002001	0,0001813	0,0001813	0,0001813	0,0001813	0,0001813
K6 Kayıp yüzdesi	%	1,5408250	1,5408250	1,5408250	2,3112375	1,5408250	1,5408250
K7 Kayıp yüzdesi	%	1,8629002	1,8629002	1,8629002	1,8629002	1,8629002	2,4043290
Kazan verimi	%	74,4164705	75,1734493	75,9093316	75,1389191	74,5325693	73,9911405



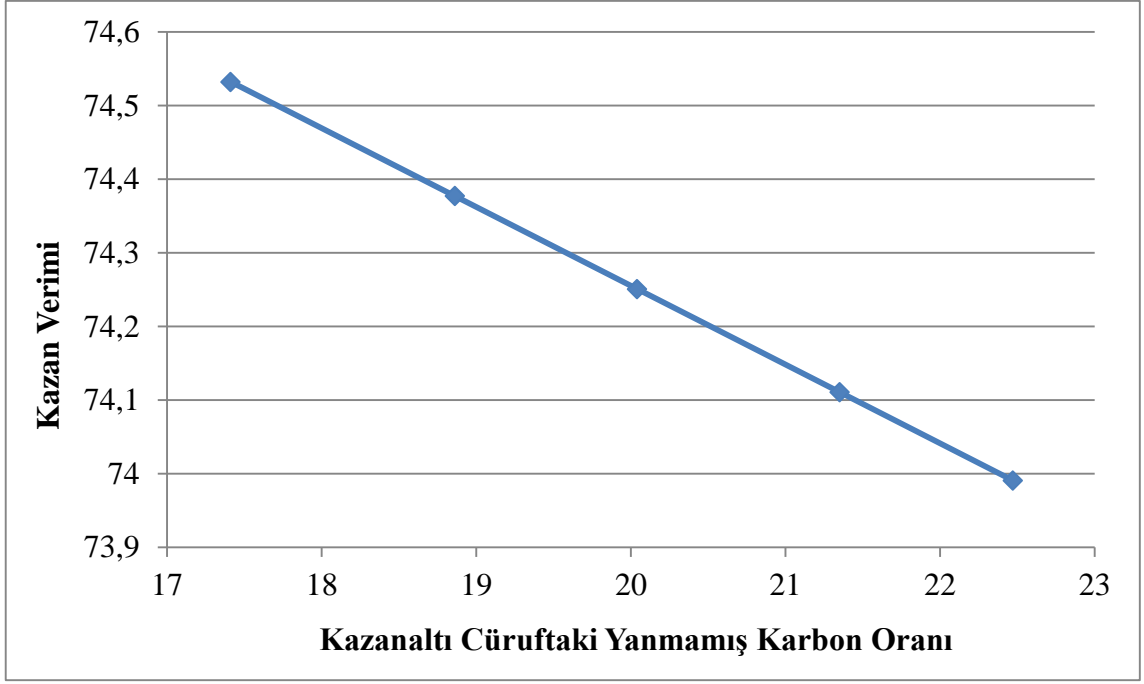
Şekil 9.14 Taze hava giriş sıcaklığı ile kazan verimi arasındaki ilişkisi



Şekil 9.15 Kazan çıkışındaki oksijen oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki



Şekil 9.16 Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki



Şekil 9.17 Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki

Çizelge 9.13 24.02.2012 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler

Veriler		Hesap Yapılan Tarihler		
		I	II	III
Kömür Analiz Raporu		24.02.2012	24.02.2012	24.02.2012
C	%	24	24	24
H	%	2,14	2,14	2,14
S	%	0,79	0,79	0,79
O	%	9,12	9,12	9,12
N	%	0,31	0,31	0,31
Nem	%	32	32	32
Kül	%	31,64	31,64	31,64
AID	kcal/kg	1922	1922	1922
Uçucu külün toplam küle oranı	%	0,9	0,9	0,9
Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı	%	1,7	1,7	1,7
Kazanaltı cürufun toplam küle oranı	%	0,1	0,1	0,1
Kazanaltı cürufta yanmamış karbon oranı	%	18,62	18,62	18,62
Kazan Girişi ve Çıkışındaki Değerler				
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	1	1	9
Baca gazı çıkış sıcaklığı	°C	152	152	152
Su buharının özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,45	0,45	0,45
Baca gazı özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,23	0,23	0,23
Kazan çıkışı oksijen oranı	%	8,2	9,6	9,6
Hesaplanan Değerler				
Teorik hava miktarı	kg hava/kg kömür	3,166365	3,166365	3,166365
Hava fazlalık katsayısı	kg gerçek hava/kg teorik hava	1,640625	1,842105	1,842105
Gerçek hava miktarı	kg gerçek hava/kg kömür	5,194817578	5,83277763	5,83277763
Gerçek baca gazı miktarı	kg baca gazı/kg kömür	5,365453628	6,00341368	6,00341368
Hava nem oranı	kg nem/kg hava	0,0031	0,0031	0,0055
CO(Baca)	%	0,002	0,002	0,002
CO2(Baca)	%	13,11197125	11,7513883	11,7513883
AID_kül	kcal/kg	137,921	137,921	137,921
AID_cüruf	kcal/kg	1510,6406	1510,6406	1510,6406

Çizelge 9.14 24.02.2012 tarihli kömür, hava ve kazan ile ilgili bazı değerler

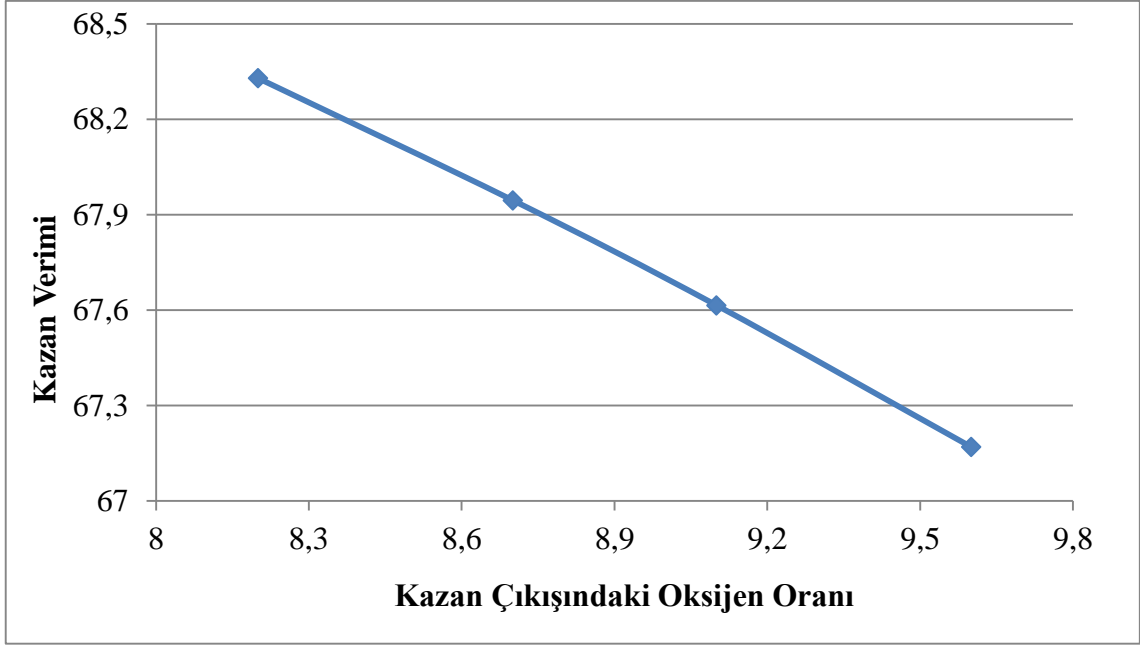
Veriler		Hesap Yapılan Tarihler		
		IV	V	VI
Kömür Analiz Raporu		24.02.2012	24.02.2012	24.02.2012
C	%	24	24	24
H	%	2,14	2,14	2,14
S	%	0,79	0,79	0,79
O	%	9,12	9,12	9,12
N	%	0,31	0,31	0,31
Nem	%	32	32	32
Kül	%	31,64	31,64	31,64
AID	kcal/kg	1922	1922	1922
Uçucu külün toplam küle oranı	%	0,9	0,9	0,9
Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı	%	2,3	1,7	1,7
Kazanaltı cürufun toplam küle oranı	%	0,1	0,1	0,1
Kazanaltı cürufta yanmamış karbon oranı	%	18,62	18,62	21,87
Kazan Girişi ve Çıkışındaki Değerler				
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	9	9	9
Baca gazı çıkış sıcaklığı	°C	152	166	166
Su buharının özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,45	0,45	0,45
Baca gazı özgül ısı değeri	kcal/kg°C	0,23	0,23	0,23
Kazan çıkışı oksijen oranı	%	9,6	9,6	9,6
Hesaplanan Değerler				
Teorik hava miktarı	kg hava/kg kömür	3,166365	3,166365	3,166365
Hava fazlalık katsayısı	kg gerçek hava/kg teorik hava	1,842105	1,842105	1,842105
Gerçek hava miktarı	kg gerçek hava/kg kömür	5,83277763	5,83277763	5,83277763
Gerçek baca gazı miktarı	kg baca gazı/kg kömür	6,00341368	6,00341368	6,00341368
Hava nem oranı	kg nem/kg hava	0,0055	0,0055	0,0055
CO(Baca)	%	0,002	0,002	0,002
CO2(Baca)	%	11,7513883	11,7513883	11,7513883
AID_kül	kcal/kg	186,599	137,921	137,921
AID_cüruf	kcal/kg	1510,6406	1510,6406	1774,3131

Çizelge 9.15 24.02.2012 tarihli kayıp yüzdeleri ve kazan verimi

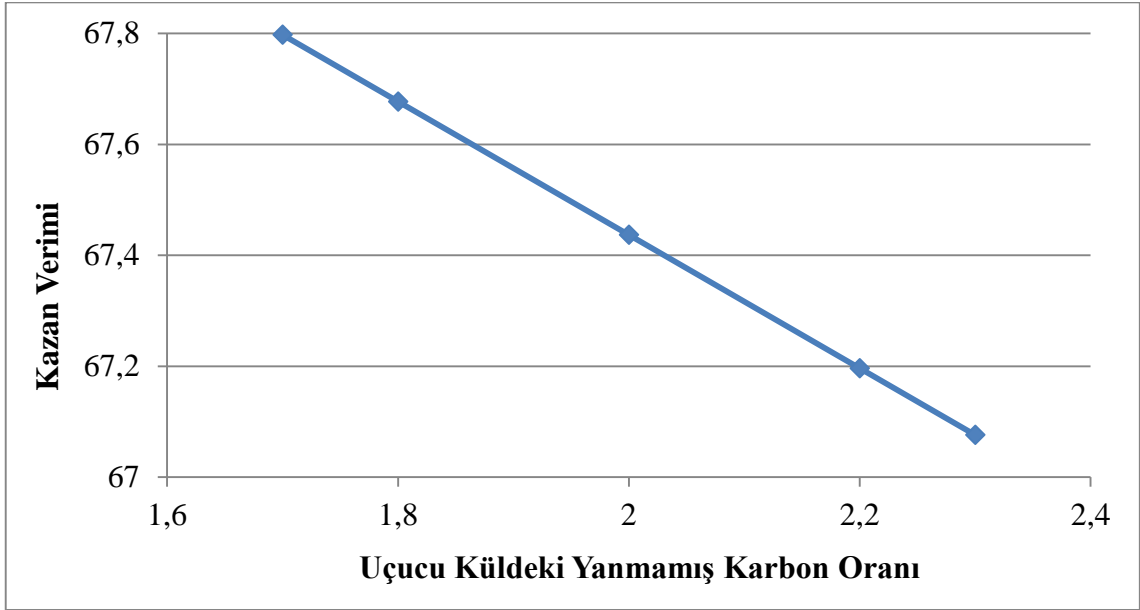
Veriler		Hesap Yapılan Tarihler					
		I	II	III	IV	V	VI
		24.02.2012	24.02.2012	24.02.2012	24.02.2012	24.02.2012	24.02.2012
K1 Kayıp yüzdesi	%	9,6952240	10,8479999	10,2732714	10,2732714	11,2790462	11,2790462
K2 Kayıp yüzdesi	%	6,5330682	6,5330682	6,4969932	6,4969932	6,5601243	6,5601243
K3 Kayıp yüzdesi	%	10,8545265	10,8545265	10,7945890	10,7945890	10,8994797	10,8994797
K4 Kayıp yüzdesi	%	0,0569335	0,0639254	0,1074072	0,1074072	0,1179226	0,1179226
K5 Kayıp yüzdesi	%	0,0001075	0,0001200	0,0001200	0,0001200	0,0001200	0,0001200
K6 Kayıp yüzdesi	%	2,0434123	2,0434123	2,0434123	2,7646166	2,0434123	2,0434123
K7 Kayıp yüzdesi	%	2,4868194	2,4868194	2,4868194	2,4868194	2,4868194	2,9208775
Kazan verimi	%	68,3299087	67,1701284	67,7973876	67,0761832	66,6130755	66,1790174



Şekil 9.18 Taze hava giriş sıcaklığı i le kazan verimi arasındaki ilişkisi

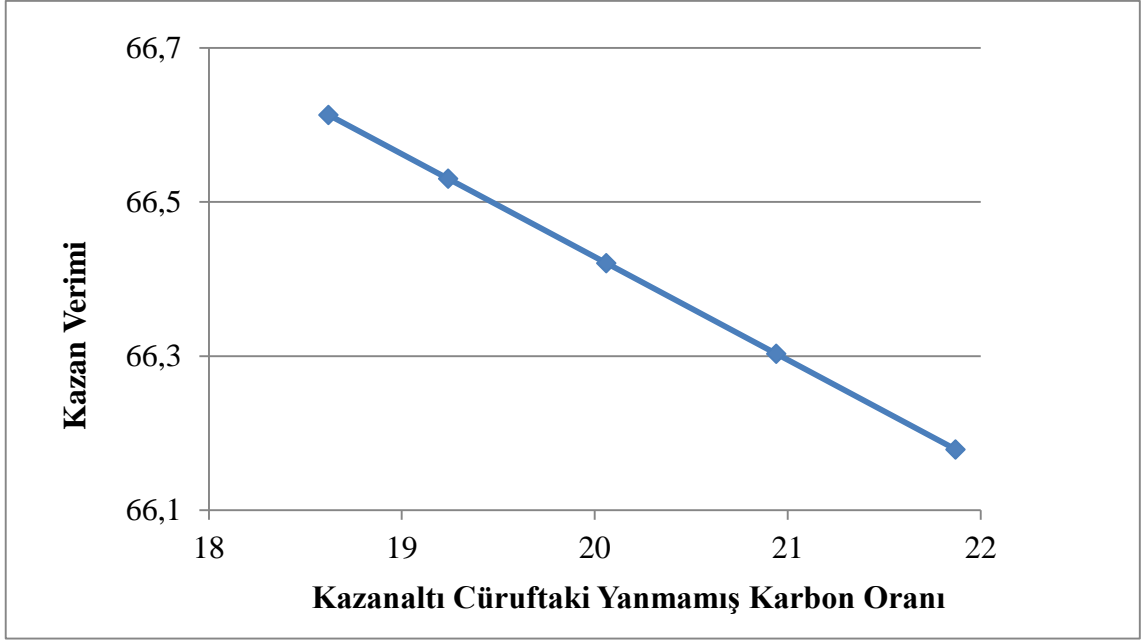


Şekil 9.19 Kazan çıkışındaki oksijen oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki



Şekil 9.20 Uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki





Şekil 9.21 Kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı ile kazan verimi arasındaki ilişki

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Orhaneli termik santrali ele alınarak farklı tarihlerdeki (03.03.2012, 12.05.2011, 13.10.2010, 22.06.2011, 24.02.2012) değerler ile hesaplar yapılmıştır. Hesaplama bazı değerler (uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ve kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı) kabul edilmiştir. Kabul edilen değerler aynı gün içerisinde de farklı değerlerde alınarak verime olan etkisi saptanmıştır. Taze hava giriş sıcaklığı ve kazan çıkışındaki oksijen oranı, santralden alınan değer dışında bir değerle de yapılarak verime etkisi gözlemlenmiştir. Tablo ve grafiklerden de görüldüğü gibi baca gazı çıkış sıcaklığı sabit kalmak şartıyla taze hava giriş sıcaklığının artması verimin de artmasına neden olmaktadır. Burada taze hava giriş sıcaklığı sabit tutularak baca gazı çıkış sıcaklığında bir azalma meydana geldiğinde de aynı şekilde verimde artış görülecektir. Yani, baca gazı çıkış sıcaklığı ile taze hava giriş sıcaklığı arasındaki fark azaldıkça verim artacak, sıcaklık farkı arttıkça verim azalacaktır.

Diğer yandan, kazan çıkışındaki oksijen oranının artması sonucu verimde azalmalar meydana gelmiştir. Kazan çıkışındaki oksijen oranının artması hava fazlalık katsayısının artmasına neden olmaktadır. Kazana girecek olan havanın fazla olması kömürdeki karbonun oksijen ile reaksiyona girmesi bakımından önemlidir. Fakat, fazla havanın kazana girmesi sonucu ortam sıcaklığı düşeceğinden gerekli olan reaksiyon sıcaklığına ulaşamayacak ve kömürde bulunan karbon atomları oksijen ile reaksiyona giremeyeceklerdir. Bunun sonucunda verimde azalma meydana gelecektir.

Grafiklerden de görüldüğü gibi, uçucu küldeki yanmamış karbon oranı ve kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranı arttıkça kazan veriminde azalma meydana gelmektedir.  $K_4$  kayıp oranları incelenecek olursa havadaki nem oranının artması da verimde azalmaya neden olmaktadır.

Pülverize kömür kazanlarında kazan veriminin yüksek olması ve emisyon değerlerinin düşük olması her zaman istenen bir durumdur. Aynı ocaktan çıkarılan kömür bile olsa bu kömürlerin içerdikleri karbon, hidrojen, azot, kükürt vs. farklılık göstermektedir. Bundan dolayı kazan sistemleri tasarlanan değerlere göre her zaman çalışamayabilmektedir. Orhaneli termik santralinde kullanılan kömürlerin içerdikleri nem oranı oldukça yüksektir. Bundan dolayı kömürlerimize kurutma işlemi uygulayarak [4] verimlerinde bir miktar artış yapılabilir. Orhaneli termik santralinde kurutma işlemi değirmenlerde yapılmaktadır ve burada kömür hem kurutulmakta hem de pülverize edilmektedir. Uçucu küldeki ve kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranlarının artmasının verimi olumsuz yönde etkilediği grafiklerde görülmektedir. Değirmene gelen kömür ne kadar pülverize edilebilirse buradaki kayıpların o kadar minimize edilebileceği göz ardı edilmemelidir. Kömürün daha ince taneli olması, havayla buluşacak olan yüzey alanının artmasına neden olacak ve reaksiyona girmesi daha da kolaylaşacaktır. Buradaki amacımız reaksiyona girecek olan kömürün tam yanmasını sağlamaktır. Kömürün eksik yanması sonucu zararlı bir gaz olan karbon monoksit meydana gelecektir. Bunun yanı sıra elde edilecek olan enerji miktarında da azalma görülecektir. Dolayısıyla pülverize edilmiş olan kömürün yanması sonucu cüruf ve küldeki yanmamış karbon oranları azalacağından verimde de artış meydana gelecektir.

Ayrıca bu sistemlerde yanma sonucu zararlı emisyonlar da meydana gelmektedir. Kazanda yanma için gerekli olan havanın tamamı aynı anda verildiği zaman ortamda sıcaklıklar ani bir şekilde artacak ve oksijen fazlalığından dolayı azot oksitler oluşacaktır. Fakat kademeli olarak yanma yapılacak olursa bunun önüne geçilmiş olur. Yanma sonucu oluşan zararlı gazlar, bacaya gelmeden önce filtreler tarafından geçirilmeli ve çevreye zararlı atıklar atılmamalıdır. Baca gazındaki uçucu maddeleri tutmak için + - kutuplaşmaya göre çalışan filtreler mevcuttur. Ayrıca, kalsiyum ve amonyak ilavesiyle de zararlı gazlar tutulabilmektedir.

Kısacası, kazanımızın verimini artırmak ve çevreye zararlı salınımların olmaması için, taze hava giriş ve baca gazı çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı minimize etmek, kazan çıkışındaki oksijen oranını azaltmak, uçucu kül ve kazan altı cüruftaki yanmamış karbon oranlarını düşürmek, kömürün değirmende iyi bir şekilde pülverize edilmesi ve tam yanmanın sağlanması, yanma sonucu oluşan gazların filtreler tarafından geçirilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Hiçyılmaz, C., Özbaş, K.E. ve Kök, M.V., (2002). “Kömür Yıkamanın Yanma Kinetiği Açısından Faydaları”, Türkiye 13. Kömür Kongresi, 29-31 Mayıs 2002, Zonguldak.
- [2] Duranay, N. ve Pehlivan, D., (2002). “Zorlanmış Konveksiyonun Bazı Kömürlerin Yanmasına Etkisi”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 26: 75-83.
- [3] Akar, G., (2009). Kömür Mineral Madde İçeriğinin Yanma Prosesindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [4] Akkoyunlu, M.T., (2011). Termik Santrallerde Kullanılan Kömürün Kurutulması ve Santral Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] İlten, N., (1992). Yanma Olayında Emisyon Kontrolleri, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [6] Demirbaş, B., (2009). Türk Linyitlerinin Yanma Üzerine Etkisinin Sayısal Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [7] Avcı, S., (2005). “Türkiye’de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri”, Coğrafya Dergisi, (13): 1-26.
- [8] Bilirgen, H., (2011). “Termik Santrallerde Performans İyileştirme ve Rehabilitasyon İhtiyacı”, Mühendis ve Makine, 52(617): 107-115.
- [9] Doğan, Z.M., Hoşten, Ç. ve Başol A., Kömür Rutubetinin Türkiye’deki Bazı Linyitlerin Öğütülebilirliğine Etkisi, [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/0126439e08ddfdb\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/0126439e08ddfdb_ek.pdf), 13 Şubat 2013.
- [10] Hacıfazlıoğlu, H., (2009). “İnce ve Çok İnce Öğütme için Alternatif Değirmen Tiplerinin Tanıtılması”, AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 17-30.
- [11] Çürüksulu, M., (2006). 150 MW<sub>e</sub> Kurulu Güçteki Düşük Kaliteli Linyitle Çalışan Bir Termik Santral için Buhar Kazanı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] Ikeda, M., Makino, H., Morinaga, H., Higashiyama, K. ve Kozai, Y., (2003). “Emission Characteristics of NO<sub>x</sub> and Unburned Carbon in Fly Ash During

- Combustion of Blends of Bituminous/Sub-bituminous Coals”, Elsevier, 1851-1857
- [13] Huang, B., Luo, Z. ve Zhou H., (2010). “Optimization of Combustion Based on Introducing Radiant Energy Signal in Pulverized Coal-Fired Boiler”, Elsevier, 660-668
- [14] Zhou, H., Mo, G., Si, D. ve Cen, K., (2011). “Numerical Simulation of the NO<sub>x</sub> Emissions in a 1000 MW Tangentially Fired Pulverized-Coal Boiler: Influence of the Multi-group Arrangement of the Separated over Fire Air”, Energy&Fuels, 2004-2012.
- [15] Fang, Q., Wang, H., Zhou, H., Lei, L. ve Duan X., (2010). “Improving the Performance of a 300 MW Down-Fired Pulverized-Coal Utility Boiler by Inclining Downward the F-Layer Secondary Air”, Energy&Fuels, 4857-4865.
- [16] Pisa, I., (2012). “Combined Primary Methods for NO<sub>x</sub> Reduction to the Pulverized Coal-Sawdust Co-combustion”, Elsevier, 429-438.
- [17] Aksan A., (2010). Türkiye'nin Kömür Politikaları ve Temiz Kömür Teknolojilerinin Kullanılması Durumunda Ülke Ekonomisine Katkılarının ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [18] Maden Mühendisleri Odası, Dikey Karıştırmalı Değirmende Armutçuk Kömürünün Kuru Öğütülmesi ve Bilya Boyutunun Ürün İnceliğine Etkisi, [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/6123e470d322691\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/6123e470d322691_ek.pdf), 7 Ekim 2013.
- [19] Genceli, O. F., (1998). Buhar Kazanları Konstrüksiyon ve Yardımcı Elemanları, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [20] Bulut H., (2011), Buhar Kazanları Ders Notları, <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/buhar.pdf>, 4 Ekim 2013.
- [21] Kitto J. B. And Stultz S. C., (2005), Steam Its Generation and Use, Edition 41, The Babcock & Wilcox Company, Ohio.
- [22] Yıldız Teknik Üniversitesi, Yakıtlar ve Yanma 10.Hafta, [http://www.yildiz.edu.tr/~oisin/Dersler/Dersnotlari/0653634/YAKITLAR\\_YANMA\\_10Hafta.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~oisin/Dersler/Dersnotlari/0653634/YAKITLAR_YANMA_10Hafta.pdf), 23 Temmuz 2012.
- [23] Makine Mühendisleri Odası, Genel Olarak Akışkan Yatak Prosesi, [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/b81c4484ebf263f\\_ek.pdf?tipi=2&uru=X&sube=0](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b81c4484ebf263f_ek.pdf?tipi=2&uru=X&sube=0), 8 Ocak 2014.
- [24] Deneysan Eğitim Cihazları, Termik Santraller, [http://www.deneysan.com.tr/Content/images/documents/termik-santraller\\_16694850.pdf](http://www.deneysan.com.tr/Content/images/documents/termik-santraller_16694850.pdf), 29 Mart 2013.
- [25] United States Environmental Protection Agency, Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions From Coal-Fired Electric Generating Units, <http://www.epa.gov/nsr/ghgdocs/electricgeneration.pdf>, 29 Eylül 2012.
- [26] Çengel, Y.A. ve Boles, M.A, (2002). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, 2. Basım, McGraw-Hill-Literatür Yayıncılık, İstanbul
- [27] Kartal E., Yanma ve Yanmanın Optimizasyonu, <http://www.ttmd.org.tr/userfiles/dergi/dergi16.pdf>, 11 Ocak 2013.

- [28] Yıldız Araştırmacı Bilgi Sistemi, Yakıtlar ve Yanma 9.Hafta, <http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/aergenc-Dersler-1862-materials>, 22 Aralık 2012.
- [29] Bilgin, A., (2006). “Kazanlarda Enerji Verimliliği”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, (95): 13-18.
- [30] Abakay, H., (2001). Diyarbakır-Hazro Taş Kömürünün Yıkabilme Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [31] Ateşok, G., Dinçer, H., Burak. F., Karakaş. F. ve Özer M., (2006), “Çevresel Sürdürülebilirliğe Doğru Kömürün Kullanımı”, Türkiye 10. Enerji Kongresi, 27-30 Kasım 2006, İstanbul.
- [32] Ateşok, G., Özer, M., Burak, F. ve Karakaş F., (2006), “Teknolojiden Yararlanarak Bir Gelecek Kurmak-Temiz Kömür Teknolojilerinde Yeni Boyutlar”, Türkiye 10. Enerji Kongresi, 27-30 Kasım 2006, İstanbul.
- [33] Bureau of Energy Efficiency, Boilers, [http://www.beeindia.in/energy\\_managers\\_auditors/documents/guide\\_books/2Ch2.pdf](http://www.beeindia.in/energy_managers_auditors/documents/guide_books/2Ch2.pdf), 25 Nisan 2013.
- [34] Erdem, H. H., Enerji Sistemlerinde Optimizasyon Ders Notları.
- [35] Anadolu Üniversitesi, Gazlar, <http://w2.anadolu.edu.tr/aos/kitap/EHSM/1222/unite06.pdf>, 8 Ocak 2014.





Çizelge A.2 12.05.2011 tarihli kömür analiz raporu

KÖMÜR ANALİZ RAPORU		RAPOR TARİHİ : 12.05.2011	
Rapor No : 024-12-1009			
<p><b>TEKNİK KONTROL VE LABORATUVARLAR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>ÜİAŞ</p> <p>TEKİRGÖZ YERİNEKİ 2000 NİSİLİ KÖMÜR</p> <p>YOL: 200 407 / 1705 FAX: 8 333 007 33 56</p>		<p><b>ORJANELİ TERMİK SANTRALİ İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>PK17 Orhanlı/BAŞSA</p> <p>Tel:0312 (0234) 831 73 47 Fax:(0234) 831 73 46</p> <p>e-posta: mrs@turkmenel.com.tr</p> <p>12/04/2011-1055</p> <p>14.04.2011</p> <p>16.04.2011</p>	
<p><b>TEKNİK KONTROL VE LABORATUVARLAR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>ÜİAŞ</p> <p>TEKİRGÖZ YERİNEKİ 2000 NİSİLİ KÖMÜR</p> <p>YOL: 200 407 / 1705 FAX: 8 333 007 33 56</p>		<p><b>ORJANELİ TERMİK SANTRALİ İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>PK17 Orhanlı/BAŞSA</p> <p>Tel:0312 (0234) 831 73 47 Fax:(0234) 831 73 46</p> <p>e-posta: mrs@turkmenel.com.tr</p> <p>12/04/2011-1055</p> <p>14.04.2011</p> <p>16.04.2011</p>	
<p><b>TEKNİK KONTROL VE LABORATUVARLAR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>ÜİAŞ</p> <p>TEKİRGÖZ YERİNEKİ 2000 NİSİLİ KÖMÜR</p> <p>YOL: 200 407 / 1705 FAX: 8 333 007 33 56</p>		<p><b>ORJANELİ TERMİK SANTRALİ İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>PK17 Orhanlı/BAŞSA</p> <p>Tel:0312 (0234) 831 73 47 Fax:(0234) 831 73 46</p> <p>e-posta: mrs@turkmenel.com.tr</p> <p>12/04/2011-1055</p> <p>14.04.2011</p> <p>16.04.2011</p>	

Çizelge A.3 22.06.2011 tarihli kömür analiz raporu

KÖMÜR ANALİZ RAPORU		RAPOR TARİHİ : 22.06.2011	
Rapor No : 024-12-1011			
<p><b>TEKNİK KONTROL VE LABORATUVARLAR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>ÜİAŞ</p> <p>TEKİRGÖZ YERİNEKİ 2000 NİSİLİ KÖMÜR</p> <p>YOL: 200 407 / 1705 FAX: 8 333 007 33 56</p>		<p><b>ORJANELİ TERMİK SANTRALİ İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>PK17 Orhanlı/BAŞSA</p> <p>Tel:0312 (0234) 831 73 47 Fax:(0234) 831 73 46</p> <p>e-posta: mrs@turkmenel.com.tr</p> <p>22/06/2011-2079</p> <p>03.06.2011</p> <p>04.06.2011</p>	
<p><b>TEKNİK KONTROL VE LABORATUVARLAR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>ÜİAŞ</p> <p>TEKİRGÖZ YERİNEKİ 2000 NİSİLİ KÖMÜR</p> <p>YOL: 200 407 / 1705 FAX: 8 333 007 33 56</p>		<p><b>ORJANELİ TERMİK SANTRALİ İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>PK17 Orhanlı/BAŞSA</p> <p>Tel:0312 (0234) 831 73 47 Fax:(0234) 831 73 46</p> <p>e-posta: mrs@turkmenel.com.tr</p> <p>22/06/2011-2079</p> <p>03.06.2011</p> <p>04.06.2011</p>	
<p><b>TEKNİK KONTROL VE LABORATUVARLAR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>ÜİAŞ</p> <p>TEKİRGÖZ YERİNEKİ 2000 NİSİLİ KÖMÜR</p> <p>YOL: 200 407 / 1705 FAX: 8 333 007 33 56</p>		<p><b>ORJANELİ TERMİK SANTRALİ İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b></p> <p>PK17 Orhanlı/BAŞSA</p> <p>Tel:0312 (0234) 831 73 47 Fax:(0234) 831 73 46</p> <p>e-posta: mrs@turkmenel.com.tr</p> <p>22/06/2011-2079</p> <p>03.06.2011</p> <p>04.06.2011</p>	



## Çizelge A.4 24.02.2012 tarihli kömür analiz raporu

	GELEN KÖMÜR 12/032 A 3 Kg	YARAN KÖMÜR 12/032 B 3,5 Kg						
<b>MÜHÜRÜNÜN GELDİĞİ YER :</b>	<b>ORHANELİ TERMİK SANTRALİ İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b> PK:17 Orhaneli/BURSA Telefon (0224) 831 73 47 Fax:(0224) 831 73 46 e-posta: mpyy@euaa.gov.tr							
<b>YAZININ TARİH VE SAYISI:</b>	31/01/2012-386							
<b>MÜHÜRÜNÜN GELİŞ TARİHİ:</b>	03.02.2012							
<b>ANALİZİN YAPILDIĞI TARİHİ:</b>	06-22/02/2012							
<b>KÖMÜR ANALİZ RAPORU</b>								
<b>RAPOR TARİHİ : 24.02.2012</b>								
<b>RAPOR NO : YAK 12-022 #</b>								
MÜHÜRÜNÜN ADI / GELİŞ MİKTARI	GELEN KÖMÜR 12/032 A 3 Kg				YARAN KÖMÜR 12/032 B 3,5 Kg			
MÜHÜRÜNÜN ALINDIĞI TARİH								
<b>HAVAZA KIRILTIMA KAYBI (%)</b>	29,64				26,83			
<b>ENDÜSTRİYEL ANALİZ (%)</b> Ortam Sıcaklığı/term : 22°C %18								
<b>MEM</b>	30,63	6,60	0	0	32,05	7,06	0	0
<b>KÜL</b>	29,41	39,55	42,39	0	31,64	43,24	46,52	0
<b>HÜCUMEN MADDE</b>	24,00	32,27	34,58	60,05	22,60	30,31	32,5	61,32
<b>SABİT KARBON</b>	15,98	21,89	23,03	35,97	13,97	19,09	20,5	38,61
<b>TOPLAM</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>İSTL. DEĞERLERİ (%)</b> Ortam Sıcaklığı/term : 20°C %20								
<b>İRTY ERİL DEĞER</b>	2602	3385	3605	6259	2215	3038	3258	5893
<b>ALT İSTL. DEĞERLER</b>	2205	3158	3425	5845	1932	2837	3096	5769
<b>ELEMANTEL ANALİZ (%)</b> Ortam Sıcaklığı/term : 21°C %22								
<b>MEM</b>	30,61	6,69	0	0	32,00	7,06	0	0
<b>KÜL</b>	29,41	39,55	42,39	0	31,64	43,24	46,52	0
<b>KARBON</b>	27,96	37,6	40,30	69,94	24,00	32,8	35,20	66,00
<b>HİDROJEN</b>	2,44	3,88	3,52	5,10	2,14	2,93	3,15	5,90
<b>KÜKÜRT (yararlı)</b>	0,80	1,19	1,28	2,21	0,79	1,08	1,16	2,17
<b>AZOT</b>	0,42	0,57	0,61	1,06	0,31	0,43	0,46	0,87
<b>OKSİJEN</b>	8,27	11,12	11,52	20,68	9,12	12,46	13,41	25,07
<b>TOPLAM</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>KÜKÜRT SEÇİMLERİ (%)</b> Ortam Sıcaklığı/term : 22°C %21								
<b>TOPLAM KÜKÜRT</b>	1,78	2,39	2,56		1,68	2,29	2,46	
<b>KÜLDEKİ KÜKÜRT</b>	0,89	1,2	1,29		0,89	1,21	1,30	
<b>KÜL ERİME DEĞERLERİ (°C)</b> Ortam Sıcaklığı/term : 22°C %20								
<b>İLK DEFORMASYON</b>		YUMUŞAMA	ERİME	AKMA	İLK DEFORMASYON	YUMUŞAMA	ERİME	AKMA
<b>İLK DEFORMASYON</b>	1192	1211	1209	1323	1204	1230	1268	1338

**DENEYİ YAPANLAR**

Orhan AKDUĞAN  
Kimya Meslek Teknisyeni

**RAPOR YEREN**

Dr. Nergis YILMAZ  
Teknik Şef (G)

**KONTROL EDEN**

Zekeriya ESKİTOKOS  
İşl. Müdür Yard. (G)

**KONAY**

Dr. Nergis YILMAZ  
Teknik Şef (G)

## Çizelge A.5 13.10.2010 tarihli kömür analiz raporu

	GELEN KÖMÜR 12/032 A 3 Kg	YARAN KÖMÜR 12/032 B 3,5 Kg						
<b>MÜHÜRÜNÜN GELDİĞİ YER :</b>	<b>ORHANELİ TERMİK SANTRALİ İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ</b> PK:17 Orhaneli/BURSA Telefon (0224) 831 73 47 Fax:(0224) 831 73 46 e-posta: mpyy@euaa.gov.tr							
<b>YAZININ TARİH VE SAYISI:</b>	20/09/2010-3702							
<b>MÜHÜRÜNÜN GELİŞ TARİHİ:</b>	22.09.2010							
<b>ANALİZİN YAPILDIĞI TARİHİ:</b>	24.09.2010							
<b>KÖMÜR ANALİZ RAPORU</b>								
<b>RAPOR TARİHİ : 13.10.2010</b>								
<b>RAPOR NO : YAK 12-1874</b>								
MÜHÜRÜNÜN ADI / GELİŞ MİKTARI	GELEN KÖMÜR 12/032 A 3 Kg				YARAN KÖMÜR 12/032 B 3,5 Kg			
MÜHÜRÜNÜN ALINDIĞI TARİH								
<b>HAVAZA KIRILTIMA KAYBI (%)</b>	21,06				22,55			
<b>ENDÜSTRİYEL ANALİZ (%)</b> Ortam Sıcaklığı/term : 20°C %18								
<b>MEM</b>	27,55	7,04	0	0	27,81	6,79	0	0
<b>KÜL</b>	32,70	41,96	45,1	0	35,27	45,24	48,9	0
<b>HÜCUMEN MADDE</b>	20,80	29,28	31,0	57,41	22,83	29,61	31,8	62,11
<b>SABİT KARBON</b>	16,92	21,72	23,4	42,59	13,99	18,06	19,4	37,85
<b>TOPLAM</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>İSTL. DEĞERLERİ (%)</b> Ortam Sıcaklığı/term : 21°C %18								
<b>İRTY ERİL DEĞER</b>	2415	3098	3302	6076	2183	2818	3033	5811
<b>ALT İSTL. DEĞERLER</b>	2138	2903	3169	5778	1906	2628	2861	5584
<b>ELEMANTEL ANALİZ (%)</b> Ortam Sıcaklığı/term : 20°C %19								
<b>MEM</b>	27,55	7,04	0	0	27,81	6,79	0	0
<b>KÜL</b>	32,70	41,96	45,14	0	35,27	45,24	48,86	0
<b>KARBON</b>	25,25	32,4	34,95	63,62	24,24	31,3	33,98	65,48
<b>HİDROJEN</b>	2,32	2,96	2,80	5,80	2,28	2,94	2,83	6,17
<b>KÜKÜRT (yararlı)</b>	1,20	1,6	1,72	3,4	1,18	1,53	1,64	3,31
<b>AZOT</b>	0,63	0,78	0,84	1,51	0,63	0,68	0,73	1,43
<b>OKSİJEN</b>	10,33	13,25	14,26	26,90	8,80	11,22	12,04	23,34
<b>TOPLAM</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>KÜKÜRT SEÇİMLERİ (%)</b> Ortam Sıcaklığı/term : 20°C %17								
<b>TOPLAM KÜKÜRT</b>	1,96	2,62	2,71		1,87	2,55	2,74	
<b>KÜLDEKİ KÜKÜRT</b>	0,72	0,92	0,99		0,79	1,02	1,09	
<b>KÜL ERİME DEĞERLERİ (°C)</b> Ortam Sıcaklığı/term : 20°C %16								
<b>İLK DEFORMASYON</b>		YUMUŞAMA	ERİME	AKMA	İLK DEFORMASYON	YUMUŞAMA	ERİME	AKMA
<b>İLK DEFORMASYON</b>	1260	1305	1355	1375	1265	1305	1345	1370

**DENEYİ YAPANLAR**

Orhan AKDUĞAN  
Kimya Üst. Teknisyeni

**RAPOR YEREN**

Dr. Nergis YILMAZ  
Teknik Şef (G)

**KONTROL EDEN**

Mehmet TAĞRIKCI  
Teknik Müdür Yardemci

**KONAY**

Dr. Nergis YILMAZ  
Teknik Şef (G)

## BACA GAZI EMİSYON DEĞERLERİ

Çizelge B.1 Baca gazı emisyon değerleri

ORHANELİ TERMİK SANTRALİ İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ BACA GAZI ÜNİTESİ EMİSYON DEĞERLERİ

Tarih	GİRİŞ										ÇIKIŞ				
	T 1 RAWG	DUST RAWG	O2	SO2 RAWG	F FG CORR	NOX CLNG	O2 CLNG	SO2 CLNG	ETA SO2 RDCN	DUST CLNG	CO CLNG	ÇALIŞMAMA	BACAGAZI	SANTRAL	
	C	MG/NM <sup>3</sup>	VOL %	MG/NM <sup>3</sup>	NM3/H	MG/NM <sup>3</sup>	VOL %	MG/NM <sup>3</sup>	%	MG/NM <sup>3</sup>	MG/NM3	NEDENİ	SAATİ	SAATİ	
OCAK	149	100	9,6	5399	1434161	880	10,5	327	93,7	16,7	50	0	603	677	
ŞUBAT	150	487	9,6	4663	1299744	620	10,6	202	96,1	40,9	25	0	589	646	
MART	151	921	9,6	3709	1259065	545	14,2	353	91,1	79,2	14	0	743	743	
NİSAN	151	872	9,3	5272	1164640	505	10,1	490	90,9	96,2	29	0	543	552	
MAYIS	152	839	8,8	5570	1079357	612	9,8	342	93,6	85,1	28	0	320	325	
HAZİRAN	151	770	8,0	5155	1113790	500	10,0	131	97,6	84,4	47	0	606	626	
TEMMUZ	152	1316	8,2	5698	1126111	543	9,9	321	94,9	84,0	66	0	625	655	
AĞUSTOS	151	859	7,7	5021	1105587	581	9,6	394	92,3	81,3	38	0	493	530	
EYLÜL	150	499	7,4	3993	1151376	389	9,2	355	91,4	78,6	68	0	169	170	
EKİM	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
KASIM	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
ARALIK	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
ORTALAMA	151	740	6,7	4942	1192648	554	10,4	324	93	71	43	0	4694	4924	

\* B.G.D Tesisi devre dışı.

\*\* Ünite devre dışı.

# Cihaz arızası nedeniyle ölçüm hatası.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ahmed DÜZCAN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1987/BURSA  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : duzcan-ahmed@hotmail.com

### Öğrenim Durumu

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Yıldırım Beyazıt Lisesi	2005