

**ÜSTTEN VE ALT YANDAN BESLEMELİ KÖMÜR SOBASININ HAVA
KİRLİLİĞİNE ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Ali KEÇEBAŞ

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Bilim Uzmanlığı Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2005**

KABUL:

Ali KEÇEBAŞ tarafından hazırlanan “ÜSTTEN VE ALT YANDAN BESLEMELİ KÖMÜR SOBALARININ HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 23/06/2005

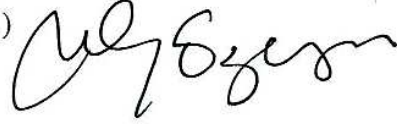
Başkan : Prof. Dr. Etem Sait ÖZ (Z.K.Ü.)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA (Z.K.Ü.)




Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Galip ÖZKAYA (G.Ü.)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 12 / 07 / 2005



Prof. Dr. İhsan TOROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Bilim Uzmanlığı Tezi

ÜSTTEN VE ALT YANDAN BESLEMELİ KÖMÜR SOBASININ HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ali KEÇEBAŞ

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Etem Sait ÖZ
Haziran 2005, 78 Sayfa

Konutlarda ısınma ihtiyacı; katı, sıvı ve gaz yakıtların bireysel veya merkezi sistemlerde kullanımı ile sağlanmaktadır. Sıvı yakıtın işletmesi kolaydır fakat pahalı olması nedeniyle tercih edilmemektedir. Gaz yakıt olarak kullanılan doğal gaz büyük yerleşim merkezleri dışında yaygın olmamasından dolayı, ülkemizin büyük bir bölümü katı yakıt kullanmaktadır.

Katı yakıt olarak kullanılan kömür, yakıcı cihazın özelliğinden ve ayrıca yakma tekniğinin doğru uygulanmamasından dolayı çevre kirliliği problemleri ortaya çıkmaktadır. Kömürün yaygın olarak kullanıldığı sobalardan kaynaklanan hava kirliliği önemli boyutlara ulaşmaktadır. Bu nedenle en uygun yakıcıları tespit etmek amacıyla alt yandan beslemeli soba tasarımı yapılmıştır.

Bu çalışmada; harici bir depodan alınan kömür helezon vasıtasıyla yakma yerine götürecektir. Yanma işlemi helezon üzerinde meydana gelecektir. Deney sobası ile üstten

ÖZET (devam ediyor)

beslemeli kömür sobası aynı şartlarda yakılarak deney sonuçları alınacaktır. 30 mm ile 50 mm arasında tane büyüklüğüne sahip linyit kömürü her iki sobada günün aynı saatlerinde yakılarak hava kirliliği seviyeleri araştırılmıştır. Kömür besleme ile CO oluşumu arasında yakın bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Alt yandan beslemeli sobada diğer sobaya göre %19'luk CO emisyonunda bir azalma olmuştur. Toplam partikül madde emisyon miktarı alt yandan beslemede daha düşüktür. Ek olarak, azot oksit (NO_x) ve kükürt oksit (SO₂) değerlerinde aynı kömürün yakılması ve aynı soba olması dolayısıyla bir değişiklik gözlenmemiştir.

Sonuç olarak, tasarlanan alt yandan beslemeli sobanın üstten beslemeliye göre daha ekonomik ve çevreci olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Hava Kirliliği, Yanma, Kömür, Soba

Bilim Kodu : 626.11.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

COMPARISON OF EFFECT ON AIR POLLUTION OF THE COAL STOVES FED FROM THE TOP AND THE BOTTOM SIDE

Ali KEÇEBAŞ

**Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Machine**

Thesis Advisor: Prof. Etem Sait ÖZ

June 2005, 78 Pages

The heat requirements in houses have been supplied by using solid, liquid and gas fuels in individual or central systems. The operating of liquid fuel is easy, but it has not been preferred since it is expensive. Since natural gas which is used as a gas fuel is not widespread in rural areas, most of our country has been used solid fuels.

The coal which is used as a solid fuel, burning device properties and since burning techniques are not carrying out properly, environment pollution problems have been appeared. Air pollution which is sourced from stoves in which coal is used in it widely has been reached to important levels. That's why with purposing of determining the most proper burnings, the stove fed from the bottom side was designed.

ABSTRACT (continued)

In this study, the coal which is taken from outside will carry to burning place by means of a helix. Experiment results will take as burning experiment stove and the stove fed from the top in same conditions. Air pollution level has been investigated as lignite coal which has grain coarseness between 30 mm and 50 mm both in stoves in same hours of day. It has been determined that there is a close relation between feeding with coal and formation CO. According to other stove, in the stove fed from the bottom side has happened a reducing %19 in CO emission. Total amount of particulate matter emission was fewer than the stove fed from the bottom side was. In addition, a alternation in nitrogen oxide (NO_x) and sulphur dioxide (SO₂) levels was not been observed.

As a result, the stove fed from the bottom side which was designed has been seen that it is more economical and environmentalist according to the stove fed from the top.

Keywords : Air Pollution, Combustion, Coal, Stove

Science Code: 626.11.01

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen çok değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Etem Sait ÖZ Bey'e, ayrıca değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA Bey'e, Araş. Gör. Engin ÖZBAŞ Bey'e ve burada adlarını sayamadığım bilgi, kaynak ve görüşleriyle her zaman yardımcı olmaya çalışan tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Emine KEÇEBAŞ'a, babam İmdat KEÇEBAŞ'a, kardeşim Mesut KEÇEBAŞ'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 ÇALIŞMANIN ÖNEMİ	2
1.2 ÇALIŞMANIN AMACI.....	3
BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3 ÇEVRE.....	8
3.1 EKOSİSTEM VE EKOLOJİ KAVRAMLARI	8
3.1.1 Ekosistem Kavramı	8
3.1.2 Ekoloji Kavramı	8
3.2 ÇEVRE SORUNLARI.....	8
3.3 ÇEVRE SORUNLARININ NEDENLERİ.....	9
3.4 ÇEVRE KİRLİLİĞİ.....	10
3.5 ÇEVRE KİRLİLİĞİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	10
3.5.1 Hava Kirliliği	10
3.5.2 Su Kirliliği.....	10
3.5.2.1 Yeraltı Suları Kirliliği	10
3.5.2.2 Yerüstü Suları Kirliliği.....	11

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.5.3 Toprak Kirliliği.....	11
3.5.4 Gürültü Kirliliği	11
3.5.5 Görüntü Kirliliği	12
BÖLÜM 4 HAVA KİRLİLİĞİ	13
4.1 ATMOSFER VE KİRLİLİK	13
4.2 HAVA KİRLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	14
4.2.1 Sıcaklık.....	14
4.2.2 Basınç.....	14
4.2.3 Rüzgar	14
4.2.4 Yağış	15
4.2.5 Nem.....	15
4.2.6 Güneş Radyasyonu.....	15
4.3 HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI.....	15
4.3.1 Doğal Kaynaklardan Hava Kirliliği	16
4.3.2 Yapay Kaynaklardan Hava Kirliliği	16
4.3.2.1 Sabit Kaynaklar	17
4.3.2.2 Hareketli Kaynaklar	17
4.3.2.3 Diğer Kaynaklar	17
4.4 HAVA KİRLİTİCİLER.....	18
4.4.1 Kaynaktan Çıkışlarına Göre.....	18
4.4.1.1 Primer Kirleticiler.....	18
4.4.1.2 Sekonder Kirleticiler	18
4.4.2 Kaynaklarına Göre Kirleticiler.....	19
4.4.2.1 Doğal Kaynaklardan Oluşan Kirleticiler.....	19
4.4.2.2 Yapay Kaynaklardan Oluşan Kirleticiler	19
4.4.3 Kimyasal Yapılarına Göre Kirleticiler.....	19
4.4.3.1 İnorganik Gazlar.....	19
4.4.3.2 Organik Gazlar	19
4.4.3.3 Partiküller	19

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.5 HAVA KİRLİLİĞİNİN ETKİLERİ	20
4.6 TAŞINMA VE BİRİKİM	21
4.6.1 Taşınma	21
4.6.2 Birikim	22
BÖLÜM 5 YAKITLAR VE YANMA	23
5.1 YAKITLAR	23
5.1.1 Yakıtların Sınıflandırılması	24
5.1.1.1 Katı Yakıtlar	24
5.1.1.2 Sıvı Yakıtlar	24
5.1.1.3 Gaz Yakıtlar	25
5.2 YANMA	25
5.2.1 Yanma Prensipleri	26
5.2.2 Yanma Reaksiyonları	27
5.2.3 Tutuşma Sınırları	29
5.2.4 Tutuşma Sıcaklıkları	29
5.2.5 Yanma Şekilleri	29
5.2.6 Yakacakların Isıl Değerleri	30
5.2.7 Deniz Seviyesinde Olan Yüksekliğin Etkisi	30
5.3 YANMA HESAPLARI	30
5.3.1 Yanma İçin Gerekli Hava Miktarı	31
5.3.2 Max. CO ₂ Oranı	33
5.3.3 Duman Gazı Miktarı	34
5.3.4 Duman Gazındaki Su Buharı ve Çiğ Noktası	34
5.4 YANMADAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİ	34
5.4.1 Tanecik Kirleticiler	35
5.4.2 Karbon Monoksit	35
5.4.3 Hidrokarbonlar	36
5.4.4 Azot Oksitler	37
5.4.5 Kükürt Oksitler	37

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.4.6 Karbon Dioksitler.....	38
5.4.7 Diğer Kirleticiler.....	38
BÖLÜM 6 KÖMÜR VE KÖMÜRÜN YANMASI	39
6.1 KÖMÜRÜN OLUŞUMU	39
6.1.1 Kömürün Sınıflandırılması	39
6.2 KÖMÜRÜN YANMASI	39
6.2.1 Yanmayı Etkileyen Faktörler	40
6.2.1.1 Yakıt Faktörü.....	41
6.2.1.2 Yakma Sistemi Faktörü	42
6.2.1.3 İşletme Faktörü.....	43
6.2.2 Kömürün Yanması	43
6.2.2.1 Heterojen Kömür-Hava Karışımının Oluşması.....	43
6.2.2.2 Kömürün Heterojen Tutuşması	44
6.2.2.3 Heterojen Kömür Yanması ve Yanmanın Tamamlanması.....	45
6.2.3 Kömürün Yakılması Sırasında Çevreye Olan Olumsuz Etkileri	46
6.2.4 Kirleticiler İçin İmisyon ve Emisyon Kriterleri	46
BÖLÜM 7 SOBA ISIL PERFORMANS VE EMİSYON TESTLERİ	49
7.1 SOBA ISIL PERFORMANS VE EMİSYON DAVRANIŞLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	49
7.1.1 Sobalarda Kül Sorunu	49
7.1.2 Sobalarda Nem Sorunu	50
7.1.3 Sobalarda Uçucu Madde Sorunu.....	50
7.1.4 Sobalarda Isı Transferi Sorunu	50
7.1.5 Yanmanın Sürekliliği Sorunu.....	51
7.2 SOBA TESTLERİNİN AMAÇLARI VE TEMEL BİLGİLER.....	51
7.2.1 Soba İşletme Parametreleri	52
7.2.2 Isıl Performans Parametreleri.....	52

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
7.2.3 Emisyon Parametreleri.....	53
7.3 SOBA ISIL PERFORMANS STANDARLARI.....	53
BÖLÜM 8 HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBA TASARIMI.....	54
8.1 HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBA TASARIM KRİTERLERİ.....	54
8.2 HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBA TASARIMI.....	54
8.3 HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBANIN İMALATI.....	55
8.4 YENİ GELİŞTİRİLEN HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBA .	56
BÖLÜM 9 ÜSTTEN BESLEMELİ VE ALT YANDAN BESLEMELİ SOBALARIN ISIL VERİMLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ.....	58
9.1 DENEY DÜZENEĞİ.....	58
9.2 DENEYSEL YÖNTEM.....	58
9.3 SOBA TESTİ.....	58
9.4 DENEYLERİN SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	59
9.4.1 İslilik Derecelerinin Karşılaştırılması	60
9.4.2 CO Değişiminin Karşılaştırılması	61
9.4.3 NO _x ve SO ₂ Değişimlerinin Karşılaştırılması	63
BÖLÜM 10 SONUÇLARIN İRDELENMESİ VE İLERİYE DÖNÜK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER	65
10.1 SONUÇLARIN İNCELENMESİ.....	65
10.2 İLERİYE DÖNÜK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR.....	68
EK AÇIKLAMALAR A. MONTAJ RESMİ.....	72
EK AÇIKLAMALAR B. MSI COMPACT BACA GAZI ANALİZ CİHAZININ ÖZELLİKLERİ	74

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
EK AÇIKLAMALAR C. KULLANILAN TABLOLAR	76
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
8.1	Helezonlu alt yandan beslemeli soba	56
9.1	Üstten ve alt yandan besleme durumunda elde edilen ısılilik değışimi	61
9.2	Üstten ve alt yandan besleme durumunda elde edilen CO değışimi	62
9.3	Üstten ve alt yandan besleme durumunda elde edilen NO _x değışimi	63
9.4	Üstten ve alt yandan besleme durumunda elde edilen SO ₂ değışimi	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
3.1	Atmosferde 25 km yüksekliğe kadar bulunan gazların miktarı (Sağlık Bakanlığı)	14
5.1	Çeşitli yakacak bileşenleri için yanma reaksiyonları (ASHRAE, 1997)	28
5.2	Çeşitli yakacak bileşenleri için yanma ürünleri (ASHRAE, 1997)	29
5.3	Yakacakların teorik yanmaları için gerekli teorik hava miktarı (ASHRAE, 1997)	32
6.1	Bazı katı yakıtların tutuşma sıcaklıkları (Durmaz,1998)	45
6.2	Bazı kirleticiler için 289 °K ve 1 atm'de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile ppm arasındaki dönüşümler (Karatepe vd., 1998)	47
6.3	Kömür kaynaklı önemli kirleticiler için bazı ülkelerin kabul ettiği belirli zaman aralığındaki emisyon sınır değerleri (Karatepe vd.,1998)	48
A.1	Helezonlu alt yandan beslemeli soba	73
B.1	Ölçülen değerler ve birimleri	75
B.2	Hesaplanan değerler ve birimleri	75
C.1	Kazanlar için emisyon sınır değerleri (TS EN 303-5)	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ar	:	argon
C	:	karbon
CFC	:	kloroflorokarbon
CO	:	karbon monoksit
CO ₂	:	karbon dioksit
COHb	:	karbonsihemoglobin
GJ/h	:	bir saatte giga joule
H	:	hidrojen
h	:	saat
H ₂ O	:	su buharı
H ₂ S	:	hidrojen sülfür
He	:	helyum
HF	:	hidrojen florür
H _o	:	yakıtın üst ısı değeri
H _u	:	yakıtın alt ısı değeri
kcal	:	kilo kalori
KJ/h	:	bir saatte kilo joule
m	:	mikrometre
M	:	hava kirleticinin mol kütlesi
m ³ /h	:	bir saatte metreküp (hacimsel debi)
mg	:	miligram
MJ/h	:	bir saatte mega joule
N	:	azot
N ₂	:	azot (nitrojen)
Ne	:	neon
ng	:	nanogram
NO	:	azot monoksit

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

NO ₂	:	azot dioksit
NO _x	:	azot oksitler
O ₂	:	oksijen
O ₂ Hb	:	oksihemoglobin
P	:	atmosfer basıncı
ppm	:	parts per million
R	:	gaz sabiti
S	:	kükürt
sn	:	saniye
SO ₂	:	kükürt dioksit
SO ₃	:	kükürt trioksit
T	:	mutlak sıcaklık
t	:	ton
TJ/h	:	bir saatte tera joule
V	:	hacim
µg	:	mikrogram

KISALTMALAR

ATS	:	Alt Tutuşma Sınırı
PAH	:	Polinükleer Aromatik Hidrokarbonlar
ÜTS	:	Üst Tutuşma Sınırı
KLS	:	Klasik Linyit Sobası
VLS	:	Kovalı Linyit Sobası
TS	:	Türk Standardları
BSI	:	İngiliz Standardlar Enstitüsü
PM	:	Partikül Madde

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerjinin elde edilmesi ve kullanılması, gelişmiş toplum yaşantısı için çok önemlidir. Enerji, insan hayatında büyük bir öneme sahip olmasının yanında, çevre sağlığı için de büyük bir etkidir. Canlıların, yaşamlarını en iyi şekilde sürdürebilmeleri, ancak yaşam ortamları olan çevrenin özelliklerine ve kalitesine bağlıdır. İnsanlar, yaşam standartlarını ve ekonomilerini geliştirirken, çevreyi de korumalıdır.

Endüstriyel ve ekonomik gelişmeyle beraber artan enerji üretim ve tüketimi; hava, su ve toprak kirliliğini de beraberinde getirmiştir. Enerji üretmek amacıyla fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan yanma ürünlerinin, önemli ölçüde hava kirliliğine neden olduğu bilinmektedir.

Kömür, en yaygın olarak bulunan fosil yakıt ve enerji üretmek için de en çok kullanılan yakıttır. Konutlarda kullanılan enerji türleri içerisinde kömüre dayalı enerji tüketimi %28'dir (Başol, 1994). Bu nedenle, enerji üretimi amacıyla kömür kullanımı ile ilgili kararlar alınırken, geniş kapsamlı bir çevre analizinin yapılması gerekmektedir.

Kömür yakma sistemlerinde, baca gazlarıyla atmosfere atılan kirleticiler ve bunların atmosferdeki tepkimeleri sonucu oluşan ikincil kirleticiler, hava kirliliğine neden olur. Bu da, insan ve havyan sağlığının bozulmasına, bitki örtüsünün tahribine, toprak ve su kalitesinin bozulmasına, malzemelerin yıpranmasına, iklim değişikliklerine ve görüş mesafesinde azalmaya yol açmaktadır.

Hava kirliliğinin azaltılması için dünyada ve ülkemizde bazı standard ve kanunlar getirilmiş, bunun yanında da çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar arasında yakma tekniklerinin geliştirilmesi en ön sırada rol almıştır. Özellikle ülkemizde merkezi ısıtma sistemlerinin yaygın olmadığı dikkate alınırca sobalı ısıtma temel seçenek olarak ön plana

çıkılmaktadır. Bu nedenle konutlarda kullanılan sobaların, tasarımı ve yakma teknikleri oldukça önemlidir.

En uygun tasarım ve yakma tekniği, kömürün üstten tutuşturularak yakıldığı kovalı tip sobalardır. Ancak, hangi tip sobalar olursa olsun, kullanımını kişinin inisiyatiline kaldığından istenilen hedeflere ulaşılammaktadır (Özbaş, 2004).

Bu çalışmada, en doğru yakma tekniğine uygun bir soba tasarımı yapılmıştır. Tasarlanmış olan helezonlu alt yandan beslemeli sobanın ve üstten beslemeli bir sobanın hava kirliliğine etkileri karşılaştırılmaktadır.

1.1 ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

Dünya nüfusunun sürekli arttığı, teknolojinin hızla geliştiği ve bu gelişmelere paralel olarak enerji tüketiminde de büyük bir artış olduğu görülmektedir. Günümüzde fosil kökenli enerji kaynaklarının sınırlı olması, tüketimin sürekli artması ve bu kaynakların gittikçe azalması enerji fiyatlarının sürekli artmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu enerji kaynaklarının bilinçsiz kullanılması çevre problemlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye olan etkileri, insanları fosil yakıtların verimliliği artırma ve onların çevreye olan etkilerini azaltmak için çeşitli araştırma ve çalışmalara yönlendirmektedir.

Özellikle ülkemizde zengin kömür yatakları ve ekonomik olmaları nedeniyle konutların ısıtılmasında öncelikle kömür sobası kullanılmaktadır. Diğer taraftan, Türk kömür sobalarının ısı verimleri ilgili Türk standardında (TS 4900) öngörülen %70'in oldukça altındadır. Öngörülen bu minimum değerin üzerine çıkmak için düşük kaliteli kömürün yakılmasında kullanılacak yüksek ısı verimli kömür sobalarına ihtiyaç vardır. Bu nedenle yüksek verimli kömür sobalarının geliştirilmesi, tasarımı, imali ve bu geliştirilen sobaların kullanılmasının özendirilmesi konularında çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Yaşamın sağlıklı olarak sürdürülebilmesi için en önemli kaynaklardan biri de havadır. Hava kalitesini korumayı vazgeçilmez yapan unsur, havayı pratik olarak yeniden işleme ve tekrar kullanıma sunma gibi bir olanağın olmamasıdır. Hava kalitesi, nüfus artışı ile endüstri ve teknolojiye gelişmelerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Söz konusu bu

etkiler, enerji kullanımını da artırdığından, enerji ile hava kalitesi arasında kuvvetli bir ilişki olduğu açıktır.

Çevreyi korumak, kirlenmesini önlemek, büyük harcamalar gerektirmektedir; ancak, zamanında alınmayan tedbirlerin ileride yaratacağı sorunların giderilmesi çok pahalıya mal olacaktır.

1.2 ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı; kömürlerin yakılmasında kullanılacak üstten beslemeli bir sobaya ısı verim artırıcı düzenlemeler uygulamaktır. Sobanın üzerinde birkaç değişiklik yaparak sürekli bir yanma gerçekleştirilmektedir. Üstten beslemeli soba ile üzerinde değişiklik yapılan soba arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Sobanın verimli çalışıp çalışmadığı ve soba hangi aralıklarda verimsizliğe geçiş yaptığı tespit edilmektedir.

Çalışmanın diğer amacı, baca gazı emisyon değerlerini aşağıya çekerek hava kirliliğini azaltmaktır. Çalışma deneysel bir çalışma olup her iki sobanın baca gazı emisyon değerlerini karşılaştırmaktır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Bugün ülkemizde çok sayıda soba üreticisi vardır ve çoğunluğu basit imalat yöntemleri ile üretim yaparlar (Petek, 1989; Güngör, 1989). Ülkemizde üretilen sobaların ve bunları üreten kuruluşların sayılarını belirlemek çok güçtür. Soba üretimi ve üretici sayısı ile ilgili farklı rakamlar verilmektedir (Petek, 1989).

Ünveren (1989) Katı yakıtlı sobaların yapılarına, yakıtlarına ve çalışma prensiplerine göre sınıflandırılma özellikleri bakımından Türkiye'de iki ayrı tipte linyit sobası üretilmekte ve kullanılmaktadır. Tuğla astarlı klasik linyit sobası (KLS) ve kovalı linyit sobası (VLS). KLS'ler, alt ısı değeri yüksek olan katı yakıtların yanmasına uygundur. Bu sobaların ekonomik ömrü resmi kuruluşların belirlemelerine göre 7 yıldır.

Sobalarla ilgili Türk standardı (TS 4900) Mayıs 1986'da yayınlanmıştır (TS 4900, 1986). İçeriği DIN 18892'ye benzer olan bu standarda göre soba ısı veriminin %70'in üzerinde olması gerekmektedir (Anon., 1985). Ancak bu standardın uygulanması bugüne kadar zorunlu hale getirilmemiştir. Katı yakıt yakan sobaların tanımı, sınıflandırılması, özellikleri, muayene ve testleri ile bu sobanın piyasaya arz şekilleri TS 4900'da belirtilmiştir. TS 4900 katı yakıtlı sobaları üç sınıfa ayırır: Kok kömürü yakan sobalar, linyit kömürü yakan sobalar ve her iki kömürü de yakan sobalar. Ayrıca yanma şekline göre de sobaları üç farklı sınıfa ayırır: Alttan, üstten ve hem alttan hem de üstten yanabilen sobalar. TS 4900'de soba ısı verimi ve anma ısı gücü dolaylı (indirekt) yöntem kullanılarak belirlenir.

Ustaoglu (1985) Dumansız ve yüksek verimli bir soba geliştirmiş ve soba prizmatik olarak imal edilmiş, sobanın iç yüzü ateş tuğlası ile kaplanmıştır. Bu sobaya birincil hava önden ızgaranın altından ve üstünden verilirken, ikincil hava yönlendirme levhasının hemen altından ve ön üst tarafından verilmiştir. İmal edilen bu sobanın ısı verimi linyit kömürü

kullanılarak dolaysız yöntem ile kalorimetrik oda içerisinde belirlenmiştir. Yapılan testlerde bu sobanın ısıl veriminin %60'ın üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Özcan ve Kural (1979) Dumansız bir linyit sobasının geliştirilmesi için bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada linyitin dumansız ve verimli bir şekilde yakılabilmesi için bir linyit sobası tasarımı yapılarak, bunun bir prototipi imal edilmiştir. Bu sobanın iç yüzü ateş tuğlası ile kaplanmıştır. Soba ön ısıtmalı, hareketli ızgaralı, sıcak ikincil hava ve üçüncül hava girişli olarak imal edilmiş, tasarımda yönlendirme levhası kullanılmıştır. Kalorimetrik odada yapılan testlerde sobanın linyiti dumansız bir şekilde yaktığı gözlemlenmiştir. Aynı laboratuvar koşullarında denenen piyasadaki sobalara göre %30 bir verim artışı sağlanmıştır. Benzer bir çalışma, (Bilir, 1982) tarafından odun sobaları için yapılmıştır.

Adanır (1989) Gazi Üniversitesi, Makine Bölümü laboratuvarlarında, dolaylı yöntem ile sobaların ısıl verimlerini TS 4900'e uygun olarak belirlemek için, bir deney düzeneği kurmuş ve piyasadaki bazı klasik linyit sobalarının ısıl performanslarını belirlemiştir.

Göktuna (1989) Sürekli kömür beslemeli ve ikincil hava uygulamalı bir linyit sobasının tasarımını yapmış ve bir prototipini imal etmiştir. Ön ısıtmalı yakma yönteminin kullanıldığı bu sobada yanma odası ile ön ısıtma bölgesi arasında, içerisinden ikincil hava verilen bir ara perde ile iki bölge birbirinden ayrılmıştır. Hareketli ızgara kullanılan, kesiksiz ve sürekli bir yanmanın elde edildiği bu sobanın ısıl verimi %73.8 olarak belirlenmiştir.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Dairesi Başkanlığınca sobalar, sobalarda kullanılan katı yakıtlar, yanma konularında çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar kullanıcıyı aydınlatıcı nitelikteki bültenlerde yayınlanmıştır (Bilim ve Teknoloji Bülteni, 1983). Bu çalışmalarda Türk sobalarının genel sınıflandırılması yapılmış, sobaların ısıl verimlerinin deneysel olarak belirlenmesi ve soba yakma teknikleri konusunda bilgiler verilmiştir.

İngiliz Standardlar Enstitüsü (BSI), ısıtmada kullanılan katı yakıtlı sobaların tasarımı, testi ve sürekli şartlardaki yanma sırasında dumanın azaltılması konusundaki çalışmalarını, üreticiye ve kullanıcıya tavsiyeler başlığı ile bir kitap yayınlamıştır (BSI, 1989).

Çalışmada dumanın azaltılmasının çalışma şartlarından çok, soba tasarımına bağlı olduğu belirtilmiş ve soba performans testlerinin beş defa tekrarlandıktan sonra sonuçlandırılması önerilmiştir. İngiliz Kömür İşletmeleri (British Coal Board) katı yakıtlı soba üreticilerinin isimlerini, ürettikleri soba tipleri ve karakteristiklerini içeren tablolar hazırlamış, önerilen ısı performansın elde edilmesi için sobaların katı yakıt seçiminin önemi vurgulanmıştır (Anon., 1986).

Literatürde soba konusunda yapılmış teorik çalışmalarda sobalar için farklı modeller yapılmıştır. Bu modeller sıfır boyutlu, tek boyutlu ve çok boyutlu modeller olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir. Yaptıkları literatür çalışmasında Michel ve arkadaşları (Michel et al., 1970), bu konuda yapılmış çalışmaları inceleyerek bu sınıflamayı yapmışlardır. İki boyutlu model için sonlu elemanlar metodu ile hazırlanmış bir bilgisayar programı kullanılarak (Kılıç, 1989) iki farklı geometrideki katı yakıtlı sobalar için sürekli şartlarda süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini çözmüş ve soba içerisindeki gazların hız ve sıcaklık dağılımlarını belirlemiştir.

Sobanın, ulusal enerji politikasındaki yeri, resmi ve özel kuruluşlar tarafından vurgulanmış ve TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Bursa Şubesi, Eskişehir İl Temsilciliği tarafından 23-25 Kasım 1989 tarihleri arasında Soba Sanayi Kongresi ve Sergisi düzenlenmiştir. Eskişehir’de düzenlenen bu kongrede ulusal sanayi, Türkiye’de üretilen sobaların ısı verimleri, ekonomi ve çevre açısından sobanın önemi konularında bildiriler sunulmuştur (Soba Sanayi Kongresi Bildirileri, 1989).

Böke (1993) Kararlı rejimde sabit katı yakıt yatağında yanma hali için tek boyutlu matematiksel bir model geliştirmiştir. Bu modelin fiziksel esası, yakıt ve havanın ızgara üzerine aynı akış yönünde ve aşağıdan yukarı doğru beslendiği yakma sistemidir. Model, sıcaklık ve yanma ürünleri ile karbonun yakıt yatağı boyunca değişimini vermektedir.

Topçuoğlu (1995) Gazi sobası, şömineli kovalı soba, şömineli soba ve Tübitak sobası gibi sobaların ısı verim ve emisyon davranışları deneysel olarak incelemiştir. Bu sobaların deneysel sonuçları ile klasik kovalı ve kovasız sobaları karşılaştırmıştır.

Öner vd. (1999) Döner kamaralı bir kömür yakma sisteminde devir sayısının emisyon ve sistem performansına etkisi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Özel bir hava dağıtım ünitesi bulunan 40 W'lık bir döner yakma kamarası kullanmışlardır.

Bu çalışmada, yüksek kabarma özelliği olan Şırnak-Çizre kömürleri döner yanma kamarasının değişik devirlerinde yakılarak yanma verimi ve çevre kirliliği seviyesi araştırılmıştır. Kömürün anılan sistemde yakılması ile bütün kirlilik standartlarına uygun toz ve baca gazı emisyonu sağlanmıştır.

Masters (1991) Kömürün yakılmasından kaynaklanan kirliliğin azaltılmasıyla ilgili ilk önlemlerin XIII. yüzyıl İngiltere'sinde alındığı bilinmektedir. XIX. yüzyılda, İngiltere'de gerçekleşen Sanayi Devrimi sonrası endüstriyel gelişmeye paralel olarak kömür kullanımı hızla artmış; kömür tüketimindeki bu artış önemli ölçüde kirliliğe neden olmuştur. Bu kirliliğin en çarpıcı etkileri, 1948'de Donora (Pennsylvania-ABD) ve 1952'de Londra'da gözlenmiştir. Her iki yerleşim biriminde de atmosferdeki kükürt oksitleri ve tanecik derişimlerinin çok artması sonucu binlerce ölüm ve hastalık olayı meydana gelmiştir.

Özbaş (2004) Kömür sobasının üstten ve alttan beslemeli yakılarak emisyonlarının karşılaştırılması üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, hava kirliliğini azaltmak için üstten beslemeli bir kömür sobası, bir takım değişikliklerle alttan beslemeli duruma getirmiştir. Her iki sobada, bir deney odasında aynı şartlarda yakılmış ve baca gazı emisyon değerleri karşılaştırılmıştır.

Toplam partikül madde emisyon miktarı alttan beslemede daha düşük çıkmıştır. Karbon monoksit (CO) emisyonu alttan beslemede %20 daha düşük, azot oksit (NO_x) ve kükürt dioksit (SO₂) emisyonlarında önemli bir fark gözlenmemiştir. Hava kirliliğinin azalması yönünden, özellikle partikül madde (PM) üzerine önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM 3

ÇEVRE

Çevre canlıların yaşamları boyunca ilişkileri sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde buldukları fiziki, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel ortamdır. Özellikle insanlar için çevrenin tanımı yapılacak olursa, giyilen elbiselerden başlayarak, yatağı, odası, evi, sokağı veya caddesi, mahallesi, köyü veya kenti, coğrafi bölgesi, ülkesi kıtası ve nihayet dünyasıdır denilebilir.

3.1 EKOSİSTEM VE EKOLOJİ KAVRAMLARI

3.1.1 Ekosistem Kavramı

Canlı organizmalarda cansız çevre etmenleri birbiriyle sıkı sıkıya bağlıdır. Karşılıklı olarak madde alışverişi yapacak biçimde birbirlerine etki yapan canlı organizmalarla, cansız maddelerin bulunduğu herhangi bir doğa parçası bir ekosistemdir (Şişli, 1999).

3.1.2 Ekoloji Kavramı

Ekoloji, doğa ve insanlığın doğal dünya ile ilişkisi hakkında “çevre”ye göre daha geniş kavrayış getiren ve biyosferin dengesini ve bütünlüğünü amaç olarak gören bir bütündür.

3.2 ÇEVRE SORUNLARI

Ekolojik sistem veya ekosistemi canlılarla bir arada ve uyum içinde gelişmeleri ve varlıklarını sürdürebilmeleri için gerekli şartlar bütünü diye tanımlanırsa, bu dengenin bozulmasını da ekosistemin yada ekolojik sistemin bozulması olarak alınabilir.

Ekolojik dengeye yapılan müdahaleler mutlak olarak bu dengede değişimlere yol açmaktadır. Ancak bu müdahaleler bazen yeni bir dengeye yol açarken, bazen de denge bozulmakta ve büyük sorunlar ortaya çıkmaktadır.

İnsanlarla çevresi ve diğer canlılar ile doğal çevre arasında ilişkiler, insanlığın ilk yıllarından sanayi devrimine kadar değişime uğrasa da kısmi bir uyum içinde devam etmiştir. Ancak sanayi devrimi, insanın doğaya müdahale ederek doğal dengeyi bozma imkanlarını ve şartlarını hazırlamıştır. Bu süreçte ekolojik denge insan tarafından tahrip edilmeye, bozulmaya hatta canlılar için tehlikeli olmaya başlamıştır (Görmez, 2003).

3.3 ÇEVRE SORUNLARININ NEDENLERİ

En genel ifadesiyle, toplumun ekonomik faaliyetleri, sürekli bir malzeme akımı olarak düşünülebilir. İnsanoğlu çevreden çok sayıda bitki, hayvan ve mineral kökenli malzeme alır; bunları işleyerek daha çok sayıda ekonomik mal elde eder; bunları tüketir; tüketim esnasında bu mallar fiziki ve kimyevi değişikliğe uğrar, sonunda çöp haline gelen ve istenmeyen bu tüketim atıkları çevreye geri verilir. Katı, sıvı ve gaz halinde bulunan ve istenmeyen bu atıklar, sadece tüketim sonucu değil, aynı zamanda madde akımının ikinci safhası olan üretim aşamasında da ortaya çıkar ve gene aynı şekilde çevreye atılırlar. Nüfusun sabit, üretim ve tüketimin bir evvelki yılın aynı olduğu, teknolojik bir gelişmenin de ortaya çıkmadığı, yani hiçbir şeyin değişikliğe uğramadığı, durgun bir toplumda, maddenin sakınımı kanunu, çevreye atılan atıkların çevreden alınan bitki, hayvan ve mineral kökenli malzemeye eşit olduğunu ortaya koyar. Miktarları eşit olmasına rağmen, çevreden alınan malzeme ile çevreye geri verilen atık maddelerin tipleri ve şekilleri birbirinden çok farklıdır (Dales, 19..)

Ekosistemin dengesini bozan sebeplerden en önemlisinin sanayileşme ve sonucunda ortaya çıkan sanayi toplumu olduğu iddia edilir. “Önceleri sınırsız ve bedelsiz” kabul edilen tabiatın sürekli kar elde etme hırısı ile israf derecesinde kullanımı belki de çevre sorunlarının başında yer alıyor. Kesin bir ifadeyle birbirlerinden ayrı olarak düşünemesek de çevre sorunlarının nedenlerini; sanayileşme, hızlı nüfus artışı, kentleşme ve bacasız sanayi olarak nitelendirilen fakat tarihi ve doğal güzelliklerin betonlaşmasına yol açan, turizm şeklinde sıralayabiliriz.

3.4 ÇEVRE KİRLİLİĞİ

Dar anlamda çevre sorunları, çevre kirliliği olarak da belirtilebilir. Kirlilik denildiğinde, insanların müdahalesi sonucu oluşan çevre bozulmaları anlaşılmalıdır. Çünkü, insanlar tarafından yapılan olumsuz müdahaleler kısa bir zaman aralığında ve büyük bir yoğunlukta meydana gelmektedir. Sonuçta ekolojik çevrede ortaya çıkan değişiklikler, canlıların yaşamını olumsuz yönde etkileyecek ciddi boyutlara ulaşmaktadır. İnsanlarda canlı varlıklar olarak ekolojik çevrenin bir parçasıdır ve kendisi tarafında oluşturulan bu olumsuzluklardan eninde sonunda etkilenmektedir.

3.5 ÇEVRE KİRLİLİĞİNİN SINIFLANDIRILMASI

Çevre kirliliği; hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği, gürültü kirliliği ve görüntü kirliliği şeklinde sınıflandırılabilir.

3.5.1 Hava Kirliliği

Canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen ve/veya maddi zararlar meydana getiren havadaki yabancı maddelerin normalin üzerindeki miktar ve yoğunluğa ulaşmasıdır. Bir başka deyişle hava kirliliği; havada katı, sıvı ve gaz şeklindeki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zarar verebilecek miktar, yoğunluk ve sürede atmosferde bulunmasıdır (Çevre Bakanlığı, 2003).

3.5.2 Su Kirliliği

Su kirliliği iki gruba ayrılarak açıklanabilir.

3.5.2.1 Yeraltı Suları Kirliliği

Yağmur suyu yeryüzüne indiği andan itibaren kirlilik oranında ani bir artış olur. Hayvansal ve bitkisel atıklar, doğal ve suni gübreler vb. su ile yeraltına doğru taşınır.

Yeraltı suyu kirlenmesini en büyük sebebi, evsel ve endüstriyel atıkların arıtılmadan alıcı ortama verilmesidir. Katı, sıvı ve gaz atıklar alıcı ortama verildikten sonra; iklim

durumuna, toprağın yapısına, yeryüzü şekillerine, atığın cinsine ve zamana bağlı olarak yeraltı sularına karışır (Çevre Bakanlığı, 2003).

3.5.2.2 Yerüstü Suları Kirliliği

Yine benzer şekilde hayvansal ve bitkisel atıkların, doğal ve suni gübrelerin, evsel ve endüstriyel atıkların yağmur suyuyla toprak yüzeyinden akarak su kaynaklarına dökülmesiyle ve ayrıca rüzgar, yağmur gibi tabiat olaylarının atmosferdeki kirliliği su kaynaklarımıza taşınmasıyla meydana gelen kirlenmedir.

Hızlı nüfus artışına karşın, akarsu göl ve denizlerimizin oluşturduğu yerüstü su kaynakları sabit kalmaktadır. Dolayısıyla bu kaynakların kirletilmemesi ve çok iyi kullanılması gerekmektedir. Bilinçli su kullanımıyla, yaşam kalitesi bozulmadan alınacak basit tedbirlerle su kaynaklarının kirlenmesini ve tükenmesi önlenabilir (Çevre Bakanlığı, 2003).

3.5.3 Toprak Kirliliği

Toprak kirlenmesi toprağın insanlar tarafından özümleme kapasitesinin üstündeki miktarlarda çeşitli bileşikler ve toksik maddeler ile yüklenilmesi sonucunda anormal fonksiyonlar göstermesidir.

Toprak kirlenmesi deyince akla erozyon da gelmektedir. Toprak erozyonu arazinin tabii dengesinin çeşitli sebeplerle bozularak toprağın su ve rüzgarın etkisiyle aşınmasıdır (Çevre Bakanlığı, 2003).

3.5.4 Gürültü Kirliliği

İnsanlar üzerinde olumsuz etki yapan ve hoş gitmeyen seslere gürültü denir. Özellikle büyük kentlerde gürültü yoğunlukları oldukça yüksek seviyelerdedir. Gürültünün insan üzerinde, bazı seviyelere kadar ve daha üst seviyelerde ise fiziksel olumsuzlukları söz konusudur (Çevre Bakanlığı, 2003).

3.5.5 Görüntü Kirliliği

Bilinçsizce ve sorumsuzca inşa edilen yapılardan dolayı görüntü kirliliğinin de insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Yaşanılan bölgenin düzenli oluşu oradaki toplumun gelişmişlik düzeyinin bir ifadesidir. Böyle bir kirliliği önlemek için biraz daha duyarlı davranmak gerekir.

BÖLÜM 4

HAVA KİRLİLİĞİ

4.1 ATMOSFER VE KİRLİLİK

Yer kürenin etrafını saran gaz kütleyle atmosfer denir. Atmosfer içinde bulunan oksijen hayatın gelişmesini temin ettiği gibi, meydana getirdiği diğer uygun şartlarla da hayatın sürekliliğini sağlar. Bunun yanı sıra güneşten dünyaya gelen enerjinin tekrar uzaya süratle dönmesini önler. Atmosfer yer kürenin etrafında adeta düzenleyici ve koruyucu bir örtü şeklindedir (Sağlık Bakanlığı).

Atmosferi meydana getiren gazların karışımlarından oluşan hava, canlı organizmanın yaşam sürecindeki en önemli öğelerden biridir. Bir insanın günde yaklaşık olarak 2,5 lt su, 1,5 kg besin ve 10-20 m³ hava ihtiyacı vardır. Açlığa 60 gün, susuzluğa 6 gün dayanabilen insan, havasızlığa ancak 6 dakika dayanabilmektedir.

İnsan, hayvan, bitki ve eşyalara zarar verebilecek miktarlarda toz, tütsü (itime), gaz, sis, koku, duman veya buharlar gibi dış atmosferde bulunan bir ya da daha fazla kirletici hava kirliliğine neden olmaktadır.

Havanın doğal yapısında bulunan esas maddelerin yüzde miktarlarının veya yapısındaki yabancı maddelerin, insan sağlığını ve huzurunu bozan hayvan, bitki ve eşyaya zarar verecek seviyelere ulaştığında atmosferde kirlilik varlığından bahsedilebilir.

Atmosfer içindeki gazların hacimsel oranları yatay ve dikey hava hareketleri nedeni ile yerden 25 km yüksekliğe kadar hemen hemen sabit kalır. Daha yukarı tabakalarda ise dikey hava hareketlerinin bulunmaması nedeni ile; gazlar Dalton Kanununa göre, ağırlıklarına uygun katmanlar halinde sıralanmışlardır. Havada devamlı bulunan ve miktarları değişmeyen gazlar, hayatın sürekliliğini sağlayan unsurlardır. Havada devamlı

bulunan ve miktarları azalıp çoğalan gazlar ise iklimler üzerinde önemli etkiler meydana getirirler (Sağlık Bakanlığı).

Çizelge 3.1 Atmosferde 25 km yüksekliğe kadar bulunan gazların miktarları (Sağlık Bakanlığı).

Gazlar	Semboller	Hacimsel Yüzdeleri (%)	Molekül Ağırlıkları
Azot (Nitrojen)	N ₂	78,08	28,02
Oksijen	O ₂	20,94	32,00
Argon	Ar	0,93	39,88
Karbon dioksit	CO ₂	0,03 (Değişebilir)	44,00
Neon	Ne	0,0018	20,18
Helyum	He	0,0005	4,00
Su buharı	H ₂ O	0,004 (Değişebilir)	18,02

4.2 HAVA KİRLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

4.2.1 Sıcaklık

Enerjinin bir türü olan ısı, moleküler bir harekettir. Sıcaklık ise bağıl bir değerdir ve maddenin ısı sıklığını (konsantrasyonunu) ifade eder (Özkol, 1999).

4.2.2 Basınç

Atmosferi oluşturan gazların ağırlıklarının atmosfer içinde ve altındaki cisimlere yaptığı etkidir.

Havanın soğuması ile yoğunlaşan havanın yerçekimi etkisi ile yeryüzüne çökmesi sonucunda, bu havanın altındaki yüzeylere yaptığı basınca yüksek basınç; havanın ısınması ile genişleyen havanın altındaki cisimlere yaptığı basıncın azalmasıyla oluşan basınca da alçak basınç denir (Sağlık Bakanlığı).

4.2.3 Rüzgar

Yatay yönde yer değiştiren hava kütesinin hareketine rüzgar adı verilir. Rüzgarın; yönü, hızı (şiddeti) ve sıklığı (frekans) olarak üç özelliği vardır (Sağlık Bakanlığı).

4.2.4 Yağış

Havadaki su buharının çeşitli koşullarda yoğunlaşarak atmosferden düşmesine yağış denir. Yağışlar; yağmur, kar, dolu olarak düşen çığ, kırağı ve sis olarak da düşmeyen hidrometeorlar olarak ikiye ayrılır (Sağlık Bakanlığı).

4.2.5 Nem

Nem, havadaki su buharı miktarıdır. Mevcut havada bulunan birim miktardaki nemli havanın içerdiği gram cinsinden su buharı miktarına mutlak nem denir. Havadaki su buharı miktarının aynı sıcaklıktaki doymuş havada bulunan su buharı miktarına oranı da bağıl nem olarak adlandırılır (Doğan, 2002).

4.2.6 Güneş Radyasyonu

Güneş radyasyonunun çoğu, fotosfer denilen ve nispeten daha soğuk olan güneşin yüzeyinden gelir (Öz ve Uyarel, 1987).

Güneşten gelen ışınlar, atmosferin içine girdiği andan itibaren kırılıp, yansıyor, yutulur, yön ve şekil değiştirirler. Güneşten doğrudan doğruya gelen ve yayılan ışınların tümüne Global Solar Radyasyon adı verilir. Güneşten gelen, yeryüzü tarafından tutulan ve daha sonra yayılan radyasyona da Net Radyasyon adı verilir (Sağlık Bakanlığı).

4.3 HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI

Hava kirliliği, havada katı, sıvı ve gaz şeklindeki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zararlı olabilecek derişim ve sürede bulunmasıdır. Bu tanımda dikkati çeken önemli nokta, “zararlı olabilecek” ifadesidir. Bu ifade zarar kavramının hava kirlenmesinde yeterli açıklıkta ve kesin olarak belirlenememesinin bir sonucudur. Hava kirliliğinin etki şekli ve derecesi; yaş, dayanıklılık gibi kişisel faktörlere bağlıdır. Tanımda kullanılan diğer önemli terim ise “süre”dir. Hava kirlenmesinde kirleticilere maruz kalma süresi oldukça büyük önem taşımaktadır. Bazı kirleticilere düşük derişimler de çok uzun sürede maruz kalınma ile olumsuz etki oluşurken, diğer bazı

kirleticilerin düşük derişimleri, uzun sürede insanlarda ölümcül sonuç doğurabilmektedir (Okutan, 1993).

Orman yangınları, volkanik patlamalar, bataklıklarda anaerob bakterilerin kompleks organik maddeleri hidrolizi sırasında ortama verilen; karbon dioksit, metan, vb. gibi gazların atmosfere yayılması gibi doğal olaylar nedeni ile atmosfer hiçbir zaman tertemiz olmamıştır.

Prehistorik devirde ateşin bulunması ile başlayan atmosferik kirlilik 20. yüzyılın ortalarından itibaren patlama noktasına varan endüstrileşme, kırsal alanlardan kentlere yönelik büyük insan göçü hava kirlenmesi olayının boyutları, bazı epizotlara (hava kirliliğinin anormal ölçülerde artması ve bu seviyede bir kaç gün kalması sonucunda hastalıkların ve ölümlerin artması olayına) sebep olacak ölçüde büyütmiştir. Örneğin; 1952 yılında Londra'da yaşanan epizotta, hava sakinken sıcaklığın birden düşmesi, kirleticileri yeryüzüne yakın hava tabakasında tutmuş ve 4000 kişi hayatını kaybetmiştir.

Hava kirliliğinin boyutları özellikle teknolojik gelişme ile fosil kaynaklı yakıtların kullanılması ile hızla artmıştır (Sağlık Bakanlığı).

4.3.1 Doğal Kaynaklardan Hava Kirliliği

Volkanik patlamalar, orman yangınları, açık arazideki hayvan ve bitki ölümlerinin bozulması gibi doğal olaylardan kaynaklanan kirliliktir.

4.3.2 Yapay Kaynaklardan Hava Kirliliği

Doğadaki hammaddeleri kullanımına sunabilmek için gereken süreçler sonucunda oluşan, insan aktivitelerine bağlı olarak, insanlar tarafından meydana getirilen kirliliktir. Yapay kaynaklar; sabit kaynaklar ve hareketli kaynaklar olmak üzere ikiye ayrılır.

4.3.2.1 Sabit Kaynaklar

Katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılması ile veya herhangi bir üretim prosesi esnasında oluşan kirleticilerin bir baca yoluyla atmosfere emisyonunun yapıldığı kaynaktan içerir (Kadı, 1999).

Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği

Ülkemizde özellikle ısınma amaçlı, düşük kalorili ve kükürt oranı yüksek kömürlerin yaygın olarak kullanılması ve yanlış yakma tekniklerinin uygulanması sonucu oluşan kirliliktir (Çevre Bakanlığı, 2003).

Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliği

Sanayi tesislerinin kuruluşunda yanlış yer seçimi, çevre korunması açısından gerekli tedbirlerin alınmaması (baca filtresi, arıtma tesisi olmaması vb.), uygun teknolojilerinin kullanılmaması, enerji üreten yakma ünitelerinde vasıfsız ve yüksek kükürtlü yakıtların kullanılması, hava kirliliğine sebep olan etkenlerin başında gelmektedir (Çevre Bakanlığı, 2003).

4.3.2.2 Hareketli Kaynaklar

Nüfus artışı ve gelir düzeyinin yükselmesine paralel olarak, sayısı hızla artan motorlu taşıtlardan çıkan egzoz gazları, hava kirliliğine önemli bir faktör oluşturmaktadır (Çevre Bakanlığı, 2003).

Kara, hava ve deniz taşıtlarında mazot, benzin veya jet yakıtı gibi yakıtlar tüketilmekte ve taşıtların egzozlarından atmosfere verilen hava kirleticiler, katı, sıvı ve gaz yakıtlarının yanması ile oluşan yanma ürünlerinin benzerleridir (Kadı, 1999).

4.3.2.3 Diğer Kaynaklar

Yakıtların yanması sonucunda oluşan yanma ürünleri ve endüstriyel kaynaklar kadar önemli olabilen, ancak çoğunlukla göz ardı edilen hava kirliliği kaynaklarıdır.

Çöplerin Yanması

İnsanlar tarafından çöp yakılması veya çöplerin kendiliğinden tutuşması olarak iki şekilde meydana gelmektedir. Özellikle plansız büyüme gösteren tüm şehirlerin ortak sorunu olan çöplükler, hava kirliliğinde önemli yer tutmaktadır. Çöplerin anaerobik şartlarda yavaş olarak bozunması sonucu metan, karbon dioksit ve H₂S meydana gelmektedir. Metan gazı yanıcı olduğu için çöplerin içinde bulunan plastik, kağıt, deri, kumaş gibi yanabilen maddelerin tutuşmasına neden olmaktadır (Okutan, 1993).

Kirli Su Kütleleri

İçerisinde fazla miktarda organik kirleticiler içeren su kütleleri anaerobik bozunma sonucu atmosfere pis kokular (H₂S ve diğer gazlar) bırakmaktadır. İstanbul'da Haliç'de görülen bu olay önemli bir hava kirliliğidir (Okutan, 1993).

İnşaat Faaliyetleri

Bina yıkma, kum - çimento gibi toz madde boşaltma, yol inşaatı gibi faaliyetlerin sonucunda özellikle partiküller maddelerin havayı kirlettiği bilinmektedir (Okutan, 1993).

4.4 HAVA KİRLETİCİLER

4.4.1 Kaynaktan Çıkışlarına Göre

4.4.1.1 Primer Kirleticiler

Kaynaktan doğrudan doğruya çıkan bileşiklerdir. Kükürt dioksit (SO₂), hidrojen sülfür (H₂S), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), hidrojen florür (HF), partiküller, vb.'dir (Sağlık Bakanlığı).

4.4.1.2 Sekonder Kirleticiler

Atmosferde sonradan oluşan kirletici bileşiklerdir. Kükürt trioksit (SO₃), sülfürik asit (H₂SO₄), aldehitler, ketonlar, asitler, endüstriyel duman, vb.dir (Sağlık Bakanlığı).

4.4.2 Kaynaklarına Göre Kirleticiler

4.4.2.1 Doğal Kaynaklardan Oluşan Kirleticiler

Deniz yosunlarının ortama verdiği gazlar, yanardağ veya orman yangınlarından atmosfere yayılan zararlı bileşikler, doğadaki biyolojik değişimler sırasında açığa çıkan karbon oksitler, metan, vb.'dir (Sağlık Bakanlığı).

4.4.2.2 Yapay Kaynaklardan Oluşan Kirleticiler

Fosil kaynaklı yakıtların (odun, kömür, benzin gibi) yanması sonucunda ortaya çıkan; partiküller, kükürt dioksit, azot oksitler, karbon oksitleri, kurşun, hidrokarbonlar, vb.'dir (Sağlık Bakanlığı).

4.4.3 Kimyasal Yapılarına Göre Kirleticiler

4.4.3.1 İnorganik Gazlar

Azot oksitler, karbon oksitler, kükürt oksitler, diğer anorganiklerdir (florür, klorür, amonyak vb.).

4.4.3.2 Organik Gazlar

Hidrokarbonlar, aldehitler, ketonlar ve diğer organiklerdir (benzen, benzo- α -pyrene).

4.4.3.3 Partiküller

Katı partiküller; toz, duman, kül, karbon, kurşun, asbest, sıvı partiküller ise sis, duman, yağ ve asitlerdir.

4.5 HAVA KİRLİLİĞİNİN ETKİLERİ

Özellikle yapay kaynaklardan dış ortama verilen kirleticilerin yıllık miktarları, bir kaç yüz tondan milyonlarca tona kadar ulaşmaktadır. Bunlar oluştukları alan ve miktarlarına bağlı olarak, değişen ölçülerde etki meydana getirirler (Sağlık Bakanlığı).

Kirli hava, insanlarda solunum yolu hastalıklarının artmasına sebep olmaktadır, örneğin; kurşunun kan hücrelerinin gelişmesini ve olgunlaşmasını engellediği, kanda ve idrarda birikerek sağlığı olumsuz yönde etkilediği, karbon monoksit (CO)'in ise, kandaki hemoglobin ile birleşerek oksijen taşınmasını aksattığı bilinmektedir. Bununla birlikte kükürt dioksit (SO₂)'in, üst solunum yollarında keskin, boğucu ve tahriş edici etkileri vardır. Özellikle duman akciğerden alveollere kadar girerek olumsuz etki yapmaktadır. Ayrıca kükürt dioksit ve ozon bitkiler için zararlı olup; özellikle ozon, ürün kayıplarına sebep olmakta ve ormanlara zarar vermektedir (Çevre Bakanlığı, 2003).

Sanayi, endüstri ve ısınmada kullanılan fosil yakıtlar ile ormanların tahribi ve arazi değişmesi sonucu, atmosferdeki karbon dioksit miktarının %5 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bunun ise küresel ısınmaya yol açabileceği ön görülmektedir (Çevre Bakanlığı, 2003).

Hava kirliliği, çevrenin bir parçası olan eşyalar üzerinde de olumsuz etki gösterir, örnek olarak; havada rutubetin artması ile ortamda bulunan kükürt veya azot oksitlerin kimyasal reaksiyonu sonucunda oluşan asitlerin, binalara ve sanat eserlerine yaptıkları tahribat gösterilebilir (Sağlık Bakanlığı).

Dünya atmosferi çeşitli gazlardan oluşur. Ayrıca küçük miktarlarda bazı asal gazlar bulunmaktadır. Güneşten gelen ışınlar, atmosferi geçerek yeryüzünü ısıtır. Atmosferdeki gazlar yeryüzündeki ısının bir kısmını tutar ve yeryüzünün ısı kaybına engel olurlar (CO₂, havada en çok ısı tutma özelliği olan gazdır). Atmosferin, ışığı geçirme ve ısıyı tutma özelliği vardır. Atmosferin ısıyı tutma yeteneği sayesinde suların sıcaklığı dengede kalır. Böylece nehirlerin ve okyanusların donması engellenmiş olur. Bu şekilde oluşan, atmosferin ısıtma ve yalıtma etkisine sera etkisi denir. Dünya atmosferi cam seralara benzer bir özellik gösterir (Çevre Bakanlığı, 2003).

Son yıllarda atmosferdeki CO₂ miktarı hava kirlenmesine bağlı olarak hızla artmaktadır. Metan, ozon ve kloroflorokarbon (CFC) gibi sera gazları çeşitli insan aktiviteleri ile atmosfere katılmaktadır. Bu gazların tamamının ısı tutma özelliği vardır.

CO₂ ve ısıyı tutan diğer gazların miktarlarındaki artış, atmosferin ısısının yükselmesine sebep olmaktadır. Bu küresel ısınma olarak ifade edilir. Bu durumun, buzulların erimesi ve okyanusların yükselmesi gibi ciddi sonuçlar doğuracak iklim değişmelerine yol açmasından endişe edilmektedir.

İnsanların çeşitli faaliyetlerinin küresel ısınmaya katkısı; enerji kullanımı %49, endüstrileşme %24, ormansızlaşma %14, tarım %13 şeklindedir (Çevre Bakanlığı, 2003).

Çeşitli endüstriyel faaliyetler, konutlarda ısınma amaçlı kullanılan yakıtlar, fosil yakıtlara dayalı olarak enerji üreten termik santraller ile egzoz gazları havayı kirletmekte ve kükürt dioksit (SO₂), azot oksit (NO), hidrokarbon ve partikül madde yaymaktadırlar. Havada 2-7 gün asılı kalabilen bu kirleticiler, su partikülleri ile tepkimeye girerek asit meydana getirmekte ve yağmurlarla birleşerek yeryüzüne asit yağmurları olarak inmektedir (Çevre Bakanlığı, 2003).

4.6 TAŞINMA VE BİRİKİM

4.6.1 Taşınma

Hava kirleticileri, yoğunluklarının çok az olması nedeniyle çok hızlı hareket edebilme özelliğine sahiptirler. Buna bağlı olarak uygun meteorolojik koşullar altında, bir kaynaktan dış ortama verilen kirletici gaz ve tozlar, hava akımları vasıtasıyla dağılarak, kirleticilerin seyrelmesi sonucunda kaynak ve çevresindeki hava temizlenir. Bunun yanı sıra bu kirliliğin hava hareketleri ile kentler, ülkeler hatta kıtalar ötesi taşınması mümkündür. Bu taşınma sırasında kirleticiler, taşınma mesafesi üzerindeki alanlarda da etki gösterirler (Sağlık Bakanlığı).

Başlangıçta kirliliğin, kentsel alanlardan taşınımı düşünülürken daha sonraları bu mesafenin yüzlerce kilometreden binlerce kilometreye kadar uzandığı belirlenmiştir. Taşınma menziline göre taşınma periyodunda da değişim söz konusudur. Kaynaklarından

çıkan kirleticiler; atmosferik hava hareketleri ile, kentsel alana birkaç saat, bir kentten diğerine bir kaç gün, bir ülkeden diğer ülkeye bir kaç yıl, dünya çapında ise 10 yıl periyodunda dağılarak etkileşim gösterirler.

Uzun menzilli taşınmalarda söz konusu olan kirleticilere; radyoaktif bulutlar, orman yangını tozları, volkanik dumanlar, çöl tozları, karbon dioksit, kloroflorokarbonlar, vb. gazlar örnek olarak verilebilir. Ülkeler arasında taşınabilen kirleticilere örnek olarak; kükürt oksitler, azot oksitler ve partiküller madde gibi atmosferdeki kalış süreleri, birkaç günden bir kaç haftaya kadar değişen kirleticiler gösterilebilir (Sağlık Bakanlığı).

4.6.2 Birikim

Kirleticiler atmosferde bir süre taşındıktan sonra; çökelme, seyrelme, kimyasal reaksiyonlara girme gibi değişik proseslerle atmosferden uzaklaşarak yeryüzünde toplanırlar. Bu olay “Birikim” olarak tanımlanır.

Bu kimyasal transformasyon sonucunda kirleticiler ortaya çıkmaktadır. Bunlara örnek, SO₄, NO₃, oksidant, sülfürlü azotlu bileşiklerden oluşan organik aerosollardır (Sağlık Bakanlığı).

Birikim, yağ ve kuru birikim şeklinde sınıflandırılmaktadır. Olayın tümü bir transformasyon içinde düşünülebilir. Kirleticilerin transformasyonu fiziksel (kuru birikim) olduğu gibi kimyasal (yağ birikim) veya fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişim aşamalarının tümünün bir arada gerçekleşmesi ile (Dönüşüm ve Uzaklaşma Prosesi = Scavenging Process) mümkündür. Örneğin, kirleticiler partikül yüzeyine tutunarak kuru birikime, kar, yağmur, dolu, çığ gibi hidrometeorlarla yağ birikime uğrayarak yeryüzünde birikirler (Sağlık Bakanlığı).

BÖLÜM 5

YAKITLAR VE YANMA

Ülkemizde hava kirliliği insan yaşamını sona erdirebilecek boyutlara ulaşmıştır. Hava kirliliğinin bilhassa kış aylarında ölümcül boyutlara ulaşması bu konuda yakıt kaynaklı kirlenmenin önemini vurgulamaktadır. Ancak, hava kirliliği kaynaklarının yalnızca miktarına bakarak sonuçlara varılması doğru olmayabilir. Çünkü emisyon kaynağının gerçekleştiği şartlar insan ve yaşayan kütle ile teması, derişimi ve diğer kirleticilerle bileşik etkileri, insanın ve yaşamın etkilenme derecesini belirlemektedir. Bu açıdan mesele hava kirliliğinde en büyük kaynağın tespitinden ötede, kaynakların katkılarının önlenmesi ve yaşam için zararlı kabul edilen sınırların aşılmamasıdır (Ekinci 1993).

5.1 YAKITLAR

Zamanımızda kişi başına düşen yıllık enerji tüketimi, gelişmiş ülkelerde 50×10^6 kcal ve dünya ortalaması olarak $17,2 \times 10^6$ kcal değerine erişmiştir. Bu enerjiyi üretmek için yakıtlara, hidrolik tesislere, nükleer tesislere, güneş enerjisine, rüzgarlara, jeotermal tesislere ve gel-git hareketine başvurulmaktadır. Bunlar içinde en önemli yeri yakıtlar almaktadır (Telli, 1998).

Enerjinin bir türü olan ısı, moleküler bir harekettir. Yakıtlar, kimyasal reaksiyonlar sonucu ısı üretebilen maddelerdir. Genel anlamda yandıklarında ısı açığa çıkartan maddelere yakıt denilmektedir.

Yakıtların kimyasal analizi sonucunda yapılarının karbon (C), hidrojen (H), kükürt (S) başta olmak üzere (O), azot (N) ve diğer maddelerden oluştuğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla yakıtları, hidrokarbon yakacaklar şeklinde ifade etmek de mümkündür.

5.1.1 Yakıtların Sınıflandırılması

Yakıtları çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Ancak en yaygın olanı fiziksel özelliklerine göre katı yakıtlar, sıvı yakıtlar ve gaz yakıtlar şeklinde sınıflandırmadır.

5.1.1.1 Katı Yakıtlar

Katı yakıtlar esas olarak, kömür, kok, odun ile tarımsal ve endüstriyel yanıcı atıklardan meydana gelir. Bunlardan sadece kömür ısıtma ve soğutma uygulamalarında geniş olarak kullanılır (ASHRAE, 1997).

Kömürlerin karmaşık yapıları, sınıflama yapılmalarını oldukça güçleştirmektedir. Kimyasal olarak kömür, karbon, hidrojen, oksijen, azot, kükürt ve mineral atık olan külden meydana gelir. Kimyasal analizler kömür kalitesi hakkında bir bilgi verebilir, fakat kömürün yanma karakteristikleri hakkında yeterli bilgi veremez. Kömür kullanıcısı için esas olarak, kömürün ısıl değeri, kül miktarı ve tozu önemli olmasına rağmen kullanımı, depolama özellikleri ve yanma karakteristikleri de önemlidir (ASHRAE, 1997).

Türkiye'nin en önemli enerji kaynağı katı yakıtlardır. Katı yakıtların en önemli kısmını linyitlerin genelde yüksek nem, yüksek kükürt, yüksek kül içerdikleri ve buna ilave olarak düşük ısıl değerlikli oldukları görülmektedir. Linyitlerimizdeki yüksek kükürt içeriği ve düşük ısıl değer özellikleri birleşince yanma sonucunda kükürt dioksit yayımı açısından tehditler ortaya çıkmaktadır. Linyitlerin fiziksel özellikleri yataktan yatağa ve aynı yatak içersinde dahi keskin değişiklikler göstermektedir. Çok kırılğan olması nedeniyle madencilik, yükleme, boşaltma ve taşıma gibi işlemler süresince %60'lara varan oranlarda ince taneciklere kırılmakta ve tozlaşmaktadır. Bunun sonucunda atmosferi doğrudan kirletme ve yanma zorlukları nedeniyle hava kirliliğine neden olmaktadır (TMMO, 1999).

5.1.1.2 Sıvı Yakıtlar

Yakma sistemlerinde kullanılan çeşitli fuel-oil tipleri ve enerji sistemlerinde kullanılan çeşitli motor yakacak tipleri, pratikteki en önemli sıvı yakacaklardır. Birkaç istisna dışında sıvı yakacaklar, ham petrolün rafinerisi sırasında elde edilen çeşitli hidrokarbon karışımlarıdır. Hidrokarbonlara ilave olarak, çoğunlukla ham petrol, küçük miktarda

kükürt, oksijen, azot, vanadyum, eser halinde diğer metaller ile su ve tortu gibi pisliklerde içerir. Rafineri işlemi ile çeşitli yakacaklar diğer üretim elemanları da elde edilir. Hemen bütün hafif hidrokarbonlar, yakacak olarak rafineri işlemi ile elde edilirler. Örnek olarak, sıvılaştırılmış petrol gazı, gazolin, kerozen, jet yakacakları, dizel yakacakları ve hafif fuel-oil'lerdir. Ağır hidrokarbonlar ise kalıntı fuel-oil diğer üretim ürünleri olarak yağlama yağları, macunlar, petrol koku ve asfalt vb.'dir (ASHRAE, 1997).

5.1.1.3 Gaz Yakıtlar

Geçmişte, çeşitli gaz yakacaklarının enerji kaynağı olarak kullanılmasına rağmen, günümüzde ısıtma ve soğutma uygulamalarında gaz yakacak kullanımı, doğal gaz ve sıvılaştırılmış petrol gazı ile sınırlıdır.

Taşıma ve yakma kolaylığı, yüksek ısı değeri, katı içermemesi, kirlitici bileşenlerinin az olması ve kolay arındırılabilmesi ve çok düşük hava fazlalığı ile yakılabilmesi açısından gaz yakıtlar hava kirliliğini önlemede de en uygun yakıtlardır.

5.2 YANMA

Yanma yakacakların oksijenle hızlı bir şekilde reaksiyona girerek, yakacak içinde depolanmış bulunan enerjinin, ısı enerjisi biçiminde açığa çıktığı kimyasal bir işlemdir. Bu işlem esnasında çıkan enerji, genellikle sıcak gazlar şeklinde olmasına rağmen; çok küçük miktarlarda elektromanyetik (ışık), elektrik (serbest iyonlar ve elektronlar) ve mekanik (ses) enerjiler şeklinde de ortaya çıkar. Özel uygulamalar dışında, bütün yanma olayları için gerekli olan oksijen havadan sağlanır (ASHRAE, 1997).

Kimyasal bir proses olan yanmada amaç, kimyasal enerjinin termik enerjiye dönüşümü yoluyla ısı elde etmektedir. Dolayısıyla yanma olayı kimyasal reaksiyonlar için geçerli esaslara tabidir. Yanmada geçerli kanunlar termodinamiğin esas kanunları ve kütle korunumu prensibidir (Telli, 1998).

5.2.1 Yanma Prensipleri

Temel olarak klasik hidrokarbon yakacaklar elemanter veya bileşik biçimde hidrojen ve karbon elemanlar içerirler. Bu elemanların tam yanması sonucunda, esas olarak karbon dioksit ve su buharı çıkmasına rağmen, küçük miktarlarda karbon monoksit ile kısmi reaksiyona uğramış duman gazı bileşenleri (gaz, sıvı veya katı havada uçan küçük parçacıklar biçiminde) de görülebilir. Diğer taraftan, birçok klasik yakacak, yanma esnasında SO₂ ve SO₃ gazlarını çıkaran kükürt, yanmaya iştirak etmeyen mineral tuzlar (kül) ve inert gazlar içerebilir. Tam veya eksik yanma sonucunda ortaya çıkan duman gazının içinde bir miktarda hava bulunabilir, fakat bu gaz, seyreltik bir hava değildir (ASHRAE, 1997).

Yakacağın yanma miktarı:

- a. Yakacak içindeki yanıcı elemanların, oksijen ile kimyasal reaksiyon hızına,
- b. Yakacağına sağlanan oksijen miktarına (yakacak/hava karışımına),
- c. Yanma bölgesindeki sıcaklığa bağlıdır.

Yakacağın yanma miktarını arttırmak, oksijenin yakacakla iyi bir şekilde temas etmesi veya sıcaklığın yükseltilmesi ile mümkündür.

Tam veya stokiyometrik yanma, yakacak içindeki bütün hidrojenin ve karbonun oksijen ile reaksiyona girerek H₂O ve CO₂ açığa çıkarması işlemidir.

Tam yanma işleminde, teorik olarak hesaplanan yakacak için gerekli oksijen veya hava miktarından gerçekte fazla gönderilmesi gerekir. Teorik miktardan fazla gönderilen hava, teorik havanın yüzdesi olarak fazla hava veya gerçek hava miktarının teorik hava miktarına oranı olan hava fazlalık katsayısı ile ifade edilir.

Hidrokarbon yakacakların tam yanmasında, yakacaktaki bütün karbon, hidrojen ve kükürt gerekli olan miktar kadar oksijen ile birleşerek, CO₂, H₂O ve SO₂ açığa çıkarır. Bu nedenle, tam yanma sonucu açığa çıkan duman gazında, teorik olarak reaksiyona girmemiş yakacak ve oksijen yoktur. Yani bu yanma sonundaki duman gazında oksijen ile karbon monoksit bulunmaz.

Uygulamada yakıtın oksijenle yeteri kadar iyi karıştırılmaması ve sonlu reaksiyon oranları nedeniyle tam yanma işlemleriyle seyrek olarak karşılaşılır. Bu nedenle emniyet ve ekonomik açıdan birçok yakıcı cihaz, teorik olarak hesaplanan hava miktarından daha fazla hava ile çalışmak zorundadır.

Yakacak ve hava debileri ile yakacak özelliklerinde olabilecek değişimlerden dolayı yakacağın kayıpsız yanması ve tam yanmanın sağlanabilmesi için, cihaz fazla hava koşullarına göre dizayn edilir ve çalıştırılırlar. Herhangi bir yakıcı cihaza sağlanan fazla havanın tam miktarını tespiti, aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- a. Hava ve yakacak debileri ile yakacak özelliklerinde beklenen değişimleri,
- b. Cihazın uygunluğu,
- c. Gerekli olan veya elde edilebilen işletme denetim derecesi,
- d. Kontrol istekleri.

Yanmada en büyük verimi sağlamak için, yanmanın düşük fazla hava yüzdesinde olması istenir. Yanma işleminde yakacağın tam olarak oksitlenmemesi durumunda, eksik yanma meydana gelir. Eksik yanmayı arttıran etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a. Yetersiz hava ve yakacak karışımı,
- b. Alev yetersiz hava sağlanması,
- c. Alevin içinde yetersiz reaksiyon zamanı,
- d. Alevin soğuk yüzeyler ile temas gelmesi,
- e. Çok düşük alev sıcaklığı.

Eksik yanma işlemi verimin azalmasına, yakacak sarfiyatına ve karbon monoksit oluşumu nedeni ile de çevre kirliliğine neden olur (ASHRAE, 1997).

5.2.2 Yanma reaksiyonları

Yakacakta bulunan yanabilir bileşik ve elementlerin oksijenle yanmasındaki kimyasal denklemler için şu kanunlar geçerlidir:

a. Kütlenin korunumu kanunu; reaksiyon sonucu oluşan her bir element reaksiyon öncesindeki o elementin kütlesine eşit olmalıdır.

b. Kütle bileşim kanunu; elementler sabit bağıntıları ile birleşir.

Çizelge 5.1 Çeşitli yakacak bileşenleri için yanma reaksiyonları (ASHRAE, 1997).

Bileşen	Sembol	Yanma Reaksiyonu	Teorik (nm ³ /kg yakacak ^a)	
			O ₂	Hava
Karbon (CO yanması)	C	$C + 0,5 O_2 \rightarrow CO$	1,11	4,79
Karbon (CO ₂ yanması)	C	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	2,22	9,59
Karbon monoksit	CO	$CO + 0,5 O_2 \rightarrow CO_2$	0,48	2,06
Hidrojen	H ₂	$H_2 + 0,5 O_2 \rightarrow H_2O$	6,62	28,57
Metan	CH ₄	$CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$	3,33	14,37
Bütan	C ₄ H ₁₀	$C_4H_{10} + 6,5 O_2 \rightarrow 4 CO_2 + 5 H_2O$	2,98	12,89
Etilen	C ₂ H ₄	$C_2H_4 + 3 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 2 H_2O$	2,85	12,32
Asetilen	C ₂ H ₂	$C_2H_2 + 2,5 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + H_2O$	2,56	11,06
Kükürt (SO ₂ yanması)	S	$S + O_2 \rightarrow SO_2$	0,83	3,59
Kükürt (SO ₃ yanması)	S	$S + 1,5 O_2 \rightarrow SO_3$	1,25	5,39
Hidrojen sülfid	H ₂ S	$H_2S + 1,5 O_2 \rightarrow SO_2 + H_2O$	1,18	5,07
^a Atomik kütleler: H = 1,008; C = 12,01; O = 16,00; S = 32,06				

Çeşitli yakacak bileşenleri için yanma reaksiyonları Çizelge 5.1’de yanma ürünleri de Çizelge 5.2’de verilmiştir. Normal olarak yanma için gerekli olan oksijen, havadan sağlanır. Hava ise azot, oksijen ile küçük miktarlarda su buharı, karbon dioksit ve inert gazların fiziksel bir karışımıdır. Pratik yanma denklemleri için kuru hava hacimsel olarak, %20.95 oksijen ve %79,05 inert gazlardan (azot, argon vb.) veya kütleli olarak ise %23.15 oksijen ve %76.85 inert gazlardan oluştuğu kabul edilir. Yanma olayında azotun yanma esnasında değişmediği kabul edilir (ASHRAE, 1997).

Çizelge 5.2 Çeşitli yakacak bileşenleri için yanma ürünleri (ASHRAE, 1997).

Bileşen	Sembol	Max. CO ₂ (%)	Teorik (nm ³ /kg yakacak ^a)	
			CO ₂	H ₂ O
Karbon (CO yanması)	C	29,30	3,053	-
Karbon monoksit	CO	34,70	1,309	-
Hidrojen	H ₂	-	-	7,448
Metan	CH ₄	11,73	2,287	1,872
Bütan	C ₄ H ₁₀	14,05	2,524	1,292
Etilen	C ₂ H ₄	15,05	2,615	1,071
Asetilen	C ₂ H ₂	17,53	2,820	0,577
Bileşen	Sembol	Max. CO ₂ (%)	SO _x	H ₂ O
Kükürt (SO ₂ yanması)	S	-	1,665 SO ₂	-
Kükürt (SO ₃ yanması)	S	-	2,081 SO ₃	-
Hidrojen sülfid	H ₂ S	-	1,567 SO ₂	0,440
^a Atomik kütleler: H = 1,008; C = 12,01; O = 16,00; S = 32,06				

5.2.3 Tutuşma Sınırları

Standard sıcaklık ve basınçta bulunan hava yakacak karışımını yüzdesi, ancak belirli sınırlar içinde olduğunda, yakacak kendi kendine tutuşarak yanma reaksiyonunu gerçekleştirecektir. Bu sınırlar alt ve üst tutuşma sınırı (ATS ve ÜTS) veya patlama sınırı olarak adlandırılır (ASHRAE, 1997).

5.2.4 Tutuşma Sıcaklıkları

Tutuşma sıcaklığı, yanma ile açığa çıkan ısının ortama olan ısı kaybından daha hızlı olduğu ve yanmanın kendi kendine devam ettirdiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanır (ASHRAE, 1997).

5.2.4 Yanma Şekilleri

Yanma reaksiyonları, sürekli veya darbeleri yanma şekillerinde oluşur. Sürekli yanmada, yanma odasında yakacak ile havanın tutuşma sınırları içinde kalacak şekilde beslenmesi durumunda, yanma kendi kendisine sürer. Pratikte sürekli yanmaya, darbeleri yanmadan daha çok karşılaşılr ve birçok yakıcı cihaz bu şekilde çalışır.

Darbeli yanma ise, çeşitli tip yakacakların küçük parçacıklarının, birbirinden ayrık hava-yakacak karışımları içinde, seri halinde çok hızlı bir şekilde yakıldığı, bir akustik rezonans işlemidir (ASHRAE, 1997).

5.2.6 Yakacakların Isıl Değerleri

Yanma işlemi ve süresince ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Birim miktardaki yakacağın tam yanması sonucu açığa çıkan ısı miktarı sabit bir değerdedir ve bu pratikte yakacağın ısı değeri, yanma ısısı veya kalorifik değeri olarak adlandırılır.

Genellikle ısı değerler gaz için ve sıvı yakacaklarda kJ/l veya MJ/m³; katı yakacaklarda ise MJ/kg birimleri kullanılır. Isıl değerler daima belirli bir referans sıcaklık ve basınçta verilmelidir, bu değerler de çoğunlukla 15 °C, 6 °C, 20 °C veya 25 °C sıcaklıkları ile 101 kPa basıncıdır (ASHRAE, 1997).

5.2.7 Deniz Seviyesinde Olan Yüksekliğin Etkisi

Deniz seviyesinden yükseklere çıkıldıkça, havanın yoğunluğu azalır ve bu nedenle birim hacimdeki havada daha az oksijen bulunur. Deniz seviyesinden yukarılardaki yanma olaylarında, yükseklik için bu ayarlama yapılmamış ise, sisteme yakacak için daha az oksijen girecektir. Gerekli hava debisi, bir hava besleme fanı ile arttırılabilirken yakacak debisi giriş kısmından azaltılır (ASHRAE, 1997).

5.3 YANMA HESAPLARI

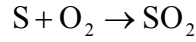
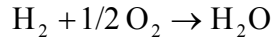
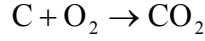
Yanma için gerekli hava miktarı ile yanma esnasında açığa çıkan duman gazı miktarlarının hesabı, yakma sistemindeki elemanların boyutlandırılması ve ısı veriminin bulunuşu için yanma hesaplarına ihtiyaç vardır. Ayrıca, yakma sisteminin performansının bulunuşu için, fazla hava yüzdesi (hava fazlalık katsayısı) ve max. CO₂ oranının hesaplanması da yararlıdır.

Çoğunlukla yanma hesaplarında, mol kütlelerin kullanılması büyük kolaylık sağlayabilmektedir. Bir bileşenin mol kütlesi, bu bileşeni oluşturan her bir elemanın atom kütlelerinin toplamından bulunur. Mol kütleleri eşit olan iki farklı cisim içindeki mol sayısı

aynıdır pratikte standard ölçmelere uygun olarak genellikle, gaz yakacakların yanma hesapları kütle baz da yapılır (ASHRAE, 1997).

5.3.1 Yanma İçin Gerekli Hava Miktarı

Teorik hava, tam yanma işlemi için sağlanması gerekli hava miktarıdır. Hidrokarbon yakacakların üç önemli elemanı;



reaksiyonları ile yanar. Bu reaksiyonlarda C, H₂, S ve O₂ sırasıyla 1 kg mol olarak, karbon, hidrojen, kükürt ve oksijeni göstermektedir. Yaklaşık atom kütleleri (C=12, H=1, S=32 ve O=16) kullanılarak: 12 kg C, 32 kg O ile okside olarak 44 kg CO₂; 2 kg H, 16 kg O ile okside olarak 18 kg H₂O ve 32 kg S, 32 kg O ile okside olarak 64 kg SO₂ oluşturur. Bu bağıntılar diğer hidrokarbon bileşenleri içerecek şekilde arttırılabilir.

Yanmayı sağlamak için kütle bazda verilen gerekli kuru hava miktarı, içindeki oksijen kütlesinin 4,32 katıdır. Yakacak içindeki elemanların, okside olması için gerekli hava ve oksijen miktarları, Çizelge 5.1'deki bu değerlere göre hesaplanarak verilmiştir. Kül içinde bulunan oksijen dışında, yakacağın içindeki oksijen miktarı gerekli olan oksijen miktarından çıkartılmalıdır. Ayrıca, atmosferik hava içinde daima su buharı bulunduğu için, yanma için yapılan gerekli hava miktarı hesabında, su buharının etkisi göz önüne alınmalıdır (ASHRAE, 1997).

Çizelge 5.3'de yakacakların teorik yanmaları için gerekli teorik hava miktarları verilmiştir. Ayrıca, herhangi bir birim kütle hidrokarbon yakacağının, teorik yanması için gerekli kütle bazda kuru hava miktarı (W_a);

$$W_a = 0,0144 (8 C + 24 H + 3 S - 3 O)$$

eşitliğinden de bulunabilir. Bu eşitlikte C, H, S ve O, sırasıyla yakacak içindeki karbon, hidrojen, kükürt ve oksijen kütleli oranları göstermektedir (ASHRAE, 1997).

Çizelge 5.3 Yakacakların teorik yanmaları için gerekli teorik hava miktarları (ASHRAE, 1997).

Yakacak Cinsi	Teorik Hava Miktarı
Katı Yakacaklar	kg (hava) / kg (yakacak)
Antrasit	9,6
Yarı bitümlü	11,2
Bitümlü	10,3
Linyit	6,2
Kok	11,2
Sıvı Yakacaklar	kg (hava) / lt (yakacak)
No 1 fuel-oil	12,34
No 2 fuel-oil	12,70
No 5 fuel-oil	13,42
No 6 fuel-oil	13,66
Gaz Yakacaklar	m³ (hava) / m³ (yakacak)
Doğal gaz	9,6
Bütan	31,1
Propan	24,0

Gerekli hava miktarını bulmak için sıkça kullanılan diğer bir yaklaşık yöntemde, 1 MJ/kg ısı değerindeki yakacak için 0,25 m³ hava alınabilir.

Tam yanma için teorik olarak bulunan minimum hava miktarı uygulama da tam yanma için yetersizdir. Uygulamada bu miktarla tam yani mükemmel bir karışım sağlanamadığından bütün yakıt moleküllerine gerekli hava verilmediği için hesapla bulunan bir miktar daha fazla yanma havası gereklidir (Dağsöz, 1998).

Fazla hava teorik havaya ilave edilen miktar olup, pratik yakma sistemlerinde tam yanmanın sağlanabilmesi için sisteme verilmesi gerekli olan bir değerdir.

$$\text{Fazla Hava} = 100 \left(\frac{\text{Gerçek Hava} - \text{Teorik Hava}}{\text{Teorik Hava}} \right)$$

Bir yanma işleminde fazla hava miktarı, sistemin bütün verimine önemli derecede etki eder. Fazla havanın miktarının artırılması duman gazını aşırı olarak seyreltir, ısı

geçişindeki sıcaklıkları düşürür ve duyulur duman gazı kaybını artırır. Buna karşılık fazla hava miktarının azaltılması, eksik yanmaya ve yanma cihazlarından yanabilir fakat yanmamış gazların çıkmasına neden olabilir. Çoğunlukla, bir yakma sisteminin en yüksek yakma verimi, tam yanmayı sağlayacak şekilde, yakacak ile havanın iyi karıştığı yeterli miktarda, fazla havanın gönderilmesi ile elde edilebilir. Fazla hava yakacak ve yakma cihazının cinsine ve diğer etkenlere bağlıdır, pratik olarak %5 ile 10 arasına değişir (ASHRAE, 1997).

Bir çok yakacakların yanması esnasında, bir birim kütle başına gerekli olan

$$\text{Gerçek Kuru Hava} = C \frac{3,04 N_2}{CO_2 + CO}$$

bağıntısından hesaplanabilir. Bu bağıntı oldukça hassas bir sonuç vermekte olup, bağıntıda CO₂, CO ve N₂ duman gazı analizindeki hacimsel yüzdeleri, C ise kül içindeki karbonun çıkarılması ile göz önüne alınarak, düzeltilmiş halde birim kütledeki yakacağın, yanan karbon kütlesi miktarını göstermektedir (ASHRAE, 1997).

Çoğunlukla fazla havanın hesabı, duman gazı analiz sonuçlarına göre yapıldığından ve teorik hava miktarı her zaman bilinmediğinden;

$$\text{Fazla hava} = \frac{100 \left[O_2 - \left(\frac{CO}{2} \right) \right]}{0,264 N_2 - \left[O_2 - \left(\frac{CO}{2} \right) \right]}$$

eşitliğinden de bulunabilir. Bu eşitlikte O₂, CO ve N₂ duman gazı içindeki hacimsel yüzdelerdir (ASHRAE, 1997).

5.3.2 Max. CO₂ Oranı

Max. CO₂ (veya teorik CO₂), hidrokarbon yakacakların, teorik hava ile veya fazla hava olmaksızın, tam yanması durumunda açığa çıkan CO₂ miktarıdır. Bu değer, yakacağın karbon/hidrojen oranı ile değişir (ASHRAE, 1997).

$$\text{Max. CO}_2 \text{ Oranı (\%)} = U = \frac{\text{CO}_2}{1 - \text{O}_2 / 20,95}$$

5.3.3 Duman Gazı Miktarı

Bir yakma sisteminin ısı kayıplarının ve verimini bulunabilmesi için, 1 kg başına yanan yakacaktan çıkan kuru duman gazı kütlesinin bilinmesi gereklidir. Bu değer;

- a. Ocakta kütle kaçan yanmamış yakacağın çıkarılarak, göz önüne alındığı yakacak miktarı,
- b. Yanma için gerekli teorik hava,
- c. Fazla hava kütleleri toplamından bulunur (ASHRAE, 1997).

5.3.4 Duman Gazındaki Su Buharı ve Çiğ Noktası

Duman gazındaki su buharı miktarı, yakacakta bulunan suyun; ocağa gönderilen bütün hava (teorik yanma için gerekli hava, fazla hava ve ilave havalar) içindeki su buharının ve yakacaktaki hidrojen ve hidrokarbonların yanması sonucu açığa çıkan suyun toplamıdır (ASHRAE, 1997).

5.4 YANMADAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliğinin en büyük kaynağını, yakma işlemleri oluşturur. Hava kirleticileri dört grupta sınıflandırılabilir.

- a. Eksik yanma ürünleri,

Katı ve sıvı fazdaki yanabilir uçucu parçacıklar (duman, kurum ve organikler ile küller),

Karbon monoksit (CO),

Gaz fazındaki hidrokarbonlar (HC).

- b. Azot oksitler (çoğunlukla gruplanır ve NO_x olarak tanımlanır),

Azot oksit (NO),

Azot dioksit (NO₂).

c. Yakacak elemanlarından olan kirleticiler,

Kükürt oksitler, esas olarak kükürt dioksit (SO_2) ve az miktarda kükürt trioksit (SO_3),
Kül,
Eser metaller.

d. İlave elemanlardan olan kirleticiler.

Yanma kontrolü için konulan elemanlar,
Diğer ilave elemanlar.

5.4.1 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 koruyabilmektedirler (Wark and Warner, 1981).

Yanma olayı genel olarak dört farklı tipte taneciğin oluşmasına neden olabilmektedir (Wark and Warner, 1981):

- a. Isı, daha sonra yoğuşabilen maddeleri buharlaştırabilir; böylece $0.1-1 \mu m$ arasındaki tanecikler meydana gelir.
- b. Yanma prosesindeki kimyasal tepkimeler, yaklaşık $0.1 \mu m$ 'nin altında, kararsız moleküler kümeler içeren kısa ömürlü tanecikler oluşturulabilir.
- c. Mekanik prosesler, $1 \mu m$ veya daha büyük boyutlarda kül veya yakıt taneciklerinin yayımına neden olabilmektedir.
- d. Fosil yakıtların kısmi yanması, kurum oluşturabilmektedir.

5.4.2 Karbon Monoksit

Karbon monoksit; renksiz, kokusuz, tatsız, yanıcı ve zehirleyici bir gazdır. Yoğunluğu havanın yoğunluğundan azdır. Bu nedenle atmosferin alt tabakalarında bulunur.

Karbon içeren yakıtların, ideal olmayan koşullarda tam olarak yakılamaması, karbon dioksit gazı yerine karbon monoksit gazının oluşmasına neden olur. Yakıtların kısmi

yanması, aşağıdaki faktörlerin yeterince yüksek olmaması sonucu meydana gelmektedir (Masters, 1991):

- a. Oksijen miktarı,
- b. Alev sıcaklığı,
- c. Yanma gazlarının yüksek sıcaklıkta kalma süresi,
- d. Yakma odası türbülansı.

Karbon monoksit oluşmasının en önemli kaynakları motorlu taşıtlar ve yakma işlemleridir. Karbon monoksitin molekül ağırlığı, havanın ortalama molekülüne eşit olduğundan, kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmaz ve kolay fark edilmez. Ayrıca, atmosferde kalma süresi yaklaşık 2-4 ay arasında değişmektedir (Okutan, 1993).

Karbonlu yakıtların yakılması sonucu atmosfere atılan karbon monoksitin, bitki ve diğer malzemeler üzerine zararlı bir etkisi söz konusu değildir. Ancak, kanın oksijen taşıma kabiliyetini azaltır ve dokulara oksijen gitmesini engelleyerek zehirlenmeye neden olur. Bu nedenden dolayı insan ve hayvanlar için çok tehlikelidir.

5.4.3 Hidrokarbonlar

Hidrokarbon, fosil yakıtlar gibi organik maddelerin yakılması sırasında oluşan çeşitli organik bileşikler için kullanılan genel bir terimdir. Hidrokarbonlar genel olarak; metan, etan, propan ile alifatik ve aromatik organik bileşiklerin türevlerini içermektedir (Painter, 1974).

Hidrokarbonların insan sağlığına etkisi, bu maddelerin ağızdaki oksijenle etkileşimi sonucu meydana gelmektedir. Ayrıca, zehirli fotokimyasal oksitleyiciler ve sis karışımı ikincil kirleticilerin oluşumunda belirleyici bir rol oynadığı için kontrol edilmelidir (Painter, 1974).

5.4.4 Azot Oksitler

Kömür yakma sistemlerinden atmosfere atılan azot oksitler; azot monoksit (NO), ve azot dioksit (NO₂) şeklindedir.

Moleküler azot (N₂), çevreyi olumsuz yönde hiç etkilemezken, azotlu bileşiklerin hemen hepsinin çevreye zararlı etkileri olduğu bilinmektedir. Azot monoksit, havadan ağır, renksiz, kokusuz ve zehirli bir gazdır.

Azot monoksitin yanma proseslerinde oluşumu üç farklı mekanizmaya göre gerçekleşmektedir (Allen, 1990).

- a. Yüksek sıcaklıklarda, yanma havasındaki oksijen atomlarıyla moleküler azotun tepkimesiyle,
- b. Yanma prosesinde yakıt içindeki azotun oksidasyonuyla,
- c. Hidrokarbon serbest radikalı ve moleküler azotun tepkimesiyledir.

Azot dioksit gazı, ultraviyole bölgedeki güneş ışınlarının iyi bir absorplayıcısı olduğu için, fotokimyasal sis gibi ikincil hava kirleticilerin oluşumunda önemli bir rol oynar (Tünay ve Alp, 1996).

5.4.5 Kükürt Oksitler

Kükürt oksitlerin temel kaynağı, yakma sistemlerinde kullanılan kömürün içerdiği kükürttür. Kömürlerin kükürt içerikleri, oluşumları sırasındaki çevre şartlarına ve kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir.

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 (Ertürk, 1993).

Atmosferdeki önemli kirleticilerden olan kükürt oksitlerinin canlılar ve eşyalar üzerinde olumsuz etkileri vardır. Özellikle kükürt dioksit, mukozayı tahriş ederek solunum sistemini etkiler ve bronşit, astım gibi kronik hastalıkların oluşmasına yol açar.

5.4.6 Karbon Dioksit

Karbonlu yakıtların tam yanma ürünü olan karbon dioksit, zehirli olmayan, renksiz, kokusuz, ve suda çözünebilen bir gazdır.

Fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan karbon dioksitin atmosferdeki derişiminin artması dünyanın ısınması ve iklim değişmesi gibi önemli sonuçları doğurmaktadır (IPPC, 1992).

5.4.7 Diğer Kirleticiler

Kömürün yakılması sonucu, çevre kirliliği yaratan temel kirleticilere ek olarak çevreye yayılan diğer kirleticiler; asit, asit sisi, eser elementler (arsenik, kadmiyum, civa, kurşun), radyoaktif atomlar ve atık ısıdır.

BÖLÜM 6

KÖMÜR VE KÖMÜRÜN YANMASI

6.1 KÖMÜRÜN OLUŞUMU

Turba, bir kömür olmamakla birlikte kömür oluşumunun ilk evresini oluşturmaktadır. Turba, belirli bir jeolojik zaman içerisinde artan basınç ve sıcaklık etkisiyle bir dizi fiziksel ve kimyasal değişiklikler ve en son aşamada antrasit ve meta antrasite dönüşür. Turbanın, linyit, alt bitümlü kömür ve bitümlü kömür aşamalarından geçerek antrasite ve meta antrasite dönüşmesi sürecine kömürleşme denilmektedir (Karayığit ve Köksoy, 1998).

6.1.1 Kömürün Sınıflandırılması

Kömürle uğraşan saha jeologları, kömürlerin çoğunlukla fiziksel özellikleriyle ve içindeki minerallerin görünümüyle ilgili örneğin; parlak kömür, lifsi kömür, killi kömür, kil taşı gibi tanımlamalar yapmaktadır. Ancak, endüstriyel kullanımda sınıflamalar, kömürlerin kimyasal özelliklerine göre yapılmaktadır. Bilimsel sınıflamalarda, kömürlerin daha çok elementsel özellikleri (karbon, oksijen ve hidrojen içerdikleri) kömür sınıflaması için kullanılmaktadır.

Birleşmiş Milletler Ekonomik Komisyonu tarafından 1956 yılında, kahverengi kömürler için uluslararası bir kömür sınıflaması geliştirilmiştir. Bu sınıflamada, nemli, külsüz buzda, ısı değeri 23.86 MJ/kg'dan büyük olanlar sert kömürler, küçük olanlar ise yumuşak kömürler olarak; ülkemizdeki kömürlerimiz ise, linyit ve taş kömürü şeklinde isimlendirilmiştir (Karayığit ve Köksoy, 1998).

6.2 KÖMÜRÜN YANMASI

Ticari yakıtlar arasında kömür, 300 yıldan fazla bir süre için yeterli olan yatağı ile, 30-40 yıl içinde tükenmesi beklenen petrol ve doğal gazla kıyasla, dünya enerji dengesinin kilit

yakıtı olma özelliğini taşımaktadır. Bu nedenle kömürlerin verimli yakılması, günümüz enerji teknolojisinin en zor ve en önemli sorunlarından birisini oluşturmaktadır.

Isı sektör yapısına uygun yakma sistemlerinde, yanma süreci ile oluşur; ilgili sektörde doğrudan kullanılacak biçime veya iş yapabilecek özelliğe kavuşturulur. Bu sistemler konut sektörü için, içten yanmalı motorlar, gaz türbinli jet sistemleri ve çevrim sektörü için termik santral buhar kazanları, gaz türbinleri veya kombine santraller olarak isimlendirilebilir (Durmaz, 1998).

6.2.1 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 kullanıcısı için ucuz, temiz ve sürekli bir yanmanın oluşturulmasıdır.

Ayrıca, yakıt özellikleri, yakma sistemi yapısı ve işletme koşulları, yakıcının ısı yük değişimi 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 kirlenici 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.

Burada temel sorun, söz konusu uygun yanma koşullarının oluşturulmasıdır. Alev bağlamında, bu sorun, istenilen ısı güç ve yük değişim özelliğine sahip, yüksek yanma verimli, düşük emisyonlu, kararlı bir alevin oluşturulmasıdır. Uygulamada, bu sorun, uygun yakma üçgeni oluşturulması olarak tanımlanır. Bu ise, söz konusu yakıtı uygun yakma sistemi tasarımı ve uygun operatör seçimidir. Konut ısıtılmasında, bu kavram, uyumlu 3K (kömür-kazan-kaloriferi) koşulunun oluşturulması olarak tanımlanır. Yanmayı etkileyen faktörler; yakıt, yakma sistemi ve işletme olarak üç grup altında toplanabilir (Durmaz, 1998).

6.2.1.1 Yakıt Faktörü

Alt ısı değer: Yakıt özellikleri, yakma havası nemi, miktarı, ısı yük koşulları, alev ısı aktarım koşulları ile ilgili değişimler durumunda, kararlı bir alevin sağlanabilmesi için, yakıt ısıtma değerinin belli sınırlar içerisinde olması gerekir. Yararlanabilen net yakıt ısı değerini tanımlayan alt ısı değere (H_U) karşın, yakıt üst ısı değeri (H_O), brüt yakıt ısı değerini tanımlar ve yakma teknolojisinde, yanma ısı olarak da nitelendirilir.

Yanıcı 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.

Sabit karbon oranı: Kömürün sabit karbon oranının artışı; ısı değerini yanma gazlarının oluşumunu ve baca gazındaki CO_2 oranını artırır. Kömür yanmasından oluşan üç atomlu gazlar (CO_2 , H_2O), 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.

Nem oranı: Yakıtın ısıtma değerini düşürür, kömürün ısı parçalanmasına, kok gazlaşmasına, CO 'in tutuşma hızının artmasına ve alev soğumasına, olumlu katkı sağlar. Bu nedenle, belli sınırlar altında kalması kaydıyla, kömürün belli oranda nem içermesi istenir (Durmaz, 1998).

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 difüzyonu ve tutuşmayı zorlaştırır, yanma hızını düşürür. Kül ergimesi sonucu ısıtma yüzeyleri ergimiş küle kaplanarak ısı transferi engellenir, korozyon oluşabilir ve kazanın ısı verimi düşer.

Dokusal, fiziksel ve ısıl özellikler: Kömürün, dokusal, fiziksel ve ısıl özellikleri; yakıt hava karışımını, O₂ difüzyonunu, yanma biçimini, ısı ve kütle transferi özellikleri ile alev kararlılığını etkiler.

Tane boyutu ve biçimi: Yanma koşullarını, alev davranışını, yanma hızını, yakma sisteminin ısıl kapasitesini, yanma kökenli emisyonları, yakma sisteminin yapısını ve yanma odası özelliklerini belirler.

Kükürt oranı: Yanan kükürt, yanma gazındaki SO₂ oranını ve SO₂'nin kısmi basıncını belirler. SO₂ emisyonlarını artırır, çığ noktasının altına düşülmesi durumunda, düşük sıcaklık (H₂SO₄) korozyonu oluşur. Bu oluşum, sistemin işlevliliğini düşürür ve sistem ömrünü kısaltır.

Azot oranı: Azot oksit emisyonlarını artırır (Durmaz, 1998).

6.2.1.2 Yakma Sistemi Faktörü

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

Yakıt-hava karışımı: Uygun brülör, ızgara akışkan yatak tasarımı; uygun yakıt hava besleme uygulamaları ile öngörülen yakma biçimi için gerekli yakıt-hava karışımı sağlanır. Kademeli yakma, özellikle, CO ve NO_x emisyonlarının yanma odasında tutulması yönünden etkin bir birincil emisyon kontrol uygulamasıdır (Durmaz, 1998).

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 alevi çevreleyen ısıtma yüzeylerinin, uygun alev soğumasını sağlayacak biçimde tasarım, konumlanması gerektirir.

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

Baca gazı arıtma: Yanmadan kaynaklanan; CO, C_nH_m ve yanıcı uçucu partiküller gibi emisyonlar, yanma koşullarının iyileştirilmesi ile azaltılabilir. Izgaralı yakma sistemlerinde emisyon kontrolü, standard kömür kullanımı ve uygun işletme koşullarının oluşturulması ile sağlanır. Akışkan yataklı yakma sistemleri, yapısal olarak, SO_x ve NO_x emisyonlarının filtrelenmesi veya bastırılması yönünden uygun olduğundan, genelde, ek arıtma tesisleri gerektirmez. Toz kömür yakma sistemlerinde NO_x oluşumu, kademeli yakma uygulaması ile azaltılmaya çalışılır (Durmaz, 1998).

6.2.1.3 İşletme Faktörü

Tebliğine uygun işletme, bakım-onarım ve yanma kontrolü uygulamaları ile yakma sisteminde, tasarımda 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 standard ve yönetmeliklerde istenilen yanma ve emisyon değerlerine ulaşılmaya çalışılır (Durmaz, 1998).

6.2.2 Kömürün Yanması

Teknik yanma, fosil yakıtların temel yanıcı elemanları (C, H, S) ile havanın yakıcı elemanı (O₂) arasında, yüksek sıcaklıkta ısı ve emisyon oluşumlu, karmaşık bir oksitlenme sürecidir. Kükürdün oksitlenmesi ile oluşan kükürt oksitleri emisyonlarının (SO₂, SO₃) yanı sıra, eksik yanma sonucu, gaz (CO, C_nH_m) ve partikül biçiminde (is, kurum, uçucu kok) emisyonlar; bir kısım yakma havası azotu ve yakıt azotunun oksitlenmesi ile azot oksitler; yakıt külünün toz biçiminde çevreye verilmesi ile de partikül emisyonları oluşur.

6.2.2.1 Heterojen Kömür-Hava Karışımının Oluşması

Izgaralı yakma sistemleri: Bu yakma sistemlerinde, büyük taneli, standard parça kömür yakılır. Izgara üzerine verilen parça kömür (10-150 mm), ızgara üzerinde hareketsiz olarak yanar. Yanma, ızgara üzerindeki kömür yatağında gerçekleşir. Kömür yatağı, hava geçirgen ve oksijen emme özelliğine sahip olmalı, yanıcı uçucuların yanması, olabildiğince, yatak içinde tamamlanmalıdır. Bu nedenle, izgaralı yakma sistemlerinde;

tutuşma için yeterli yanıcı uçuculu, uygun biçimli ve tane boyutlu, uygun özellikte kömürlerin yakılması zorunluluğu vardır. Kömürün gazlaşması ve yanıcı karışım oluşumu, çok uzun sürer. Izgaralı yakma sistemleri, küçük ısıl kapasiteli sistemlerdir. Kor tabakası, gazlaşma için ısı deposu işlevini görür. Birincil, ikincil gibi kademeli hava uygulaması ile yanma koşulları iyileştirilmeye çalışılır.

Akışkan yataklı yakma sistemleri: Bu sistemler, daha küçük boyutlu parça kömürle (0,5-10 mm) çalışır. Kömür, akışkan yatağa beslenir. Akışkan yatak, 850 °C – 950 °C sıcaklıkta, kül, kireç, kum gibi inert maddelerden oluşan ve bir hava yastığı üzerinde akışkanlaştırılan bir sistemdir.

Toz kömür yakma sistemleri: Kömürün, uygun tane boyutuna (10-200 µm) öğütülerek, yanma odasına brülörle püskürtülerek yakıldığı sistemlerdir (Durmaz, 1998).

6.2.2.2 Kömürün Heterojen Tutuşması

Kömürün heterojen tutuşması, homojen, yanıcı gaz tutuşma sürecine benzer davranış gösterir ve bu süreç, kömür yanmasının T2-koşulu olarak tanımlanır. Kömür, 400-800 °C dolayında bünyesindeki yanıcı uçucu maddeleri, hidrokarbon gazları (metan gibi) ve katran buharı biçiminde salgılar. Bu yanıcı gazlar, ilk önce, homojen tutuşma biçiminde tutuşur ve ardından, kok gazlaşması üzerinden kömürün yanmasını sağlar. Kömür; gazlaşmasının ardından, CO ve CH₄ (metan) ağırlıklı hidrokarbon gaz karışımından oluşan ve kül de içeren iki fazlı bir yanıcı gaz karışımına dönüşür.

Bu karışım, homojen, CH₄ ve CO tutuşmasına kıyasla daha farklı, bir tutuşma özelliği gösterir. Bunun nedeni, moleküler kömür-hava karışımının sağlanamaması, yanıcı karışımında yakma havası hacminin kömür hacmine oranının 1000'in üzerinde bulunması, zengin-fakir özellikli heterojen bir yanıcı karışım dokusunun meydana gelmesi ve külün O₂ difüzyonunu zorlaştırmasıdır. Çizelge 6.1'deki değerler, öğütölmüş (toz) kömür için geçerli olan tutuşma sıcaklıklarının oldukça altındadır.

Çizelge 6.1 Bazı katı yakıtların tutuşma sıcaklıkları (Durmaz,1998).

Yakıtlar	Tutuşma Sıcaklığı (°C)
Odun	220 - 300
Turba(Havada kurutulmuş)	225 280
Ham linyit	135 240
Taş kömürü - Antrasit	214-485
Odun koku	144-208
Taş kömürü koku	395 - 560
Petrol koku	411

Tutuşma ısısı ızgaralı yakma sistemlerinde genelde kor tabakasından, toz kömürlü yakma sistemlerinde alevden, akışkan yataklı yakma sistemlerinde ise akışkan yataktan sağlanır (Durmaz, 1998).

6.2.2.3 Heterojen Kömür Yanması ve Yanmanın Tamamlanması

Heterojen kömür-hava karışımının oluşmasının ve heterojen tutuşmanın ardından, sürdürülebilir heterojen kömür yanmasının sağlanması ve yanmanın uygun biçimde tamamlanması, kömürün yanma mekanizmasının üçüncü ve son aşamasını oluşturur. Uygun kömür yanması, yanmanın, öngörüldüğü gibi hızlı, verimli ve temiz bir biçimde gerçekleşmesidir. Bu ise, birim ısı üretim maliyetinin en aza indirilmesi koşulunda; öngörülen ısı kapasite, ısı verim ve emisyon özelliğine sahip kömür yakma sistemlerinin kullanımını gerektirir. Sürekli ve kararlı yanma koşullarında, istenilen ısı gücü sağlayacak alev hızına, öngörülen yanma verimi ve emisyon davranışını sağlayacak alev yapışma, işletme emniyeti güvenilirliği ve işletme maliyeti yönünden uygun biçim ve boyuta sahip alev, optimum alev olarak tanımlanır.

Sürekli ve güvenilir bir tutuşmanın ve yanmanın sağlanabilmesi için, alev sıcaklığının, tutuşma sıcaklığının üzerinde ve kül ergime sıcaklığının altında olması gerekir. Alev sıcaklığı, tutuşma sıcaklığı ile kül ergime sıcaklığı (~1700 °C) arasında, radyasyonla ısı transferi, yanma hızı, yanma verimi ve emisyonlar yönünden uygun bir konumda tutulmalıdır. Alev hızı, alev geri tepme ve alev kopma sınırları arasında, kararlı yanma koşullarını sağlayacak bir biçimde oluşturulmalıdır. Yanma süresini kısaltmak, tutuşma sıcaklığını düşürmek ve tutuşma hızını artırmak için, kömürün tane büyüklüğünü azaltmak gerekir. Tutuşma sıcaklığı, kömürün yanıcı uçucu oranına ve öğütme inceliğine bağlı

olarak azalır. Tutuşma (yanma) hızı; yanıcı uçucu oranına ve öğütme inceliğine göre artar, kül oranına göre azalır. Toz kömür alevinin geri tepmesinin (sönme) önlenmesi için, birincil havanın toplam yakma havasına oranının, belli bir sınırın altına (~%10) inmemesi; maksimum bir tutuşma hızının sağlanabilmesi için de yanıcı uçucu oranı, kül oranı gibi faktörlere bağlı bir üst sınırı aşmaması gerekir.

Kararlı bir alev oluşturulabilmesi için, özellikle, yanıcı uçucu oranı düşük kömürlerin alev sıcaklıkları, 1000 °C'nin oldukça üzerinde tutulmalıdır. Böylelikle, emniyetli bir tutuşma, uygun kok yanması ve yanma odasında yüksek radyasyonla ısı transferi sağlanır. Buna karşın, yüksek alev sıcaklıklarında, ısıl azot oksitlerin (NO_x) oluşumu artar.

Kömürün yanma davranışı ve yanmanın tamamlanma süresi, kömürü oluşturan kömür kümesinin tane büyüklüğüne ve dağılımına bağlıdır. Yanma ısıl kapasitesinin artırılması; kömürün yanma süresinin kısaltılması, kömürün tane büyüklüğünün azaltılması ve yanma hızının artırılması ile sağlanır (Durmaz, 1998).

6.2.3 Kömürün Yakılması Sırasında Çevreye Olan Olumsuz Etkileri

Kömürün, enerji üretimi amacıyla çeşitli yakma sistemlerinde yakılması, önemli ölçüde çevre kirliliği yaratmaktadır. Kömürün yakılması sonucu oluşan; karbon dioksit, karbon monoksit, kükürt oksitler, azot oksitler gibi çeşitli gazlar, kurum ve kül gibi katı tanecikler ve çeşitli hidrokarbon bileşikleri, başlıca hava kirliliği kaynaklarıdır. Yanma gazları ile atmosfere atılan bu kirleticiler, güneş ışığının etkisiyle veya atmosferde bulunan diğer bileşiklerle tepkimeye girerek; ozon, aerosol, nitrat, nitrit ve çeşitli asitler gibi ikincil kirleticileri de oluşturmaktadırlar.

Kömürün yakılması sonucu oluşan kirleticiler ve bunların miktarı; kullanılan yakma ünitesinin boyutuna, yakma yöntemine, yakıtın bileşimine, kullanılan kontrol cihazlarının etkinliğine ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişmektedir (Meriçboyu vd., 1998).

6.2.4 Kirleticiler İçin İmisyon ve Emisyon Kriterleri

İmisyon terimi, hava kalitesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İmisyon sınır değerleri, atmosferdeki kirleticiler için izin verilen en yüksek değerlerdir. Kirleticilerin

imisyon sınır değerleri, alıcı kaynağa (insan, bitki ve hayvan gibi) bağlı olarak değişmektedir (Karatepe vd., 1998).

Atmosferdeki katı, sıvı ve gaz kirleticiler için yaygın olarak kullanılan imisyon kriteri, bu kirleticilerin havadaki kütleli derişimidir ve $\mu\text{g}/\text{m}^3$ birimiyle ifade edilmektedir. Amerika'da yaygın olarak kullanılan ppm ve ppb boyutsuz birimleri, gazlar için hacim, katı maddeler için kütle kriteri olarak kullanılmaktadır. Çizelge 6.2'de bazı kirleticiler için 289 °K ve 1 atm'de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile ppm arasındaki dönüşümler görülmektedir. Genellikle, havadaki çok düşük derişimler için ppb birimi kullanılmaktadır (Karatepe vd.,1998).

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{\text{ppm} \cdot M}{V} 10^3 \quad M : \text{Kirletici moleköl ağırlığı (g/gmol)}$$

V : Belirli basınç ve sıcaklıkta 1 mol gazın hacmi (l)

Çizelge 6.2 Bazı kirleticiler için 289 °K ve 1 atm'de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile ppm arasındaki dönüşümler (Karatepe vd., 1998).

Kirletici	ppm	$\mu\text{m}/\text{m}^3$
SO ₂	1 $3,5 \cdot 10^{-4}$	2860 1
NO ₂	1 $0,53 \cdot 10^{-4}$	1880 1
CO	1 0,87	1,15 1
HC	1 $1,53 \cdot 10^{-3}$	655 1
O ₃	1 $0,51 \cdot 10^{-3}$	1960 1

Kirleticilerin emisyon kriteri olarak çeşitli büyüklükler kullanılabilir. Bu kriterlerin kullanılmasındaki temel neden, kirletici kaynaktan yayılan gerçek emisyon miktarının belirtilmesidir. Bu miktar, kaynaktan ayrılan bütün gazların zamana bağlı olarak kütle ve hacim miktarları, kaynağın verimi veya kapasitesi, kullanılan ham maddenin hacmi, sonuç veya ara ürün gibi değişkenlere bağlı olarak yüzde, hacimce ve kütlece olarak verilebilmektedir.

Kaynaktan atmosfere verilen emisyonların sınır değerlerini belirtmek için, havaya yayılan kirleticilerin izin verilen en yüksek derişim değerleri, en yüksek emisyon derişim değerleri,

kabul edilebilir emisyon derişim değerleri, kabul edilebilir emisyon katsayısı gibi çeşitli terimler kullanılmaktadır. Ancak, bütün bu terimler emisyon sınır değeri tanımını altında toplanabilmektedir. Çizelge 6.3’de kömür kaynaklı önemli kirleticiler için bazı ülkelerin kabul ettiği belirli zaman aralığındaki emisyon sınır değerleri görülmektedir (Karatepe vd., 1998).

Çizelge 6.3 Kömür kaynaklı önemli kirleticiler için bazı ülkelerin kabul ettiği belirli zaman aralığındaki emisyon sınır değerleri (Karatepe vd.,1998).

Ülke	Kirleticiler			
	Karbon monoksit ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Azot dioksit ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tanecik ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kükürt dioksit ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Avusturya	38 900 (1h) 10 300 (8h)	-	120 (24h 1. Bölge) 200 (24h 2.Bölge)	70-100 (24h 1. Bölge) 200-300 (24h 1. Bölge)
Almanya	10 000 (Yıllık) 30 000 (0,5h)	80 (Yıllık) 200 (0,5h)	150 (24h) 300 (0,5h)	140 (Yıllık) 400 (0,5h)
Fransa	114 500 (Ani) 57 300 (8h)	200 (24h)	150 (24h)	1000 (24h)
İtalya	57 200 (0,5h) 22 500 (8h)	600 (0,5h)	750 (2h)	750 (0,5h)
Japonya	23 000 (8h) 11 500 (24h)	74-100 (24h)	200 (1h) 100 (24h)	260 (1h) 100 (24h)
Norveç	- -	400 (1h) 200 (24h)	150 (24h) 60 (6 ay)	400 (1h) 200 (24h)
Rus Federasyonu	6 000 (0,5h) 1000 (24h)	- -	500 (0,5h) 150 (24h)	500 (0,5h) 50 (24h)
ABD	40 000 (1h) 10 000 (8h)	100 (Yıllık)	260 (24h) 75 (24h)	365 (24h) 80 (Yıllık)
Türkiye	30 000 (24h) 10 000 (Yıllık)	300 (24h) 100 (Yıllık)	300 (24h) 150 (Yıllık)	400 (24h) 150 (Yıllık)

BÖLÜM 7

SOBA ISIL PERFORMANS VE EMİSYON TESTLERİ

7.1 SOBA ISIL PERFORMANS VE EMİSYON DAVRANIŞLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ülkemizde ısıtma amacıyla kullanılan çok çeşitli sobalar vardır. Bu sobaların bazıları soba tasarımı ile ilgili teknik bilgi olmadan imal edilmiştir. Bu da gösteriyor ki soba tasarımı ve geliştirilmesi yakıtı göre değişmektedir. Uygun tasarım ve işletme için yakıt ve yanma özellikleri bilinmelidir. Sobaların işletimi esnasında bazı sorunlara yol açan faktörler de vardır. Bu faktörler, işletmeyi zorlaştırır, ısı verimi düşürür ve emisyon değerlerini olumsuz yönde etkiler.

Kül sorunu, nem sorunu, uçucu madde sorunu, ısı transferi sorunu, yanmanın sürekliliği sorunu olarak beş temel konuda sıralanabilen bu faktörler, kullanılan yakıttan ve sobanın yapısı ve özelliklerinden kaynaklanır.

Yakıtların yanma özelliği:

- a. Yakıt türüne (katı, sıvı, gaz),
- b. Yakıt ısı değerine,
- c. Yakıt bileşimine (sabit karbon, nem, uçucular, kül vb.),
- d. Yakıt besleme biçimine,
- e. Kül ve yakıt dokusunun yanma odasında davranışına ve diğer birçok faktöre bağlıdır (Durmaz, 1991).

7.1.1 Sobalarda Kül Sorunu

Sobada, yanmanın başlamasından bitimine kadar sürekli kül çıkar. Bu kül, kömür taneciklerinin çevresini kaplayarak oksijenle birleşmesini önler. Böylece karbon atomları

ile oksijen reaksiyona giremez ve eksik yanmaya neden olur. Bacadan, hava kirliliğine neden olan karbon monoksit çıkar.

Bunu önlemek için, külün yanmaya etkilerini azaltmak için yanma öncesinde kırma, yıkama, öğütme vb. yöntemler kullanılabilir. Yanma sırasında ise hareketli ızgara ile kül yıkama yöntemi uygulanmalıdır. Ülkemizde mevcut olan ve konutlarda kullanılan kovalı ve kovasız sobalarda uygulanmayan bu yöntem; yanma odasındaki ızgaraya verilen hareket ile külün ayrıştırılmasıdır.

7.1.2 Sobalarda Nem Sorunu

Kömürün özelliğinden dolayı içerisinde var olan nem, tutuşma sunucu oluşan ısının bir bölümünü buharlaşma ısısı olarak kullanır. Yanma odası sıcaklığının düşmesine neden olur. Nemi fazla kömür kullanıldığında yanma odasını terk eden ısı miktarı artar. Nemli kömüre uygun soba yapılmalı yada yakma işlemi öncesi işlemler yapılmalıdır.

7.1.3 Sobalarda Uçucu Madde Sorunu

Kömürlerin yaşlarıyla ters orantılı olarak yapılarında bulunan uçucu maddeler yanıcı özelliğe sahiptirler. Uçucu maddeler tutuşma sıcaklığının altında yakıtta ısı verilmesi durumunda, henüz yanmanın başlangıcında yanma odası soğuk iken kömürden ayrılarak açığa çıkarlar. Yanmanın başlangıç aşamasında belli bir süre tutuşturulamamaları verimin azalır, emisyonların artmasına neden olur. Yanıcı uçucu maddeleri yakmanın en etkili yolu yanma odası çıkışında ön ısıtılmış ikincil hava ile tutuşma sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta türbülanslı bir ortam oluşturulup yanmamış yanıcı uçucular bu ortamdan geçirilerek tam yanmanın sağlanmasıdır.

7.1.4 Sobalarda Isı Transferi Sorunu

Sobalarda yanma sonucu oluşan ısının büyük kısmı baca gazları ile birlikte dışarı atılmaktadır. Üretilen ısı bu şekilde ısıtılacak ortama transfer edilemezse büyük enerji kaybı ve sonuçta büyük yakıt kaybı oluşur. Konut ısıtmasındaki sobalarda kullanılan refrakter malzeme ısı transferini etkiler ve ısı baca gazları ile birlikte dışarı atılır. Kullanılmazsa yanma odasının aşırı soğumasına neden olur ve emisyon değerlerinin

artmasına neden olur. Isı transferini arttırmak için soba çıkışına baca çekişini düşürmemek şartıyla ek ısıtma yüzeyleri yapılabilir.

7.1.5 Yanmanın Sürekliliği Sorunu

Yatırım giderleri genelde yıllık amortisman giderlerinden oluşmaktadır. Yıllık amortisman giderlerinin azaltılması sobanın olabildiğince tam yükte sürekli çalıştırılabilmesine yani sürekli beslemeye bağlıdır. Fakat ülkemizde kullanılan sobalar yığma tip (kesintili beslemeli) olarak isimlendirilen sobalardır. Bu tür sobalara yakıt doldurulduktan sonra tutuşturma işlemi yapılarak yanmanın başlaması sağlanır. Konutlarda sobanın yanma durumunda yanmanın belli evrelerinde (kararlı rejim durumunda veya sönmeye yakınken) sobaya kömür ilave edilir. Bu durumda kararlı rejim şartları bozulur. Ayrıca zamanla kömür seviyesindeki azalma ve yanma bölgesinin yerinin değişmesi kararlı rejim şartlarını bozar.

7.2 SOBA TESTLERİNİN AMAÇLARI VE TEMEL BİLGİLER

Ülkemizde yakma sistemi olarak kullanılan sobaların ekonomik ve çevresel etkileri vardır. Bu etkiler dikkate alınarak sobalar üzerinde testler yapılır. Bu testlerde; sobanın ısı verim ve kapasitesi ekonomikliliğini, hava kirliliği emisyonları ise çevreciliğini gösterir.

Deneylein amacı; yakıt, yakıt hazırlama, yükleme, soba tasarımı ve soba işletme şartlarının, soba ısı performans ve emisyonlarına etkisini ortaya çıkarmaktır. Bu sonuçlarla soba ilk yatırım masraflarını düşürerek, verimi yükseltmek ve çevre kirliliğini azaltmak en temel amaçtır.

Soba sistemlerinden kaynaklanan emisyonlar, yakıttan ve yanmadan kaynaklanan emisyonlar olmak üzere iki gruptur. Ayrıca emisyonlar gaz biçiminde ve partikül biçiminde oluşurlar.

a. Yakıttan kaynaklanan emisyonlar; yakıtın içerdiği kükürttten dolayı oluşan gaz biçimindeki SO₂ emisyonu ve yakıtın külünden oluşan partikül biçimindeki toz emisyonudur.

- b.** Uygun olmayan eksik yanmadan kaynaklanan emisyonlar; CO ve C_mH_n biçimindeki gaz emisyonları ile is, kurum ve uçucu kok biçimindeki partikül emisyonlarıdır.
- c.** Hem yakıttan hemde yanmadan kaynaklanan emisyonlar; NO_x emisyonu vardır ki genelde çok yüksek sıcaklıklarda oluşur. Sobalı yakma sistemlerinde NO_x 'in büyük miktarlarda oluşumunu sağlayacak sıcaklıklar oluşmadığı için incelemeler sırasında çok fazla üzerinde durulmamaktadır (Topçuoğlu, 1995).

Deneyle, işletme parametreleri, ısı performans parametreleri ve emisyon parametreleri olarak değerlendirilmekte ve bu parametreler aşağıda sunulmaktadır.

7.2.1 Soba İşletme Parametreleri

Soba işletme parametreleri:

- a.** Hava fazlalık katsayısı (n),
- b.** Yanma gazlarının O_2 konsantrasyonu (O_2),
- c.** Yanma gazlarının CO_2 konsantrasyonu (CO_2),
- d.** Baca gazı sıcaklığı (T_{bg}).

Soba işletme parametreleri baca gazı analizlerinden elde edilir. Hava fazlalık katsayısı baca gazı O_2 ve CO_2 analizi ile belirlenir.

7.2.2 Isıl Performans Parametreleri

Isıl performans parametreleri:

- a.** Küldeki yanmamış karbon kaybı (V_{ra}),
- b.** Baca gazı duyular ısı kaybı (V_{bg}),
- c.** Baca gazındaki yanmamış CO kaybı (V_{CO}),
- d.** Baca gazındaki yanmamış C_mH_n kaybı (V_{ch}),
- e.** Baca gazındaki yanmamış partikül kaybı (V_{up}),
- f.** Soba yanma verimi (η_y),
- g.** Soba ısı verimi (η_s),

h. Soba ısıl kapasitesi (Q_s).

7.2.3 Emisyon Parametreleri

Emisyon Parametreleri:

- a.** CO emisyonu : mg-CO/Nm³-BG
- b.** C_mH_n emisyonu (CH₄) eşdeğerinde : mg-CH₄/Nm³-BG
- c.** SO₂ emisyonu : mg-SO₂/Nm³-BG
- d.** NO_x emisyonu : mg-NO_x/Nm³-BG
- e.** Toz (partikül) emisyonu : mg-Toz/Nm³-BG

Emisyonlar normal şartlarda 1 metreküp baca gazının içerdiği miligram kirleticilerdir. Emisyonlar, %10 O₂ referans konsantrasyonunda hesaplanırlar.

7.3 SOBA ISIL PERFORMANS STANDARLARI

Soba testlerinin yapılmasında aşağıdaki standartlar kullanılmıştır.

TS 4900 EN 13240 (Revizyon) Türk Standardları, Sobalar -Katı Yakıt Yakan- Özellikler ve Deney Matotları, Ankara

TS EN 303-5 (Nisan 2001) Türk Standardları, Kazanlar – Bölüm 5: Katı Yakıtlı Kazanlar – Elle ve Otomatik Yüklemeli, Anma Isı Gücü 300 kW'a Kadar – Terim ve Tarifler, Özellikler, Deneyler ve İşaretleme, Ankara

BÖLÜM 8

HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBA TASARIMI

8.1 HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBA TASARIM KRİTERLERİ

Isıyı ışıma ve/veya taşınım ile dağıtan ve bir kazanla donatıldığında sıcak su sağlayan, normalde ocak kapağı (kapakları) kapalı olarak tutulan tam muhafazalı bir ocak ihtiva eden cihazdır (TS 4900 EN 13240).

Yeni tasarlanan helezonlu alt yandan beslemeli sobanın tasarımında dikkat edilecek kriterler şunlardır:

- a. Yeni geliştirilen sobada bazı parçalar değiştirilebilmeli veya parçalar eklenebilir olmalıdır. Bu yakıtla ilgili olarak optimal yanma şartlarını sağlayabilecek şekilde olmalıdır.
- b. Sobanın kararlı rejimde çalışması için sürekli kömür beslenmesi sağlanmalıdır. Kömür beslenmesi yaparken, yanma verimi ve emisyon değerleri minimum derecede etkilenmelidir.
- c. Birbirine olan olumsuz etkileri en aza indirmek için sobanın yanma bölgesi ile ısı transfer bölgesi olabildiğince birbirinden ayrı olmalıdır.
- d. Yanma bölgesi ile ısı transfer bölgesi tuğla (refrakter) malzeme ile kaplanmamıştır.
- e. Yanma başlangıcından sonuna kadar külün yanmayı etkilemeden uzaklaştırılması sağlanmalıdır.
- f. Uçucu yanıcı maddeler sıcak ve oksijenli bir bölgeden (yanma boğazı) olabildiğince türbülanslı bir biçimde geçirilerek bunların yanması sağlanmalıdır.

8.2 HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBA TASARIMI

Tüm yakma sistemlerinin tasarımında olduğu gibi, soba tasarımı ve geliştirilmesi de yakıt analizi ve yanma özellikleri esas alınarak yapılır. Yerli linyitlerin verimli ve temiz bir şekilde yakılabilmesi hedeflenen yeni soba tasarımında, Bölüm 7’de yanma özellikleri

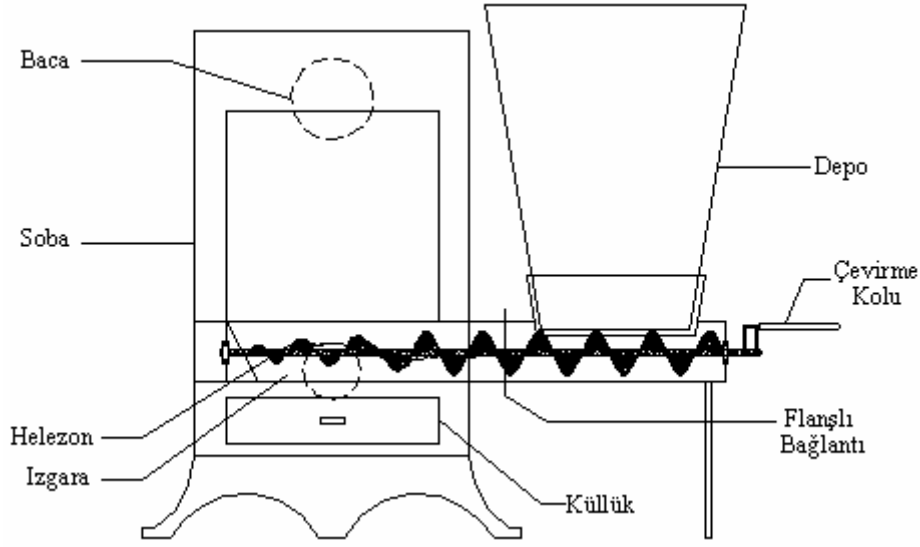
ayrıntıları ile ortaya konan ve bu özelliklere göre yukarıda belirlenen kriterlerin uygulamaya geçirilmesi esas alınmıştır.

Klasik sobalar ile yapılan deneylerde soba yapılarının yanma üzerine olan olumlu ve olumsuz etkileri gözlenerek yeni sobanın tasarımı sırasında bu gözlemlerden yararlanılmıştır. Sobanın kullanımı sırasında işletme kolaylığının sağlanabilmesi tasarımda göz önünde tutulan diğer bir faktör olmuştur. Yakıt yükleme, tutuşturma, kül yıkama ve kül temizleme işlemlerinin kolay ve pratik bir şekilde yapılabilmesi için gerekli tedbirler alınmıştır.

8.3 HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBASININ İMALATI

Yeni linyit sobasının imalatında, tasarım sırasında belirlenen özelliklerden kullanılacak malzemeye kadar tüm etkenlerin, tasarımın gerektirdiği koşulları sağlamasına dikkat edilmiştir. Üstten beslemeli bir sobanın ızgarası çıkarılarak atölyemizde yeniden bir tasarım yapılmıştır. Helezon, yanma yeri ve ızgarası 2 mm saçtan imal edilmiştir. Helezon, yanma odası ve ızgara elemanları ile bunların montaj resimleri Ek A'da görülmektedir. Burada, helezon ile kömür yüklemesi yapılırken, helezonun ileri-geri hareketi, kömür besleme ve kül yıkama işlemlerinin beraber yapılmasını sağlamaktadır. Bu işlemde yanma odası ve ızgaranın geometrik yapısı önemlidir.

Sobanın ikincil hava verme elemanı ile yanma boğazı bölgesi sobanın kendisinde bulunmaktadır. Hava, sobanın alt kısmında ve üst kısmından iki ayrı noktadan alınmaktadır. İmal edilen soba parçalarının montajı fakültemiz atölyesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.1 Helezonlu alt yandan beslemeli soba.

8.4 YENİ GELİŞTİRİLEN HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBA

Tasarım kriterleri yukarıda verilen sobanın sistem yapısı Şekil 8.1'de gösterilmiştir. Sobada yakma süresince yeterli miktarda kömür depoya doldurulur. Sobaya kömür helezonlu yanma yerine götürülmektedir. Kül ayrıştırma işlemi helezonun ileri hareketi ile yapılmaktadır. Birincil hava sobanın ızgarasının altından verilmektedir. Kömür yanması ızgara üzerinde gerçekleşirken uçucu yanıcılar yüksek sıcaklıktaki alev-oksijen perdesinin yer aldığı boğaz bölgesinde yakılmaktadır. İkincil hava sobanın üzerinden alınıp, yanma gazları tarafından ısıtılan kanaldan geçirilerek boğaz bölgesine verilmektedir. Isı transfer bölgesi boğaz kısmından sonra başlamaktadır. İkinci geçişin üst kısmı ve kuyruk borusu ısı transfer yüzeylerini oluşturmaktadır. Soba ilk tutuşturulurken, ızgaradaki az miktar kömür, üzerine konan odunlar yardımı ile yakılmakta, bu kömürler iyice yanınca helezon yardımıyla istenildiği kadar kömür konulmaktadır. Yanma boyunca sobaya ilave edilen yakıt direkt olarak yanma bölgesi ile temas etmediğinden soba içerisinde sürekli yanma şartları bozulmamaktadır. Yanma başlangıcında baca çekiş kayıplarını önlemek için alt ve üst kapaklar açık tutulmaktadır. Yanma sürekliliği sağlanmaktadır. Deneylerde ithal kömür kullanılmıştır.

Kömür tane büyüklüğü 30 mm ile 50 mm aralığındadır. Yeni geliştirilen sobanın ısı performans ve emisyon testleri Bölüm 7’de verilen test programına ve ilgili soba standartlarına göre yapılmıştır.

BÖLÜM 9

ÜSTTEN BESLEMELİ VE ALT YANDAN BESLEMELİ SOBALARIN ISIL VERİMLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

9.1 DENEY DÜZENEĞİ

Deney düzeneği; soba, ölçüm borusu ve bağlantı borusu ile ölçüm cihazlarından oluşur. Ölçüm cihazları; elektronik terazi, MSI compact baca gazı ölçüm cihazı, ısılık ölçüm aparatından ibarettir.

Deney düzeneğinde test edilecek soba ile baca arasındaki bağlantı boruları, sobanın baca gazı emisyon ölçümlerinin alınabilmesi için standartlara uygun şekilde yerleştirilmiştir.

Ölçüm cihazlarının özellikleri EK-B' de verilmiştir.

9.2 DENEYSEL YÖNTEM

Deney, bir kömür sobasının üstten beslenerek yakılması ile aynı sobanın üzerinde değişiklikler yaparak alt yandan beslenerek yakılması sonucunda elde edilen emisyon değerlerini karşılaştırarak, yeni geliştirilen sobanın çevreciliğini (min. hava kirliliği) göstermektir. Her iki sobanın emisyon değerleri, aynı şartlarda karşılaştırarak yöntemi yapılmıştır.

9.3 SOBA TESTİ

Testler için gerekli ön hazırlıklar ve test esnasında dikkat edilecek noktalar aşağı da verilmiştir:

a. İki sobada da %5.52 nem, %6.70 kül, %0.27 kükürt ve 7600 kcal/kg ısı değere sahip linyit kömürü kullanılmıştır.

- b.** Deneylerin yapıldığı odada her iki soba içinde aynı şartlar sağlanmıştır.
- c.** Kömür, helezon içinde sıkışmaması için tane büyüklüğü 30 mm ile 50 mm aralığındadır. Aynı kömür üstten besleme yapılan soba içinde kullanılmıştır.
- d.** Yapılan tüm deneylerde, sobalar 4500 gr linyit kömürü, 150 gr kağıt ve 350 gr tahta parçaları ile tutuşturulmuştur.
- e.** Her iki sabada iki kere deney yapılmıştır.
- f.** İki sobada da her 2,5 saatte bir defa kömür beslemesi yapılmış ve her beslemede ortalama 1000 gr kömür yüklenmiştir.
- g.** Dört deney boyunca ilk ölçümle son ölçüm arasında 8 saatlik zaman geçmiş ve dış ortam sıcaklığı 7-15 °C arasında olmuştur.
- h.** Deneyler, %10 O₂ alınarak yapılmıştır.
- ı.** Deneylerde ölçümler ortalama 10 dk aralıklarla yapılmıştır.
- j.** Test edilecek sobanın gerekli boru bağlantıları yapılmıştır.
- k.** Elektronik terazinin hassasiyeti kontrol edilmiştir.
- l.** MSI compact baca gazı emisyon cihazının bağlantısı uygun şekilde yapılmıştır. Cihaz üzerinde ayarlamalar ve kalibrasyon yapılmıştır.

Yapılan bu ön hazırlıklardan sonra kömür tam olarak tutuşturulup deney sonuçları alınmaya başlanmıştır. Ölçümler 10 dakika ara ile alınmaya başlanmıştır. Alınan ölçüm değerlerinin beklenen sınırlar içinde olup olmadığı kontrol edilir. Eğer herhangi bir ölçüm değeri tahmin sınırının üzerinde ise deney düzeneği ve kullanılan cihazlar dikkatlice kontrol edilir, varsa hata bulunur ve düzeltilir.

9.4 DENEYLERİN SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Üstten beslemeli ve yandan beslemeli sobada yapılan deneylerin aynı koşullarda yapılması için farklı günlerde fakat aynı saatler arasında iki kez yapılmıştır. Deney sonuçlarının ortalamaları alınmıştır.

Ülkemizde ısıtmada kullanılan sobalar yığma tip veya kesintili yüklemelidir. Üstten beslemeli sobalar da ilk tutuşturma üstten yapılır. Yüklenen kömür yandıktan sonra soba yeniden yüklenmelidir. Fakat yanmanın sürekliliği için her yüklemede, yüklenen kömür altta kalmaktadır. Bu da kömürün alttan yanmasına dolayısıyla eksik yanmasına neden

olmaktadır. Bu durumda üstten beslemeli sobanın ısı performansında düşme ve emisyon değerlerinde bir artış olmaktadır. Yeni geliştirilen sobada bu negatif durumlar azaltılmıştır.

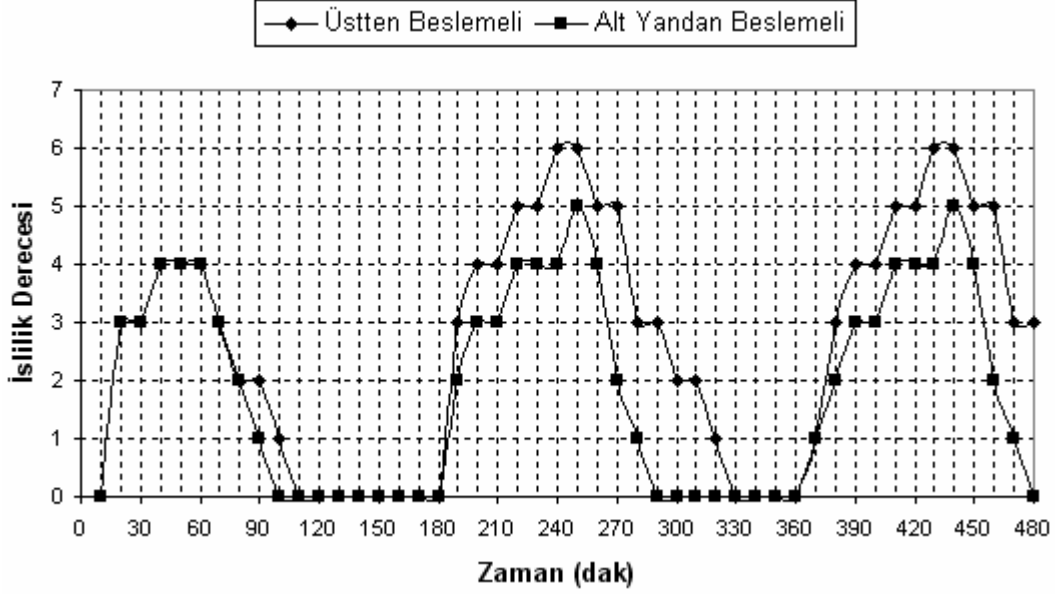
Üstten beslemeli sobada kömür yüklemesi esnasında kül yıkama işlemleri olmaz veya zorlukla yapılabilmektedir. Yeni geliştirilen sobada kömür yükleme esnasında helezon hareketi kül yıkama işlemini yapabilmektedir.

Her iki tip sobanın baca gazı emisyon değerleri; Şekil 9.1, Şekil 9.2, Şekil 9.3 ve Şekil 9.4 de karşılaştırılarak gösterilmiştir. Bu; çalışmada, üstten ve alt yandan besleme işlemleri sırasında ölçülen; ısılık dereceleri ve %10 O₂'ye göre ölçülen, CO, NO_x ve SO₂ değişimleri kendi aralarında karşılaştırılmaktadır.

Çıkan sonuçların bulunmasında TS EN 303-5 Türk Standardı da dikkate alınmıştır. Bu Tablo EK- C'de TS EN 303-5 Türk Standart'ına göre kazanlar için emisyon sınır değerleri verilmiştir.

9.4.1 İsilik Derecelerinin Karşılaştırılması

Yapılmış olan deneylerde, her iki sobanın baca gazı ısılık derecesi ısılık ölçüm aparatı ile ölçülmüştür. Dolayısıyla; baca gazlarının partikül madde (PM) miktarı sayısal olarak bir sonuç bulunmasa da, emisyonların seviyesi hakkında bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırma Ringelmen skalası ile belirlenmektedir. Her iki sobada elde edilen deney sonuçları Şekil 9.1'de sunulmuştur.



Şekil 9.1 Üstten ve alt yandan besleme durumunda elde edilen isilik derecelerinin değişimi.

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü gibi, her iki sobada ilk yanma esnasında aynı değerleri vermişlerdir. Fakat, her iki sobaya kömür yüklemesi yapıldığında isilik değerlerinin değiştiği görülmektedir. PM emisyon seviyesi, üstten beslemeli sobadan daha düşük olduğu için alt yandan beslemeli daha verimlidir.

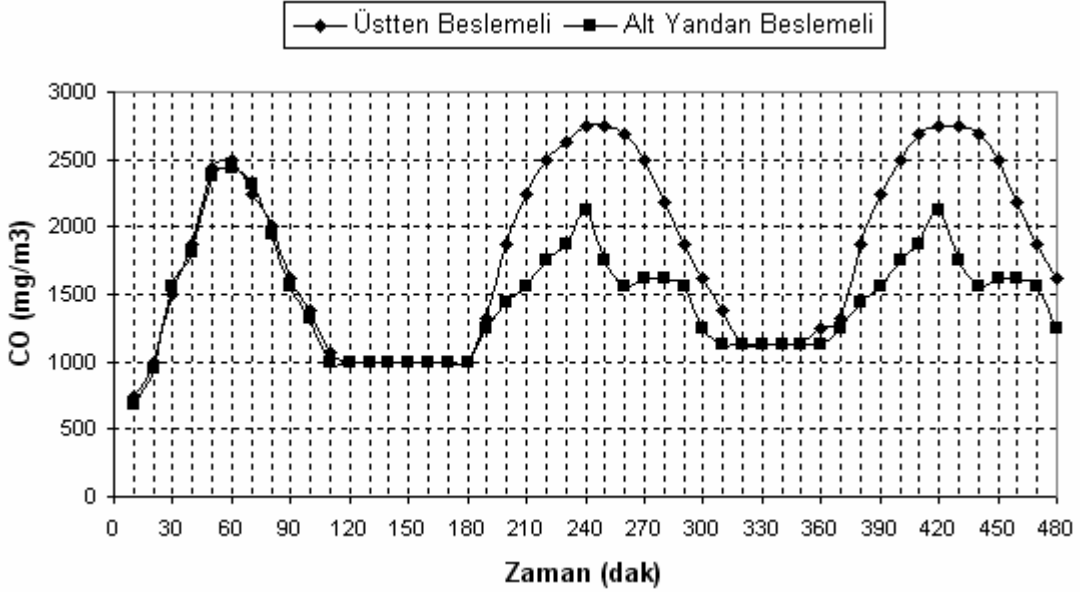
Üstten beslemeli soba besleme esnasında kül yıkama tam olarak yapılamaması ve beslenen kömürün alttan yanmaya başlaması gibi problemlerin ortaya çıktığını göstermektedir. Bu gibi problemleri azaltmak için alt yandan beslemeli soba kullanılmalıdır.

9.4.2 CO Değişiminin Karşılaştırılması

Yanma esnasında; oksijen miktarı, alev sıcaklığı, yanma gazlarının yüksek sıcaklıkta kalma süresi ve yakma odası türbülansı gibi nedenlerden CO miktarı değişmektedir.

Deneyler, MSI compact baca gazı analiz cihazı ile her iki sobada test kurallarına göre ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar; kendi aralarında ve TS EN 303-5 Türk Standardına göre de karşılaştırılmıştır.

Her iki soba da elde edilen değerler Şekil 9.2’de sunulmuştur.



Şekil 9.2 Üstten ve alt yandan besleme durumunda elde edilen CO değişimi.

Üstten beslemeli soba ile yeni geliştirilen sobada, ilk yanmadan ilk besleme anına kadar CO emisyon değerlerinde bir değişme görülmemiştir. Fakat, ilk beslemede üstten yanmalı sobanın CO emisyonları yeni geliştirilenden daha fazla artmaya başlamaktadır. Bu durum; sobada, kül yıkanmamasından veya kömür taneciklerinin yeterli hava ile birleşmemesinden meydana gelir.

Kül yıkamasında yeni geliştirilen soba üstten beslemeliye göre daha iyidir. Bunun yanında, yanan kömürün üzerine üstten kömür atılmadığı için emisyon değerleri azaltmaktadır.

Üstten beslemede en yüksek 2750 mg/m^3 seviyelerine kadar çıkan CO emisyonu, alt yandan beslemede en yüksek 2500 mg/m^3 seviyelerini göstermiştir. Üstten beslemeli sobada CO emisyon değerleri 1800 mg/m^3 , alt yandan beslemeli soba da ise 1470 mg/m^3 olarak bulunmuştur. Sonuçta, alt yandan beslemeli soba üstten beslemeli sobanın CO emisyon değerini %19 azaltmıştır.

Alt yandan beslemeli kömür sobası, bir kazan olarak da düşünülebileceğinden TS EN 303-5 Türk Standardı olan EK-C'deki "Kazanlar İçin Emisyon Sınır Değerleri" açısından da karşılaştırılabilir.

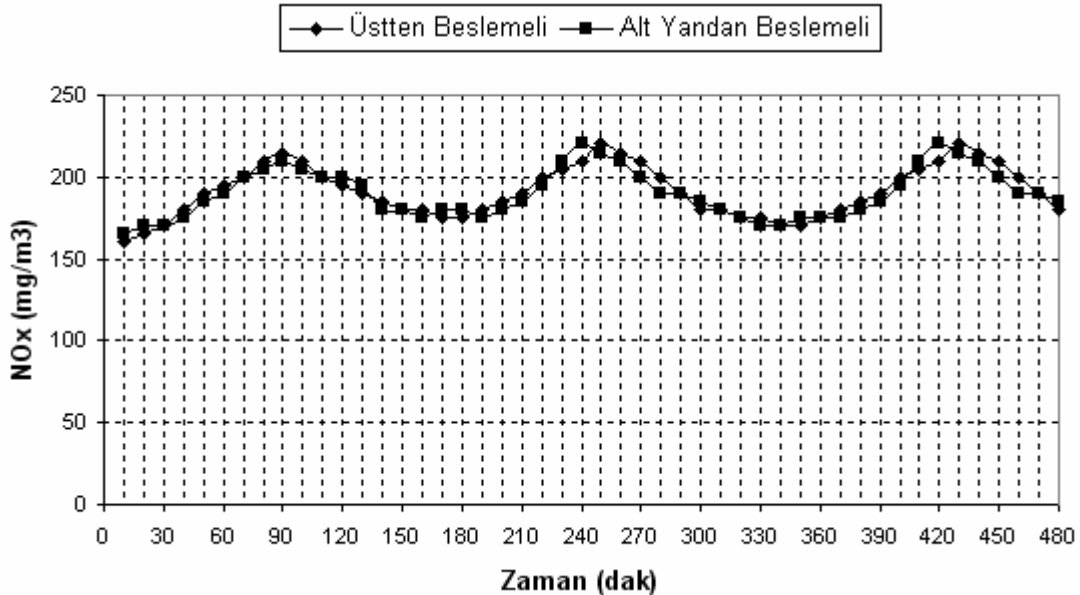
Alt yandan beslemeli soba, yüklemenin elle yapıldığı, fosil yakıtın kullanıldığı ve anma ısı gücünün 50 kW'tan düşük bir kazan olarak ele alınabilir. Bu durumda da sobanın alt yandan beslenmesi ile ölçülen CO emisyonlarının Sınıf 3'deki (5000 mg/m³) sınır değerlerinin oldukça altındadır.

9.4.3 NO_x ve SO₂ Değişimlerinin Karşılaştırılması

Kömür yakma sistemlerinden atmosfere atılan azot oksitler; azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂) şeklindedir. Yanma esnasında; yüksek sıcaklıklarda yanma havasındaki oksijen atomlarından ve kömür içindeki azottan meydana gelir.

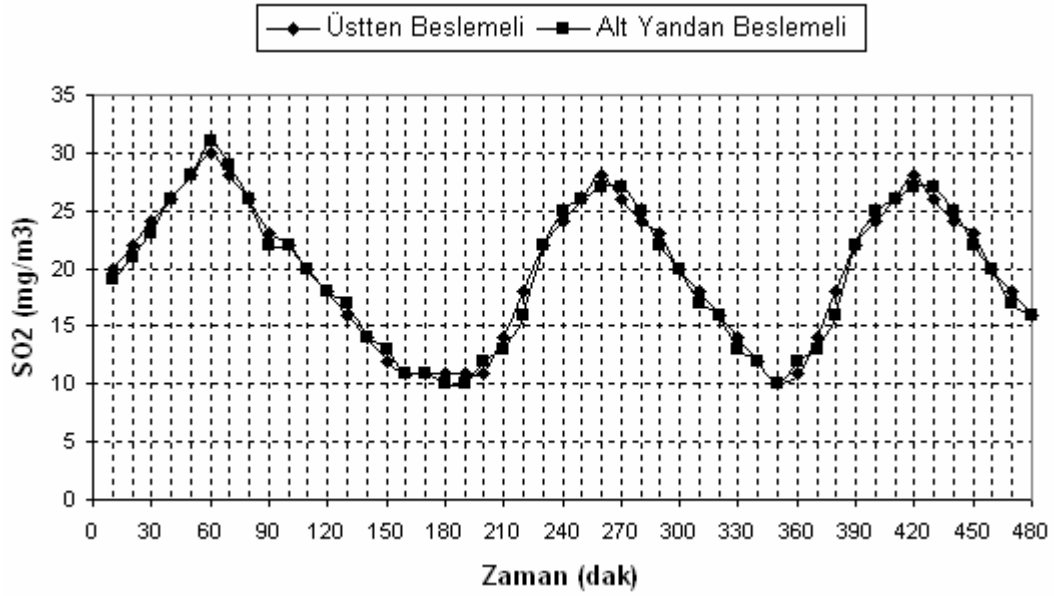
Kükürt oksitlerin temel kaynağı, yakma sistemlerinde kullanılan kömürün içerdiği kükürttür. Kömürlerin kükürt içerikleri, oluşumları sırasındaki çevre şartlarına ve kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir.

Sobalarda yapılan deneyler sırasında NO_x ve SO₂ emisyon değişimleri de gözlenmiştir. Bu gözlemler, her iki yakma durumunun kendi aralarında karşılaştırmaları Şekil 9.3 ve Şekil 9.4'de NO_x ve SO₂ olarak yapılmıştır.



Şekil 9.3 Üstten ve alt yandan besleme durumunda elde edilen NO_x değişimi.

Şekil 9.3'deki grafiğe göre, ölçülen NO_x emisyon değişimi iki yakma durumunda da oldukça yakındır ve ortalama 190 mg/m³ değeri elde edilmiştir.



Şekil 9.4 Üstten ve alt yandan besleme durumunda elde edilen SO₂ değışımi.

Şekil 9.4'deki şekle göre de, her iki tip beslemede de SO₂ emisyon değışımi de paralellik göstermiş ve ortalama 20 mg/m³ değeri ölçülmüştür.

NO_x ve SO₂ emisyon değışımleri, üstten ve alt yandan beslemeli sobalarda değışiklik göstermemiştir. Bunun nedeni, tek tip kömür kullanılması ve üstten beslemeli soba üzerinde bazı değışiklikler yapılarak alt yandan beslemeli yapılması da bu durumu ortaya koymuştur.

BÖLÜM 10

SONUÇLARIN İRDELENMESİ VE İLERİYE DÖNÜK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

10.1 SONUÇLARIN İNCELENMESİ

Üstten beslemeli ve yeni geliştirilen helezonlu alt yandan beslemeli soba ile yapılan ısı performans ve emisyon testlerinin değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

a. Üstten beslemeli sobalar belli bir kömür yakma özelliğine göre tasarımlanmışlardır. Günümüzde bu sobalarda çeşitli yakıtlar gelişi güzel olarak yakılmaya çalışılmaktadır. Bu durum enerji kaybına yol açmakta ve bu uygulama şekli, sobalardan kaynaklanan hava kirliliğinin de en önemli sebebidir.

b. Bu iki sobada da ısı transferi için ayrıca bir mekanizma düşünülmemiş yanma ve ısı transferi olaylarının etkileşim içinde gerçekleştirilmesine çalışılmıştır.

c. Üstten beslemeli sobalarda refrakter malzeme kullanılması, ısı transferi için iyi olsa da yanma odasının hızlı ve aşırı soğuması sonucu eksik yanma kayıpları ve hava kirletici emisyonlar aşırı artmaktadır.

d. Her iki tip sobada da yanma sırasında kül yıkama işlemi için bir uygulama getirilmemiştir. Ama alt yandan beslemeli sobada helezon ileri-geri hareketi kömür besleme anında kül yıkama yapabilmektedir.

e. Üstten beslemeli sobalarda kullanılan kömürün değişen türlerine veya özelliklerine göre, optimum yanma şartlarının sağlanabilmesi için yanma bölgesi veya yanma odasında geometri ve boyut değiştirme olanağı bulunmamaktadır.

f. Yeni geliştirilen soba kullanım açısından pratiktir. Tuğlalı sobalarda soba söndükten sonra ızgara üzerinin kullanıcı tarafından temizlenmesi gereklidir.

g. Yeni geliştirilen sobada yanma bölgesinde yanma koşullarının sürekliliği sağlanmıştır. Sobaya kömür beslenmesi durumunda, beslenen kömür doğrudan yanma yerine verilmediğinden bu bölgedeki yanma koşullarının sürekliliği bozulmamaktadır.

h. Deneylerde alınan sonuçlarla; alt yandan beslemeli soba, CO emisyonunda %19'luk bir azalma ve partikül madde (PM) emisyonunda görülür bir düşme sağlayarak, hava kirliliğini azaltmıştır.

ı. Üstten beslemeli sobalar ile karşılaştırıldığında yeni geliştirilen sobanın emisyon özelliklerinin düşük olması ve ısıl verimin yüksek olmasıyla daha ekonomik ve çevreci olduğunu göstermektedir.

10.2 İLERİYE DÖNÜK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bu bölümde, yeni geliştirilen soba ile üstten beslemeli soba üzerinde yapılan deneylerden elde edilmiş sonuçlarla verimli, hava kirliliğini azaltıcı ve temiz bir yanma sağlamak için, üstten beslemeli sobaların yapısal özelliklerinde ve kullanımında yapılabilecek değişiklikler ile ilgili yapılması gerekli çalışmalar için bazı önerilerde bulunmaktadır. Buna göre:

a. Baca gazından olan ısı kaybının azaltılabilmesi için bu sobalarda yeterli ısı transfer yüzey alanları genişletilmeli; fakat soba çekişinin bozulmamasına da dikkat edilmelidir.

b. Kömür yakılması durumunda üstten beslemeli sobalarda eksik yanma emisyonlarının oluşmaması için alttan yanma uygulamasından kaçınılmalıdır.

c. Üstten beslemeli sobaların ızgara üzeri kül yıkama işlemi pratikleştirilmelidir.

d. Sobalar, hava sızmalarına karşı iyi yalıtılmalıdır.

e. Kömürün mümkün olduğunca üstten yanması sağlanmalıdır.

f. Sobaların; işletilmesi ve kontrolü otomatikleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Anon.** (1986) *Approved Domestic Solid Fuel Appliances*, List No:43, British Coal Board, Published by Solid Fuel Advisory Service and Solid Smokless Fuels Federation, London
- Anon.** (1985) *Daverbrand-Heizensatze Für Fest Brennstoffe*, Deutsche Norm
- Adanır, İ.** (1989) Araştırma ve Geliştirme Çalışmalarına Yönelik Soba Test Sistemi Tasarımı ve Kurulması, Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara
- Allen, J.W.** (1990) *Low NO_x Burner Systems*, Energy World, England
- ASHRAE** (1997) *ASHRAE Temel El Kitabı, Bölüm 15 Yakacaklar ve Yanma*, çev. Osman F. Genceli, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar: 2, Ankara
- Başol, K.** (1994) *Doğal Kaynaklar Ekonomisi*, Anadolu Matbaası, İzmir, s. 138-139.
- Bilim Teknoloji Bülteni** (1983) Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı, Ankara
- Bilir, Ş.** (1982) *Optimization Of The Unit Wood Burner Stove*, M. Sc. Thesis, METU
- Böke, Y.E** (1993) Alttan Beslemeli Sabit Yatakta Kömür Yanması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- BSI** *Recommendations For The Design and Testing Of Smoke Reducing Solid Fuel Burning Domestic Appliances*, PD6434, British Standards Institution, London
- Çevre Bakanlığı** (2003) *Çevre El Kitabı*, Ankara, s. 7-40.
- Dağsöz, A.K.** (1998) *Sıcak Sulu Kalorifer Tesisatı*, Demirdöküm Teknik Yayınlar No:6, İstanbul, 80 s.
- Dales, J.H.** (19..) *Çevre Sorunlarının Hukuki ve Ekonomik Temelleri*, çev. İ. Orhan Türköz, 13 s.
- Doğan, H.** (2002) *Havalandırma ve İklimlendirme Esasları*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 94s.
- Durmaz, A.** (1991) *Alışılmış Yakma Sistemleri ve Uygulamaları*, MM 527 Yanma ve Yakma Teknolojisi Ders Notları, GÜ Makine Mühendisliği, Ankara

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Durmaz, A.** (1998) *Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri*, Editör Orhan Kural, İstanbul, s. 353-369.
- Ekinci, E.** (1993) *Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü*, Bölüm 3, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Gebze-Kocaeli, s. 49-54.
- Ertürk, F.** (1993) *Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü*, Bölüm 3, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Gebze-Kocaeli, s. 26-30.
- Göktuna, Ş.** (1989) *Optimal Linyit Sobası Dizayn ve Prototip Üretimi*, TÜBİTAK, Mühendislik Araştırma Grubu, Proje No:755, Eskişehir
- Görmez, K.** (2003) *Çevre Sorunları ve Türkiye*, Gazi Kitapevi, Ankara, s. 12-57.
- Güngör, E.** (1989) *Eskişehir Soba Sanayi*, Soba Sanayi Kongresi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:136, Eskişehir, s. 30-35.
- IPCC** (1992) *Climate Change 1992*, The Supplementary Report To The IPCC Scientific Assesment, Cambridge University Pres, UK
- Kadı, İ.** (1999) *Karabük Hava Kirliliği Araştırması 1998 Raporu*, Karabük, s. 4-5.
- Karatepe, N., Yavuz, R., Merçboyu, A.E. ve Öztürk, M.** (1998) *Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri*, Editör Orhan Kural, İstanbul, s. 632-633.
- Karayiğit, A.İ., Köksoy M.** (1998) *Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri*, Editör Orhan Kural, İstanbul, s. 60-67.
- Kılıç, M.** (1989) *Finite Element Analysis Of Stoves*, M. Sc. Thesis, Mechanical Engineering Department, METU
- Masters, G.M.** (1991) *Introduction To Environmental Engineering and Science*, Prentice-Hall International Inc., London, pp. 270-294.
- Meriçboyu, A.E., Beker, Ü.G., Küçükbayrak, S.** (1998) *Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri*, Editör Orhan Kural, İstanbul, 573 s.
- Michel, J., Michelfelder, S. and Payne, R..** (1970) *Survey On Prediction Procedures For The Calculation Of Furnace Performance*, AGARD Conference Proceedings, No:275, Combustor Modelling PP.18.1-18.15.
- Okutan, H.** (1993) *Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü*, Bölüm 1, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Gebze-Kocaeli, s. 1-14.
- Öner C., Tanyılmaz, V. ve Pehlivan, D.** (1999) *Döner Kamaralı Bir Kömür Yakma Sisteminde Devir Sayısının Emisyon ve Sistem Performansına Etkisi*, 6. *International Combustion Symposium*, İstanbul

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Öz, E.S. ve Uyarel, A.** (1987) *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, Emel Matbaacılık, Ankara, 43 s.
- Özbaş E.** (2004) Kömür Sobasının Üstten ve Altan Beslemeli Yakılarak Emisyonlarının Karşılaştırılması, Bilim Uzmanlık Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük
- Özcan, A.N. ve Kural, O.** (1979) Dumansız Bir Linyit Sobasının Geliştirilmesi, T.I.B.T.D. II., *Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Ankara
- Özkol, N.** (1999) *Uygulamalı Soğutma Tekniği*, Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:115, Ankara, 2 s.
- Painter, D.E.** (1974) *Air Pollution Technology*, Pitt. Technical Institute, Greenville, Reston Publishing Company, pp. 258-259.
- Petek, A.** (1989) *Soba Nedir?*, Soba Sanayi Kongresi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:136, Eskişehir, s. 130-136.
- Sağlık Bakanlığı** (2004) Hava Kirliliğine Genel Bakış, Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı <http://www.rshm.saglik.gov.tr/hki/hki.htm>
- Soba Sanayi Kongresi Bildirileri** (1989) TMMOB, Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: 136, Eskişehir
- Şişli, M.N.** (1999) *Çevre Bilim Ekoloji*, Gazi kitapevi, Ankara, 11 s.
- Telli, Z.K.** (1998) *Yakıtlar ve Yanma*, Palme Yayıncılık, Ankara, s. 1-54.
- TMMOB** (1999) *Baca Gazı Emisyon Ölçümü Mühendis El Kitabı*, Yayın No:23, Ankara, 25s.
- Topçuoğlu, M.** (1995) Yeni Tip Sobaların Isıl Verim ve Emisyon Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- TS 4900** (1986) *Sobalar, Katı Yakıt (Kömür)Yakan Türk Standardı*, Mayıs 1986.
- TS 4900 EN 13240** (Revisyon) *Türk Standardı, Sobalar – Katı Yakıt Yakan – Özellikler ve Deney Matotları*, Ankara, 6 s.
- TS EN 303-5** (Nisan 2001) *Türk Standardı, Kazanlar – Bölüm 5: Katı Yakıtlı Kazanlar – Elle ve Otomatik Yüklemeli, Anma Isı Gücü 300 kW'a Kadar – Terim ve Tarifler, Özellikler, Deneyler ve İşaretleme*, Ankara, 22 s.
- Tünay, O. ve Alp, K.** (1996) *Hava Kirlenmesi Kontrolü*, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 1996-36, Mega Ajans, İstanbul

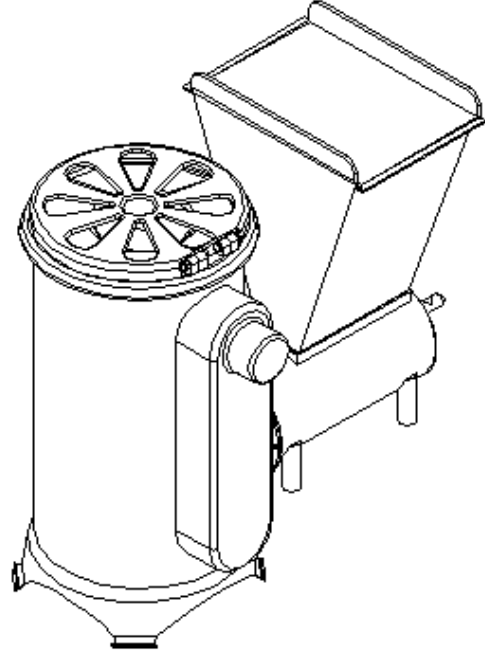
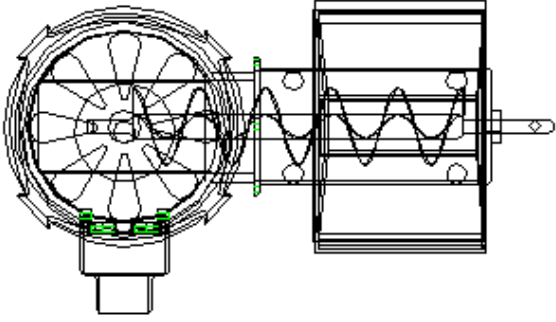
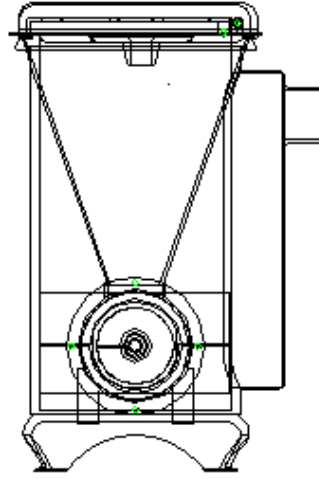
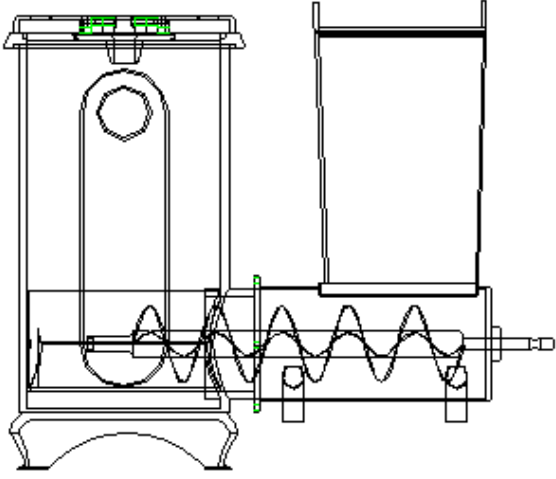
KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ustaoglu, C.** (1975) Optimization Of The Unit Coal Burner Stove, M.Sc. Thesis, Mechanical Engineering Department, METU
- Unveren, H.** (1989) *Soba Üretiminde Teknolojik Gelişmeler ve Soba İle Isınmanın Ekonomik Boyutları*, Soba Sanayi Kongresi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:136, Eskişehir, s. 65-74.
- Wark, K. and Warner, C.F.** (1981) *Air Pollution: Its Origin and Control*, Second Edition, Harper and Row Publishers, New York

EK AÇIKLAMALAR A

HELEZONLU ALT YANDAN BESLEMELİ SOBANIN MONTAJ RESMİ

Çizelge A.1 Helezonlu alt yandan beslemeli soba.



EK AÇIKLAMALAR B

MSI COMPACT BACA GAZI ANALİZ CİHAZININ ÖZELLİKLERİ

MSI 150 Compact Ext III baca gazı analiz cihazı; evsel ve endüstriyel yakma tesisleri bacalarındaki atık gaz konsantrasyonlarının ölçümü için tasarlanmıştır. Cihaz; fuel-oil, doğalgaz, şehir gazı, sıvı gaz, linyit kömürü (ısıl değeri: 8,2 MJ), parlak kömür (ısıl değeri: 31,5 MJ), odun (hava kurutmalı) yakıt seçenekleri sunmaktadır.

Ölçülen değerler cihazın dört satırlı, geniş, ışıklandırılmı LCD ekranında görülür. Cihazın ölçtüğü ve hesapladığı parametreler:

Çizelge B.1 Ölçülen değerler ve birimleri.

Ortam sıcaklığı	0 / +100 °C
Baca gazı sıcaklığı	-40 / +1200 °C
% O₂	0 - %21
CO	0 - 4000 ppm (H ₂ düzeltmeli olarak)
NO	0 - 3000 ppm
NO₂	0 - 500 ppm
SO₂	0 - 5000 ppm
Baca gazı hızı	1 - 70 m/sn
Baca çekişi	-10 / +75 hpa (mbar)

Gaz konsantrasyon değerlerini ppm, mg/m³, % O₂'ye göre verir.

Çizelge B.2 Hesaplanan değerler ve birimleri.

CO₂	%0-20
Yanma verimi	%0-100 (DIN standartlarına uygun)
Baca kaybı	%0-99.9
Fazla hava katsayısı (lambda)	1 - 9.9
Ortalama gaz hızı	

EK AÇIKLAMALAR C

KULLANILAN TABLOLAR

Çizelge C.1 Kazanlar için emisyon sınır değerleri (TS EN 303-5).

Yükleme	Yakıt	Anma ısı gücü kW	Emisyon sınır değerleri*								
			CO			OGC			Toz		
			mg/m ³ , %10 O ₂ 'de								
			Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3
Elle	Odun Esaslı	≤50	25000	8000	5000	2000	300	150	200	180	150
		<50-150	12500	5000	2500	1500	200	100	200	180	150
		>150-300	12500	2000	1200	1500	200	100	200	180	150
	Fosil	≤50	25000	8000	5000	2000	300	150	180	150	125
		<50-150	12500	5000	2500	1500	200	100	180	150	125
		>150-300	12500	2000	1200	1500	200	100	180	150	125
Otomatik	Odun Esaslı	≤50	15000	5000	3000	1750	200	100	200	180	150
		<50-150	12500	4500	2500	1250	150	80	200	180	150
		>150-300	12500	2000	1200	1250	150	80	200	180	150
	Fosil	≤50	15000	5000	3000	1750	200	100	150	150	125
		<50-150	12500	4500	2500	1250	150	80	180	150	125
		>150-300	12500	2000	1200	1250	150	80	180	150	125

* 0 °C 1013 mbar'da kuru atık gazlara atıf yapılan.

ÖZGEÇMİŞ

Ali KEÇEBAŞ 1980’de Fethiye’de doğdu; ilköğrenimini Fethiye/Üzümlü, Kavaklıdere/ Atatürk ve Ula/Akyaka İlkokul’larında, ortaokul öğrenimini Ula/Adile Mermerci İlköğretim Okulu’nda ve ortaöğrenimini Aydın/Söke Ziraat Teknik Lisesi’nde tamamladı.

Mezun olduktan sonra 1999 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’ne girdi. 2003’de Tesisat Öğretmenliği programından üniversite birincisi olarak mezun oldu.

2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans programına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Zeytinalanı Köyü
Köyceğiz / MUĞLA

Tel : 0 (252) 263 71 20

E-posta : akecebas1980@hotmail.com