

**SIVI YAKITLI YAKMA SİSTEMLERİNDE (KAZANLARDA)
YANMA VE EMİSYON DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Tezi Hazırlayan

İlker YILMAZ

109533

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Yöneticisi

Doç.Dr. Mustafa İLBAŞ

109533

Erciyes Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü' ne

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi

Olarak Sunulmuştur.

**Temmuz 2001
KAYSERİ**

Erciyes Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü' ne

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

27/ 07/ 2001

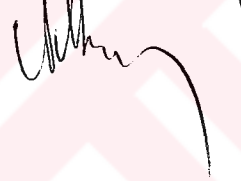
Başkan : Doç.Dr. Mustafa İLBAŞ



Üye : Yrd.Doç.Dr. Gürsel ÇINAR



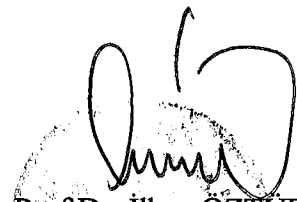
Üye : Yrd.Doç.Dr. Nafiz KAHRAMAN



ONAY :

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

28/ AĞUSTOS 2001



Prof.Dr. İlhan ÖZTÜRK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen ve engin bilgilerini benimle paylaşan Tez Danışmanım ve Kıymetli Hocam Doç.Dr. Mustafa İLBAŞ' a, Emisyon ölçüm cihazının temin edilmesinde yardımcı olan Makine Mühendisleri Odası Kayseri Şubesine, Deneysel çalışma olanağı sağlayan Kayseri ve Civarı Elektrik Dağıtım A.Ş' ne, İstikbal A.Ş.' ne, Mühendisler Apartmanı yönetimi' ne ve tez çalışmalarımnda yardımcı olan bütün arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bütün eğitim ve öğretim hayatım boyunca tüm imkanları ile bana destek olan ve her türlü fedakarlığı gösteren anneme ve babama şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

İlker YILMAZ, 20.10.1976 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Kayseri'de tamamladı. 1998-1999 öğretim yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden dönem birincisi ve iyi derece ile mezun oldu. 1999-2000 öğretim yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başladı. Bir süre özel sektörde ve Köy Hizmetleri' de mühendis olarak çalıştı. Halen Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulunda Uzman olarak çalışmaktadır.

Adres: Erciyes Üniversitesi Siv. Hav.Yük. Okulu
Uçak Motor-Gövde Bölümü / Kayseri

ÖZET

İki farklı yakıt türü (4 ve 6 numara fuel-oil), üç farklı sıvı yakıt yakma sisteminde (kazanda) kazan baca bağlantı parçasından değişik radyal uzaklıklarda kazan yanma performansları ve emisyon davranışlarının deneysel olarak incelendiği bu çalışmada en uygun hava fazlalık katsayısı ve yakıt tipinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu tez yedi bölümden oluşmaktadır. Tezin 1. bölümünde giriş ve literatür araştırması, 2. bölümde yanma teorisi ve yakıtlar hakkında bilgi verilmiş, 3. bölümde sıvı yakıt yanma teorisi ele alınmış, 4. bölümde hava kirliliği ve önleme yöntemleri teorik olarak incelenmiştir. 5. bölümde deneysel olarak üç farklı kazanda, iki değişik yakıt türü ve dört farklı hava fazlalık katsayısı için yanma performansı ve emisyonların (CO , SO_2 , NO_x) kazan bağlantı parçasından değişik radyal uzaklıklardaki dağılımlarının ölçümü, deneyin yapılışı, deney düzenekleri verilmiş ve deneyde kullanılan gaz analiz cihazı tanıtılmıştır. 6. bölümde ise; deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur. Ekler bölümünde deneysel sonuçlar tablo halinde verilmiş, yanma ürünlerinin molar, kütle ve hacimsel oranlarını belirleyen delphi programlama dilinde bir program yapılmış ve buna ait bir örnek hesaplama verilmiştir.

Hava fazlalık değeri arttıkça NO_x emisyonunun azaldığı, SO_2 emisyonunun fazla değişmediği tespit edilmiştir. Hava fazlalık değeri arttıkça CO emisyonunun ve ısı veriminin azaldığı tespit edilmiştir. 4 numara fuel-oil kullanılan kazanlarda 6 numara fuel-oil kullanılan kazanlara göre SO_2 emisyonunun daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

ABSTRACT

In this study, two different fuel type (4 and 6 number fuel) at three various liquid fuel combustors-boiler systems combustion performance and emission behaviours are investigated experimentally at different radial distance from boiler-chimney connection section. The most suitable excess-air are determined in this study.

This thesis include of seven chapters. In the first chapter; introduction and literature survey are presented. In the second chapter; Information about combustion and fuels is given. In the third chapter; liquid fuel combustion theory is explained in detail. In the fourth chapter; air pollution and preventing methods are theoretically investigated . In the fifth chapter; experimental measurements flue gas emissions (CO , SO_2 , NO_x) are given for two fuel type and four various excess-air levels. Measurements are taken at different radial distances in boiler-chimney connection section. Experimental rigs and systems are also introduced in this chapter. In the sixth chapter; results which are obtained from experiments are given and some proposal is proposed for future works. In the appendix section, experimental results are given in table, a programme which determines molar, mass, volume rates of combustion reactants is done in delphi programme and an example calculation is given in delphi programme.

When excess-air level increase the NO_x emission decreased, SO_2 emission no more changing determined. When excess-air level increase CO emission and thermal efficiency decreasing determined. The more SO_2 emission is determined 4 number fuel than 6 number fuel used in boiler.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
A	Arrhenius Ön Faktörü	-
B	Saatte Yakılan Yakıt Miktarı	[Kg / h]
C	Karbon	-
E	Reaksiyon Aktivasyon Enerjisi	[Kj/ mol]
H	Entalpi	[Kj/ Kg]
H ₂ O	Su buharı	-
h _{Hr}	Kuru Havanın Entalpisi	[Kj/ Kg]
h _{Hk}	Rutubetli Havanın Entalpisi	[Kj/ Kg]
H _a	Yakacağın Alt Isıl Değeri	[Kcal/ Kg]
H _ü	Yakacağın Üst Isıl Değeri	[Kcal/ Kg]
k	Denge Sabiti	-
KVS	Kısa Vadeli Sınır Değer	-
L	Gerçek Hava Oranı	[Kg/Kg]
L _{min}	Teorik Hava Oranı	[Kg/Kg]
N	Azot	-
O	Oksijen	-
O _{min}	Yanma için Gerekli Minumum Oksijen Miktarı	[Nm ³ /Kg]
P ₀	Standart Atmosfer Basıncı	[Bar]
P _s	Havadaki Su buharının Kısmi Basıncı	[Bar]
ppm	Milyonda Bir Hacim	-

VIII

Q	Kazan Anma Isıl Gücü	[Kcal/Kg]
Re	Reynold Sayısı	-
R ₁	Koloidal Yakıtlarda Katı Yakıtın	[%]
R ₂	Koloidal Yakıtlarda Sıvı Yakıtın Oranı	[%]
S	Kükürt	[%]
S ₀	Sıvı Yakıt Parçacığının Dış Yüzey Alanı	[m ²]
S _T	Türlüslü Hız Oranı	-
S _L	Laminer Hız Oranı	-
T ₀	Standart Atmosfer Sıcaklığı	[K]
T _g	Baca Gazı Sıcaklığı	[°C]
T _ç	Çevre (Ortam) Sıcaklığı	[°C]
T _{HA}	Kuru Termometre Sıcaklığı	[°C]
U	İç Enerji	[Kj/Kg]
UVS	Uzun Vadeli Sınır Değer	-
V	Hız	[m/sn]
z	Rakım	[m]
λ	Hava Fazlalık Katsayısı	-
φ _h	İzafi Nem	[Kg/Kg]
μ	Dinamik Vizkozite	[Kg/m.sn]
ρ _{Hr,O}	Rutubetli Havanın Yoğunluğu	[Kg/Nm ³]

İÇİNDEKİLER

ÖZGEÇMİŞ	III
TEŞEKKÜR	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	VII

1. BÖLÜM GİRİŞ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1.GİRİŞ	1
1.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
1.2.1. Dünyada Yapılan Çalışmalara	2
1.2.2. Türkiyede Yapılan Çalışmalar	3

2. BÖLÜM YANMA VE YAKITLAR

2.1.YANMA	4
2.1.1. Yanma Koşulları	5
2.1.1.1. Türbülans (Yanıcı Karışım Oluşturma Süreci)	5
2.1.1.2. Sıcaklık (Tutuşma Süreci)	6
2.1.1.3. Zaman (Yanmanın Tamamlanması Süreci)	7
2.1.2. Tam Yanma Hali	7
2.1.3. Teorik Yanma	8
2.1.4. Fazla veya Eksik Hava İle Yanma	8
2.1.5. Tepkime Isıları	10
2.1.6. Tepkime Entalpisi	11
2.1.7. Kimyasal Denge	12
2.1.8. Isıl Değer	12
2.1.9. Katı ve Sıvı Yakıtlar İçin Isıl Değer	13
2.1.10. Gaz Yakıtlar İçin Isıl Değer	13
2.1.11. Koloidal Yakıtlar İçin Isıl Değer	14
2.2. YANMA REAKSİYONLARI	14
2.2.1. Hidrojen Yanması	14
2.2.2. Karbonun Yanması	15
2.2.3. Karbonun Eksik Yanması	16

2.2.4. Kükürdün Yanması	17
2.2.5. Karbon Monoksitin Yanması:	17
2.2.6. Metanın Yanması	18
2.3. YAKITLAR	18
2.3.1. Katı Yakıtlar	18
2.3.2. Sıvı Yakıtlar	19
2.3.2.1. Sıvı Yakıtların Üstünlükleri	21
2.3.3. Gaz Yakıtlar	21
3. BÖLÜM SIVI YAKIT YANMASI	
3.1. YANMANIN TERMODİNAMİĞİ VE REAKSİYON KİNETİĞİ	23
3.2. GAZ YAKITLARIN YANMASI	25
3.3. HAVA –YAKIT KARIŞIM ORANININ TANIMI	26
3.4. SIVI YAKIT YANMASI	30
3.4.1. Sıvı Yakıt Atomizasyonu	30
3.4.2. Sıvı Yakıt Buharlaşması	32
3.5. PÜSKÜRTMELİ YANMA	34
3.6. ALEV YAPISI VE TİPLERİ	35
3.6.1. Ön Karışım Alevi	37
3.6.2. Difüzyon Alevi	38
4. BÖLÜM HAVA KİRLİLİĞİ VE ÖNLEME YÖNTEMLERİ	
4.1. HAVA KİRLİLİĞİ	40
4.2. SIVI YAKITLI YAKMA SİSTEMLERİNİN EMİSYON DAVRANIŞI	41
4.2.1. CO ve C_mH_n Emisyonları	41
4.2.2. SO_2 Emisyonu	41
4.2.3. NO_x Emisyonu	42
4.2.4. Partikül emisyonu	43
4.2.5. Hava Kirlilik Seviyesinin Sınıflandırılması	43
4.3. YANMADAN KAYNAKLANAN KİRLİTİCİ EMİSYONLAR	46
4.3.1. Yakıttan Kaynaklanan Emisyonlar	47
4.3.2. Uygun Olmayan Yanmadan Kaynaklanan Emisyonlar	48
4.4.3. Yanma Tesislerinden Kaynaklanan Emisyonların Azaltılması İle İlgili Önlemler	48
4.4. NO_x TURLERİ	50

4.4.1. Azot Bileşikleri (NO _x)	50
4.4.2. Thermal - NO _x (Isıl -NO _x)	51
4.4.3. Prompt - NO _x (Ani - NO _x)	51
4.4.4. Fuel –NO _x (Yakıt -NO _x)	52
4.4.5. NO _x Kontrol Yöntemleri	52
4.5. SO ₂ EMİSYONU VE KONTROL YÖNTEMLERİ	58

5. BÖLÜM DENEYSEL OLARAK KAZANLARDA YANMA VE EMİSYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

5.1. DENEYDE KULLANILAN KAZANLAR	64
5.1.1. Deney Yapılan 1. Sistem	64
5.1.2. Deney Yapılan 2. Sistem	66
5.1.3. Deney Yapılan 3. Sistem	67
5.2. DENEYDE KULLANILAN YAKITLARIN BİLEŞİMLERİ	68
5.3. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZ	69
5.3.1. Baca Gazı Emisyon Ölçüm Cihazı	69
5.4. DENEY DÜZENEKLERİ	70
5.4.1. Birinci Deney Düzenegi	70
5.4.2. İkinci Deney Düzenegi	71
5.4.3. Üçüncü Deney Düzenegi	71
5.5. DENEYİN YAPILIŞI	72
5.6. DENEYLERDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR	72

6. BÖLÜM SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR	94
6.2. ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR	97

7. EKLER

EK-1 DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN VERİ TABLOLARI	99
EK-2 YANMA ÜRÜNLERİNİ HESAPLAYAN PROGRAM	108

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Fazla Hava ile yapılan Yanma ve Ürünleri	9
Şekil 2.2. Eksik Hava ile yapılan Yanma ve Ürünleri	9
Şekil 2.3. Baca Gazı Sıcaklığı Hava Yakıt Oranına İlişkisi	10
Şekil 3.1. Hava Fazlalığı ile Çiğ Gaz Derişimi ve Yanma Verimi Arasındaki İlişki	28
Şekil 3.2. Bir Yanma Odasında Sıvı Yakıtın Yanma İşleminin Akış Şeması	30
Şekil 3.3. Basınç Atomizerleri	31
Şekil 3.4. Basınç Atomizerleri	32
Şekil 3.5. Çift Akışlı Atomizerlerde Oluşan Alevin Görünüşü	32
Şekil 3.6. Sıvı Yakıt Damlacığının Buharlaşması	33
Şekil 3.7. Sıvı Yakıt Parçacığının Yanması	34
Şekil 3.8. Reynold Sayısının Alev Hızı ile Değişimi	36
Şekil 3.9. Tek Boyutlu Heterojen Alevde Reaksiyon Bölgesi Boyunca Yakıt Parçacıklarının Yanmasının İdeal Modeli	37
Şekil 3.10. Tek Boyutlu Homojen Alevde Reaksiyon Bölgesi Boyunca Yakıt Parçacıklarının Yanmasının İdeal Modeli	38
Şekil 4.1. Seçici Katalitik Olmayan Azaltma	53
Şekil 4.2. Seçici Katalitik Azaltma	54
Şekil 4.3. Düşük NO _x ' lu Brülörlerde Yakıtın Durumu	55
Şekil 4.4. Düşük NO _x ' lu Brülörlerde Havanın Durumu	56
Şekil 4.5. 250-800 HP Gücündeki Kazanlar için Yıllık NO _x Emisyonu.[NO _x =20 ppm (%3 O ₂ göre)]	57
Şekil 4.6. 250-800 HP Gücündeki Kazanlar için Yıllık NO _x Emisyonu.[NO _x =110 ppm (%3 O ₂ göre)]	58
Şekil 5.1. MRU 95/3-CD Baca Gazı Analiz Cihazının Ön Paneli	69
Şekil 5.2. Birinci Deney Yapılan Sistemin Görünüşü	70
Şekil 5.3. İkinci Deney Yapılan Sistemin Görünüşü	71
Şekil 5.4. Üçüncü Deney Yapılan Sistemin Görünüşü	71
Şekil 5.5. Deneyde Kullanılan 4 Numara Fuel-Oil Bileşimi	75
Şekil 5.6. Deneyde Kullanılan 6 Numara Fuel-Oil Bileşimi	75
Şekil 5.7. İki Farklı Yakıtta CO Emisyonun Değişimi.(λ=1.30)	75

Şekil 5.8. İki Farklı Yakıtta SO ₂ Emisyonunun Değişimi.($\lambda=1.30$)	76
Şekil 5.9. İki Farklı Yakıtta NO _x Emisyonunun Değişimi.($\lambda=1.30$)	76
Şekil 5.10. İki Farklı Yakıtta Isıl Verimin Değişimi.($\lambda=1.30$)	76
Şekil 5.11. İki Farklı Yakıtta Baca Gazı Sıcaklığının Değişimi.($\lambda=1.30$)	77
Şekil 5.12. İki Farklı Yakıtta CO Emisyonunun Değişimi.($\lambda=1.69$)	77
Şekil 5.13. İki Farklı Yakıtta SO ₂ Emisyonunun Değişimi.($\lambda=1.69$)	77
Şekil 5.14. İki Farklı Yakıtta NO _x Emisyonunun Değişimi.($\lambda=1.69$)	78
Şekil 5.15. İki Farklı Yakıtta Isıl Verimin Değişimi.($\lambda=1.69$)	78
Şekil 5.16. İki Farklı Yakıtta Baca Gazı Sıcaklığının Değişimi.($\lambda=1.69$)	78
Şekil 5.17. İki Farklı Yakıtta CO Emisyonunun Değişimi.($\lambda=1.82$)	79
Şekil 5.18. İki Farklı Yakıtta SO ₂ Emisyonunun Değişimi.($\lambda=1.82$)	79
Şekil 5.19. İki Farklı Yakıtta NO _x Emisyonunun Değişimi.($\lambda=1.82$)	79
Şekil 5.20. İki Farklı Yakıtta Isıl Verimin Değişimi.($\lambda=1.82$)	80
Şekil 5.21. İki Farklı Yakıtta Baca Gazı Sıcaklığının Değişimi.($\lambda=1.82$)	80
Şekil 5.22. İki Farklı Yakıtta CO Emisyonunun Değişimi.($\lambda=2.12$)	80
Şekil 5.23. İki Farklı Yakıtta SO ₂ Emisyonunun Değişimi.($\lambda=2.12$)	81
Şekil 5.24. İki Farklı Yakıtta NO _x Emisyonunun Değişimi.($\lambda=2.12$)	81
Şekil 5.25. İki Farklı Yakıtta Isıl Verimin Değişimi.($\lambda=2.12$)	81
Şekil 5.26. İki Farklı Yakıtta Baca Gazı Sıcaklığının Değişimi.($\lambda=2.12$)	82
Şekil 5.27. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının CO Emisyonuna Etkisi.(1.Deneyin Yapıldığı Sistem ,Güç =3.065 MW)	82
Şekil 5.28. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının SO ₂ Emisyonuna Etkisi.(1.Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç =3.065 MW)	82
Şekil 5.29. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının NO _x Emisyonuna Etkisi.(1.Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç =3.065 MW)	83
Şekil 5.30. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Isıl Verime Etkisi.(1.Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç =3.065 MW)	83
Şekil 5.31. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Baca Gazı Sıcaklığına Etkisi.(1.Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç =3.065 MW)	83
Şekil 5.32. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının CO Emisyonuna Etkisi.(3.Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç =2.2 MW)	84
Şekil 5.33. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının SO ₂ Emisyonuna Etkisi.(3. Deneyin Yapıldığı Sistem , Güç = 2.2 MW)	84

Şekil 5.34. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının NO_x Emisyonuna Etkisi.(3. Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç = 2.2 MW)	84
Şekil 5.35. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Isıl Verime Etkisi.(3.Deneyin Yapıldığı Sistem , Güç = 2.2 MW)	85
Şekil 5.36. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Isıl Verime Etkisi.(3.Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç = 2.2 MW)	85
Şekil 5.37. Değişik Hava Fazlalık Katsayıları ile CO ve O_2 Miktarlarının Değişimi (3. Deneyin Yapıldığı Sistem ,Güç = 2.2 MW)	85
Şekil 5.38. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Emisyonlara Etkisi.(3.Deneyin yapıldığı Sistem, Güç = 2.2 MW)	86
Şekil 5.39.Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Baca Gazı Sıcaklığına Etkisi.(3.Deneyin yapıldığı Sistem, Güç = 2.2 MW)	86
Şekil 5.40. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan CO Emisyonu.($\lambda=1.30$)	86
Şekil 5.41. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan SO_2 Emisyonu. ($\lambda=1.30$)	87
Şekil 5.42. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan NO_x Emisyonu. ($\lambda=1.30$)	87
Şekil 5.43. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan Isıl Verim. ($\lambda=1.30$)	87
Şekil 5.44. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan Baca Gazı Sıcaklıkları. ($\lambda=1.30$)	88
Şekil 5.45. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan CO Emisyonu. ($\lambda=1.69$)	88
Şekil 5.46. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan SO_2 Emisyonu. ($\lambda=1.69$)	88
Şekil 5.47. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan NO_x Emisyonu. ($\lambda=1.69$)	89
Şekil 5.48. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan Isıl Verim . ($\lambda=1.69$)	89
Şekil 5.49. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan Baca Gazı Sıcaklıkları. ($\lambda=1.69$)	89
Şekil 5.50. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan CO Emisyonu. ($\lambda=1.82$)	90
Şekil 5.51. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan SO_2 Emisyonu. ($\lambda=1.82$)	90
Şekil 5.52. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan NO_x Emisyonu. ($\lambda=1.82$)	90
Şekil 5.53. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan Isıl Verim. ($\lambda=1.82$)	91
Şekil 5.54. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan Baca Gazı Sıcaklıkları.($\lambda=1.82$)	91
Şekil 5.55. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan CO Emisyonu. ($\lambda= 2.12$)	91
Şekil 5.56. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan SO_2 Emisyonu. ($\lambda= 2.12$)	92
Şekil 5.57. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan NO_x Emisyonu. ($\lambda= 2.12$)	92
Şekil 5.58. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan Isıl Verim. ($\lambda= 2.12$)	92
Şekil 5.59. Farklı Güçlerdeki Kazanlarda Oluşan Baca Gazı Sıcaklıkları. ($\lambda= 2.12$)	93

1. BÖLÜM

GİRİŞ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. GİRİŞ

Hava kirliliği, soluduğumuz ve çeşitli proseslerde kullandığımız havanın sahip olduğu doğal bileşiminin bozulması sonucu oluşur. Bu bileşimi bozan ve havayı kirleten maddeler; tozlar, çeşitli gazlar ve sıvı damlacıklardır. Bu kirleticiler çeşitli nedenlerle oluşup havaya karışarak insan ve çevre üzerinde zararlı etkiler oluşturmaktadır.

Yanma, hava kirliliğinin önemli sebeplerinden biridir. Yanma ile hava kirliliği arasındaki yakın ilişkiyi anlamak, hava kirliliğinin önüne geçmedeki önemli etkidir.

Özellikle son yıllarda, endüstriyel aktivitenin, şehirleşmenin ve nüfusun artması ile kirletici maddelerin kullanımı ve miktarıda hızla artmaktadır. Atmosfere dağılarak, onu kirleten kirleticiler katı, sıvı ve gaz halindedirler.

Hava kirliliğine sebep olan kaynakların en önemlisi yakma tesislerinde katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılarak yakıt bünyesindeki kirleticilerin tesis bacasından atmosfere atılması hava kirliliğine neden olmaktadır. Buradaki kirlilik doğrudan yakıtın cinsine ve miktarına bağlıdır.

Günümüzde, çevre bilinci oldukça gelişmiş ve bunun sonucu olarak çevreyi koruyucu çalışmalar hızlanmıştır. Hava kirliliği sadece canlıları değil, ekolojik dengeyi de bozarak gelecek kuşakların yaşantılarında risk altına sokmaktadır.

Ülkemizde tüketilen toplam enerjinin yaklaşık % 36' sı konut sektöründe binaların ısıtılmasında, % 28'i sanayide, %10'nu aydınlatmada, %17'si ulaşımda, %4' ü tarımda, %5' i enerji dışı sektörlerde kullanılmaktadır.[6]

Avrupa topluluğu ülkeleriyle karşılaştırıldığı zaman; tükettiğimiz enerjinin daha büyük bir bölümünü konutlarımızdaki konfor koşullarının yetersizliği, konut sektöründe enerjinin verimsiz kullanımı gibi yapısal sorunlara harcamaktayız.

Sanayileşme ve teknolojinin gelişimiyle çok ciddi, büyük ve tehlikeli boyutlara ulaşmış olan çevre kirliliğinin kesinlikle önlenmesi veya tehlike oluşturmeyen sınırlara indirgenmesi gereken vazgeçilmez ve ertelenemez durumdaki birincil dereceden bir sorundur. Bölgesel, ulusal ve uluslararası boyutlardaki bu sorun, gelişen teknoloji ve sanayileşmenin bir ürünü olmakla birlikte, yine gelişen bu teknoloji ile çözülebilecek bir konudur.[9]

1.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.2.1. Dünyada Yapılan Çalışmalar

Sıvı yakıtların yanmasıyla, atmosfere atılan kirletici emisyonlar hem çevre hem de insan sağlığını önemli ölçüde etkilediklerinden dolayı, bir çok araştırmacı ve bilim adamı yanma konusuyla doğrudan yada dolaylı olarak ilgilenmiştir.

M.İlbaş [1] sıvı yakıtla ve doğalgazla çalışan üç farklı yakıcı tipinde mümkün olan minimum NO_x emisyonu veren sistemi belirlemeye çalışmış ve bu çalışmalarında CFD (Computational Fluid Dynamics) sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırmıştır.

A.E.Voulgaris [12] Wales Üniversitesi yanma laboratuvarlarında, 2MW gücündeki sıvı yakıtla çalışan sistemde sıcaklık dağılımı ve yanma sonucu oluşan NO_x emisyonunu etkileyen faktörleri tespit etmeye çalışmıştır. K.Sedighi [10] Leeds Üniversitesi enerji ve yakıt laboratuvarlarında, sıvı yakıt damlacıklarının yanmasını deneysel olarak incelemiş ve elde ettiği sonuçları kullandığı programlama sonuçları ile karşılaştırmış, birbirileri ile uyumlu olduklarını tespit etmiştir.

G.M.Faeth [22] sıvı yakıtların yanmasını bir model oluşturarak incelemeye çalışmış ve çalışmalarında türbülanslı ve laminar akış türleri için ortalama yakıt çaplarını belirlemiş, atomizasyon için gerekli yakıt parçacık çaplarını belirlemeye çalışmıştır. N.A.Chigier [20] püskürtmeli yanmayı incelemiş ve değişik püskürtme basınçlarında farklı sıvı yakıt damlacık çapları elde etmiştir. A.Williams [23] sıvı yakıtların yanma safhalarını incelemiş, kullanılan yakıt özellikleri için en uygun parçacıkları belirlemiştir. Bicen, Senda ve Whitelaw [19] yaptıkları deneysel çalışmalarda yakıt-hava oranının yanma odası sıcaklık dağılımına olan etkisini incelemişlerdir. Egolfopoulos, Cho ve Law [19] yanma odası basınç değişiminin laminar alev hızı üzerinde olan etkisini incelemişlerdir.

1.2.2. Türkiye'de Yapılan Çalışmalar

Ülkemizde, yanma ve emisyon davranışları ile ilgili yapılan çalışmaların sayısı hızla artmaktadır. Fakat şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, genellikle katı yakıtla çalışan sistemler üzerinde çalışmalar yoğunlaşmış, sıvı yakıtlı sistemlerde yanma olayının karmaşık olması, gerekli düzeneklerin kurulma güçlükleri gibi sebeplerden dolayı yeterli sayıda bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma Türkiye'de sıvı yakıtla çalışan kazanlarda yanma ve emisyon davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılmış çok az sayıda mevcut olan çalışmalardan birisidir. A.Polatdemir [21] Erciyes Üniversitesi bünyesinde kurulan bir kalorimetrik odada soba ısı verimi üzerinde çalışmalar yapmıştır. S.Önal [24] sıvı yakıtla çalışan buhar kazanlarında ekserji (exergy) metoduyla yanma verimliliği analizi üzerinde çalışmış, değişik yakıt sarfiyatlarının hepsinde hava fazlalık katsayılarının (excess air) artırılması ile baca gazlarının ekserjilerinin azaldığını ve böylece iyi bir yanmanın gerçekleştiği tesbit etmiştir. İ.Atılğan [9] Gazi Üniversitesi Isıl Güç laboratuvarlarında dolaşımli akışkan yatakta, yanma verimliliğini ve emisyon davranışını incelemiş, akışkan yataklı yakma sistemlerinin kullanılmasının hem emisyonlar bakımından hem de yanma verimi bakımından çok uygun olduğunu tespit etmiştir.

2. BÖLÜM

YANMA VE YAKITLAR

2.1. YANMA

Yanma, yakıtların genellikle havadan sağlanan oksijen ile hızlı oksidasyonu sonucu ısı ve sıcak yanma ürünlerinin açığa çıktığı kimyasal reaksiyondur. Yakıtlar esas olarak karbon, hidrojen ve oksijenden oluşur. Bunlara ek olarak daha az oranlarda kükürt, azot, klor ve diğer elementleri içerir. Normal şartlarda ve yeterli yakıcı oksijen ortamında yakıtlar çoğunlukla CO_2 ve H_2O ’ya dönüşür. Ayrıca az miktarda bulunan kükürt, azot ve diğer elementlerin oksitleri oluşur.[2]

Eğer yanma tam olarak gerçekleşmezse ürün gazları içerisinde, CO , O_2 , kurum ve katran da oluşur. Bu durum hava kirliliği yükünü artırır. Katı yakıtların yanma ürünleri arasında bulunan kül veya kalıntıların yanmaya ısı üretim açısından herhangi bir katkısı olmadığı gibi ısıyı kısmen tüketici bir durumları söz konusudur.

Ayrıca yakıt içerisinde bulunan yanmamış hidrokarbonlar, metaller ve kendi kütleleri kara, su ve hava kirliliğinin önemli bir nedenidir. Yakıtların içerisindeki suyun yanma sırasında buharlaşması çevreye doğrudan bir zarar vermektedir. Suyun, yoğun SO_2 içeren baca gazlarında yoğunlaşma sınırında asit oluşumunu hızlandırıcı etkisi söz konusudur.[2,6]

Teknik olarak yanma; yakıtların (doğalgaz, petrol, kömür) temel yanıcı elemanları (karbon hidrojen ve azot) ile hava içersindeki yakıcı elemanın (oksijen) arasında yüksek sıcaklık larda ısı meydana getiren kimyasal bir süreçtir.

Yanma ve Hava Kirletici Emisyon Oluşumunu Etkileyen Başlıca Faktörler şunlardır.

- 1.İstenilmeyen Yakıt Bileşenleri (Kükürt, Azot, Nem , Kül),
- 2.Yakıt Yanıcı Uçucu Oranı,
- 3.Yakma Sistemi Tasarımı ve İşletme Özellikleri,
- 4.Yakıt Faz Durumu (Sıvı, Gaz, Katı)' dur.

Yanma, kimyasal tepkime gereği gaz fazında yanıcı ve yakıcı elemanlar arasında oluşur. Bu nedenle en kolay yanma gaz yakıtlarda, en zor yanmada katı yakıtlarda gerçekleşir. Yanma olayında yanmanın üç temel kuralı; Türbülans (karışım oluşturma süreci), Sıcaklık (Tutuşma süreci) ve Zaman (Yanmanın tamamlanması süreci) olarak belirlenen başlıca yanma şartlarının sağlanması gerekir.

Literatürde bu yanma koşulları yanmanın 3T (Turbulance, Temperature, Time) kuralı olarak bilinmektedir.Yanma olayı; yakıt ve havanın olabildiğince iç içe karıştırılarak yanıcı karışımın oluşturulması, yanıcı karışım sıcaklığının tutuşturma sıcaklığı üzerine çıkartılarak yanma tepkimesinin başlatılması, yanma tamamlanıncaya kadar yanıcı karışımın, sıcaklığı tutuşma sıcaklığı üzerinde olan yanma odasında kalmasını sağlayarak yanmanın tamamlanmasıdır. Bu üç süreç eş zamanlı, karşılıklı etkileşim içinde ve çok karmaşık oluşum mekanizmalarıyla gerçekleşmektedir.[9]

2.1.1. Yanma Koşulları

2.1.1.1. Türbülans (Yanıcı Karışım Oluşturma Süreci)

Yanmanın birinci koşulu, yakıtın çok küçük parçacıklar halinde hava ile iyi bir şekilde karıştırılarak, sürekli tutuşma bölgesinde yanıcı bir karışımın oluşturulmasıdır.

Hava ve yakıtın gaz fazında olduğu yakma sistemlerinde bu süreç kolayca gerçekleşmektedir. Bu süreçte homojen yanma oluşmaktadır. Sıvı ve katı yakıtlarda moleküler seviyede yanıcı bir karışımın oluşturulması, yakıtın önce çeşitli işlemlerle gaz fazına geçirilmesi gerekir.

Bu süreçte heterojen yanma oluşmaktadır. Yanıcı karışımın oluşturulması işlemi , yanmanın en zor ve pahalı bölümünü oluşturur[9]. Uygun bir yanmanın gerçekleştirilmesi için, sıvı yakıtların uygun ön ısıtma işlemlerinin ardından yakıt atomizasyonu (yakıtın parçalara ayrılması) ve buharlaşma işlemleri ile katı yakıtların (kömür) yakıt parçalama kurutma, uçucuların gazlaştırılması gibi işlemlerden geçirilmesi gerekir.

2.1.1.2. Sıcaklık (Tutuşma Süreci)

Tutuşma, yanıcı karışımın sıcaklığının tutuşma sıcaklığı üzerine çıkartılarak yanma reaksiyonunun başlatılması sürecidir. Yanma sonucu açığa çıkan ısı, alev sıcaklığını tutuşma sıcaklığının üzerinde tutarak yeni gelen yakıt-hava karışımının sürekli tutuşmasını sağlamaktadır. Tutuşma süresi yakıtın yapısal özelliğine (bileşimine, molekül yapısına, reaksiyon hızına), ortam özelliklerine (karışım oranlarına, yakıt parçacıklarındaki ısı aktarım durumuna, hıza) ve yanma odası özelliklerine (ön ısıtma, atomizasyon, brülör özellikleri) bağlıdır. Bu nedenle tutuşma sıcaklığının tanımlanması ve ölçülmesi kolayca yapılamamaktadır. Bazı sıvı ve gaz yakıtların tutuşma sıcaklıkları aşağıda verilmiştir.[9]

Tablo 2.1. Bazı Sıvı ve Gaz Yakıtların Tutuşma Sıcaklıkları .[9]

Yanıcı Gaz	Tutuşma Sıcaklığı (°C)	Sıvı Yakıt	Tutuşma Sıcaklığı (°C)
Karbonmonoksit (CO)	590	Benzin	330-520
Hidrojen (H ₂)	450	Benzol	520-600
Metan (CH ₄)	645	Gaz Yağı	230-242
Etan (C ₂ H ₆)	500	Fuel-Oil	212
Etilen (C ₂ H ₄)	485	Linyit Katran yağı	260
Propan (C ₃ H ₈)	490	Taşkömürü	315
Bütan (C ₄ H ₁₀)	460		

2.1.1.3. Zaman (Yanmanın Tamamlanması Süreci)

Yanma davranışı alev davranışı ile tanımlanır. Alev, yanıcı karışımın ısıya dönüştüğü yanma odası bölümüdür. Tüm karışım, tutuşma ve yanma süreçleri yanma olgusu kapsamında, eş zamanlı olarak karşılıklı etkileşim içerisinde ve çok karmaşık bir yapıda alevde meydana gelir.

Alevin olabildiğince yanma odasını doldurması, buna karşın ısıtma yüzeyleri ile temasta bulunmaması; yakıt, hava ve işletme koşullarındaki değişimlerden olabildiğince etkilenmeden kararlı kalması beklenir. Bundan dolayı tüm yakma sistemleri belirli yakıt türü, belirli yakıt özelliği ve yük değişimleri gözönüne alınarak tasarlanır.[2, 9]

2.1.2. Tam Yanma Hali

Bir yakıtın tam yanması $a = 0$ ve $\lambda > 1$ olduğu zaman gerçekleşir. Analizler hemen her zaman soğukta yapıldığından duman gazı içindeki su buharı yoğunlaşmıştır. Tam yanma halinde CO_2 için aşağıdaki bağıntı yazılabilir.[2]

$$CO_2 = \frac{1.886xC}{V_{gokr} + (\lambda - 1)xV_{ho}} \quad (2.1)$$

CO_2 'nin maksimum değeri $\lambda = 1$ durumudur. Eğer CO_{2max} ve CO_2 oranları teşkil edilirse;

$$\frac{CO_{2max}}{CO_2} = \frac{V_{gokr} + (\lambda - 1)xV_{ho}}{V_{gokr}} \quad (2.2)$$

$$\frac{CO_{2max}}{CO_2} = \frac{V_{gokr} + (\lambda - 1)xV_{ho}}{V_{gokr}} \quad (2.3)$$

bağıntısı elde edilir. Tam yanma halinde yanma gazları içindeki CO_2 ve O_2 arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi doğru orantılıdır.[2]

$$CO_2 + \frac{100}{21} \times CO_{2max} \times O_2 - CO_{2max} = 0 \quad (2.4)$$

2.1.3. Teorik Yanma Hali

Teorik yanma durumunda $0 < a < 1$ ve $\lambda = 1$ hali geçerlidir. Teorik yanma halinde de CO_2 ve O_2 oranı arasındaki ilişki bir doğrusal durum gösterir.

$$\text{CO}_{2\max} - \text{CO}_2 - \text{CO}_{2\max} \times \text{O}_2 - 2\text{O}_2 = 0 \quad (2.5)$$

Bir yanma olayında anında oluşan alevin ortalama sıcaklığı aşağıdaki bağıntı yardımıyla verilebilir.

$$T_A = 100 \times 4 \sqrt{\frac{(T_v - T_e) \times B \times V_r \times C_{pr} + 750}{4 \times p \times F_s}} - 273 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.6)$$

Burada; B : Saatte yakılan Yakıt Miktarı (Kg / h)

V_r : Her kg yakıtın verdiği duman gazı hacmi, (Nm^3 / Kg),

C_{pr} : Duman gazının özgül ısısı ($\text{Kcal} / \text{Nm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$),

T_v : Duman gazı sıcaklığı ($^\circ\text{C}$),

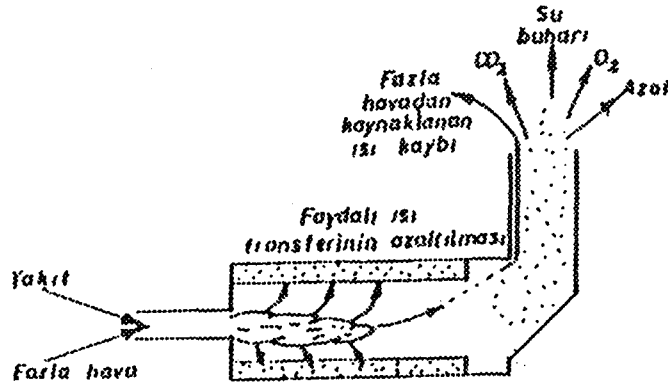
T_e : Yanma odası çıkış sıcaklığı ($^\circ\text{C}$),

F_s : Aleve karşı gelen boruların toplam yüzeyi (m^2),

p : Sabit olup eski ocaklarda 0.70, ızgaralı ve soğutma duvarlı yanma odalarında 0.46 'dır.

2.1.4. Fazla veya Eksik Hava İle Yanma

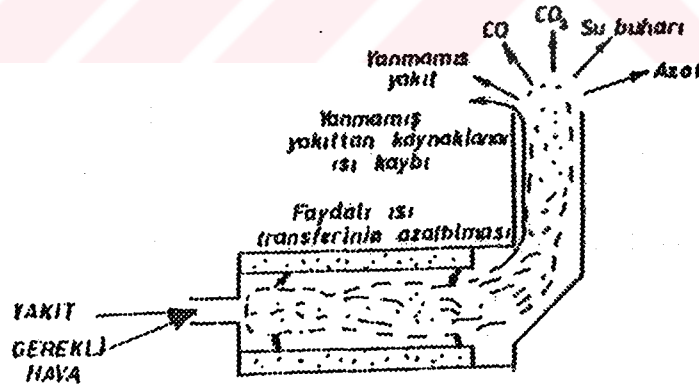
Pratik de stokiometrik hava ile tam yanma hiçbir zaman gerçekleşmez. Nasıl karıştırılmış olursa olsun, oksijenin bir kısmı yanma reaksiyonuna girmeden baca gazıyla dışarı atılır. Bu nedenle pratikte genellikle stokiometrik havadan daha fazla hava verilmesi yoluna gidilir.[2]



Şekil 2.1. Fazla Hava ile yapılan Yanma ve Ürünleri .[21]

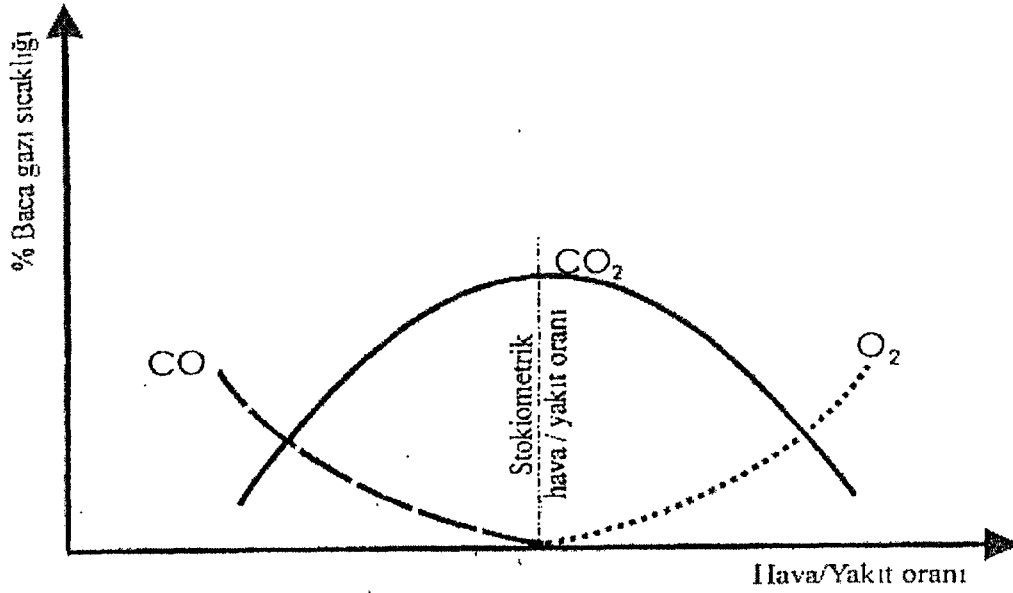
Fazla hava ile yapılan yanmalarda baca gazında daima oksijen bulunur. Diğer taraftan baca gazındaki azot yüzdesi de artar.

Fazla hava ile yapılan yanma ve ürünleri Şekil 2.1' de görülmektedir. Bir yanma olayının fazla veya eksik hava ile olup-olmadığı baca gazındaki CO₂, CO ve O₂ yüzdeleri ile kontrol edilebilir[3]. Eksik hava ile yanma ve ürünleri şekil 2.2' de görülmektedir.



Şekil 2.2. Eksik Hava ile yapılan Yanma ve Ürünleri. [21]

Baca gazı bileşimi, yakıtın cinsine ve hava-yakıt oranına bağlıdır. Baca gazı içinde başlıca karbondioksit ve azot bulunur. Eğer yakıtın bileşiminde hidrojen varsa, baca gazında su buharıda bulunur.



Şekil 2.3. Baca Gazı Sıcaklığı Hava Yakıt Oranına İlişkisi. [14]

Yukarıda belirttiğimiz hava / yakıt oranı stokiometrik oranda veya bu orandan az tutulursa, pratik olarak karbonun tam yanması mümkün olmaz. Bu durumda baca gazında karbon monoksit kalmaz, ancak fazla havadan ileri gelen oksijen bulunur. Baca gazının bileşimin ile hava yakıt oranı arasındaki bağıntı şekil 2.3’de görülmektedir.

2.1.5. Tepkime Isıları

Isı bir enerji şekli olup, Termodinamiğin 1. Kanunu (Enerjinin Korunumu Prensibi) ile belirlenir. Termodinamikte bir sisteme dışarıdan verilen ısı; pozitif, sistemden dışarıya atılan ısı ise; negatif olarak kabul edilir.[8]

Teknikte kimyasal tepkimeler sürekli veya süreksiz reaktörlerde gerçekleşmektedir. Sürekli sistemlerde genellikle basınç, sürtünmesiz sistemlerde ise hacim sabittir ($dP = 0$, $dV = 0$). Bu durumlarda tepkime ısıları $Q_{R,P}$ ve $Q_{R,V}$ potansiyel ve kinetik enerjiler ihmal edilerek, termodinamiği birinci kanuna göre aşağıdaki gibi hesaplanır.[2, 8]

$$dQ = dU + P \cdot dV \quad (2.7)$$

2.7 denklemi entalpinin tanım denkleminde elde edilen ;

$$H = U + PV \text{ ve } dH = dU + P. dV + V. dP \quad (2.8)$$

ifadesiyle;

$$dQ = dH - VdP \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabilir. Süreksiz reaktörlerde sabit hacimde oluşan tepkimeler için $dV = 0$ ile,

$$Q_{R,V} = \Delta H_{R,P} \quad (2.10)$$

sürekli sistemler için $dP = 0$ ile ;

$$Q_{R,P} = \Delta H_{R,P} \quad (2.11)$$

elde edilir. Görüldüğü gibi tepkime ısılarını süreksiz reaktörde iç enerji değişimi $\Delta U_{R,V}$ sürekli reaktörlerde ise tepkime entalpisi $\Delta H_{R,P}$ belirlemektedir[8]. Tepkimeler ısı alışverişini yönünden endoterm ve egzoterm olmak üzere ikiye ayrılırlar. Endoterm tepkimelerde ısı reaktöre dışardan verilir. Bu durumda ;

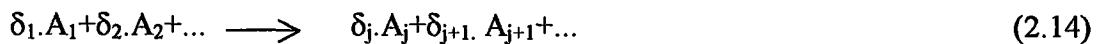
$$\Delta H_{R,P} > 0 \quad (2.12)$$

$$\Delta H_{R,V} > 0 \quad (2.13)$$

geçerlidir. Ekzotermik tepkimelerde ise dışarıya ısı verildiğinden $\Delta H_{R,P}$ ve $\Delta U_{R,V}$ negatif tir.[8]

2.1.6. Tepkime Entalpisi

Tepkime entalpisinin hesabı için;



denklemi gözönüne alınır. Burada $A_1, A_2, \dots$ reaktanlar; $A_j, A_{j+1} \dots$ tepkime ürünleridir.[8]

Tepkime entalpisi:

$$\Delta H^0_{R,T} = \Delta H^0_{R,T_0} + \int \Delta(\delta_i.C_{Pi}) dT \quad (2.15)$$

Tablolar halinde ilgili dokümanlarda $\Delta H^{\circ}_{R,T}$ molar tepkime entalpisi değerleri çeşitli tepkimeler için sıcaklığa bağlı olarak verilmektedir. Bu değerler ideal şartlarda geçerlidir.

2.1.1.9. Kimyasal Denge

Kimyasal denge, bir tek veya birden fazla tepkimelerin yer aldığı bir sistemde tepkimelerin durduğu, madde ve enerji dönüşümlerinin sıfırlandığı durumdur. Bu durum, sıcaklık, basınç ve tepkimelerin tipine bağlıdır.

Dış şartların sisteme etkisi önlenirse denge durumu kalıcı olur. Eğer tepkimeler aynı fazlardan oluşuyorsa homojen dengeden, ayrı fazlar arasında oluşuyorsa heterojen dengeden söz edilir. Denge durumu için hesaplanmış kimyasal dönüşüm, belirli tepkime şartları için, erişilebilecek en yüksek dönüşümdür. Bu nedenle bir reaktörün tasarımında denge dönüşümünün bilinmesi büyük önem taşımaktadır.[8,19]

2.1.2. Isıl Değeri

Tam yanmada birim miktarda yakıttan elde edilen ısıdır. Bu birim miktar katı ve sıvı yakıtlar için kg, gaz yakıtlar için Nm^3 tür.

Bir normmetreküp (Nm^3), bir gazın 1 atm. basınç ve 273,154 K sıcaklık ile belirli normal şartlardaki bir metreküpüdür. Genel olarak hacimsel debiler m^3/sn olarak ve Nm^3 cinsinden ifade edilir.

P basıncında, T sıcaklığında ölçülen debi m^3 cinsinden, V_T ise:

$$V_o = \frac{P}{1 \text{ Atm}} = \frac{273.15}{T} \times V_T \quad (2.16)$$

formülüne göre Nm^3 'e çevrilir.

Isıl değerin boyutu, katı ve sıvı yakıtlar için (Kcal/Kg), gaz yakıtlar için ise; (Kcal / Kmol) veya (Kcal / Nm^3) olarak belirlenir. Yakıt rutubetli veya bünyesinde hidrojen ve oksijen taşıyorsa, tepkime ürünleri arasında doğal olarak su bulunmaktadır.

Yakıt içerisindeki suyun buhar veya sıvı şeklinde oluşuna göre, Isıl Değeri Alt Isıl Değer(H_a) ve Üst Isıl Değer (H_u) olarak iki şekilde tanımlanır. Yakıttaki yanıcı bileşenler oksijenle ayrı ayrı tepkimeye girerler.

Tüm yakıtlar için geçerli ısı değeri, bileşenlerin konsantrasyonları ilgili ısı değeriyle çarpılıp toplanarak hesaplanır. Katı ve sıvı yakıtlar için kütle yüzdeleri cinsinden konsantrasyonları belirlemek gerekir.[21]

Eğer m_Y kg. yakıtta, m_C kg. karbon, m_H kg. hidrojen, m_S kg. kükürt, m_W kg. su, m_N kg. azot, m_O kg. oksijen ve m_a kg. yanıcı olmayan maddeler bulunuyorsa, konsantrasyonlar aşağıdaki gibidir.

$$c = \frac{m_C}{m_Y} \quad h = \frac{m_H}{m_Y} \quad s = \frac{m_S}{m_Y} \quad w = \frac{m_W}{m_Y} \quad n = \frac{m_N}{m_Y} \quad o = \frac{m_O}{m_Y} \quad (2.17)$$

şeklinde belirlenir.

Bu tanımlamadan açıkça görüldüğü gibi kütleli miktarların toplamı 1'e eşittir.

$$c + h + s + w + n + o + a = 1 \text{ olmaktadır.} \quad (2.18)$$

2.1.7. Katı ve Sıvı Yakıtlar İçin Isıl Değer

Yakacakların ısı değerleri özel kalorimetreler yardımıyla tespit edilmektedir. Katı yakıtlar için “ Bomba Kalorimetresi ” sıvı yakıtlar içinse; “ Junkers Kalorimetresi ” kullanılır.[14]

$$H_a = 8100 \times C + 34250 \times \left(H - \frac{O}{8}\right) + 2500 \times S - 600 \times (W + 9 \times H) \quad (2.19)$$

değeri ile belirlenir. Bu formüldeki üç terim üst ısı değerini belirler.

$$H_a = H_u - 600 \times (W + 9 \times H) \quad (2.20)$$

ifadedeki ikinci terim yakıtın bünyesinde var olan ve yanmadan kaynaklanan suyun buharlaşma ısını temsil eder. Yakıt kuru ve bünyesinde hidrojen yoksa $w = 0$, $h = 0$ dır. Bunun sonucunda $H_a = H_u$ geçerlidir.[14,21]

2.1.2.2. Gaz Yakıtlar İçin Isıl Değer

Gaz halindeki yakıtlar çeşitli gazların karışımından meydana gelir. Bir gazın hacmi basınç ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Gaz halindeki yakacağın alt ve üst ısı değerleri denklem 2.21 ve 2.22' de görüldüğü gibidir.[14]

$$H_a = 30.2 \times CO + 30.5 \times H_2 + 95.2 \times CH_4 + 168.2 \times C_n H_m \quad [Kcal / Nm^3] \quad (2.21)$$

$$H_a = 30.2 \times CO + 25.7 \times H_2 + 85.5 \times CH_4 + 153.7 \times C_n H_m - H_2O \quad [Kcal / Nm^3] \quad (2.22)$$

2.1.8. Koloidal Yakıtlar İçin Isıl Değer

Koloidal yakıt; öğütölüp tam toz haline getirilen bir katı yakıtın, bir sıvı yakıtın içine karıştırılmasıyla elde edilir[14]. Koloidal yakıtı oluşturan katı yakıtın alt ısı değer H_1 ve sıvı yakacağın ki H_2 ise; bu takdirde koloidal yakacağın alt ısı değeri aşağıdaki gibidir.

$$H_a = H_1 \times R_1 + H_2 \times R_2 \quad [Kcal / Kg.] \quad (2.23)$$

2.2. YANMA REAKSİYONLARI

Uygun oranlarda karıştırılmış hava ve yakıt yanma odasına (ocak) gönderilir. Ocak içinde yanma olayı cereyan ettikten sonra meydana gelen gazlar (baca gazları) dışarı atılır. Reaksiyona giren her bir atom veya molekül değişik oranlarda oksijen ile birleşir. Dolayısıyla her yakıt için gerekli hava birbirinden farklıdır. Herhangi bir yakıt için gerekli hava miktarını hesaplamak üzere, yakıtlarda bulunan her elementin yanma reaksiyonunu veren denklemler aşağıda verilmiştir.[2,6]

2.2.1. Hidrojen Yanması

İki molekül hidrojen, bir molekül oksijenle birleşerek iki molekül su verir.

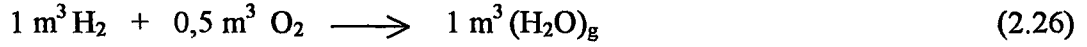


Reaksiyon sonunda meydana gelen suyun sıvı veya buhar halinde bulunuşu baca gazının sıcaklığına bağlıdır. Baca gazı yeteri derecede soğutulursa, buhar yoğunlaşarak su meydana gelir. Aksi halde su baca gazından buhar olarak uzaklaşır.

(2.1) reaksiyona göre, 1 mol hidrojenin yanması için 0,5 mol oksijen gereklidir.

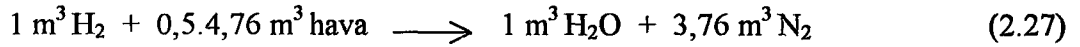


Avagadro Kanuna göre bütün gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda mol bulunacağından (2.1) reaksiyonu birim hacimde hidrojenin yanması içinde yazılabilir.



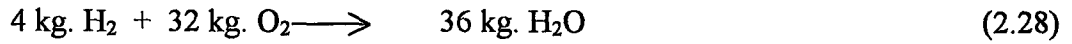
Yani 1 m³ hidrojen, 0,5 m³ O₂ ile birleşerek 1 m³ su buharı meydana getirir.

Aynı reaksiyonda oksijen havadan temin edilecek olursa, gerekli hava hacmi,

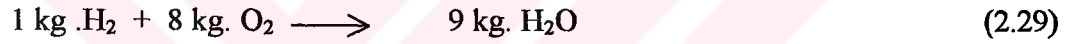


olarak bulunur.

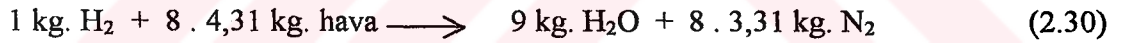
1 kg. hidrojenin yanması için gerekli oksijen ihtiyacı ise, şöyle hesaplanabilir.



veya,



Hidrojenin hava içinde yanması halinde gerekli hava ihtiyacı şöyle hesaplanır.[2]

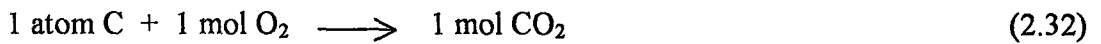


2.1.3. Karbonun Yanması

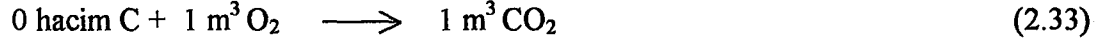
Karbon gerekli oksijen ve yanma sıcaklığı temin edilirse, tam olarak yanar ve karbon dioksit verir.



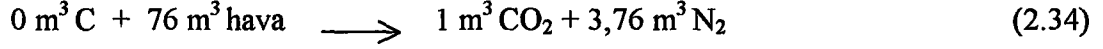
Katı maddelerin hacimleri gazların yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğundan, katı maddeler yakılırken, reaksiyona giren madde olarak yalnız gazların hacmi gözönüne alınır. Buradan (2.7) reaksiyonu şöyle yazılabilir.



2.33 reaksiyonu şu şekilde de yazılabilir.

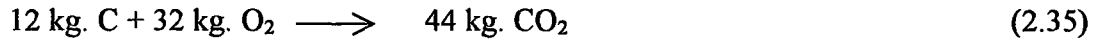


Karbonun hava içinde yanması halinde,

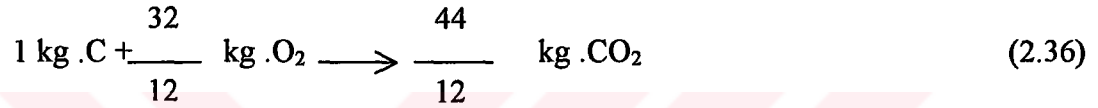


elde edilir.

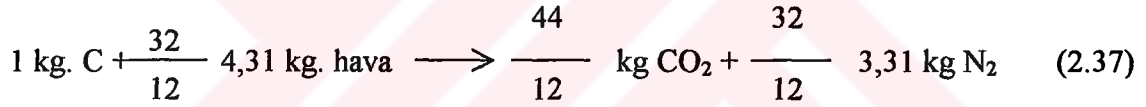
Karbonun yanma reaksiyonunun kütleli ifadesi ise şöyledir.



veya



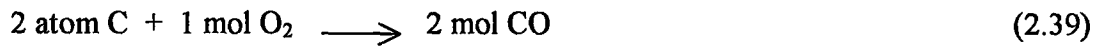
Karbonun hava içinde yanması halinde,



elde edilir.[2,6]

2.1.4. Karbonun Eksik Yanması

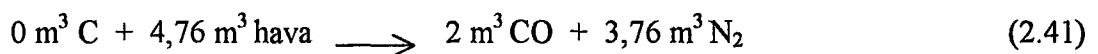
Eğer yeterli oksijen bulunmaz ise, karbon, karbondioksit haline kadar değil, karbon monoksit haline kadar yanabilir.



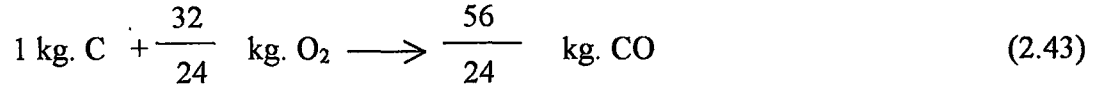
Bu reaksiyonu birim hacim için yazacak olursak,



Hava içinde yanma halinde,



Karbonun karbon monoksit kadar yanması reaksiyonunda kütleli bağıntı şöyledir: [2,6]

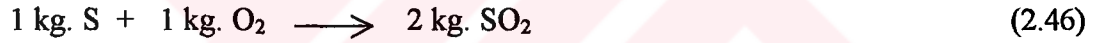
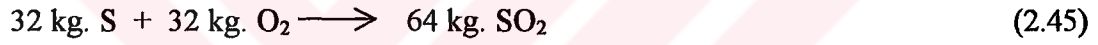


2.1.5. Kükürdün Yanması

Kükürt bazı sıvı ve katı yakıtlarda az miktarda bulunur. Kükürdün yanma reaksiyonu sonunda,

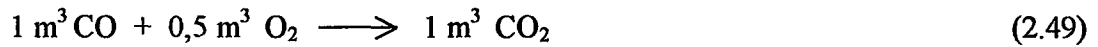
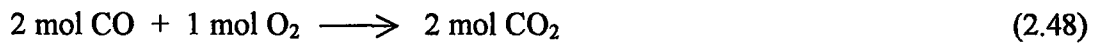


Kükürt dioksit meydana gelir. Bu reaksiyonun kütleli ifadesi şöyle yazılabilir. [2]

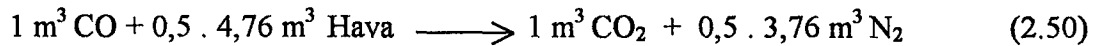


2.1.6. Karbon Monoksitin Yanması:

Karbon monoksit oksijenle birleşerek karbondioksit verir.



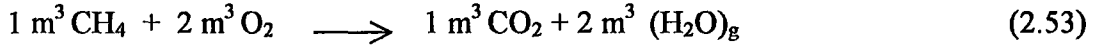
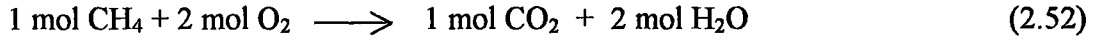
Karbon monoksitin hava içinde yanması halinde ise,



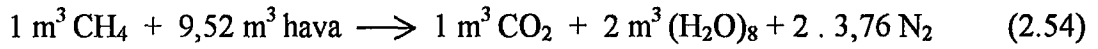
bağıntısı elde edilir. [2]

2.1.7. Metanın Yanması

Metanın yanması sonucu karbon dioksit ve su meydana gelir.[2]



Metanın hava içinde yanması halinde ise,



elde edilir.

2.3. YAKITLAR

Yakıldıkları zaman ortama kullanılabilir miktarda ısı veren maddelerdir. Fiziksel durumlarına göre yakıtlar; katı yakıtlar, sıvı yakıtlar ve gaz yakıtlar olarak sınıflandırılırlar. Bunlar aşağıda ayrı ayrı olarak incelenmiştir.[14]

2.3.1. Katı Yakıtlar

Türkiye'nin en önemli enerji kaynağı katı yakıtlardır. Katı yakıtların en önemlisi kısmını oluşturan linyitlerin genelde nem, yüksek kükürt, yüksek kül içerdikleri ve buna ilave olarak düşük ısıl değerlikli oldukları Tablo 2.2' de görülmektedir. Linyitlerimizdeki yüksek kükürt içeriği ve düşük ısıl değer özellikleri birleşince yanma sonucunda kükürtdioksit yayılımı açısından tehditler ortaya çıkmaktadır. Linyitlerin fiziksel özellikleri rezervden rezerve ve aynı rezerv içerisinde dahi önemli değişiklikler göstermektedir.

Çok kırılgan olması nedeniyle madencilik, yükleme, boşaltma ve taşıma gibi işlemler sürecinde % 60' lara varan oranlarda ince taneciklere kırılmakta veya tozlaşmaktadır. Bunun sonucunda atmosferi doğrudan kirletme ve yanmadaki zorluklar nedeniyle hava kirliliğine neden olmaktadır. Tablo 2.2 'de Türkiye' de bulunan bazı linyit rezervlerinin kimyasal bileşimleri ve ısıl değerleri verilmiştir. [2,14]

Tablo 2.2. Türkiye’de Bilinen Bazı Linyit Rezervleri ve Özellikleri.[14]

Sahanın Yeri	Kömür Analizleri			Isıl Değer	
	Nem (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Koal/Kg	Kj/Kg
Edine-Demirhanlı	40	2.65	-	2700	2.290
Tekirdağ-Malkara					
Hasköy	29.78	25.70	1.53	2490	10.410
Saray	38.02	17.52	2.02	2500	10.450
Bursa-Çivili Sağırlar	31.73	21.03	1.70	2695	2.290
Çanakkale-Çan	23.34	23.18	3.18	3254	13.600
Manisa-Soma-Eynes					
Sarıkaya-Dereköy	18	20	1.03	4200	17.55
Tarhala-Denis					
Muğla-Yatağan					
Eskihisar	34.93	20.75	0.99	2782	2.630
Kütahya-Seyitömer	33.54	19.10	1.36	2750	2.495
Ankara-Bey pazarı	0.10	23.10	4.7	3144	13.140
Sarasun-Havza	44	20	1.01	1600	6.690
Çankırı-Orta	51.50	23.50	0.57	800	3.345
Sivas-Kangal	47.88	21.64	-	1342	5.610
Bingöl-Kozova	44.04	24.81	0.6	2060	8.610

2.3.2. Sıvı Yakıtlar

Genellikle ham petrolün damıtılması (distilasyon) sonucu elde edilen ürünlerdir. Ham petrol, bitki ve hayvan fosillerinin çok uzun süre toprak altında kalması ve bu arada bir takım bakteriyolojik etkilerle değişime uğraması sonucu oluşan siyah renkli yanıcı bir sıvıdır. Ham petrolün, rafinerilerde kademeli distilasyonu sonucu elde edilen sıvı yakıtlara teknikte “yakıt yağları (fuel-oil)” denmektedir. Sıvı yakıt sınıfında petrolden türetilmiş değişik yakıtlar anlaşılmaktadır. Ülkemizde kullanımının yoğunluğu nedeniyle fuel-oil’in özellikleri incelenmiştir.

Fuel-oil petrol rafinasyonunda asfalt ve alt ürünün üzerinde çekilebilen kaynama sıcaklığı geniş bir aralığı kapsar. Rafinasyon teknolojisinde yapılan seçime ve rafineriye gelen ham petrolün kaynağına bağlı olarak, fuel-oil' in değişik numaralarının yapılarında değişebilir. Beş ayrı sınıfa ayrılan fuel-oil ile ilgili esaslar TS 2277' de belirtilmiştir.

Belirlemede esas alınan parametreler yoğunluk ve viskozitedir. 1, 2 ve 4 numaralı fuel-oil ev yakıtı olarak buna karşılık 5 ve 6 numaralı yakıtlar ağır sanayii yakıtı olarak tanımlanmaktadır. Yüksek numaraları fuel-oil' in pompalanması ve etkin yakılabilmesi için ısıtılması gereklidir. Ham petrolün rafineride distile edilmesi suretiyle elde edilen sıvı yakıtlar sırasıyla; benzin, gazyağı, motorin, çok ince fuel-oil, ince fuel-oil, orta fuel-oil, orta ağır fuel-oil ve çok ağır fuel-oildir. Değişik fuel-oil' lere ait bazı karakteristik değerler ve özellikler aşağıda verilmiştir. [14]

Tablo 2.3. Fuel-Oil İçin Karakteristik Değerler .[14]

Numarası	No 1	No 2	No 4	No 5	No 6
Tip	Gaz yağı	Damıtılmış	Çok Hafif Artıklar	Hafif Artıklar	Artıklar
Renk	Açık	Amber	Siyah	Siyah	Siyah
Yoğunluk (gr/cm ³)	0,8251	0,8654	0,9279	0,9529	0,9861
Viskozite	1,6	2,68	15,0	50,0	360,0
Kükürt (%)	0,1	0,4-0,7	0,4-1,5	Max 2,0	Max 2,8
Kül (%)	Eser	Eser	0,02	0,05	0,08
Isıl Değer (kcal/lt)	9121	9387	9720	9853	9986
Isıl Değer (kj/lt)	38125	39240	40630	42850	41740

2.3.2.1. Sıvı Yakıtların Üstünlükleri

Sağladıkları kolaylıklar nedeni ile bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de bir çok sanayi tesisi ya doğrudan doğruya sıvı yakıt ile çalışmak üzere kurulmuş veya katı yakıtlı sistemlerden sıvı yakıtlı sistemlere geçiş yapılmıştır. Sıvı yakıtların katı yakıtlara göre aşağıdaki üstünlükleri vardır.[14]

- Isıl değerleri aynı ağırlıktaki en iyi kömüre göre takriben %35 daha fazladır.
- Elde edilecek aynı ısı miktarı için gerekli depolama hacmi, sıvı yakıtlarda katı yakıtlara göre %50 daha azdır.
- Sıvı yakıt kullanılan tesislerde yanma sonucunda kül kalmadığından ocakların temizlenmesine ihtiyaç yoktur.
- Sıvı yakıtların depo edilmeleri halinde ısıl değerlerinde herhangi bir azalma olmaz.
- Sıvı yakıt kullanımında yanma için gerekli hava tam olarak ayar edilebildiğinden baca kaybı daha düşüktür.
- Sıvı yakıt kullanılan tesislerde yakma işlemi o anda mevcut olan yük ile ilgili olarak otomatik bir şekilde ayarlanabilir.
- Sıvı yakıt kullanılması ile yanma verimi yükselir.
- Sıvı yakıtla çalışan tesislerde gerekli personel sayısı daha azdır.

2.3.3. Gaz Yakıtlar

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

LPG ve Doğalgaz sanayide en çok kullanılan gaz yakıtlardır. Gaz yakıtlar yanma sonucu hiç artık bırakmayışı çok az hava fazlalığına ihtiyaç duyulmasından dolayı buhar üretimi için ideal yakıtlardır. Hava gazı, su gazı gibi sentetik olanlarından başka ham petrolün distilasyonundan üretilen sıvılaştırılmış petrol gazı (lpg) ve doğalgaz gibi çeşitleri vardır. Buhar kazanlarında kullanılabilecek en önemli gaz yakıt doğal gazdır. [2,14]

Ülkemizde yeterli miktarda doğalgaz kaynakları olmadığından çoğunlukla buhar kazanlarında 6 numara fuel-oil kullanılmaktadır. Tablo 2.4’ de bazı gaz yakıtlara ait özellikler verilmiştir. Bu gaz yakıtlar özellikle çevreci olduklarından dolayı ülkemizde ve diğer ülkelerde çok kullanılmaktadır.[14]

Tablo 2.4. Bazı Gaz Yakıtların Özellikleri.[14]

Yakıt Cinsi	Yoğunluk	Isıl Değer	
LPG	0,5-0,58	2,000 kcal/kg	45,980 kJ/kg
DOĞAL GAZ	0,77-0,87	8,900 kcal/m ³	37,41 MJ/m ³

3. BÖLÜM

SIVI YAKIT YANMASI

3.1. YANMANIN TERMODİNAMİĞİ VE REAKSİYON KİNETİĞİ

Yanma, kimyasal reaksiyon boyunca enerjinin açığa çıktığı bir olaydır. Burada yanma, tepkimeye giren elementler ve ürünler tarafından belirlenir. Tam ürünler ve reaksiyon işlemi kimyasal analizlerle belirlenir. Açığa çıkan enerjinin kendine özgü kimyasal bir türü; ya iç enerji yada entalpi biçimde verilmektedir. Bu aşağıdaki bağıntı ile verilir.[1]

$$H=U +pV \quad (3.1)$$

Burada H : Entalpi' yi ,

U : İç enerji' yi ,

pV çarpımı : Sistemde yapılan mekanik işi belirtmektedir.

Diğer enerjilerle bağlantı kurmak için referans bir durum seçilmektedir. Bu referans durum oda sıcaklığında (25° C) ve atmosferik basınçta (1Atm) saf maddenin sabit durumudur. Bir kimyasal reaksiyon genelde aşağıdaki biçimde tanımlanabilir;

$$S_A .A +S_B .B == S_P .P + S_Q .Q + ... \quad (3.2)$$

Burada S_A ve S_B , A ve B tepkiyenleri için stokiometrik katsayıları, S_P ve S_Q ; P ve Q ürünlerinin stokiometrik katsayılarıdır. Kimyasal reaksiyonlar için genelde entalpi değişimi; tepkimeye girenlerin ve ürünlerin entalpileri farkı olarak tanımlanmaktadır.

$$\Delta H_{298}^{\phi} = \sum S_X \cdot \Delta H_{f298}^{\phi} (X) \quad (3.3)$$

ΔH_{298}^{ϕ} ; Normal şartlar altında reaksiyondaki entalpi değişimini,

S_X ; Tepkimeye girenlerin ve ürünlerin stokiometrik katsayılarını (tepkimeye girenler için negatif, ürünler için pozitif) göstermektedir.

ΔH_{f298}^{ϕ} ; Tepkimeye girenler ve ürünlerden oluşan standart entalpileri göstermektedir.

Yukarıdaki kimyasal reaksiyonun nicel davranışını tanımlamak için bir oran kanunun tanımlanması gerekir. Bu denklem 3.4.' de görülmektedir.

$$-\frac{1}{S_A} \frac{d[A]}{dt} = \frac{1}{S_B} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{S_P} \frac{d[P]}{dt} = \frac{1}{S_Q} \frac{d[Q]}{dt} = k \cdot [A]^a \cdot [B]^b \quad (3.4)$$

Burada k: oran sabiti, a, b: A ve B reaksiyonlarına giren reaksiyon sabitleridir. Oran sabiti genellikle, sıcaklığa bağlıdır ve konsantrasyondan bağımsızdır. Oran sabiti normal de Arrhenius biçiminde ifade edilir. Bu aşağıdaki gibi verilebilir:

$$k = A \cdot \exp \left[-\frac{E}{R.T} \right] \quad (3.5)$$

Burada A : Arrhenius ön faktörü ,

E: Reaksiyonun aktivasyon enerjisi (kJ / kmol) ,

R: Üniversal gaz sabiti ,

T: Sıcaklığı (K) göstermektedir.

3.2. GAZ YAKITLARIN YANMASI

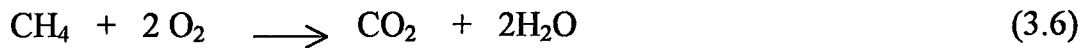
Gaz yakıtlar esas olarak ısı değerlerine göre sınıflandırılırlar. Bunlar artık gazlar (düşük ısı değerinde), şehir gazı, doğalgaz v.s. dir.

Çok yaygın olarak kullanılan gaz yakıt; doğalgaz' dır. Doğalgazın kömür veya petrol ürünlerine göre birim kg. ısı değeri daha yüksektir[1,19]. Doğalgaz, ham petrolle birlikte bulunur, genellikle derinlerde dir. hakim olan yanıcı bileşim metan (CH₄)' dır. Doğalgazın bileşimi bir kaynaktan diğer kaynağa göre değişkendir. Doğalgazın kimyasal bileşimi Tablo 3.1' de verilmiştir.[1,19,20]

Tablo 3.1.Doğalgazın Kimyasal Bileşimi.[1]

BİLEŞEN	MOL (%)
CH ₄	94.4
C ₂ H ₆	3.22
C ₃ H ₈	0.50
Daha yüksek Hidrokarbonlar	0.27
N ₂	1.46
CO ₂	0.05

Doğalgazın bileşiminde metanın yanı sıra; etan, propan, bütan, pentan ve bazı yüksek hidrokarbonlar bulunmaktadır. Bunlar, metana göre daha az miktarlardadır. Doğalgaz' ın molar olarak %90-95' ni metan gazı (CH₄) oluşturur. Metanın ısı değeri 38,61 MJ.m⁻³ ve havaya göre izafi (görelî) yoğunluğu 0,6' dır. Kimyasal bir denklemlle metanın yanma reaksiyonu aşağıdaki gibi gösterilebilir.



3.6' ı reaksiyonunda, 1 mol metanın oksitlenmesi için 2 mol oksijene ihtiyaç vardır. 1 mol karbon dioksit ve 1 mol su yanma ürünleri olarak açığa çıkar. Eğer hava içindeki azot seyreltilmiş olarak bulunursa metanın stokiometrik yanması için teorik hava ihtiyacı 9,52 mol' dür. Islak yanma ürünleri 10,52 mol' dür ve kuru yanma ürünleri 8,52 mol' dür.[1]

3.3. HAVA –YAKIT KARIŞIM ORANININ TANIMI

Stokiometrik yanma şartlarından birincisi bağıl yakıt-hava miktarıdır ve bunlar yanmanın tanımlanması için teorik minimum değerlerdir. Bir yakıtın analizi bilindiği zaman kolaylıkla hesaplanmaktadır. Pratik uygulamalarda, stokiometrik yanma hemen hemen hiç gerçekleşmez. Hava-yakıt karışım oranı (λ), yanmanın tanımlanması için uygun bir parametredir ve aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\lambda = \frac{\text{Gerçek Hava – Yakıt Oranı}}{\text{Teorik Hava – Yakıt Oranı}} = \frac{(H/Y)_G}{(H/Y)_T} \quad (3.8)$$

1 kg yakıt için kaç kg. havanın gerekli olduğu kullanılan yakıtın bileşimine bağlıdır. Katı ve sıvı yakıtların oksijen ihtiyacı genellikle kütleli olarak verilir. Buna karşılık gaz yakıtların bileşimi genellikle hacimsel olarak verildiğinden oksijen ihtiyaçları da hacimsel olarak verilir. Kimyasal reaksiyonlar göz önüne alınarak hesap edilen oksijen ihtiyacına “stokiometrik oksijen ihtiyacı”denir[2,14]. Stokiometrik oksijen ve buna karşılık olan stokiometrik hava, yakıtı yakma için gerekli teorik miktardır. Pratikte genellikle bu miktardan daha fazla hava verilmesi gerekir.

Yakıtın kimyasal bileşimi belli ise, 2. bölümde verilen yanma reaksiyonları gözönüne alınarak, birim kütlede veya birim hacimde yakıtı yakmak için gerekli stokiometrik havanın kütlesi veya hacmi hesap edilebilir.

1 kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesine “stokiometrik hava-yakıt oranı ”denir. Aynı oran; 1 m³ yakıtı yakmak için gerekli stokiometrik havanın m³ olarak hacmi hesaplanmak suretiyle hacimsel olarakta bulunabilir.[14]

$$\text{Stokiometrik Hava -Yakıt Oranı} = \frac{\text{1 kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi, kg}}{\text{1 kg Yakıt}} \quad (3.9)$$

Bir yakıtın stokiometrik hava-yakıt oranını tayin etmek için şu yol izlenir;

1- 1 kg yakıtı teşkil eden her bileşen için stokiometrik oksijen kütlesi hesap edilir. Bunların toplamı 1 kg yakıtı yakmak için gerekli stokiometrik oksijenin kütlesidir.

2- Yakıtın bileşiminde oksijen varsa bu miktar yukarda elde edilen değerden çıkarılır.

3- 1 kg yakıt için gerekli stokiometrik oksijen kütlesi 0,232' ye bölünerek, stokiometrik hava kütlesi bulunur. Bu değer söz konusu yakıt için stokiometrik hava-yakıt oranıdır.

Gaz yakıtların bileşimi hacimsel olarak verilir. Bu takdirde stokiometrik hava/yakıt oranını da hacimsel olarak bulmak uygun olur. Hacimsel hava yakıt oranı aşağıdaki yolla tayin edilir :

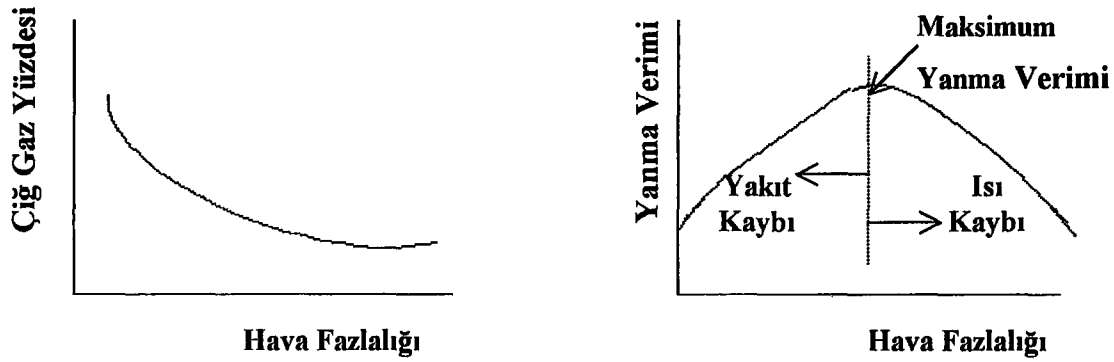
1- 1 m³ yakıt içinde bulunan her bileşen için gerekli stokiometrik oksijen hacmi tayin edilir. Bunların toplamı 1 m³ yakıt için gerekli stokiometrik oksijenin hacmini verir.

2- Yakıt içinde oksijen mevcut ise, oksijenin hacmi bu toplamdan çıkarılır.

3- 1 m³ yakıt için gerekli havanın hacmi, oksijenin hacmi 0,21' e bölünerek bulunur.

Gerçek yanmalarda stokiometrik hava/yakıt oranı kullanılmadığı halde, ocağa verilen havanın stokiometrik havadan ne kadar eksik veya fazla olduğunu tayin için, stokiometrik (teorik) hava -yakıt oranını daima tayin etmek gerekir. Teorik olarak yakıt bileşenlerinin gerekli mol oranlarında yakıtın tam yanmasını sağlayacağı düşünülür.

Ancak yakıt oksijen temas yönteminin %100 verimle gerçekleşmemesi, yanma sıcaklığının sağlanamaması gibi nedenlerle tam yanma stokiometrik oranlardaki oksijen ile gerçekleştirilemez. Stokiometrik havadan daha yüksek oranlarda hava fazlalığı uygulaması gerekmektedir. Herhangi bir yanma sisteminde, hava fazlalığı ile çığ gaz derişimi ve yanma verimi arasındaki bağıntı Şekil 3.1' de gösterilmiştir.[2,6,14]



Şekil 3.1. Hava Fazlalığı ile Çiğ Gaz Derişimi ve Yanma Verimi Arasındaki İlişki .[14]

Şekil 3.1' de görüldüğü gibi hava fazlalık miktarı arttıkça karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbonlardan oluşan çiğ gaz yüzdesi azalmaktadır. Ancak yanma veriminin hava fazlalığındaki artış ile artıp bir tepe noktasından geçtikten sonra düştüğü görülmektedir.

Tepe noktasına kadar artırılan hava, oksijen yakıt temas sistemini olumlu yönde etkilediği için yama verimini artırmıştır. Ancak sisteme beslenen havanın içerisindeki oksijenle birlikte bulunan azotun da yanma sıcaklığına ısıtılma gereği, tepe noktasından sonra sıcaklığı düşürmekte ve yanmanın tamamlanmamasına neden olmaktadır. Bu nedenle yakıt ve yakma sisteminin bir fonksiyonu olarak değişen tepe noktasını her sistem için belirlemek, yanma işleminde çalışma koşulu olarak benimsenmelidir. Bu yolla hem hava kirliliği önlenmiş olur hem de tam yanma sağlanır[6,14]. Yanmanın tam olabilmesi için yeterli miktarda oksijenin yakıtı verilmesi gerekir. Teorik oksijen adı verilen bu miktarı O_{min} şeklinde gösterilirse; tam yanma için yakacağı verilmesi gereken hava miktarı;

$$L_{min} = \frac{O_{min}}{0.232} \quad [kg/kg] \quad (3.10)$$

Uygulamada yanma havası çalışma şartlarına göre %10-40 arası fazla tutulur. Z hava fazlalık miktarı olmak üzere;

$$L = L_{min} + Z/100 \quad (3.11)$$

Hava fazlalık katsayısı 3.8' deki denklemden başka aşağıdaki gibi;

$$\lambda = \frac{L}{L_{\min}} \quad (3.12)$$

ifade edilebilir.

Katı ve sıvı yakıtlar için teorik hava :

$$L_{\min} = \frac{100}{3} \times O_{\min} \quad [Nm^3 / kg] \quad (3.13)$$

Gerçek hava miktarı ise :

$$L = \lambda \times \frac{100}{3} \times O_{\min} \quad [Nm^3 / kg] \quad (3.14)$$

Tam yanma için gerekli O_2 miktarı :

$$Q_{\min} = \left(\frac{8}{3} \times C + 8 \times H + S - O \right) \quad [Kg / Kg] \quad (3.15)$$

Gerçek hava miktarı :

$$L = \lambda \times L_{\min} = \lambda / 0.232 \times \left(\frac{8}{3} \times C + 8 \times H + S - O \right) \quad [Kg / Kg] \quad (3.16)$$

Yanma için gerekli teorik oksijen miktarı :

$$Q_{\min} = \frac{22.4}{4} \left(\frac{C}{3} + H + \frac{S}{8} - \frac{O}{8} \right) \quad [Nm^3 / Kg] \quad (3.17)$$

Teorik hava miktarı :

$$L_{\min} = 8.89 \times C \times 26.7 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 3.345 \quad [Nm^3 / Kg] \quad (3.18)$$

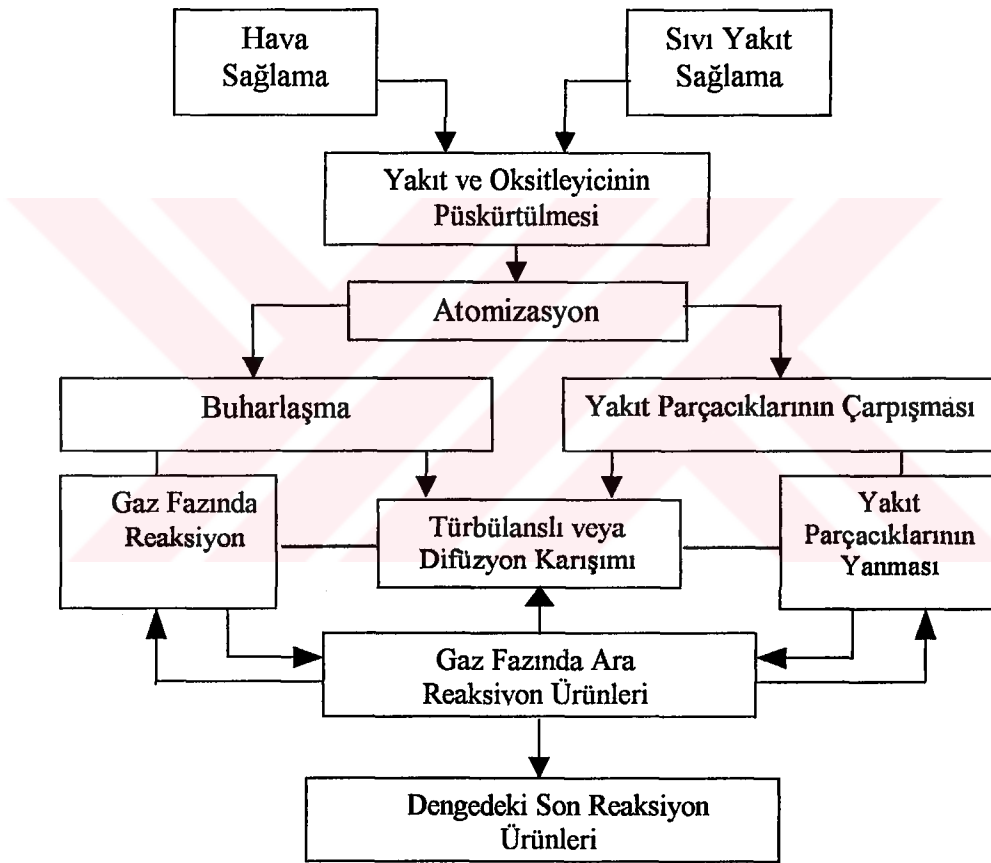
Gaz yakıtlar için teorik oksijen ve teorik hava miktarı :

$$Q_{\min} = \left(\frac{1}{2} \times H_2 + \frac{1}{2} CO + 2 \times CH_4 + 2.5 \times C_2H_2 + 3C_2H_4 - O_2 \right) \quad [Nm^3 / Nm^3] \quad (3.19)$$

$$L_{\min} = 4.77(H_2 + CO) / 2 + 2 \times CH_4 + 2.5 \times C_2H_2 + 3C_2H_4 - O \quad [Nm^3 / Nm^3] \quad (3.20)$$

3.4. SIVI YAKIT YANMASI

Sıvı yakıt yanması buhar üretiminden, ocaklara, ısıtma sistemlerine, diesel motorlara, yer roketlerine kadar uzanan geniş bir uygulama alanı vardır. Sıvı yakıtları yakmak için; 1880' li yıllarda ilk kez püskürtmeli yanma uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Küçük damlacıklar içinde bulunan sıvı yakıtın ayrışması yada atomizasyonu sıvı yakıt yanmasının esasını oluşturur. Burada ısı ve kütle transferini artırmak için yüzey alanının artırılması gerekir.[1,12,22]



Şekil 3.2. Bir Yanma Odasında Sıvı Yakıtın Yanma İşleminin Akış Şeması.[10]

3.4.1. Sıvı Yakıt Atomizasyonu

Sıvı yakıt atomizasyonu; küçük damlacıklar içersindeki sıvıyı ayrıştırmak için atomizerler vasıtasıyla yanma odasına sıvı yakıtın püskürtülmesi ile sıvı yakıtın daha küçük parçacıklara ayrışması olayıdır. Bir çok sıvı yakıt püskürtme işleminde ortalama damlacık boyutları 75-130 μm arasındadır ve maksimum damlacık boyutları 250 μm ' nin altındadır.

Atomizerlerin üç temel tipi mevcuttur. Bunlar değişik yollarla püskürtme yapabilen; Basınç atomizeri, Dönen Atomizer ve Çift Akışkanlı Atomizer' dir.[19,20]

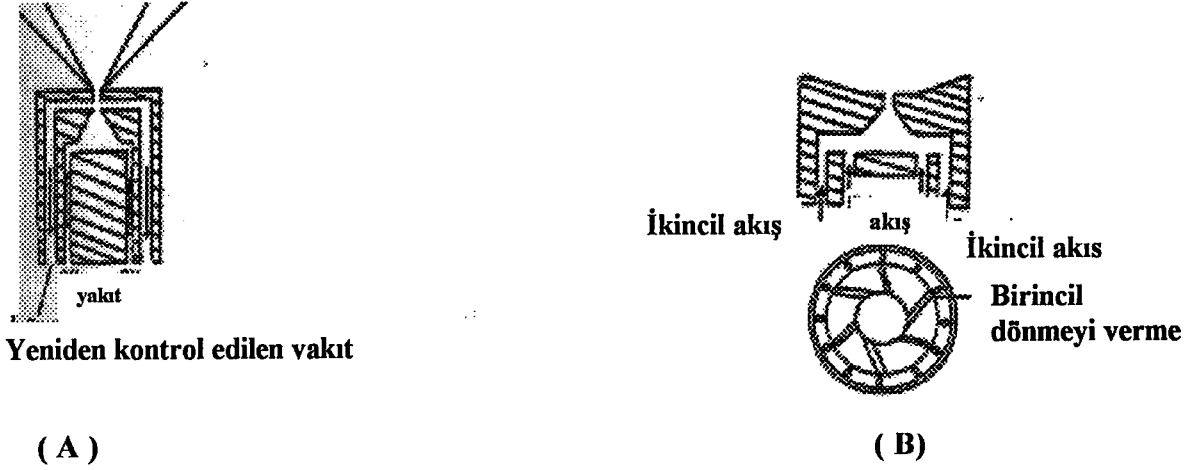
Basınç atomizerinde; sıvı yakıtı parçacıklara ayırtırmak için bir orifis boyunca basınca maruz bırakılarak ayrışması sağlanır. Basınç atomizeri püskürtme sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Bunlar diesel motorlar, kazanlar ve ocaklar gibi çok yaygın bir kullanım alanı vardır. Swirl atomizeri basınç atomizerinin bir türüdür. Basınç atomizerinin başka türleride vardır ve bunlar Şekil 3.3' de ve Şekil 3.4' de gösterilmiştir.

Dönen atomizerde; sıvı akışkan dönme yüzeyinin üstünde ve merkezkaç kuvvetinin etkisiyle dağılır. Bu işlem ile sıvı yakıtın parçacıklara ayrıştırılması sağlanır. Çift akışkan atomizerinde; yüksek hızda hava veya gaz akımı ile nispeten daha düşük sıvı akımı (sıvı yakıtın hareketi) hızlı bir şekilde iç bölümde yada dış bölümde karışıma uğrayarak daha küçük sıvı damlacıklar temin edilir. Çift akışlı atomizerlerde oluşan alevin görünüşü Şekil 3.5' de gösterilmiştir.

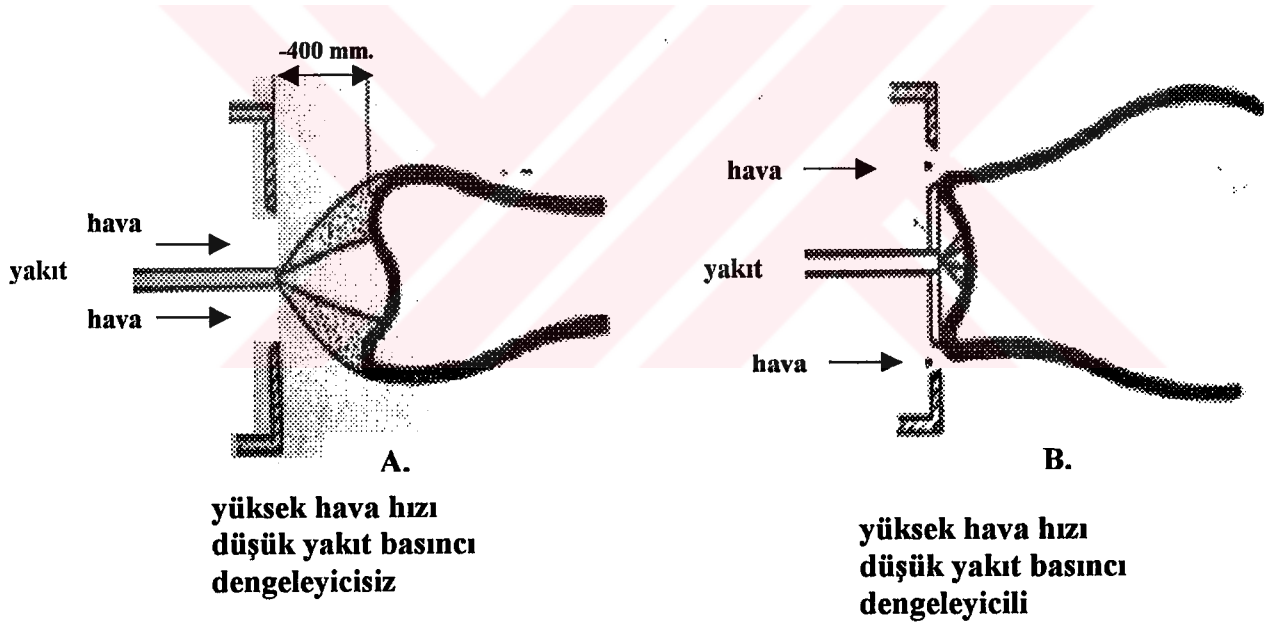


Şekil 3.3. Basınç Atomizerleri: (A) Basit bir swirl jet atomizeri .[1,10]

(B) Geri göndermeli atomizer.[1,10]



Şekil 3.4. Basınç Atomizerleri: (A) Önden göndermeli atomizer (B) Çift akışlı atomizer .[1]



Şekil 3.5. Çift Akışlı Atomizerlerde Oluşan Alevin Görünüşü. [1]

3.4.2. Sıvı Yakıt Buharlaşması

Sıvı yakıt küçük damlacıklara ayrıştığı zaman, yakıt ile ortamdaki gazların (genellikle hava) birbiriyle karışmadan önce; küçük damlacıkların buharlaşması gerekir. Sıvı yakıt yanma verimini artırmak için; sıvı damlacıkların buharlaşması üzerinde bir çok çalışma yapılmıştır.

Buharlaşma oranı, ortam gazları ile sıvı arasındaki temas yüzeyine, sıvı yüzeyle buhar konsantrasyonu arasındaki farka ve kütle transfer katsayısına bağlı olarak tanımlanabilmektedir. Bu ifade aşağıdaki gibi verilebilir :

$$m = S_0 \cdot \Delta C \cdot \beta \quad (3.9)$$

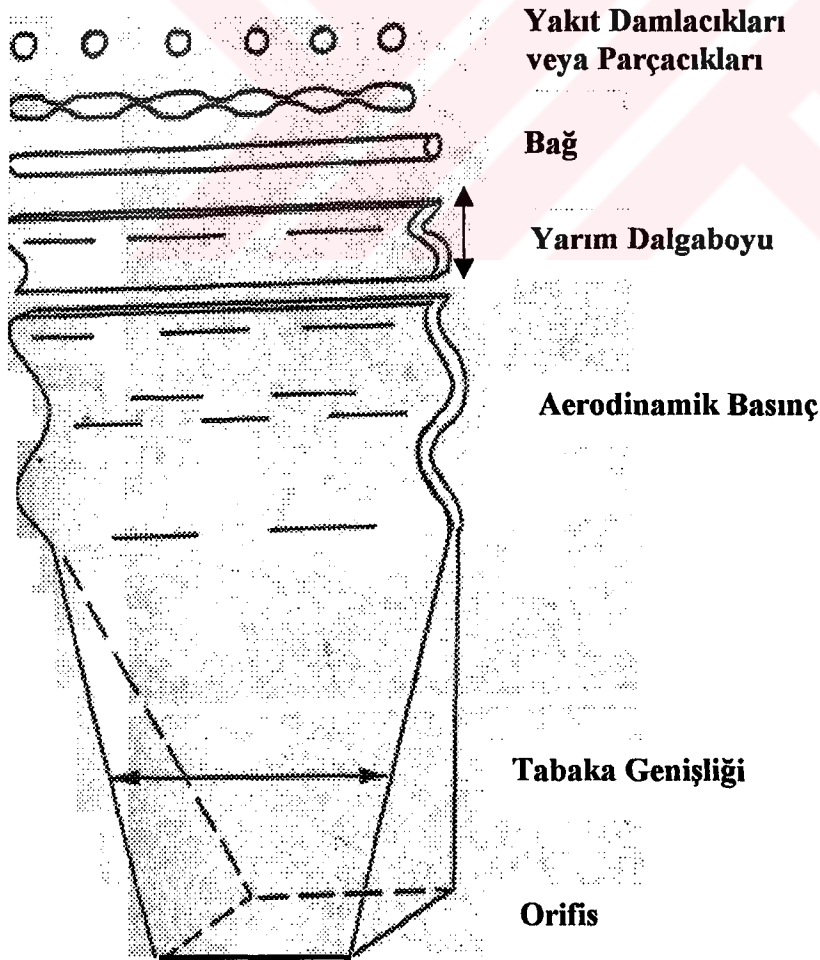
Burada; m : Buharlaşma Oranı

S_0 : Sıvının birim kütesinin dış yüzey,

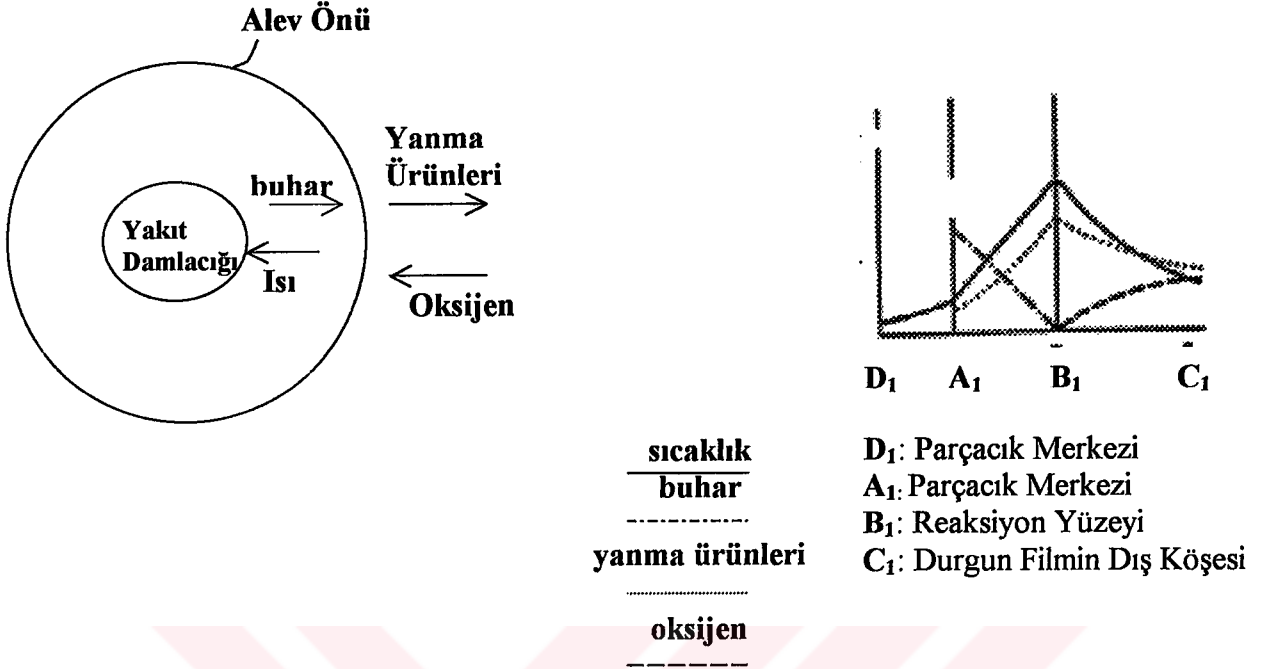
ΔC : Sıvı yüzeyle buhar konsantrasyonu arasındaki fark,

β : Kütle transfer katsayısıdır.

Sıvı yakıt taneciklerinin (parçacıklarının) tam olarak yanması için; atomizasyon işleminden sonra (sıvı yakıtın bir lüle veya atomizerden geçirilerek küçük parçacıklara ayrışması) buharlaşması gereklidir. Bu buharlaşma işlemi Şekil 3.6' da görölmektedir.



Şekil 3.6. Sıvı Yakıt Damlacığının Buharlaşması.[10]



Şekil 3.7. Sıvı Yakıt Parçacığının Yanması . [10]

3.5. PÜSKÜRTMELİ YANMA

Püskürtmeli yanma işlemi; eşzamanlı olarak ısı, kütle ve momentum transferi ile kimyasal reaksiyonları kapsayan karmaşık bir olaydır. Püskürtmeli yanma işlemi esas olarak yakıt ve hava sağlama oranına, damlacık buharlaşma oranına, oksitleyici ve buhar oranına bağlıdır.

Damlacıkların püskürtmeli yanmasını etkileyen diğer faktörler; damlacık boyutları, yakıt bileşimi, gaz çevresindeki bileşikler, sıcaklık, basınç ve ortamdaki gazlar ile damlacıklar arasındaki izafi hızdır. Püskürtmeli yanma oranı; damlacıkların hızı ve boyutunun, özelliklerinin, karışım işleminin yapısının ve damlacıkların çevresinin bir fonksiyonudur. Püskürtmeli yanma, karmaşık bir işlem olduğundan dolayı detaylı bir araştırmasını yapmak oldukça zordur. Bu nedenle püskürtmeli yanma araştırmaları, tek bir damlacık üzerinde toplanmaktadır. Tek bir damlacık yanmasının teorik analizini yapmak daha kolaydır. [1,5]

3.6. ALEV YAPISI VE TİPLERİ

Reaksiyon sonucu kimyasal enerjinin açığa çıkması ile oluşan parlak ışıklı gaza “ alev ” denir. Başka bir ifadeyle; bir alev ekzotermik yanma reaksiyonu olarak tanımlanabilir. Alev boşluk boyunca kendiliğinden oluşur ve parlak bir reaksiyon bölgesine sahiptir.[1]

Alev bölgesi ile yanabilir karışımın oluşturduğu yüzeye ise “alev cephesi”adı verilir. Sürekli yanma sistemlerinde, alev cephesinin uzayda takriben sabit kalması için reaktant gaz; alev cephesine doğru akmaya zorlanırsa kararlı alev meydana gelebilir. Kararlı alev iki türlü oluşur. Bunlardan birincisi yakıt ile yakıcının önceden karıştırıldığı önkarişimli alev, diğeri ise yakıt ile yakıcının ayrı ayrı gönderildiği difüzyon alevidir. İkinci halde alev reaktanların ortak yüzeyinde meydana gelir. Her iki halde de akış laminer veya türbülanslı olabilir. Türbülansın fazla olduğu akışlarda reaksiyon bölgesinde ve bunun sonucu olarak alev cephesinde düzgünsüzlük gözlenir. Uygulamada türbülans jeneratörü olarak adlandırılan akış içerisinde katı engeller konulabilmektedir.[5]

Yayılan bir yanma dalgasında reaksiyon, alev cephesinden önce gelen gaz tabakasında başlatılır. Reaksiyonun başlamasında, sıcak gazlardan kondüksiyonla iletilen ısı ile difüzyonla iletilen aktif ara ürünler etkili olurlar. Difüzyon, ısı iletimi kütle akışının kimyasal olaylarla bir arada oluşması yanma olaylarını daha da karmaşık hale getirmektedir.[12]

Reaktif sistemlerde iki tip tutuşma olayı gözlenir. Birincisinde reaktif karışım dışarıdan (pilot alev, buji vs.) tutuşturulur ve doğan alev cephesi reaksiyonu devam ettirir. İkincisinde ise; sistem ısı ve aktif unsurlar yönünden reaksiyona hazırlanır. Tutuşma kendiliğinden meydana gelir[5]. Kendi kendine tutuşabilen sistemlerde, belirli sıcaklık ve konsantrasyon şartlarında, moleküller arasında reaksiyonlar oluşabilmektedir. Ancak duyulur sıcaklık veya basınç artışı için belirli bir zaman gerekir ki buna “Tutuşma Gecikmesi” adı verilir.

Yakıt ve oksitleyici karışımına göre alev iki grupta sınıflandırılabilir. Bunlar ön karışımın alevi ve difüzyon alevidir. Ön karışım alevinde, yakıt ve oksitleyici reaksiyon bölgesine girmeden önce karışır.

Difüzyon alevinde ise; yakıt ve oksitleyici tepkime için birlikte yayılmaktadır. Daha ileri bir sınıflandırma reaksiyon bölgesinin akış durumuna (akışkanlar mekaniğine) göre yapılabilmektedir. Bunlar eğer gaz akışı laminer ise; laminer alev, eğer gaz akışı türbülanslı ise; türbülanslı alev olarak adlandırılmaktadır.

Başlangıçta laminar ve türbülanslı akışı tespit edebilmek için boyutsuz Reynold sayısı kullanılmaktadır. Reynold sayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir :

$$Re = \frac{V.L.\rho}{\mu} \quad (3.10)$$

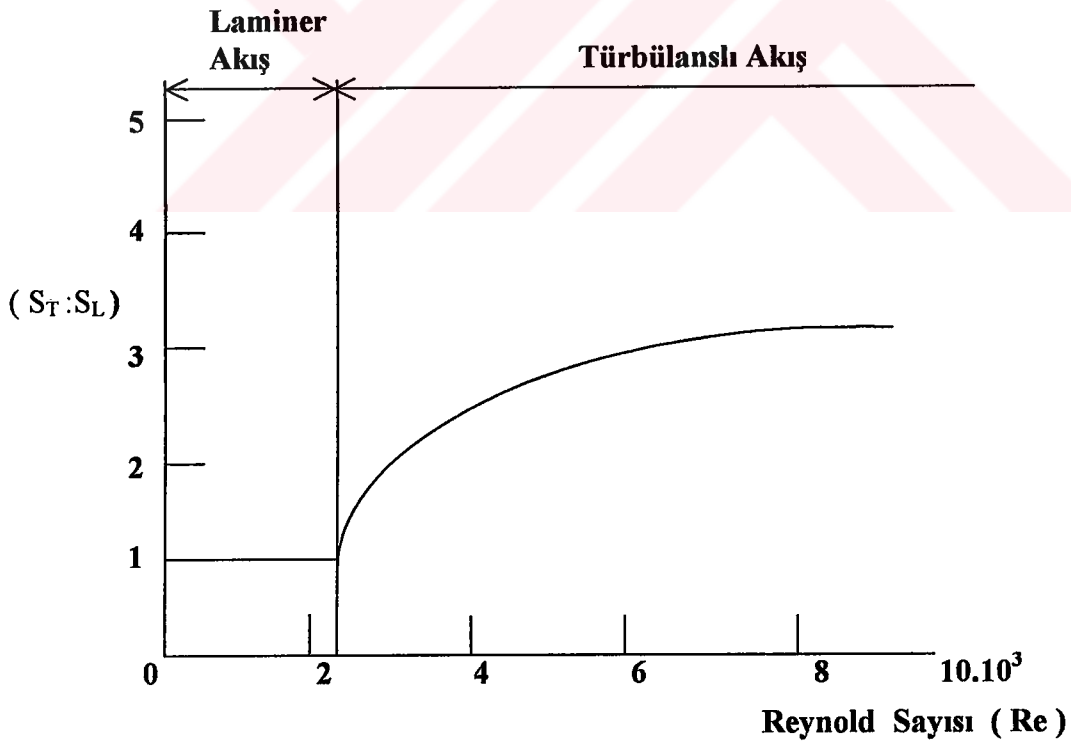
Burada ; V : Hız (m/sn) ,

L : Uzaklık (m) ,

ρ : Yoğunluk (kg /m³) ,

μ : Dinamik Vizkozite (kg/m.sn) ' yi göstermektedir.

Eğer alevde Re değeri 2.10^3 ' den daha az ise; alev laminardır. Eğer Re değeri 2.10^3 ile 1.10^4 arasında ise; akış laminardan türbülanslı akışa geçiş yapmaktadır. Re değeri 10^4 ün üzerinde ise; akış tamamen türbülanslıdır. Bu durumlar Şekil 3.7'de Reynold sayısına bağlı olarak alev tipi görülmektedir.[5,11]



$S_T : S_L$ = Türbülans ve Laminer Hız Oranları

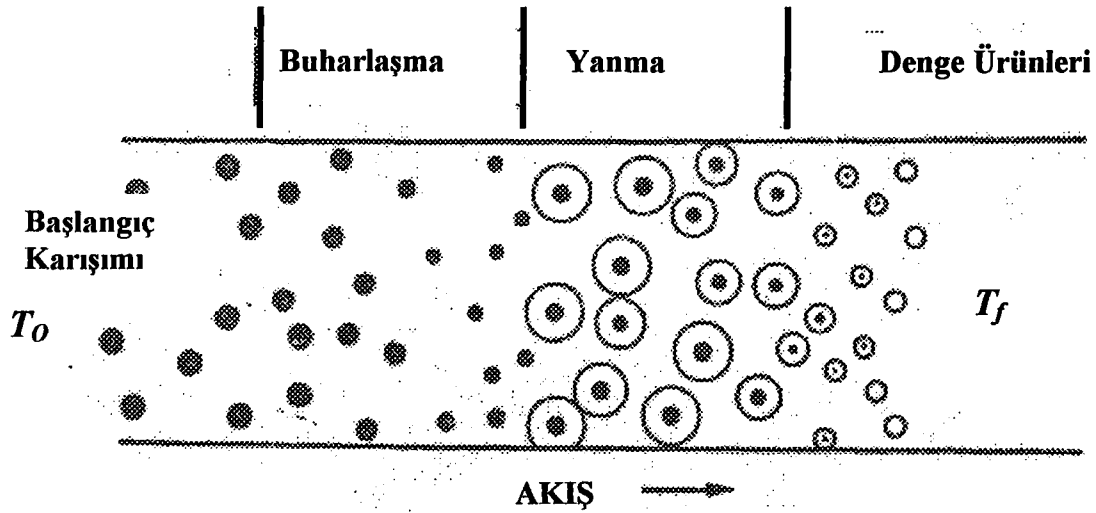
Şekil 3.8. Reynold Sayısının Alev Hızı ile Değişimi. (Propan-Hava Karışımı)[5]

3.6.1. Ön Karışım Alevi

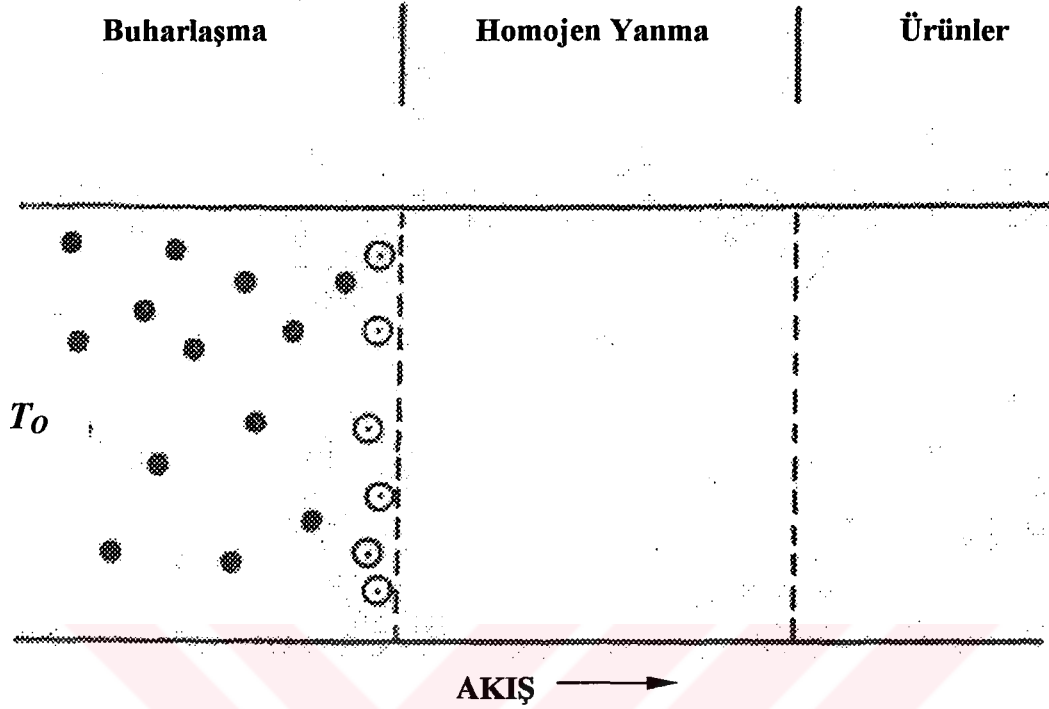
Yanma işleminde yakıt ve oksitleyici yanma bölgesine girmeden önce önkarişım alevi meydana gelmektedir. Yakıt ve oksitleyiciden oluşan karışım brülör içine gönderilir ve alev oluşturmak için bir tahrik enerjisiyle reaksiyon başlatılır. Reaksiyon daha sonra alev cephesinin önündeki reaksiyon bölgesinde veya yanmış sıcak gazların etkisiyle, iletimle ısı transferi yada difüzyon yoluyla alev cephesinin önündeki ürünlerin karışım sınırında meydana getirilir. Bu nedenle yanma sisteminin ısı ve kimyasal reaksiyon özellikleri meydana gelen reaksiyonlar üzerinde etkilidir. Alev yapısı için ısı ve kütle transferlerinin her ikisinin tanımlanması gereklidir.[1,5]

Eğer ön karışım ürünleri alev cephesi yönünden akış için zorlanırsa, hızları alevin durgun gaz içindeki oluşma oranına ve yanma hızına eşit olmaktadır. Yanma işlemlerinde brülördeki tasarımın amacı, belirli bir pozisyonda alevi kararlı tutmaktır.

Önkarişım alevinde hız, ısı iletim ve difüzyon gibi taşınım işlemleri tarafından belirlenmektedir. Hız normalde ses hızını geçemez. Buna rağmen bir alev, ses hızından daha yüksek bir patlama dalga hızı olduğunda dalganın tamamen farklı bir tipi olarak ortaya çıkar. Dalganın bu tipinde süpersonik bir sıkıştırma veya tepkime boyunca süren şok dalgaları ile reaksiyon başlatılır.



Şekil 3.9. Tek Boyutlu Heterojen Alevde Reaksiyon Bölgesi boyunca Yakıt Parçacıklarının Yanmasının İdeal Modeli .[19,20]



Şekil 3.10. Tek Boyutlu Homojen Alevde Reaksiyon Bölgesi boyunca Yakıt Parçacıklarının Yanmasının İdeal Modeli .[19,20]

3.6.2. Difüzyon Alevi

Yanma işlemince difüzyon alevleri, yanabilir bir karışım oluşturmak için yakıt ve oksitleyicinin ayrı ayrı temin edilerek, karışımın hızlı bir şekilde ateşlenmesiyle oluşturulmaktadır. Alev, yakıt ve oksitleyici arasındaki sınır bölgelerde görünür. Reaksiyon ürünleri bu sınırın kenarlarına yayılır. Reaksiyon ürünleri yanma bölgesine ulaşmadan önce yakıt ve oksitleyici onlara karşı yayılır.

Difüzyon alevi; yanma sistemlerinin güvenliği, yanma kararlılığı, kolay ateşlenebilme ve kuvvetli radyasyondan dolayı çok önemlidir. Serbest bölgede yakıtın sıcak oksijenle ayrışma kimyasının, is oluşum işleminin ve radyasyonla ısı transferinin karmaşıklığından dolayı difüzyon alevi hakkında yeterli bilgi yoktur.

Yakıt ve oksitleyicinin karışımı, kimyasal reaksiyon zamanı olarak çok hızlıdır. İki farklı akış bölgesini kapsayan alevler arasında çok net bir ayırım yapılabilmektedir.

Birincisi yavaş bir yanmanın olduğu difüzyon alevidir (mum alevinde olduğu gibi). Alevin bu türünde yakıt artışı yavaştır ve laminar akış meydana gelir. Karışım işlemi yalnızca moleküllerin difüzyonu ile meydana gelir ve bundan dolayı alev özellikleri molekül miktarıyla belirlenir.[2]

Diğeri ise; hızlı bir yanmanın olduğu difüzyon alevidir (gaz tribünlerinde olduğu gibi). Burada yakıt genellikle küçük damlacıklara ayrılarak (sıvı yakıt yanması) hızlı bir şekilde yanmaktadır. Akış hızı yüksektir ve karışım işlemi türbülanslı akış ile birleşmektedir.

Yukarıda yapılan sınıflandırmadan farklı olarak, bir alev gaz akışına görede sınıflandırılabilir. Bir difüzyon alevi akış mekaniğine (akışın türbülanslı veya laminar olmasına) bağlı olarak laminar difüzyon alevi veya türbülanslı difüzyon alevi şeklinde sınıflandırılmaktadır. [2,5]



4. BÖLÜM

HAVA KİRLİLİĞİ VE ÖNLEME YÖNTEMLERİ

4.1. HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliği, insan ve diğer canlılara zarar verecek miktar ve süredeki kirleticilerin, atmosfere karışması olarak tanımlanabilir. Kirleticiler doğal veya insan aktiviteleri sonucu atmosfere karışabilirler.[6,16]

Günümüzde, her geçen gün artan çevre sorunlarının başında gelen hava kirliliği, geleceğin dünyasını ciddi bir şekilde tehdit etmekte, ekolojik tehlikelerle karşı karşıya bırakmaktadır. Dünya nüfusunun hızla artmasına paralel olarak, artan enerji kullanımı, endüstrinin gelişimi ve şehirleşmeyle ortaya çıkan hava kirliliği insan sağlığı ve diğer canlılar üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Standart fosil yakıtların yanması sonucunda aşağıdaki belirtilen dokuz emisyon oluşur. Bunlar CO₂, N₂, O₂, H₂O, CO, NO_x, SO₂, uçucu organik bileşikler ve partikül maddelerdir. Bunlardan CO, NO_x, SO₂, uçucu maddeler ve partikül maddeler (toz., duman vb.) hava kirliliği açısından önem taşırlar. Bu maddeler direkt yada dolaylı olarak insan ve çevrede zararlı değişikliklere neden olurlar. [6,15]

4.2. SIVI YAKITLI YAKMA SİSTEMLERİNİN EMİSYON DAVRANIŞI

Yanma işlemleri sırasında bacadan çevreye yayılan hava kirletici emisyonlar; partikül (toz, is, kurum, uçucu kok vb.) emisyonları ve gaz (SO_2 , NO_x , C_mH_n , CO vb.) emisyonları olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. Hava kirliliği yönünden etken emisyonlar duman (partikül) ve kükürtoksitlerdir (SO_2 , SO_3). Atmosferi kirletici bu emisyonların önlenme sinde değişik yöntemler uygulanabilir. Bunlar yanma sonrası (kuru ve yaş) baca gazı temizleme işlemleri olarak sınıflandırılabilir.[1,9,14]

4.2.1. CO ve C_mH_n Emisyonları

Baca gazında görülebilecek tam yanmamış gazlardan en önemlisi karbonmonoksittir. CO emisyonu, karbonun kısmi oksidasyonundan ;



veya Boundard reaksiyonu ;



sonucu oluşur.

Sıvı yakıtlı yakma sistemlerinde, normal işletme şartlarında baca gazlarında CO miktarı genellikle azdır. Ancak nemli, düşük kaliteli ve yavaş yanan yakıt da düşük sıcaklıklarda yanma işlemleri CO emisyonunun artmasına, ayrıca NO_x emisyonu kontrolü için yapılan kademeli yanma, CO konsantrasyonunun artmasına neden olabilir. Diğer yanmamış gazlardan hidrokarbonlar (C_mH_n) ve uçucu organik bileşenlerin baca gazındaki konsantrasyonları CO' a göre çok daha azdır.[9,14]

4.2.2. SO_2 Emisyonu

Kükürtoksitler (SO_x) insan sağlığını ve çevreyi önemli ölçüde tehdit eden kirleticilerdir. Kükürtoksitler içerisinde en önemli payı ise; kükürtdioksit (SO_2) oluşturmaktadır. Bu gaz yanmayan renksiz bir gaz olup, 0.3-1 μm derişimlerde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm (milyonda bir hacim)' in üstünde ise; boğucu bir his vermektedir.

Fuel-oil' in içerdği kükürtün yanmasıyla önce SO₂ oluşmakta ve sonradan bunun bir kısmı yanmadaki hava fazlalığına bağlı olarak SO₃' e dönüşmektedir. [9]

4.2.3. NO_x Emisyonu

Hava kirleticilerden azotoksitlerde, insan ve çevre sağlığı açısından en az SO₂ kadar önemli bir kirleticidir. NO_x emisyonlarının % 90-95' i yakma sistemlerinden kaynaklanmakta, daha çok NO ve NO₂ (bunlar birlikte NO_x olarak adlandırılmaktadır) şeklinde gerçekleştiği ve bunlardan NO' un daha fazla olduğu belirlenmiştir. Yapılan araştırmalarda NO_x' ların büyük bir çoğunluğunun yakıt azotundan meydana geldiği ortaya çıkmıştır.

Yanma sonucu oluşan NO_x emisyonu genel olarak iki kaynaktan olmaktadır. Bunlardan birincisi yüksek sıcaklıklarda yanma havasının N₂' nin oksitlenmesiyle oluşan "Isıl- NO_x" (termal NO_x), diğeri ise yakıtın içindeki azottan oluşan yakıt kaynaklı "Yakıt-NO_x" (Fuel-NO_x)'dur. NO_x' un azaltılma reaksiyon mekanizması bilinmemekte, fakat iki tip reaksiyonla olabileceği tahmin edilmektedir.

Homojen reaksiyon ;



Heterojen reaksiyon ;



NO_x emisyonunu azaltmak için kullanılan en basit yollardan biri kademeli yanmadır. Bu metoda göre, stokiometrik hava miktarının % 50-60 kadarı birincil hava olarak kazanın alt kısmına dağıtıcı eleğin altından verilir. İkincil hava ise kazanın daha yukarısında bir konum da verilir. Üçüncül hava ise; yakıt besleme ünitesine eklenir. Böylece kazanın alt kısmında indirgeme ortamı ve üst kısımda da yükseltgeme ortamı oluşturulur. Kazanın alt kısmında yakıtın uçucu kısmı ortaya çıkar ve bu durum toplam NO_x emisyonunun az olmasını sağlar.[1,6,9]

Alt bölgede oluşan NO kazanda yukarıya doğru çıkarken üst tarafta henüz tam yanmamış karbon taneciklerinin yüzeyinde katalitik olarak N_2 ' ye biraz da NO_2 ' ye indirgenme olasılığına sahiptir. Yakma sistemlerinde, sıcaklık düşük tutulduğunda (850-950 °C) NO_x oluşumu azaltılmaktadır.

4.2.4. Partikül emisyonu

Partikül emisyonları, yanıcı partiküller (uçucu kok, is, kurum vb.) ve yanıcı olmayanlar (toz) diye iki gruba ayrılırlar. Yanıcı partiküller uygun yakıt hazırlama ve yanma odasında uygun yanma koşulları oluşturulması ile en aza indirgenebilir. Toz emisyonları belli ölçüde azaltılabilir. Yakma sistemlerinde toz emisyonların kontrolü ile ilgili teknolojiler genelde gelişmesini tamamlamış ve günümüzde yüksek bir standarda ulaşmıştır . Tozların arıtılmasında; yerçekimi kuvveti, merkezkaç kuvveti, partiküllerin elektrikle yüklenme özellikleri (elektro-filtreler), filtreleme etkilerinden (torba ve yaş filtreler) yararlanılmaktadır. Partikül kirleticilerin yanma odasında tutulması oranı; yakıt tane büyüklüğüne, yakma biçimine, yanma odası ve sistem tasarımı ile diğer tasarım ve işletme özelliklerine göre değişmektedir.[19,20]

4.2.5. Hava Kirlilik Seviyesinin Sınıflandırılması

İnsan sağlığının korunması, çevrede kısa ve uzun vadede olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için havanın içerdiği kirleticiler konsantrasyonların belli sınır değerlerini aşmaması gerekir. Bu sınır değerler;

A) Uzun Vadeli Sınır Değerler (UVS)

B) Kısa Vadeli Sınır Değerler (KVS) olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Uzun Vadeli Sınır Değerleri (UVS); aşılmaması gereken, bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan değerlerdir.[16]

Kısa Vadeli Sınır Değerleri (KVS); maksimum günlük ortalama değerler veya istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının % 95' ni aşmaması gereken değerlerdir. Çöken tozlar için farklı olarak aşılmaması gereken maksimum aylık ortalama değerdir. [16]

Eğer hava kirliliği uzun süre etkili oluyorsa, kirleticilerin ölçülen yıllık ortalama konsantrasyon değerleri, uzun vade sınır değerlerin altında olmalıdır.

Eğer hava kirliliği kısa sürelerde etkili oluyorsa sınır değeri olarak kısa vadeli sınır değerler dikkate alınır. Çeşitli hava kirlleticiler için sağlanması gereken uzun ve kısa vadeli sınır değerler aşağıda Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Sınır Emisyon Değerleri.[16]

	KİRLETİCİ EMİSYON	BİRİM	U.V.S	K.V.S
1	Kükürt Dioksit (SO ₂) ve Kükürt Trioksit (SO ₃) Dahil a) Genel b) Endüstri Bölgeleri	µg/m ³	150 250	400(900) 400(900)
2	Karbon Monoksit(CO)	µg/m ³	10000	30000
3	Azot Dioksit(NO ₂)	µg/m ³	100	300
4	Azot Monoksit (NO)	µg/m ³	200	600
5	Klor (Cl ₂)	µg/m ³	100	300
6	Klorlu Hidrojen (HCl) ve Gaz Halde Anorganik Klorürler (Cl)	µg/m ³	100	300
7	Florlu Hidrojen (HF) ve Gaz Halde Anorganik Florürler (F)	µg/m ³	-	10(30)
8	Ozon (O ₃) Foto Kimyasal Oksitleyiciler	µg/m ³	-	(240)
9	Hidrokarbonlar (HC)	µg/m ³	-	140(280)

* Parantez içerisindeki rakamlar maksimum saatlik sınır değerleri göstermektedir.

Tablo 4.1. Sınır Emisyon Değerleri. (Devamı) [16]

	KİRLETİCİ EMİSYON	BİRİM	U.V.S	K.V.S
10	Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	µg/m ³	-	40(100)
11	Havada Asılı Partikül Maddeler (PM) 10µ ve daha Küçük Partiküller a)Genel b)Endüstri Bölgeleri	µg/m ³	150 200	300 400
12	PM için Kurşun (Pb) ve Bileşikleri	µg/m ³	2	-
13	PM için Kadmiyum (Cd) ve Bileşikleri	µg/m ³	0.04	-
14	Çöken Tozlar 10µ'dan büyük Partikül a)Genel b)Endüstri Bölgeleri	µg/m ² .gün	350 450	650 800
15	Çöken Tozlarda Kurşun ve Bileşikleri	µg/m ² .gün	500	-
16	Çöken Tozlarda Talyum ve Bileşikleri	µg/m ² .gün	10	-
17	Çöken Tozlarda Kadmiyum ve Bileşikleri	µg/m ² .gün	7.5	-

* Parantez içerisindeki rakamlar maksimum saatlik sınır değerleri göstermektedir.

Tablo 4.2. Ulaşılmayı Hedeflenen Sınır Değerler.[16]

SINIR DEĞERLER	KİRLETİCİLER	
	Kükürtdioksit ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Havada Asılı Partiküller ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Yıllık Ortalama	60	60
Kış Ayları Ortalaması	120	120
Maksimum 24 Saatlik Değer	150	150
1 Saatlik Değer	450	-

4.3. YANMADAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİ EMİSYONLAR

Sosyal ve ekonomik faaliyetlerin dayandığı temel sektörlerde (konut, endüstri, ulaşım, tarım) kullanılan enerjinin tamamına yakın bölümü yakma tesislerinde (kazanlar, içten yanmalı motorlar, sobalar, fırınlar vb.) fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz vb.) yakılması ile sağlanmaktadır. Kazanlar; termik santral kazanları, sanayi kazanları, kalorifer kazanları vb. olmak üzere çok geniş uygulama alanlarına sahiptirler. İçten yanmalı motorlar ulaşım sektörünü ve diğer sektörlerde çeşitli amaçlar için kullanılmakta, sobalar ise kırsal kesimde, kentlerde özellikle düşük ve orta gelir grubuna dahil kesimlerde ısıtmada kullanılmaktadır.[13]

Hava kirliliğinin çok büyük bir bölümü, yakma tesislerinden kaynaklanan kirletici emisyonlardan oluşmaktadır. Bu nedenle hava kirliliğinin kontrolü denince ilk akla gelen, yakma tesislerinden kaynaklanan kirletici emisyonların kontrolü olmaktadır.

Kirletici emisyon miktarı, doğrudan kullanılan enerjiye ve yakılan yakıta bağlıdır. Enerjiyi az veya çok herkes kullanmakta ve bu nedenle hava kirliliğinin oluşmasında herkesin sorumluluğu bulunmaktadır.

Enerjinin tutumlu kullanımı, yani enerjinin dönüşümü, iletimi, dağıtım ve kullanım aşamalarındaki enerji tasarrufu bilinci ve uygulamaları ile hava kirliliği oluşumunun azaltılması arasında sıkı bir bağ bulunmaktadır. Hava kirliliğinin azaltılmasında en etken çözüm bu bilincin yaratılması ve toplumun bu yönde yönlendirilmesidir.

Yanmadan kaynaklanan emisyonlar; yakıttan (yakıtın içerdiği kirleticilerden) kaynaklanan ve yanmadan (eksik veya uygun olmayan yanma) kaynaklanan olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir[13]. Katı, sıvı ve gaz yakıtların yanması sonucu oluşan kirleticiler şunlardır:

1. Partikül şeklindeki kirletici emisyonlar
2. Kükürtoksitleri ve hidrojen sülfür
3. Azotoksitler
4. Karbon monoksit
5. Hidrokarbonlar
6. Klor gazı ve halojenli bileşikler

Partikül şeklindeki emisyonların tanımları iriliklerine, yoğunluklarına ve kimyasal yapılarına bağlı olarak aerosol, duman, is, toz şeklinde adlandırılabilir. [13 ,14]

4.3.1. Yakıttan Kaynaklanan Emisyonlar

Yakıttan kaynaklanan başlıca emisyonlar şunlardır:

- Tozlar
- Kükürt dioksit (SO_2)
- Azotoksitler (NO_x)
- Kurşun, klor ve diğer maddeler

Tozlar yakıtın içerdiği külden, kükürt oksitler yakıtın içerdiği kükürdün yanmasından, azot oksitler ise yakıtın içerdiği azotun veya yakma havası azotunun yüksek sıcaklıklarda oksitlenmesinden kaynaklanmaktadır. Eğer yakıt kurşun içeriyorsa egzoz gazları ile çevreye kurşun emisyonunun olması doğaldır.

Yakıttan kaynaklanan emisyonların azaltılması; kirletici özelliği yüksek olan yakıtlar yerine daha temiz yakıtların (örneğin linyit yerine taşkömürü, fuel oil veya doğal gaz) kullanımı veya bu yakıtların, içerdiği kirleticilerinde olabildiğince azaltılması yoluna gidilmelidir.[13]

4.3.2. Uygun Olmayan Yanmadan Kaynaklanan Emisyonlar

Uygun olmayan yanmadan kaynaklanan emisyonlar ;

- Karbonmonoksit (CO)
- İs, kurum, duman biçimindeki yanmamış hidrokarbonlar (C_mH_n)
- Uçucu kok
- Azotoksitler' dir.

Yakıta uygun yakma sistemi (sıvı yakıt brülörü, gaz yakıt brülörü, toz kömürü brülörü, sabit ızgara, hareketli ızgara, akışkan yakıt vb.) seçilmemesi, yakıtın uygun biçimde hazırlanmaması sıvı yakıtlarda (ön ısıtma , atomizasyon), katı yakıtlarda (kıрма, öğütme) yanma odasının uygun biçimde boyutlandırılmaması, yakıtın uygun şekilde beslene memesi, yakıt-hava oranının uygun biçimde ayarlanamaması, yanma odası sıcaklığının uygun boyutlarda tutulmaması vb. nedenlerle karbon, zararlı emisyon biçimlerine dönüş mekte yanma kökenli emisyonlar oluşmaktadır.[13 ,14]

4.3.3.Yanma Tesislerinden Kaynaklanan Emisyonların Azaltılması İle İlgili Önlemler

Yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonların ve buna bağlı olarak hava kirliliğinin azaltılması ile ilgili olarak genelde aşağıdaki önlemlere başvurulmaktadır.[14]

- 1- Yanma öncesi emisyon azaltma önlemleri,
- 2- Yanma sırasında emisyon azaltma önlemleri,
- 3- Baca gazlarının artırılması,
- 4- Kirletici emisyonların atmosferde dağıtılması,
- 5- Enerjinin verimli kullanılması ile toplam emisyonun azaltılması,

1. Yanma Öncesi Emisyon Azaltma Önlemleri

Yanma öncesi emisyon azaltma önlemleri yakma sistemine (kazan, soba, içten yanmalı motor, fırın vb.) uygun temiz yakıt seçilmesi veya mevcut yakıtların yakıt hazırlama teknolojileri ve uygulamaları ile temiz ve verimli yakma için uygun hale getirilmesi olarak özetlenebilir. Temiz ve verimli yakma yönünden en uygun yakıtlar; gaz ve sıvı yakıt kullanımı en uygun çözüm olmaktadır. Ekonomik nedenlerle katı yakıt uygulaması durumunda kükürt oranı düşük taş kömür, iyi kalite linyit kullanımı yönüne gidilmelidir.

Yakıtlar kullanım yönünden ne kadar uygun ve kirletici madde içeriği ne kadar az ise yakıt fiyatları ona göre artmaktadır. Binaların ısıtılmasında yakıt kalitesi, doğrudan kullanıcıların gelir düzeyine bağlıdır. Düşük gelir düzeyindeki kesimlerde kirletici özelliği yüksek ucuz yakıtlara talep olmaktadır.

Yakma sistemlerinde, yakıtla ilgili yanmadan kaynaklanan emisyonlarının azaltılabilmesi için yakıtların uygun tane büyüklüğünde hazırlanması, uygun biçimde ön ısıtılması ve yakıcı beslenmesi, yakma sistemlerinin belli aralıklarda tekniğe uygun biçimde bakım ve onarımlarının yapılması gerekir.[14]

2. Yanma Sırasında Emisyon Azaltma Yöntemleri

Yanma sırasında emisyon azaltma yöntemleri; yakıttan kaynaklanan kirleticilerin yanma odasında tutulması, eksik veya uygun olmayan yanma koşulları sonucu oluşan kirleticilerin oluşumlarının uygun yanma koşulları sağlanarak önlenmesi olarak özetlenebilir.

Yakıtı uygun yanma odası ve yakma sistemi tasarımı ve bu sistemlerin tekniğe uygun biçimde çalıştırılması, hem veriminin artırması hem de hava kirliliğinin kontrolü yönünden büyük önem taşımaktadır. Yakma sistemleri tasarım ve seçiminde; yakıt yanma ve kirletme özellikleri, sistem kapasitesi, sistemin uygulama yerindeki işletme biçimi ve koşulları göz önünde tutulmalıdır.

Yanmadan kaynaklanan CO, NO_x , is, kurum, duman, uçucu kok biçimindeki kirletici emisyonlar uygun yakıt-hava kontrolü, yanma ve işletme şartlarının iyileştirilmesi ile belli ölçülerde azaltılabilir. [14]

3. Baca Gazalarının Arıtılması

Yanma öncesi ve yanma sonrası önleme yöntemlerine rağmen, yanma gazları yönetmeliklerde öngörülen sınır emisyon değerlerinin üzerinde ise; sistem için uygunsa baca gazları arıtma sistemleri uygulanarak emisyonlar azaltılmaya çalışılır. Küçük kapasiteli yakma sistemlerine baca gazı arıtma sistemlerinin uygulanması teknik ve ekonomik yönden uygun olmayabilir. Bu tür sistemlerde temiz yakıt uygulaması yoluna gidilir.

4. Kirlletici Emisyonların Atmosferde Dağıtılması

Yukarıda bahsedilen emisyon azaltma yöntemlerinin uygulamasından başka emisyonların azaltılması için yapılacak son azaltma yöntemi, kirlletici emisyonların atmosferde mümkün olabildiğince geniş bir alana yayılmalarını sağlamak için gerekli düzenlemelerin alınmasıdır.

5. Enerjinin Verimli Kullanılması İle Toplam Emisyonun Azaltılması

Yakma sistemlerindeki toplam emisyonların azaltılması, bu sistemlerde ve bu sistemlerden yararlanan diğer sistemlerde enerjinin verimli ve uygun bir şekilde kullanılmasını sağlayacak bütün çalışmaların yapılmasını gerektirmektedir. Bununla ilgili alınacak önlemlere örnek olarak, binaların teknik yönden uygun şekilde yalıtılması, yüksek verimli ve uygun kazanlar kullanılması, bunların tekniğine uygun çalıştırılması, az yakıt tüketen otomobil ve araçların tercih edilmesi, devamlı aynı karbüratör ayarında tutulması, otomobillerin uygun hızlarda kullanılması gibi önlemler uygulanabilir.

4.4. NO_x TÜRLERİ

4.4.1. Azot Bileşikleri (NO_x)

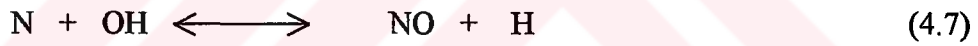
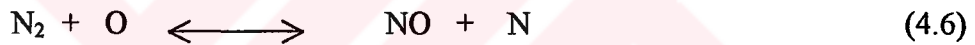
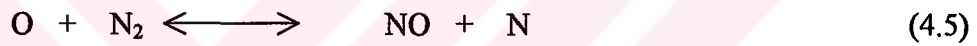
NO_x' un insan sağlığına zararlı olduğu tesbit edilen; asit yağmurlarına ve ozon üretimine neden olan reaksiyonları başlattığından dolayı çevresel bir problem olarak gözönüne alınır. Asit yağmurları ve ozon binalara, göllere ve ormanlara zarar verir, görüş mesafesini azaltır. NO_x kontrol edilerek asit yağmurları ve ozon miktarı azaltılabilir. Kazanlar tarafından oluşturulan esas azotlu kirlleticiler NO ve NO₂' dir. Bu iki bileşik birlikte NO_x olarak adlandırılır. NO oluşum ve yıkılma mekanizmaları genel olarak üç mekanizma ile incelenmiştir.

Bu mekanizmalardan birincisi ısı mekanizma (Isıl- NO_x) olarak bilinen zeldovich mekanizmalarıdır. İkinci mekanizma hızlı-NO (çabuk-NO) olarak bilinen ani-NO mekanizmasıdır. Diğer mekanizma ise; kaynağı yakıt içindeki azot bileşikler olan yakıt-NO (fuel- NO_x) mekanizmasıdır.[15]

4.4.2. Thermal - NO_x (Isıl - NO_x)

Yanma havasının içindeki oksijen ile azotun birbirleriyle yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır .[1,15]

Temiz yakıt yanmasında atmosferik azotun (N_2), NO (azotmonoksit) oluşturmada ısı mekanizmasının rolü çok büyüktür. Isıl-NO oluşumu üç temel reaksiyonla belirlenmiştir. Zeldovich mekanizması olarak bilinir. Bu reaksiyonlar aşağıda verilmiştir. .[15]

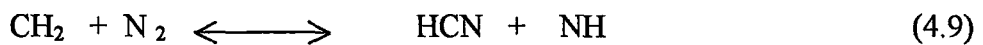
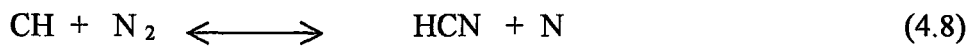


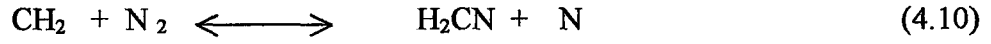
4.4.3. Prompt - NO_x (Ani - NO_x)

Hidrokarbon yakıtların yanmasında azotoksit oluşum oranlarının düşük sıcaklıklarda özellikle zengin yakıtlı yanma proseslerinde ani yükselmeler gösterdiği tespit edilmiştir.

Bunlar daha çok, alev bölgesinde oluşmaktadırlar. Ani-NO seviyeleri hacimce 10^{-6} ile 10^2 ppm değeri üzerine kadar değişen aralıklarda tespit edilmiştir.Yapılan çalışmalarda ortaya çıkan ani-NO' nun bir kısmının ortamdaki O ve OH' ın mol oranlarına bağlı olarak ortaya çıktığı tespit edilmiştir.[15]

Bu mekanizma aşağıdaki reaksiyonları kapsamaktadır.





Yakıt yapısında azot ve bileşiklerinin olduğu yanma işlemlerde NO' nun büyük etkisi vardır.[4,17]

4.4.4. Fuel –NO_x (Yakıt -NO_x)

Yanma havasındaki oksijenle yakıttaki azotun reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Gaz fazındaki yakıtlarda (doğalgaz, lpg vb.) bu olay nadiren görülmektedir. Fakat yakıt içerisindeki azot önemli miktarlarda ise; yakıttan kaynaklanan NO_x, toplam NO_x emisyonunun %50' den fazlasını oluşturur.

Yakma sistemlerinden oluşan NO_x emisyonu birçok faktöre bağlıdır.En önemli faktörler, yakıttaki azot miktarı ve alev sıcaklığıdır. NO_x oluşumunu etkileyen diğer faktörler; hava fazlalık oranı ve yanma havası sıcaklığıdır. Alev sıcaklığı öncelikle ısı-NO_x oluşumunu etkiler,yakıttaki azot miktarı yakıt-NO_x emisyonunu belirlemektedir.Yakıttaki azot miktarı arttıkça NO_x emisyonu artmaktadır.[15,17,18]

4.4.5. NO_x Kontrol Yöntemleri

NO_x kontrolü iki tipte sınıflandırılabilir. Yanma sonrası metotlar ve yanma kontrol teknikleridir.Yanma sonrası metotlar, NO_x oluşumundan sonra NO_x emisyonunu önlemeye yöneliktir. Yanma öncesi kontrol teknikleri ise; yanma esnasında NO_x oluşumunu önlemeye yöneliktir.

Yanma sonrası kontrol yöntemleri 100 MMBtu/hr' den daha az olan kazanlarda genellikle kullanılmaz. Aşağıda farklı NO_x kontrol yöntemleri verilmiştir.[15]

1. Yanma Sonrasındaki Kontrol Yöntemleri

A- Seçici Katalitik Olmayan Azaltma,

B- Seçici Katalitik Azaltma,

2. Yanma Öncesi Kontrol Yöntemleri

A- Düşük Hava Fazlalık Oranında Yakma,

B- Düşük Azot İçeren Yakıt Yakma,

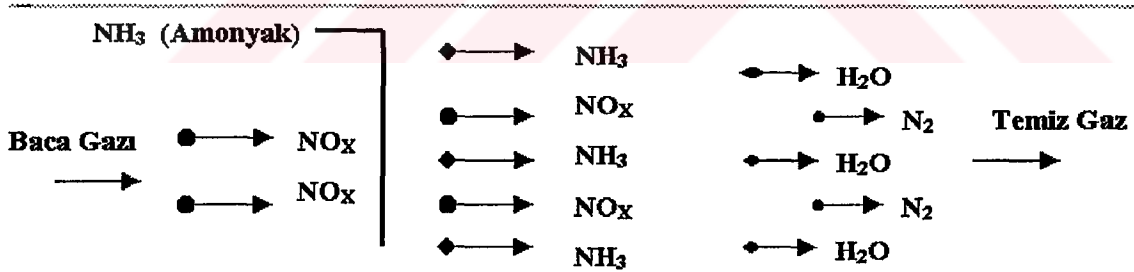
- C- Brülördeki Değişiklikler,
- D- Su-Buhar Püskürtmeli Yanma,
- E- Baca Gazı Resirkülasyonu' dur.

Her bir metotta NO_x miktarı farklı derecelerde azaltılabilir. Örneğin doğalgaz yanmasında düşük hava fazlalık oranı; %10' na kadar NO_x miktarı azaltılabilir. Baca gazı resirkülasyonu ile NO_x miktarı %75' e kadar düşürülebilir. Seçici katalitik azaltma yöntemiyle %90'a kadar azaltılabilir.[15]

1. Yanma Sonrası Kontrol Yöntemleri

A. Seçici Katalitik Olmayan Azaltma (Selective Non-Catalytic Reduction)

Bu yöntem, NO_x içindeki N_2 miktarını azaltmak için NH_3 püskürtülmesi işleminden oluşmaktadır. Kazan içindeki yanma (egzoz) gazının sıcaklığı bu işlem esnasında yaklaşık 1400-1600 F'dır. Amonyak egzoz gazındaki NO_x ile reaksiyona girerek sonuçta H_2O ve N_2 (atmosferik azot) açığa çıkar. Bu yöntemle NO_x %70 oranında azaltılabilir. [15]

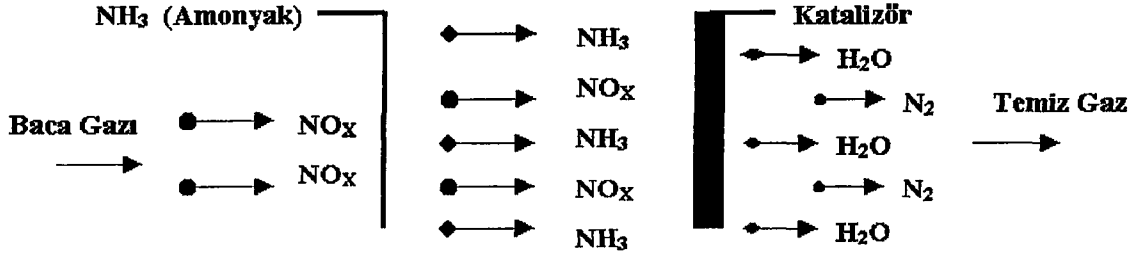


Şekil 4.1. Seçici Katalitik Olmayan Azaltma. [15]

B. Seçici Katalitik Azaltma (Selective Catalytic Reduction)

Bu yöntemde kazandaki egzoz gazı içersine amonyak püskürtmesini işleminden oluşur. Katalizatör, diğer azaltma yönteminden daha düşük egzoz sıcaklıklarında amonyak kullanı olarak NO_x seviyesi azaltılabilir.

Seçici katalitik olmayan azaltma yönteminde egzoz gazları yaklaşık olarak 1400-1600 F sıcaklığında olmaktadır. Seçici katalitik azaltma yönteminde egzoz gazları 500-1200F sıcaklıklarında katalizatör kullanılır. Bu yöntemde NO_x oranı % 90' ların üzerinde bir azalma gösterebilir.[15]



Şekil 4.2. Seçici Katalitik Azaltma .[15]

2. Yanma Öncesi Kontrol Yöntemleri

Yanma öncesi kontrol yöntemleri; yanma işlemi süresince NO_x oluşumunu sınırlayarak NO_x emisyon miktarını azaltır. Bu düşük alev sıcaklıkları sağlanarak elde edilebilir. Yanma esnasındaki kontrol yöntemleri, yanma sonrasındaki kontrol yöntemlerine göre daha ekonomiktir ve sanayi tipi kazanlarda daha fazla kullanılmaktadır.[15]

A. Düşük Hava Fazlalık Oranı

Bütün yanma sistemlerinde verimli ve etkili bir yanma için uygun bir λ değerinde sistemin çalıştırılması gerekmektedir. Kazanlardaki NO_x oluşumunu etkileyen önemli faktörlerden biri side hava fazlalık oranıdır. Yüksek hava fazlalık oranları, NO_x oluşumunun artmasına neden olur. Bunun sebebi ise; yanma havası içindeki aşırı fazla N_2 ve O_2 birleşerek ısı- NO_x oluştururlar. Alev içersindeki aşırı N_2 ve O_2 miktarını düşük hava fazlalık oranı ile kontrol edilebilir.

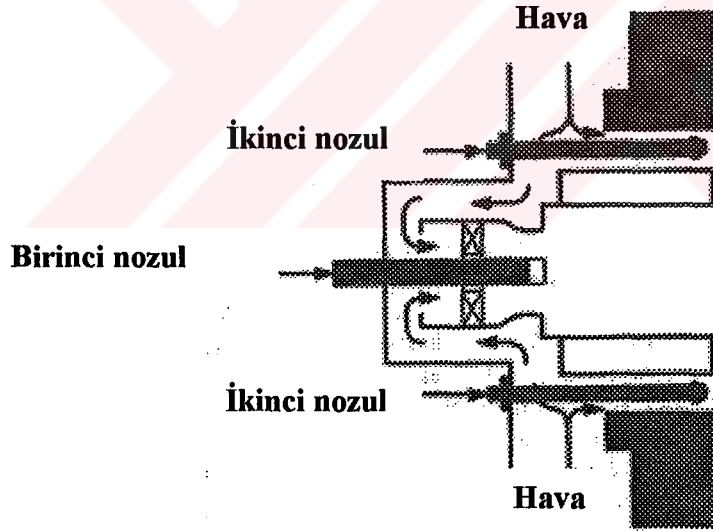
B. Düşük Azotlu Yakıtlar

Yakma sistemlerinde NO_x seviyesini azaltmanın bir diğer yoluda düşük azotlu yakıt kullanmaktır. Düşük azotlu yakıt kullanılarak yanma işleminde NO_x oluşumu belirli miktarda azaltılabilir. Düşük azotlu yakıt özellikle gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.[15]

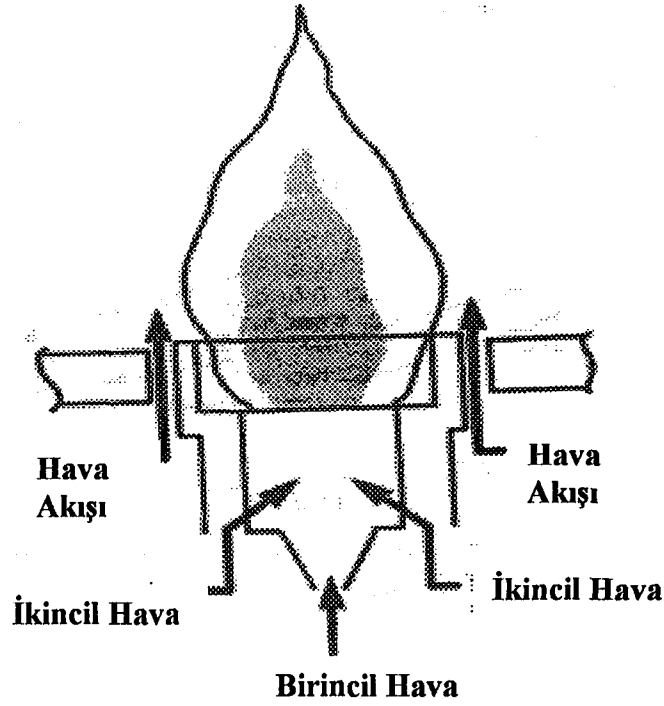
C. Brülördeki Değişiklikler

Yanma odası içerisinde daha geniş alev oluşturmak ve NO_x kontrolü için standart olarak tasarlanmış bir brülörde bazı değişikliklerin yapılması gerekir. Alevi genişletme ile daha düşük alev sıcaklığı ve daha düşük ısı- NO_x oluşumu sağlanmış olur. Buda toplam NO_x emisyonunun daha düşük olması demektir. Bu yöntem bir çok kazan tipi ve boyutlarında uygulanabilir. Bu uygulama doğalgaz ve damıtılmış sıvı yakıtların yakılmasında oldukça verimlidir. Ağır yakıtların yakılmasında yanma problemlerinden dolayı az etkilidir.[15]

Bir çok gelişmiş ülkede ağır yaptırımlardan dolayı brülördeki tasarım değişiklikleri, diğer NO_x azaltıcı yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır. Eğer brülör değişiklikleri tek başına kontrol yöntemi olarak kullanılırsa, düşük NO_x seviyesine ulaşmak için (300ppm), kazan işletme parametrelerine (kapasite, CO seviyesi, verim v.s.) olumsuz etki yapmaktadır.[15]



Şekil 4.3.Düşük NO_x ' lu Brülörlerde Yakıtın Durumu.[7]



Şekil 4.4. Düşük NO_x ' lu Brülörlerde Havanın Durumu.[7]

D. Su-Buhar Püskürtme

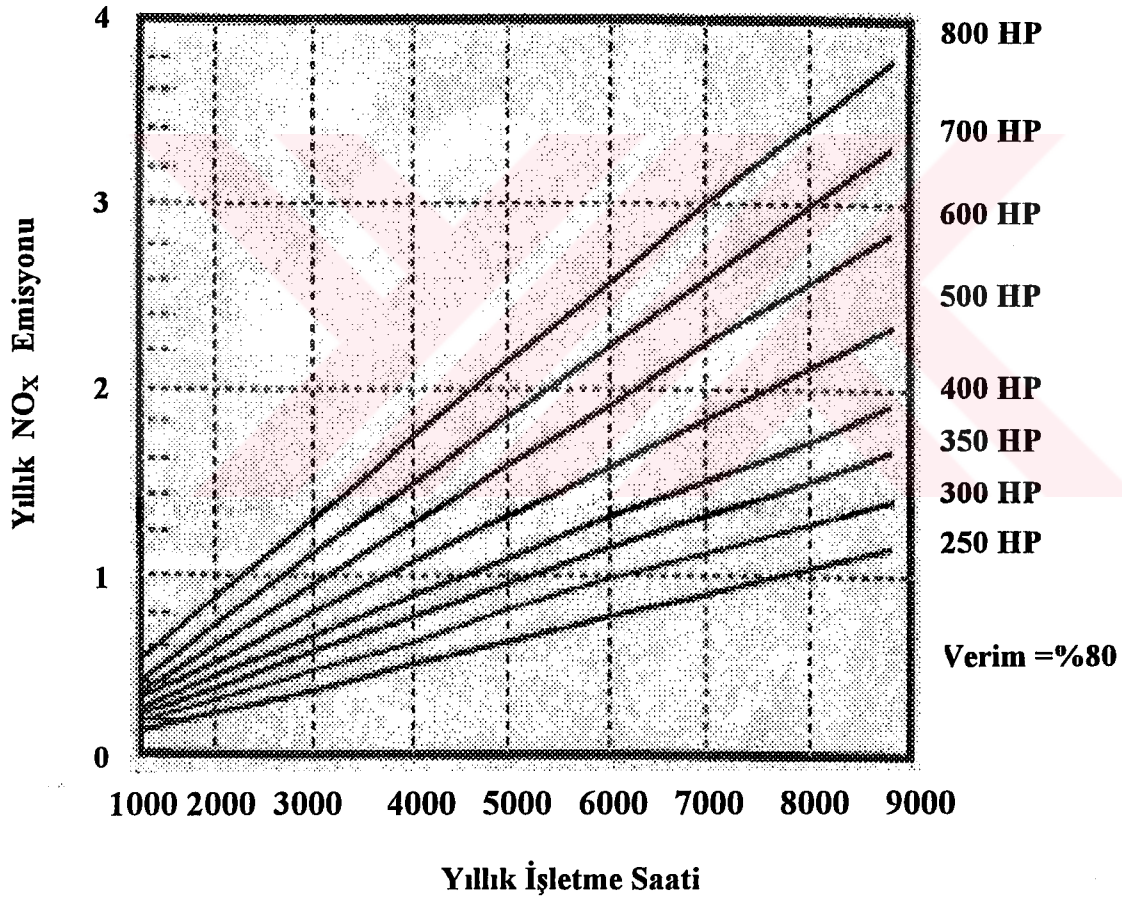
Su veya buhar püskürtmesi NO_x seviyesini azaltmak için kullanılabilir. Alev içersine su veya buhar püskürtülmesi ile alev sıcaklığı azaltılır. Böylece Isıl- NO_x oluşumu ve toplam NO_x seviyesi azalır. Bu yöntemle NO_x seviyesi % 80 oranında azaltılabilir. Normal işletme şartları altında su veya buhar püskürtülmesi kazan verimini % 3-10 oranında azalmasına neden olur. Çoğu kez su veya buhar püskürme diğer NO_x kontrol yöntemleri (brülör değişikliği, baca gazı resirkülasyonu v.s.) ile birlikte kullanılır.[15]

E. Baca Gazı Resirkülasyonu

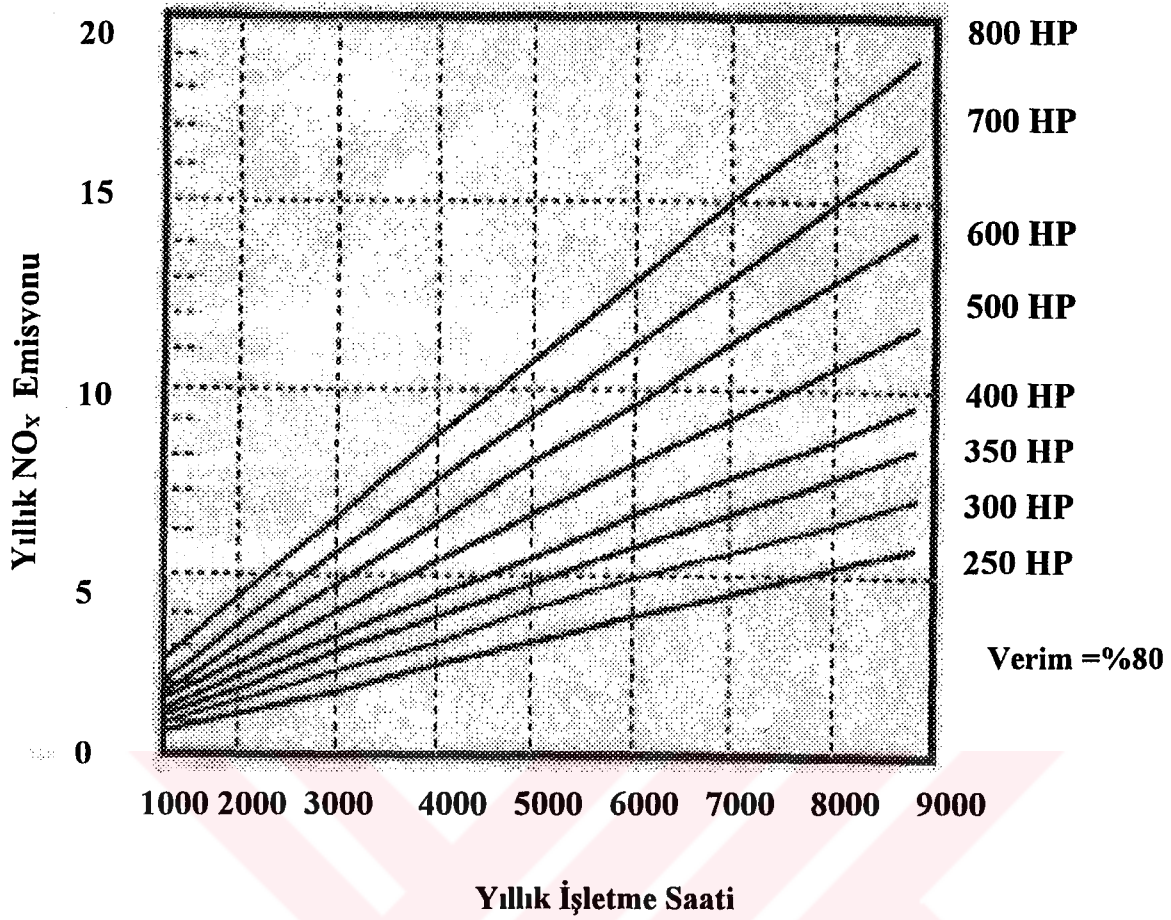
Baca gazlarının yeniden kullanılması, endüstriyel kazanlarda NO_x emisyonunu azaltma yöntemlerinden en etkilisidir. Bu yöntem, daha düşük alev sıcaklığı ve daha az NO_x emisyonu sağlamak için yanma işlemi sırasında nisbeten soğumuş egzoz gazlarının bir kısmının yeniden yanma işleminde kullanılmasını sağlar.

Günümüzde oldukça tercih edilen bir yöntemdir ve uygulamada ilave bir ekipmana gerek yoktur. Bu yöntem iki şekilde yapılabilir. Bunlardan birincisi; egzoz gazları bacadan brülöre bir fan vasıtasıyla boru hattı çekilerek gönderilir.

Diğeri ise; yanma havası ile baca gazlarının bir bölümü brülöre gelmeden ön karışım uğrar ve daha sonra brülör tarafından alev içine gönderilir. Bu yöntemlerde NO_x azaltma oranları farklı yakıtlar için değişiktir. Doğal gaz için % 80, diğer yakıtlar için % 20-25 dolaylarında azaltma sağlanır.[15]



Şekil 4.5. 250-800 HP Gücündeki Kazanlar için Yıllık NO_x Emisyonu ,
[$\text{NO}_x=20$ ppm (%3 O_2 göre)].[15]



Şekil 4.6. 250-800 HP Gücündeki Kazanlar için Yıllık NO_x Emisyonu
[NO_x=110 ppm (%3 O₂ göre)].[15]

4.5. SO₂ EMİSYONU VE KONTROL YÖNTEMLERİ

Fosil yakıtların (fuel-oil, kömür vb.) yanması sonucu bacalardan atmosfere atılan kükürt dioksit miktarı insan ve çevre sağlığı bakımından önemli bir tehlike oluşturmaktadır. Atmosferdeki kükürtdioksit, miktarına bağlı olarak insanlar üzerinde ciddi hastalıklara hatta toplu ölümlere neden olabilmektedir[13]. Kükürtdioksitin diğer önemli bir etkisi, atmosferde bacadan atılan kükürdün yağmurlarla yeryüzüne sülfürikasit ve sülfat iyonları şeklinde geri dönmesi ve çevre üzerinde önlenmesi mümkün olmayan tahribatlara yol açmasıdır. Bu sebeplerden dolayı kükürtdioksit emisyonunun azaltılması ve kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Günümüzde çevre bilincinin her geçen gün artması ile oluşan kamoyu baskısı ve buna paralel olarak yapılan yasal yaptırımlar bu konudaki çalışmaların hızlanmasını sağlamıştır. Atmosferdeki kükürtdioksit derişiminin 24 saatlik ortalamasının $300 \mu\text{g} / \text{m}^3$ (0.1 ppm) üzerine çıkmasının tıp otoritelerince sağlık açısından zararlı olduğu kabul edilmektedir[6]. Bu oranın $900-1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ün üzerine çıktığı durumlarda insan hayatının tehlike içinde olduğu görülmüştür. Kükürtdioksit emisyonunun azaltılması ve kontrol altında tutulması için değişik yöntemler geliştirilmiştir.

1- Yakmadan Önce Uygulanan Yöntemler

Yakıt iyileştirme yöntemleri olarakta adlandırılan bu yöntemlere örnek olarak, fuel-oil' in sıvı fazdaki hidrodesülfirizasyonu ve kömürdeki inorganik ve organik kükürtün uzaklaştırılması verilebilir[13]. Fuel-oil' in hidrodesülfirizasyonu ile yakıtın içindeki kükürtün % 62 oranında giderilmesi mümkündür. Kömür yakılan sistemlerde de kükürt azaltılması için değişik metotlar uygulanmaktadır. Yakmadan önce kükürtdioksit azaltma yöntemleri aşağıda verilmiştir.

A- Fiziksel Yöntemler

- 1- Elle Yıkama
2. Flatasyon
3. Manyetik ve Elektrostatik Ayırma (Kuru Ayırma Metotları)
4. Kömür Yıkama

B- Bakteriyel Linç Yöntemi

C- Kömür Ekstraksiyonu

2 - Yakma Sırasında Uygulanan SO₂ Tutma Yöntemleri

Yakma sırasında kükürtdioksitin tutulması, yanma odası içerine SO₂ tutucu bir katkı maddesi ilavesi esasına dayanır. Katkı maddeleri olarak çok kolay ve ekonomik olmaları sebebiyle kireçtaşı ve dolomit tercih edilmektedir.

Bu katkı maddeleri, Pulvarize edilmiş kireçtaşı'nın veya dolamitin, kazanın yüksek sıcaklık bölgesine (cehennemlik) kuru püskürtülmesi, kırılmış kireç taşı veya dolamit tanecikleri ile birlikte akışkan yatakta yakma, kömürün bazı dolgu ve yapıştırıcı maddelerde kullanılarak CaO ile biriketlenmesi işlemlerinde kullanılmaktadır. Kireçtaşı kullanım veriminin çok düşük olduğu için kuru enjeksiyon yöntemi SO₂ emisyonunu azaltmada geçici bir çözüm olarak önerilmektedir. Yanma gazları içerisinde SO₂' yi tutmada kireç taşı kullanımı ucuz ve uygun bir yöntem olmasına rağmen, kazan ısıtma yüzeyi üzerinde ısı transferini önemli ölçüde azaltan kabuk oluşumuna sebep olarak kazan verimini düşürmesi ve enjekte edilen taneciklerin kalış süresini çok sınırlı olması sebebiyle kireçtaşı'nın çok az miktarının reaksiyona girmesi nedeniyle bu yöntem fazla rağbet görmemektedir[13].

3 - Baca Gazındaki SO₂ Tutma Yöntemleri

Yukarıda bahsedilen iki önleme yönteminin, SO₂ emisyonunu azaltmak amacıyla kullanılan katkı maddelerinin yanma verimini düşürmesi, SO₂ katkı maddesi reaksiyonunun yakma sıcaklığı ile kısıtlanması gibi nedenlerden yakma ve desülfirizasyon proseslerinin birbirinden ayrılması düşünülmüştür. Baca gazından SO₂' nin arıtılması, diğer gaz arıtma prosesleri içerisinde en fazla araştırma konusu olmaktadır.

Baca gazındaki SO₂' yi tutmak için ikiyüzden fazla kuru ve yaş yöntem geliştirilmiştir. Günümüzde daha çok yaş yöntemler kullanılmaktadır[1]. Yaş yöntemlerin en büyük avantajı, sıvı akışı nedeniyle reaksiyon yüzeyinin sürekli yenilenmesi ve geri beslemenin mümkün olmasıdır. Bu işlemlerde kireç veya kireçtaşı yaygın olarak kullanılmaktadır. Kireçtaşından daha fazla reaktif olan sulu sodyum karbonat da kullanılmaktadır. Buna karşın yaş yöntemlerin dezavantajları, ekipmanlarda fazla kristal birikmesi, pompalanması, süzme, korozyon, basınç düşmesi problemleri ve yüksek yatırım maliyetleridir. Bu tür yöntemler çok büyük sistemler için önerilmektedir[13]. Kuru sistemlerin en büyük avantajı, düşük yatırım maliyeti ve SO₂ uzaklaştırma işlemi için baca gazının soğutulmasına ihtiyaç duyulmasıdır. Kuru sistemlerde kullanılan en reaktif absorbentlerden biri aktifleştirilmiş sodadır. Soda, SO₂ ile 150 C gibi düşük sıcaklıklarda reaksiyona girmektedir.

Daha yüksek sıcaklıklar için kireçtaşı kullanılmaktadır. Yaş sistemlerde baca gazı su buharı ile doymuş olarak sistemden çıkar. Kuru sistemlerde bu durum yoktur[1,13].

Baca gazındaki SO_2 tutma yöntemleri aşağıda verilmiştir :

A – Yaş Sistemler

- 1- Kalsiyum Esaslı Sistemler
- 2- Sodyum Esaslı Sistemler
- 3- Amonyak Esaslı Sistemler
- 4- Magnezyum Esaslı Sistemler
- 5- Potasyum Esaslı Sistemler
- 6- Organik Esaslı Sistemler

B- Kuru Sistemler

- 1- Püskürtmeli Kurutma Sistemler
- 2- Alkali Enjeksiyon Sistemleri
- 3-Aktif kömür Metal Oksitleri ve Diğer Absorbanların Kullanıldığı Absorbsiyon Sistemleri
- 4- Katalitik Oksidasyon Sistemleri
- 5- SO_2 İndirgeme Sistemleri
- 6- Yanma Sırasında SO_2 ' yi tutma yöntemleri' dir.

Yaş sistemler ısı santrallerinde daha yaygın olarak kullanılır. Bunlarda baca gazı, reaktif madde çözeltisi ile temas ettirilir ve kükürt bileşikleri çöktürülerek ayrılır.

Kuru sistemler, baca gazlarına ve yanma odalarına uygulanabilmektedir. Halen kullanılan sistemlerin bir çoğunda SO_2 ' nin tutulması amaç edinilmiş ve oluşan kükürtlü tuzların kullanılması düşünülmemiştir. Bu sistemlerde kullanılan aktif maddelerin SO_2 ' yi tuttuktan sonra rejenerasyonları genellikle pahalı olmaktadır. Genel olarak aktif maddenin SO_2 ' yi tuttuktan sonra atıldığı sistemler yatırım bakımından daha az masraflı olmaktadır. Fakat bu tür sistemlerde oluşan kuru atık maddeleri çevreyi kirletmeden uzaklaştırılması ayrı bir sorun olmaktadır[1,13].

Bu nedenle yan ürünlerin değerlendirildiği veya aktif SO₂ tutucu maddenin proses sonunda geri kazanıldığı sistemler üzerinde de çok fazla sayıda araştırmalar yapılmakta olup, bunlardan bazılarının endüstriyel alanlarda uygulanmasına başlanmıştır.[13]



5. BÖLÜM

DENEYSEL OLARAK KAZANLARDA YANMA VE EMİSYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Kazanlarda yanma ve emisyon davranışının deneysel olarak incelenebilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi için aşağıdaki parametrelerin belirlenmesi gerekir.

A)- Kazan İşletme Parametreleri

- Hava Fazlalık Katsayısı, (Excess Air)
- Yakıt Özellikleri,
- Yanma Gazlarının Oksijen Konsantrasyonu,
- Yanma Gazlarının Karbondioksit Konsantrasyonu,
- Baca Gazı Sıcaklığı ,

B)- Emisyon Parametreleri

- CO Emisyonu,
- NOx Emisyonu,
- SO₂ Emisyonu,

- Partikül Maddeler,
- Yanmamış Hidrokarbonlar (İs, Kurum, Duman vb.),
- Kurşun, Klor ve Diğer Maddeler' dir .

Emisyonların referans O₂ konsantrasyonunda ve normal şartlarda 1 normalmetreküp baca gazındaki kütleli olarak ölçülen konsantrasyonları kazanın emisyon davranışını belirler.

Değerlendirmede bu birim kullanılır. Sıvı yakıt yakan sistemlerde (kazanlarda) referans O₂ konsantrasyonu % 3-5 alınır. Kazanlarda, sistem devreye alındıktan sonra belirli bir süre beklenmeli ve kazanın kararlı yanması sağlandıktan sonra deneysel çalışmalara başlanmalıdır.

5.1. DENEYLERDE KULLANILAN KAZANLAR

Günümüzde konutların ısıtılması ve değişik işlemlerde kullanılmak üzere buhar veya sıcak su elde edebilmek için farklı tip ve kapasitedeki kazanlar kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalarda farklı tip ve kapasitelerde 3 adet kazan kullanılmıştır.

Kazanlara ait teknik özellikler aşağıda verilmektedir.

5.1.1. Deney Yapılan 1. Sistem

Birinci deneysel çalışmanın yapıldığı sistem, Kayseri ve Civarı Elektrik Dağıtım ve Ticaret A.Ş.' nin Genel Müdürlük tesislerindeki Anma Isıl Gücü Q=1.000.000 Kcal/h 'lik Selnikel Marka Yüksek Basınçlı Sıcaksu Kalorifer Kazanıdır. Kazana ait etiket değerleri aşağıda verilmiştir.

$$Q = 1.000.000 \text{ Kcal / h}$$

$$\text{İşletme Basıncı} = 8 \text{ Atü ,}$$

$$\text{Konstrüksiyon Basıncı} = 7 \text{ Atü ,}$$

$$\text{Hidrolik Test Basıncı} = 10,5 \text{ Atü ,}$$

$$\text{Tip} = \text{OKS / A ,}$$

$$\text{Standart No} = \text{TS377 ,}$$

$$\text{İmal Tarihi} = 1999 ,$$

$$\text{Yakıt Tipi} = \text{Akaryakıtlı 'dır.}$$

Kazan ölçüleri; kazan çapı =1770 mm. (1.77 m.), kazan uzunluğu 3180 mm.(3.18 m.)' dir.

Kazan bağlantı elemanlarına ait teknik özellikler ise; aşağıda verilmektedir.

A)- Brülör

Tip = MS8-1 VZDU *

Min. kapasite = 60 kg / h ,

Max.kapasite = 250 kg / h ,

Min. Isı yükü = 712 kw ,

Max. Isı yükü = 2965 kw ,

Motor = 4000 W ,

Net ağırlık = 77 kg. ,

Elektrik beslemesi = 3- 220 / 380 V . 50 Hz. ,

Yakıt = Max.Vizkozite 15 cSt 'dir.

* Buradaki V ; Ön süpürme için Selenoid valfi , Z ; 2 Selenoid Valfli,iki kademeli ve servo motor kumandalı hava klapeli, D;Trifaze motorlu, U; Yüksek Basınçlı (2800 d/d) olduğunu belirtmektedir.

B)- Pompa

Tip = MS8-1 VZDU / TSEK ,

Kapasite = 60-250 kg / h ,

C) –Yağ Ön Isıtıcısı

Tip = EV2D

Max. Isıtma Gücü = 13.2 kw. ,

Max. Yağ Debisi = 250 kg / h ,

Elektrik Beslemesi = 380 V. Max 20 A.

Ön Isıtma Sıcaklığı (Δt) = 80 ° C dir.

5.1.2. Deney Yapılan 2. Sistem

İkinci deneysel çalışmanın yapıldığı sistem, Kayseri' de bulunan 11 katlı 20 dairelik bir apartmanda Anma Isıl Gücü $Q = 320.000 \text{ Kcal/h}$ lik Kalorisan Marka Tam Silindirik Sıcak Su Kazanıdır. Kazana ait etiket değerleri aşağıda verilmiştir.

$$Q = 320.000 \text{ Kcal / h}$$

$$\text{İşletme Basıncı} = 5 \text{ kgf/cm}^2 ,$$

$$\text{Konstrüksiyon Basıncı} = 5 \text{ kgf/cm}^2 ,$$

$$\text{Hidrolik Test Basıncı} = 7,5 \text{ kgf/cm}^2 ,$$

Yakıt Tipi = Akaryakıtlı 'dır.

Kazan ölçüleri ; kazan çapı = 1220 mm (1.22 m.) , kazan uzunluğu 2000 mm.(2 m.) 'dir.

Kazan bağlantı elemanlarına ait teknik özellikler ise ; aşağıda verilmektedir.

A)- Brülör

Tip = DMAÜ65 (Gökçe Thyssen marka)

$$\text{Min. kapasite} = 25 \text{ kg / h} ,$$

$$\text{Max.kapasite} = 80 \text{ kg / h} ,$$

$$\text{Min. Isı yükü} = 380 \text{ kw} ,$$

$$\text{Max. Isı yükü} = 750 \text{ kw} ,$$

$$\text{Motor} = 1500 \text{ W} ,$$

$$\text{Net ağırlık} = 65 \text{ kg.} ,$$

$$\text{Elektrik beslemesi} = 3- 220 / 380 \text{ V. } 50 \text{ Hz. } -3.46 \text{ A} ,$$

B)- Pompa

Tip = MS8-1 VZDU / TSEK ,

$$\text{Kapasite} = 60-250 \text{ kg / h} ,$$

C) –Yağ Ön Isıtıcısı

Tip = EV2D

$$\text{Max. Isıtma Gücü} = 13.2 \text{ kw.} ,$$

Max. Yağ Debisi = 250 kg / h ,

Elektrik Beslemesi = 380 V. - Max 20 A.

Ön Isıtma Sıcaklığı (Δt) = 80 ° C dir.

5.1.3. Deney Yapılan 3. Sistem

Üçüncü deneysel çalışmanın yapıldığı sistem, İstikbal A.Ş.' nin Kazan Dairesinde bulunan Anma Isıl Gücü $Q = 450.000$ Kcal/h' lik Eransan Marka Akaryakıtlı Buhar Kazanıdır. Kazana ait etiket değerleri aşağıda verilmiştir.

$Q = 450.000$ Kcal / h ,

İşletme Basıncı = 3 bar ,

Hidrolik Test Basıncı = 5 Bar ,

İmal Tarihi = 1991,

Yakıt Tipi = Akaryakıtlı' dır.

Kazan ölçüleri; kazan çapı = 1660 mm.(1.66m), kazan uzunluğu =3500 mm (3.5 m.)' dir.

Kazan bağlantı elemanlarına ait teknik özellikler ise; aşağıda verilmektedir.

A)- Brülör

Tip = MS8-1 VZDU *

Min. kapasite = 60 kg / h ,

Max.kapasite = 250 kg / h ,

Min. Isı yükü = 712 kw ,

Max. Isı yükü = 2965 kw ,

Motor = 4000 W ,

Net ağırlık = 77 kg. ,

Elektrik beslemesi = 3- 220 / 380 V . 50 Hz. ,

Yakıt = Max.Vizkozite 15 cSt 'dir.

* Buradaki V; Ön süpürme için Selenoid valfi, Z; 2 Selenoid Valfli, iki kademeli ve servo motor kumandalı hava klapeli, D; Trifaze motorlu, U; Yüksek Basıncılı (2800 d/d) olduğunu belirtmektedir.

B)- Pompa

Tip = MS8-1 VZDU / TSEK ,

Kapasite = 60-250 kg / h ,

C) –Yağ Ön Isıtıcısı

Tip = EV2D

Max. Isıtma Gücü = 13.2 kw. ,

Max. Yağ Debisi = 250 kg / h ,

Elektrik Beslemesi = 380 V. Max 20 A.

Ön Isıtma Sıcaklığı (Δt) = 80 ° C dir.

5.2. DENEYDE KULLANILAN YAKITLARIN BİLEŞİMLERİ

Deneyde iki farklı türde sıvı yakıt kullanılmıştır. Bunlar 4 numara fuel- oil ve 6 numara fuel-oil' dir. Kullanılan yakıtların analizleri Kayseri Büyükşehir Belediyesi Laboratuvarlarında yapılmıştır. Bunlara ait değerler aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.1. İki Farklı Sıvı Yakıtın Bileşimler .

YAKIT CİNSİ	4 NUMARA FUEL-OİL	6 NUMARA FUEL-OİL
C (%)	86.1	85.92
S(%)	1.45	1.46
H(%)	11.56	11.7
O (%) ve N(%)	0.89	0.92
Alt Isıl Değer (cal/gr)	10450	10584

5.3. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZ

5.3.1. Baca Gazı Analiz Cihazı

Deneysel çalışmalarda kullanılan baca gazı emisyon ölçüm cihazı; dijital göstergeli bir ekrana sahip 220 V., 50 Hz. AC gerilimle çalışan (aynı zamanda şarj edilebilen), farklı emisyonları tesbit etmek için emisyon sensörlerine sahip, istenilen durumlarda is ve gaz hortumlarının cihaza bağlanabileceği kablo ve yazıcı ünitesinden oluşan bir cihazdır.

Cihazın ana ön panel kısmı aşağıda görüldüğü gibidir.



Şekil 5.1. MRU 95/3-CD Baca Gazı Analiz Cihazının Ön Paneli.

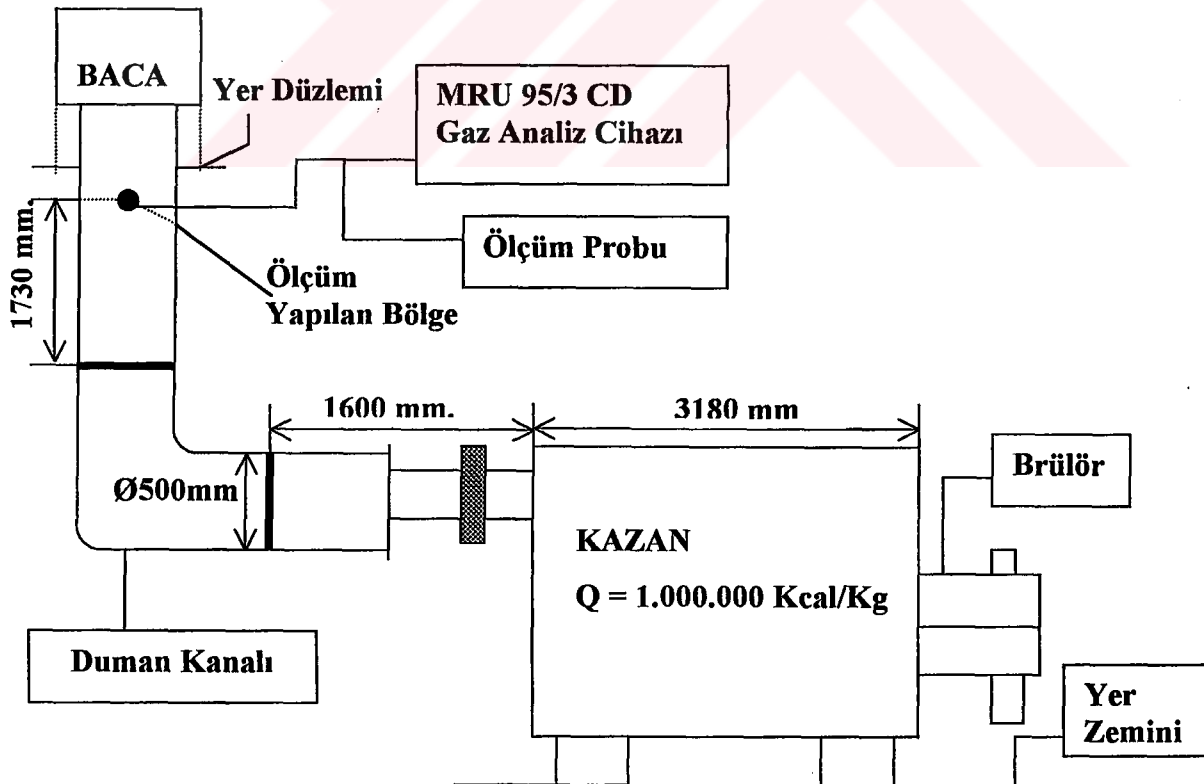
Deneysel ölçümlere başlamadan önce cihaz kendini kalibre edebilmesi için 5 dakika çalıştırılması gerekir. Dijital ekrandan; yakma sisteminde kullanılan yakıt türü seçilir, deneylerde sıvı yakıtlar kullanıldığından (heavy- fuel) modu aşağı-yukarı hareket eden yön tuşu ile belirlenir. Daha sonra ölçüm sensörlerinin bulunduğu uç (prop) ölçüm yapılacak olan noktaya yerleştirilir. Bundan sonra dijital ekranda, cihazla tespit edilen parametreler görülür.

Ölçüm sensörlerinin bulunduğu uç (prop) ölçüm noktasında tutularak değerlerin sabitlenene kadar beklenir ve ortam (çevre) sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) olarak, baca gazı sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) olarak, Oksijen konsantrasyonunu (%) olarak, karbondioksit konsantrasyonunu (%) olarak, ısı verimi (%) olarak, karbonmonoksit konsantrasyonunu (ppm, mg/m^3 veya $\text{mg}/\%3 \text{ O}_2$) olarak, SO_2 konsantrasyonunu (ppm, mg/m^3 veya $\text{mg} / \%3 \text{ O}_2$) olarak, NO_x konsantrasyonunu (ppm, mg/m^3 veya $\text{mg} / \%3 \text{ O}_2$) olarak ölçülmektedir. Burada kararlı bir yanma durumunu sağlanmasına ve yanma gazları değerlerinin stabil hale geldiği değerlerin belirlenmesine dikkat edilmelidir. Tespit edilen değerler cihazın yazıcısı ile kağıda aktarılarak alınmaktadır.

5.4. DENEY DÜZENEKLERİ

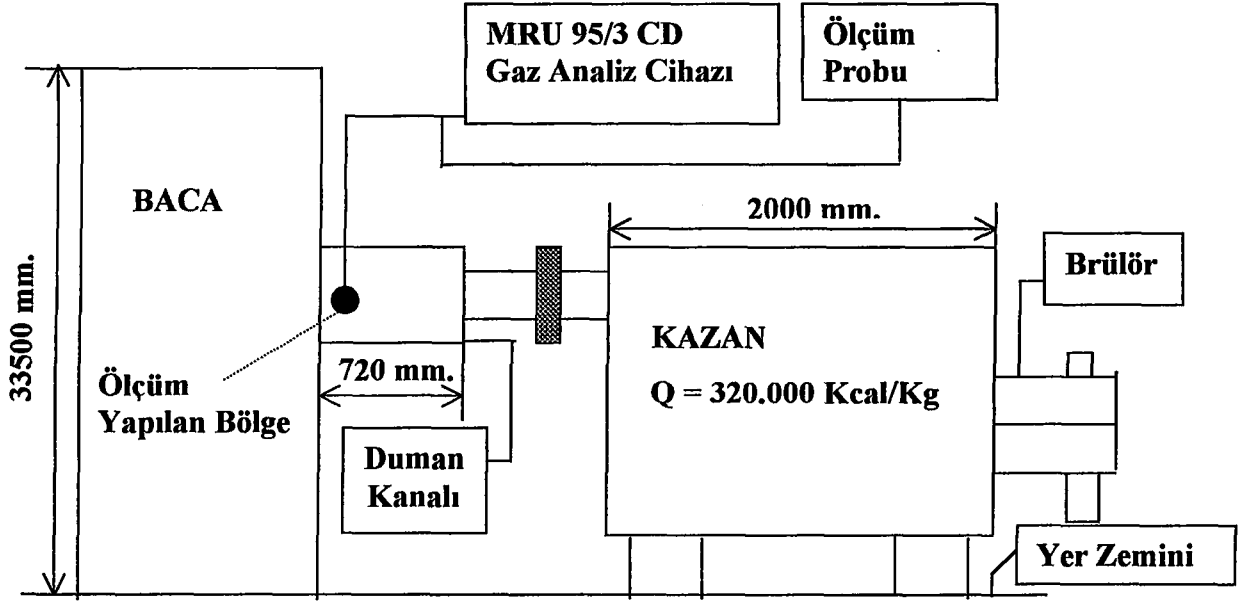
Deneysel çalışmalar değişik yerlerde bulunan sıvı yakıtlı yakma sistemlerinde (kazanlarda) yapılmıştır. Bu sistemler aşağıda ayrı ayrı olarak, yakma sistemini karakterize eden şekilleri ve ana boyutları verilmiştir.

5.4.3. Birinci Deney Düzenegi



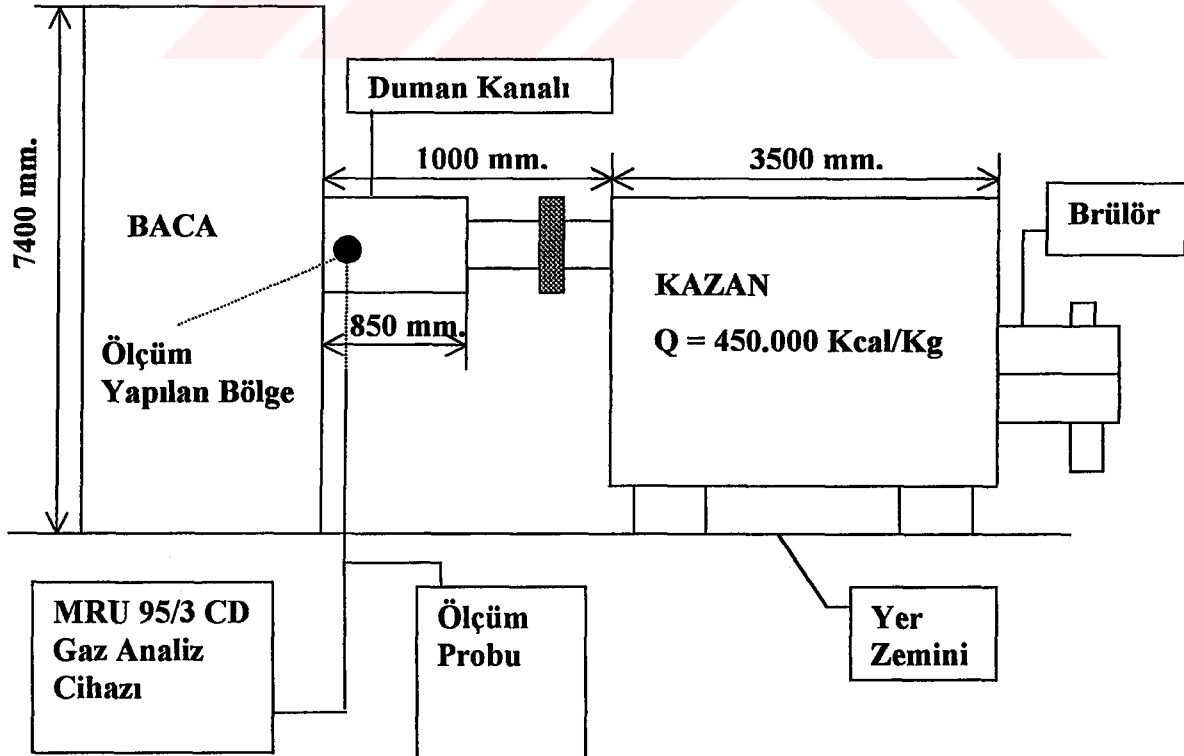
Şekil 5.2. Birinci Deney Yapılan Sistemin Görünüşü. (3.065 MW Gücünde)

5.4.2. İkinci Deney Düzeneği



Şekil 5.3. İkinci Deney Yapılan Sistemin Görünüşü. (0.96 MW Gücünde)

5.4.3. Üçüncü Deney Düzeneği



Şekil 5.4. Üçüncü Deney Yapılan Sistemin Görünüşü. (2.2 MW Gücünde)

5.5. DENEYİN YAPILIŞI

Deneyisel ölçümlere başlamadan önce kazan, yarım saat kadar çalıştırılarak kararlı yanma rejimine ulaşması sağlanır. Sistem üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan brülörün üzerindeki hava-yakıt ayar klapesi değeri, ölçüm bağlantı ucu (prop) duman kanalı merkezine getirilerek hava fazlalık katsayısı (excess air) değeri ölçüm cihazı ekranından tespit edilir. Daha sonra ölçüm yapılacak 4 farklı hava fazlalık değerlerinin ayarlanmasında brülör üzerindeki ayar klapesi açılıp-kapatılmak suretiyle istenilen değere gelip-gelmediği ölçüm cihazı yardımıyla belirlenir. $\lambda = 1.30$, $\lambda = 1.69$, $\lambda = 1.82$, $\lambda = 2.12$ için sistemin ısı performans ve emisyon değerleri belirlenir. Her hava fazlalık değeri için, duman kanalı merkez noktası belirlenerek, merkezden 50 mm. radyal uzaklıklarda duman kanalı kenarına kadar aralıklarla ısı performans ve emisyon değerleri belirlenir.

Ölçüm ucunun (prop) bir önceki ölçümden elde ettiği verilerin sıfırlaması için ölçümler arasında birkaç dakika beklenilir. Aynı yanma şartlarında veriler alabilmek için, kazan sıcaklığı değerinin aynı olması sağlanmalı, bu değer aşıldığı zaman termostat devreye girerek kazan çalışmasını durdurur. Kazan çalışması durduktan sonra bir sonraki ölçümü yapabilmek için kazan sıcaklığının işletme sıcaklığına gelmesi beklenir. Bu arada ölçüm Bu arada ölçüm ucu (prop) ölçüm bağlantı parçası ucundan çıkartılır. Yakma sistemindeki bütün ölçümlerde işletme basıncı, yakıt sıcaklığı, kazan işletme sıcaklığı gibi değerlerin stabil değerlerde kalması sağlanır. Bu değerler, göstergeleri yardımıyla belirli periyotlarla kontrol altında tutulmalıdır.

5.6. DENEYLERDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Deneylerde kullanılan sıvı yakıtların (fuel-oil) bileşimleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 'da verilmiştir. Kullanılan 4 numara fuel-oil' de kükürt oranı % 1.45, azot ve oksijen oranları toplamı %0.89, karbon oranı %86.1, hidrojen oranı %11.56 iken; 6 numara fuel-oil' de kükürt oranı %1.46, azot ve oksijen oranları toplamı %0.92, karbon oranı %85.92, hidrojen oranı %11.7' dir.

Hava fazlalık katsayısının CO emisyonu üzerindeki etkisi; ısı gücü 3.065 MW. olan kazanda CO emisyonu duman kanalı merkezinde hava fazlalık katsayısı $\lambda=1.30$ için; 40 ppm (49 mg/m^3) iken, $\lambda=1.82$ olduğunda 7 ppm (8 mg/m^3)' e düştüğü, ısı gücü 0.96 MW. olan kazanda CO emisyonu duman kanalı merkezinde $\lambda=1.30$ için; 93 ppm (116 mg/m^3) iken, $\lambda=1.69$ olduğunda 78 ppm (97 mg/m^3)' e düştüğü Şekil 5.27, Şekil 5.32, Şekil 5.37, Şekil 5.40, Şekil 5.45, Şekil 5.50' de görülmektedir. Bu değerlerden hava fazlalık katsayısı arttıkça CO emisyonun genellikle azaldığı görülmektedir.

Hava fazlalık katsayısının SO_2 emisyonu üzerindeki etkisi; ısı gücü 3.065 MW. olan kazanda SO_2 emisyonu duman kanalı merkezinde hava fazlalık katsayısı $\lambda=1.30$ için; 366 ppm (1046 mg/m^3) iken, $\lambda=1.69$ olduğunda 397 ppm (1135 mg/m^3) yükseldiği, ısı gücü 0.96 MW. olan kazanda SO_2 emisyonu duman kanalı merkezinde $\lambda=1.30$ için; 39 ppm (111 mg/m^3) iken, $\lambda=1.69$ olduğunda 353 ppm (1009 mg/m^3)' e yükseldiği Şekil 5.28, Şekil 5.33, Şekil 5.38, Şekil 5.41, Şekil 5.46, Şekil 5.51, Şekil 5.56' da görülmektedir. Bu verilerden SO_2 emisyonunun hava fazlalık katsayısına bağlı olarak fazla değişmediği görülmektedir.

Hava fazlalık katsayısının NO_x emisyonu üzerindeki etkisi; ısı gücü 0.96 MW. olan kazanda NO_x emisyonu duman kanalı merkezinde $\lambda=1.30$ için; 148 ppm (203 mg/m^3) iken, $\lambda = 2.12$ olduğunda 125 ppm (171 mg/m^3)'e düştüğü, ısı gücü 3.065 MW. olan kazanda NO_x emisyonu duman kanalı merkezinde hava fazlalık katsayısı $\lambda=1.30$ için; 171 ppm (235 mg/m^3) iken, $\lambda=1.69$ olduğunda 152 ppm (209 mg/m^3)'e düştüğü Şekil 5.11, Şekil 5.16, Şekil 5.21, Şekil 5.26, Şekil 5.29, Şekil 5.34, Şekil 5.39, Şekil 5.40, Şekil 5.42, Şekil 5.47, Şekil 5.52, Şekil 5.57' de görülmektedir. Bu değerlerden hava fazlalık katsayısı arttıkça baca gazı sıcaklığının azaldığı ve dolayısıyla NO_x emisyonunun azaldığı görülmektedir.

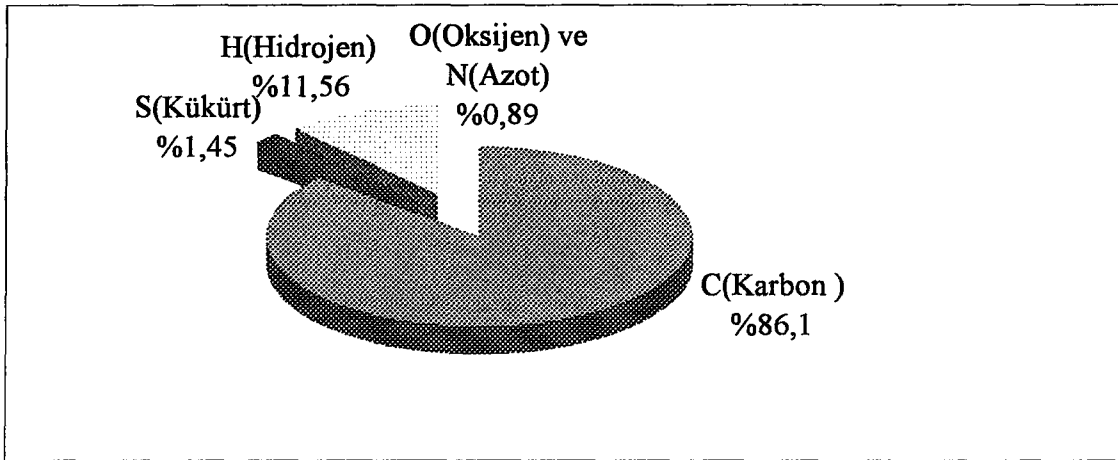
Hava fazlalık katsayısının ısı verim üzerindeki etkisi; ısı gücü 3.065 MW. olan kazanda ısı verim duman kanalı merkezinde hava fazlalık katsayısı $\lambda=1.30$ için; $\eta=93.1$ iken, $\lambda=1.69$ olduğunda $\eta=90.5$ 'e ve $\lambda=2.12$ olduğunda $\eta= 87$ ' ye düştüğü, ısı gücü 0.96 MW. olan kazanda ısı verimin duman kanalı merkezinde $\lambda=1.30$ için; $\eta= 89.6$ iken, $\lambda=1.69$ olduğunda $\eta = 88.2$ ' ye ve $\lambda=2.12$ olduğunda $\eta = 82.7$ ' ye düştüğü Şekil 5.30, Şekil 5.35, Şekil 5.43, Şekil 5.48, Şekil 5.53, Şekil 5.58' de görülmektedir. Bu verilerden hava fazlalık katsayısı arttıkça ısı verimin azaldığı görülmektedir.

Kullanılan yakıtın CO emisyonu üzerindeki etkisi; 4 numara fuel-oil kullanılan kazanda CO emisyonu aynı hava fazlalık değerleri için; duman kanalı merkezinde 93 ppm (116 mg/m³) iken, 6 numara fuel-oil kullanılan kazanda CO emisyonu duman kanalı merkezinde 40 ppm (49 mg/m³) düştüğü, 4 numara fuel-oil kullanılan kazanda CO emisyonu duman kanalı merkezinde 194 ppm (242 mg/m³) iken, 6 numara fuel-oil kullanılan kazanda CO emisyonu duman kanalı merkezinde 67 ppm (83 mg/m³)' e düştüğü Şekil 5.7, Şekil 5.12, Şekil 5.17, Şekil 5.22' de görülmektedir. Bu değerlerden CO emisyonunun yakıt göre fazla bir değişim göstermediği görülmektedir.

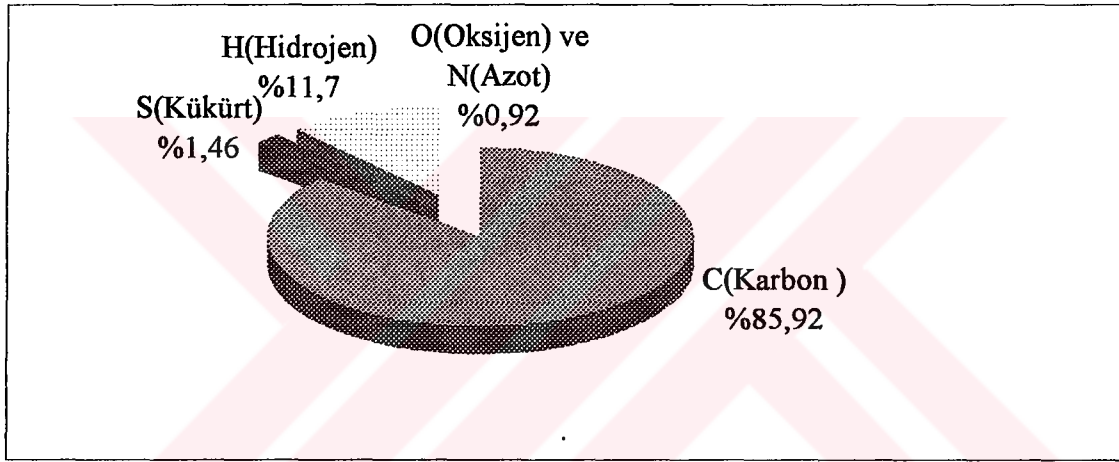
Kullanılan yakıtın SO₂ emisyonu üzerindeki etkisi; 4 numara fuel-oil kullanılan kazanda SO₂ emisyonu aynı hava fazlalık değerleri için; duman kanalı merkezinde 291 ppm iken, 6 numara fuel-oil kullanılan kazanda SO₂ emisyonu duman kanalı merkezinde 448 ppm olduğu, 4 numara fuel-oil kullanılan kazanda SO₂ emisyonu duman kanalı merkezinde 39 ppm iken, 6 numara fuel-oil kullanılan kazanda SO₂ emisyonu duman kanalı merkezinde 67 ppm olduğu Şekil 5.8, Şekil 5.13, Şekil 5.18, Şekil 5.23 ve Ek-B' de görülmektedir. Bu değerlerden SO₂ emisyonu büyük ölçüde yakıt bileşimindeki kükürt oranına bağlı olduğu görülmektedir.

Kullanılan yakıtın NO_x emisyonu üzerindeki etkisi; 4 numara fuel-oil kullanılan kazanda NO_x emisyonu aynı hava fazlalık değerleri için; duman kanalı merkezinde 148 ppm (203 mg/m³) iken, 6 numara fuel-oil kullanılan kazanda NO_x emisyonu duman kanalı merkezinde 171 ppm (235 mg/m³)' e yükseldiği, 4 numara fuel-oil kullanılan kazanda NO_x emisyonu duman kanalı merkezinde 159 ppm (218 mg/m³) iken, 6 numara fuel-oil kullanılan kazanda NO_x emisyonu duman kanalı merkezinde 152 ppm (209 mg/m³)' e düştüğü Şekil 5.9, Şekil 5.14, Şekil 5.19, Şekil 5.24' de görülmektedir. Bu değerlerden NO_x emisyonunun yakıt bileşimindeki azot oranına bağlı olarak farklılık gösterebileceği görülmektedir.

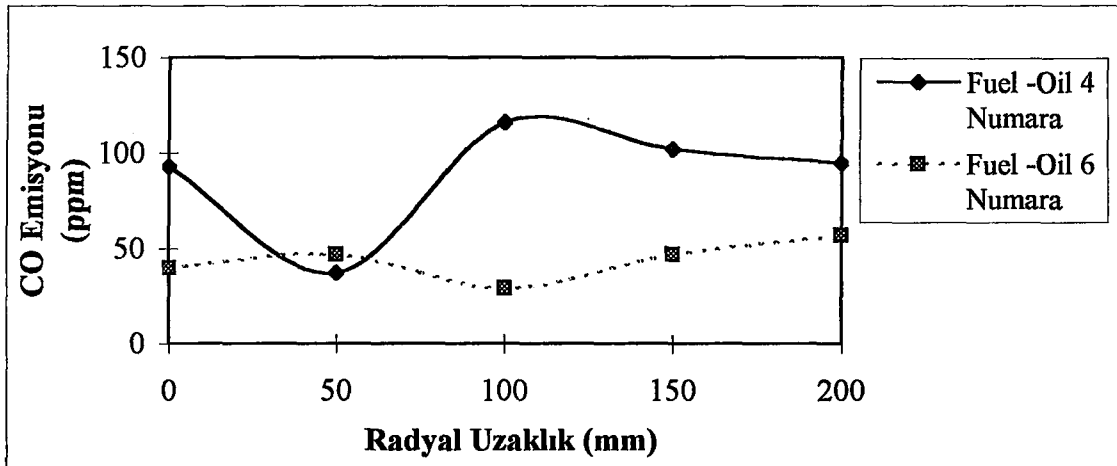
Kullanılan yakıtın ısı verim üzerindeki etkisi; aynı hava fazlalık değerleri için 4 numara fuel-oil kullanılan kazanda ısı verim duman kanalı merkezinde $\eta = 84.4$ iken, 6 numara fuel-oil kullanılan kazanda ısı verim duman kanalı merkezinde $\eta = 90.8$ ' e yükseldiği, 4 numara fuel-oil kullanılan kazanda ısı verim duman kanalı merkezinde $\eta = 82.7$ iken, 6 numara fuel-oil kullanılan kazanda ısı verim duman kanalı merkezinde $\eta = 87$ ' ye yükseldiği Şekil 5.10, Şekil 5.15, Şekil 5.20, Şekil 5.25' de görülmektedir. Bu verilerden ısı verimin yakıtın ısı değerine bağlı olduğu görülmektedir.



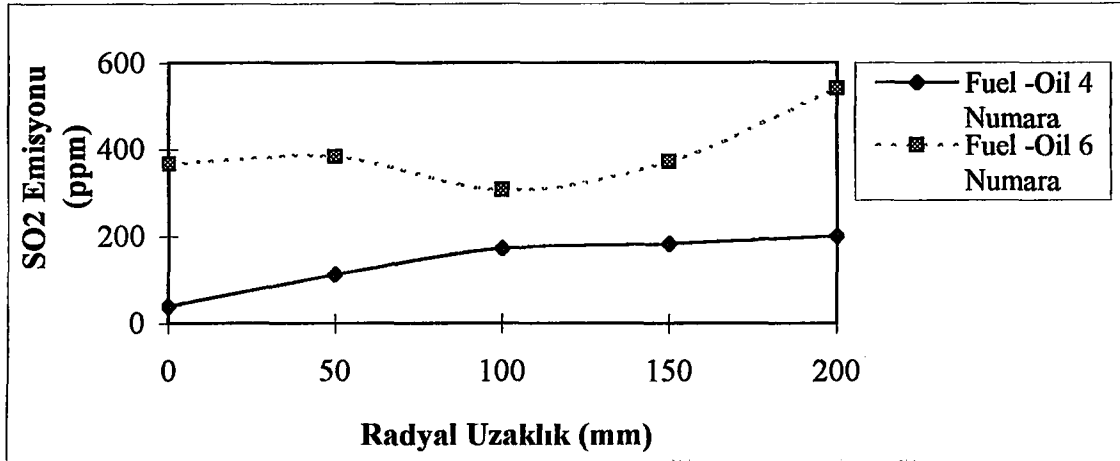
Şekil 5.5. Deneyde Kullanılan 4 Numara Fuel-Oil Bileşimi.



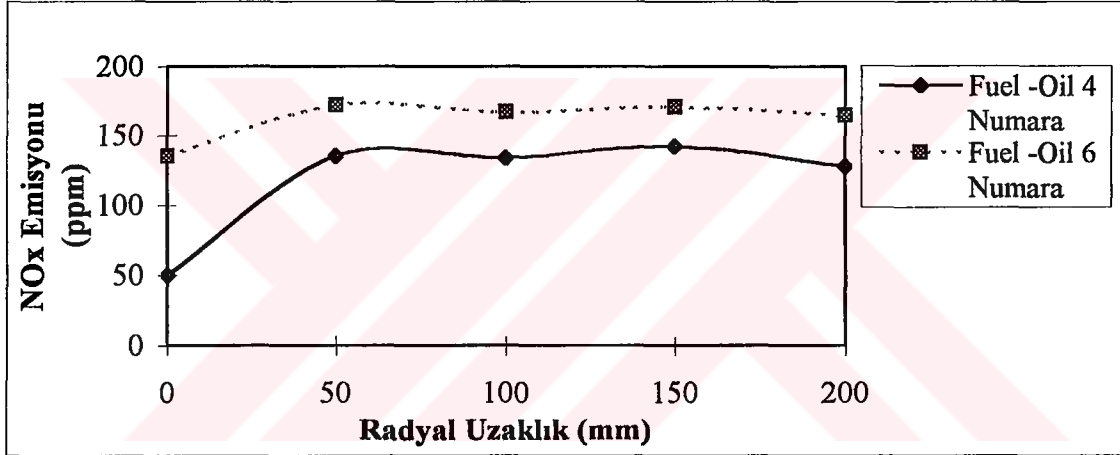
Şekil 5.6. Deneyde Kullanılan 6 Numara Fuel-Oil Bileşimi.



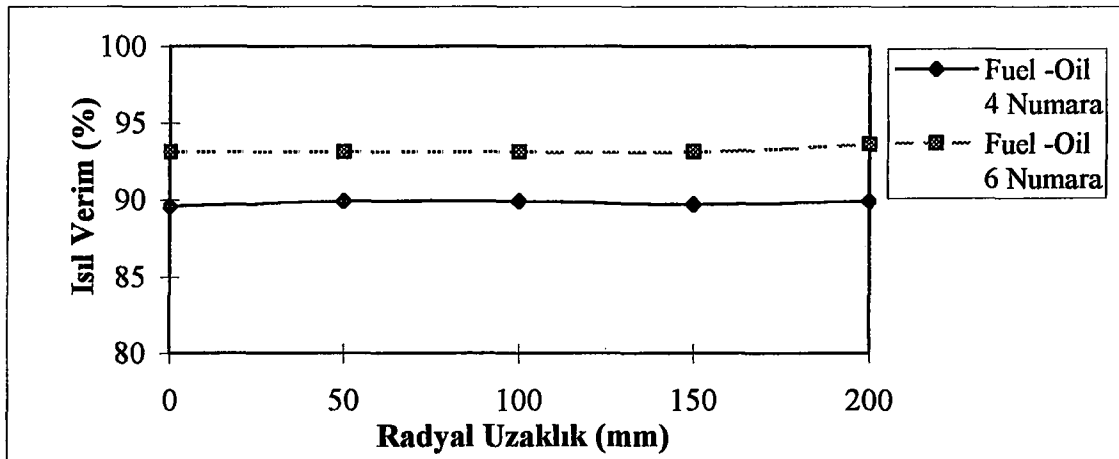
Şekil 5.7. İki Farklı Yakıtta CO Emisyonunun Değişimi. ($\lambda=1.30$)



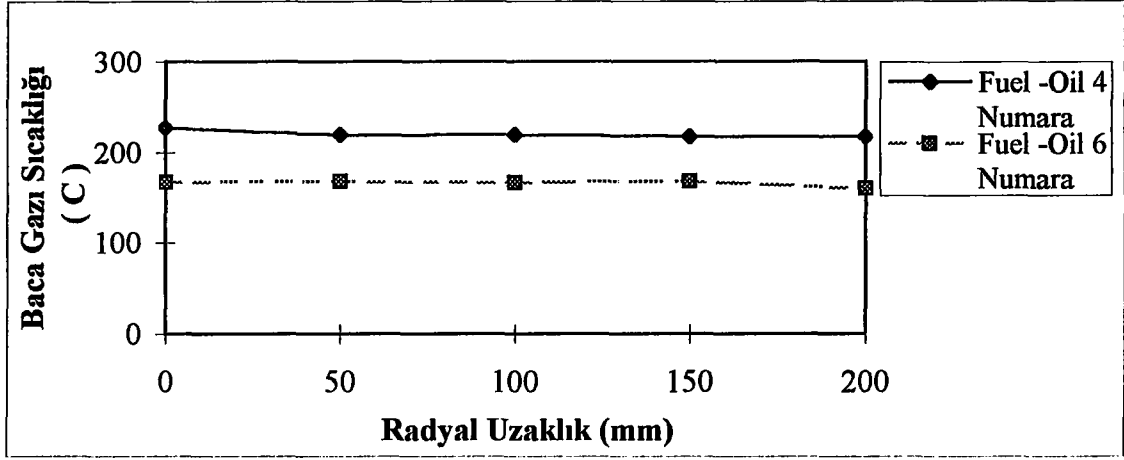
Şekil 5.8. İki Farklı Yakıtta SO₂ Emisyonun Değişimi. ($\lambda=1.30$)



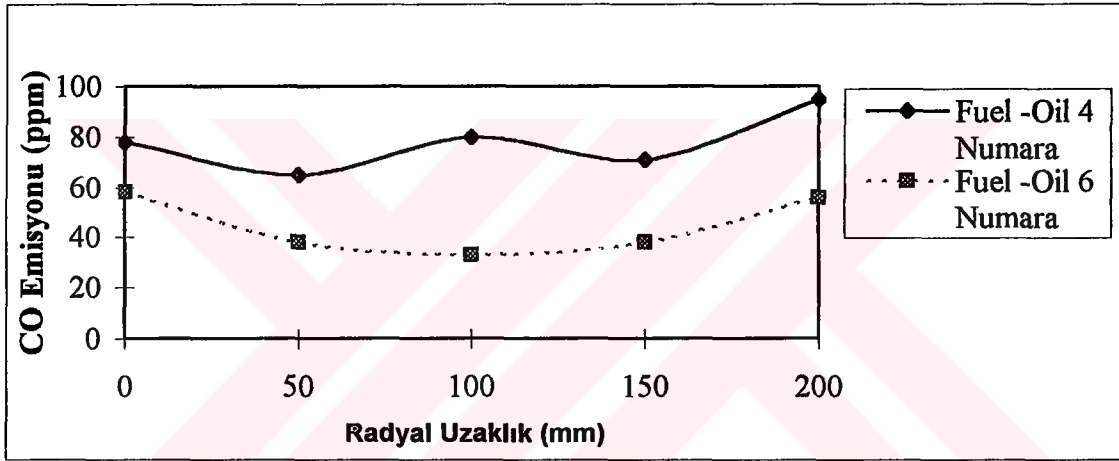
Şekil 5.9. İki Farklı Yakıtta NO_x Emisyonun Değişimi. ($\lambda=1.30$)



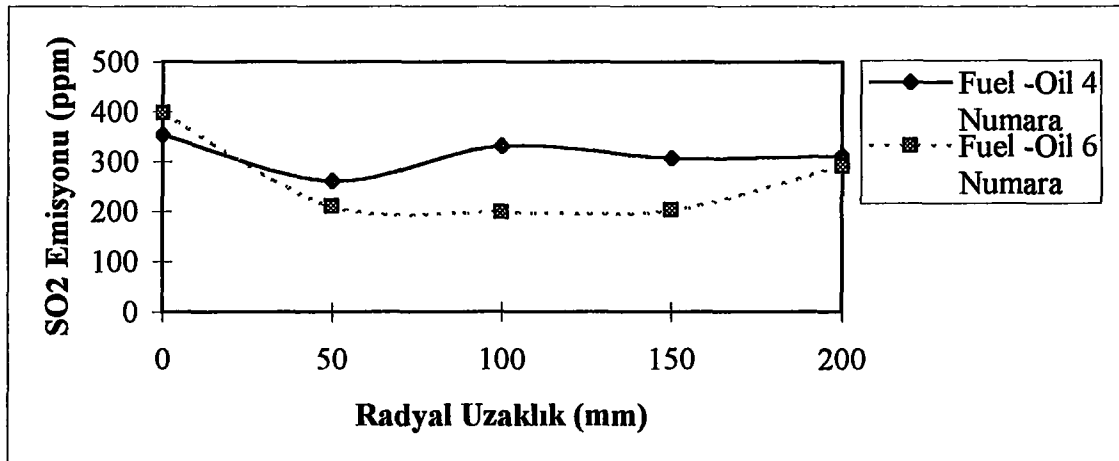
Şekil 5.10. İki Farklı Yakıtta Isıl Verimin Değişimi. ($\lambda=1.30$)



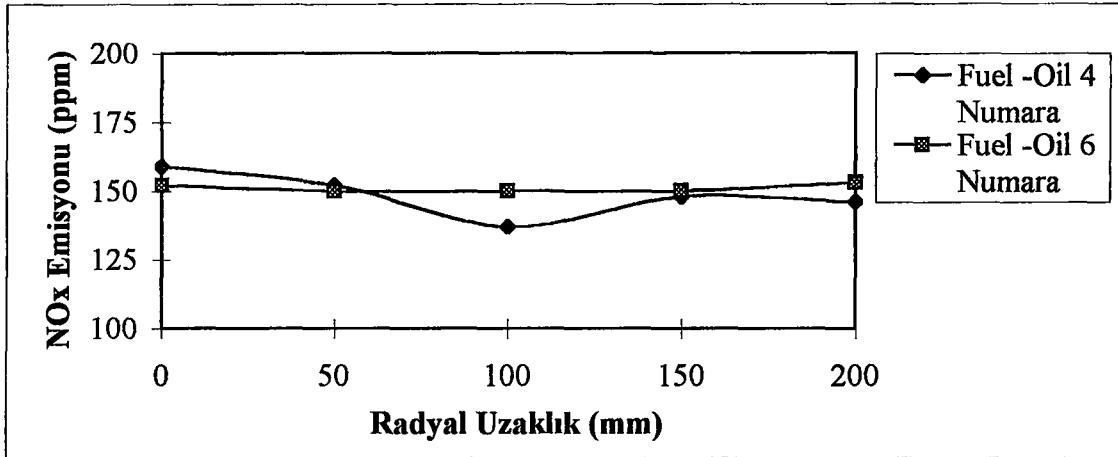
Şekil 5.11. İki Farklı Yakıtta Baca Gazı Sıcaklığının Değişimi. ($\lambda=1.30$)



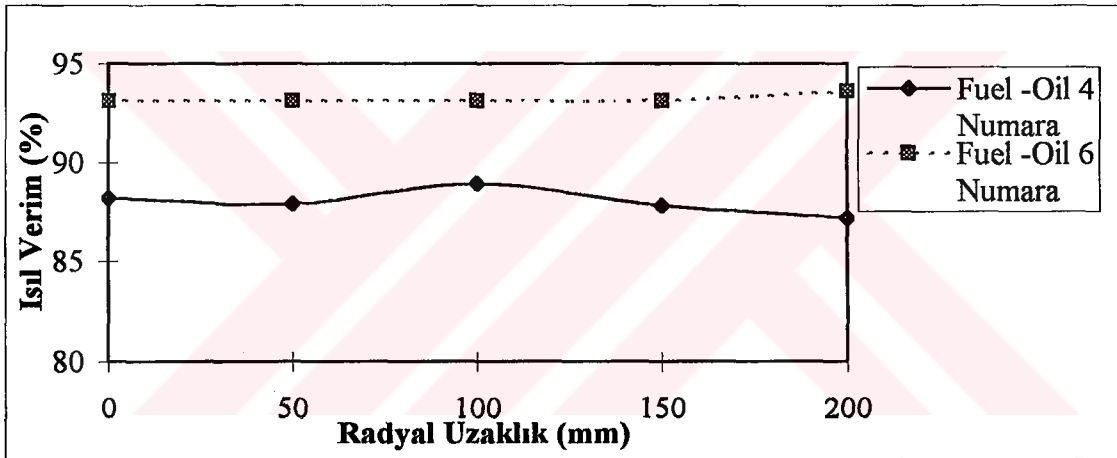
Şekil 5.12. İki Farklı Yakıtta CO Emisyonunun Değişimi. ($\lambda=1.69$)



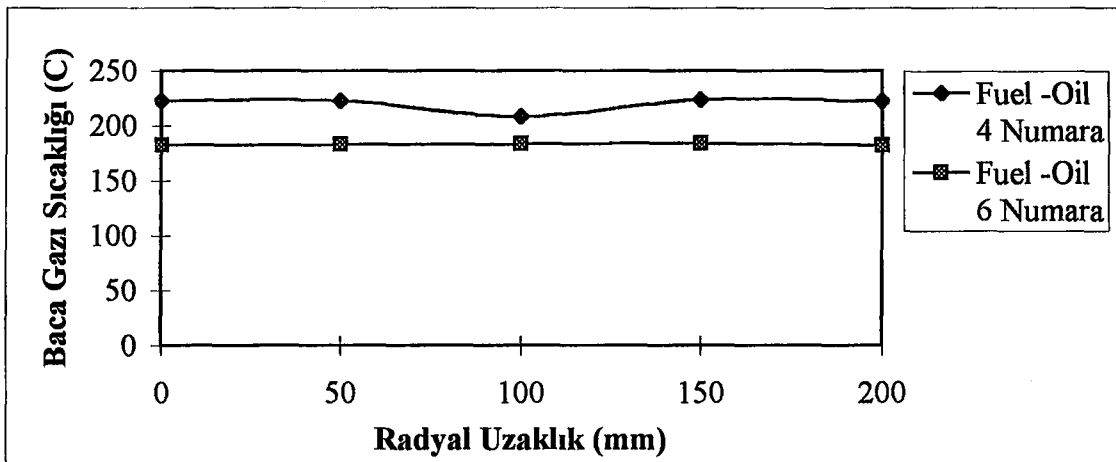
Şekil 5.13. İki Farklı Yakıtta SO₂ Emisyonunun Değişimi. ($\lambda=1.69$)



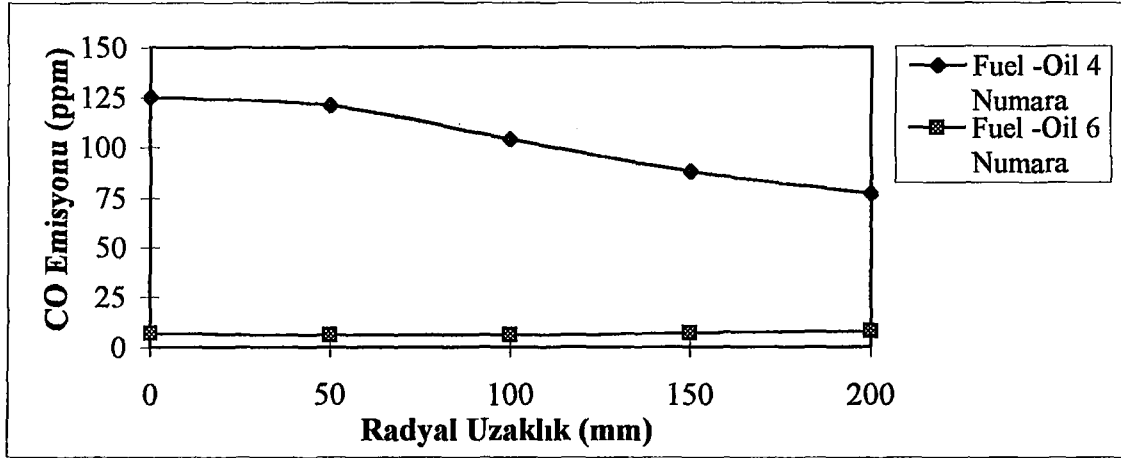
Şekil 5.14. İki Farklı Yakıtta NO_x Emisyonun Değişimi. ($\lambda=1.69$)



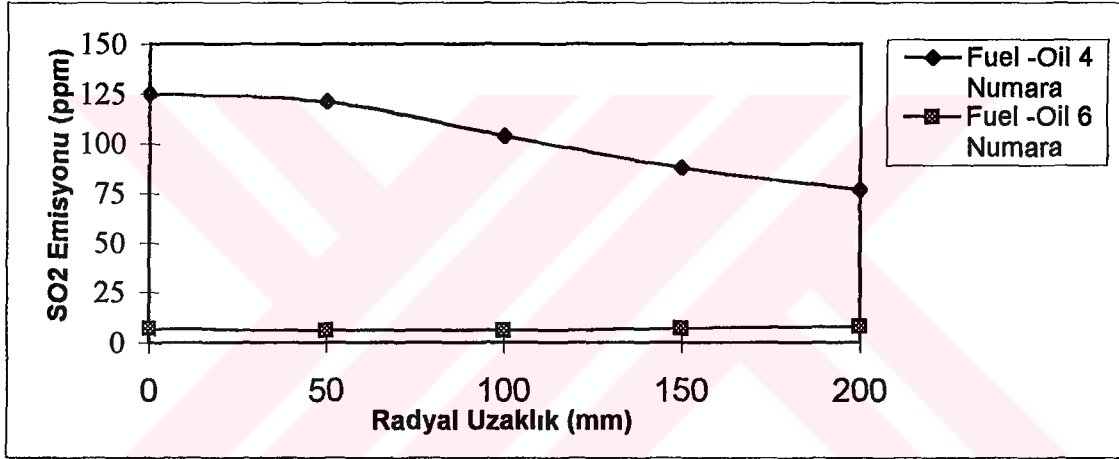
Şekil 5.15. İki Farklı Yakıtta Isıl Verimin Değişimi. ($\lambda=1.69$)



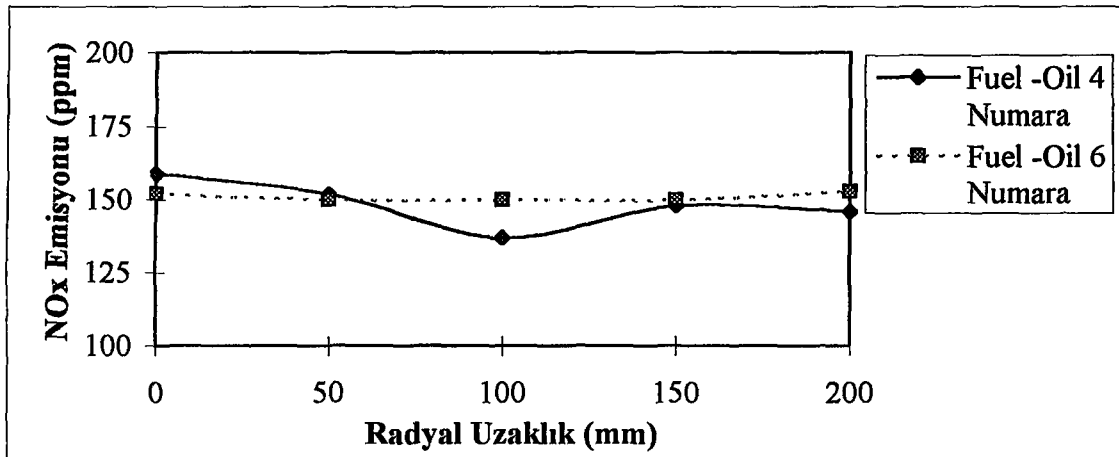
Şekil 5.16. İki Farklı Yakıtta Baca Gazı Sıcaklığının Değişimi. ($\lambda=1.69$)



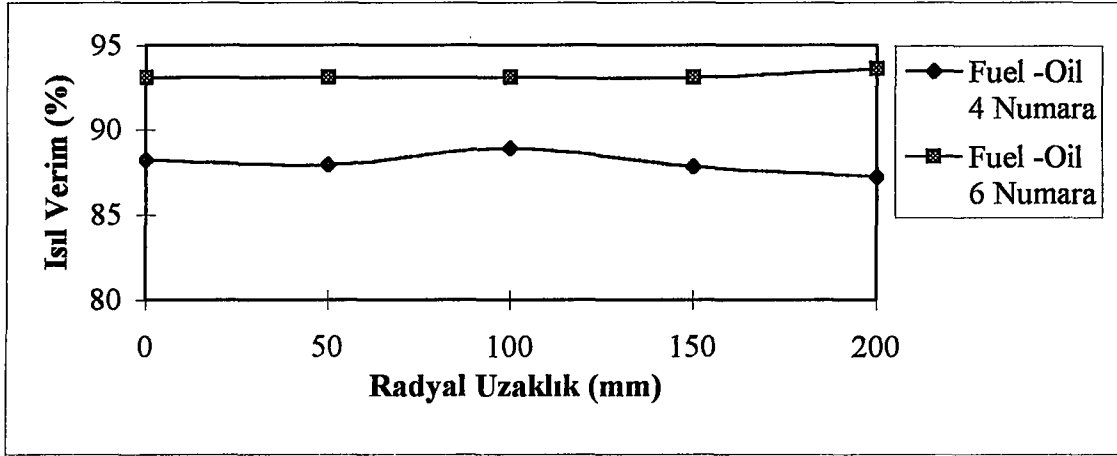
Şekil 5.17. İki Farklı Yakıtta CO Emisyonunun Değişimi. ($\lambda=1.82$)



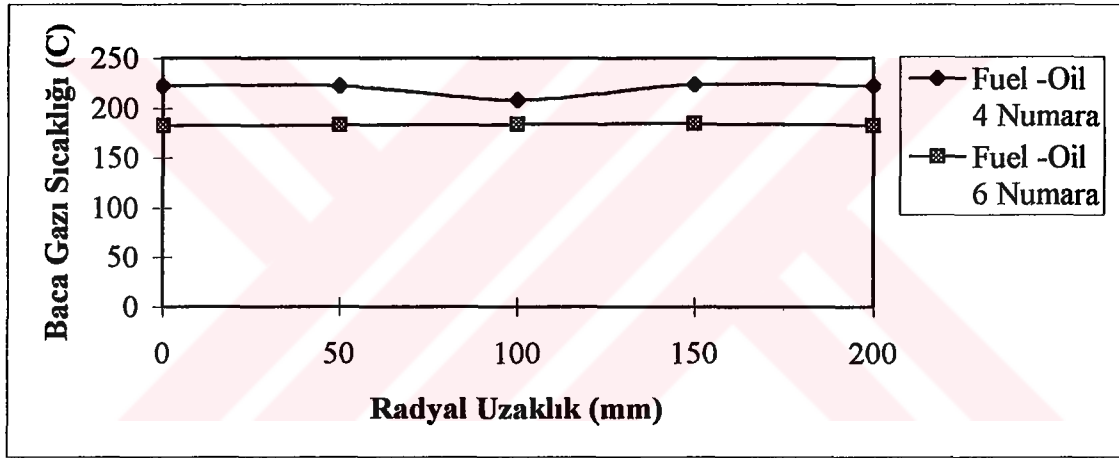
Şekil 5.18. İki Farklı Yakıtta SO₂ Emisyonunun Değişimi. ($\lambda=1.82$)



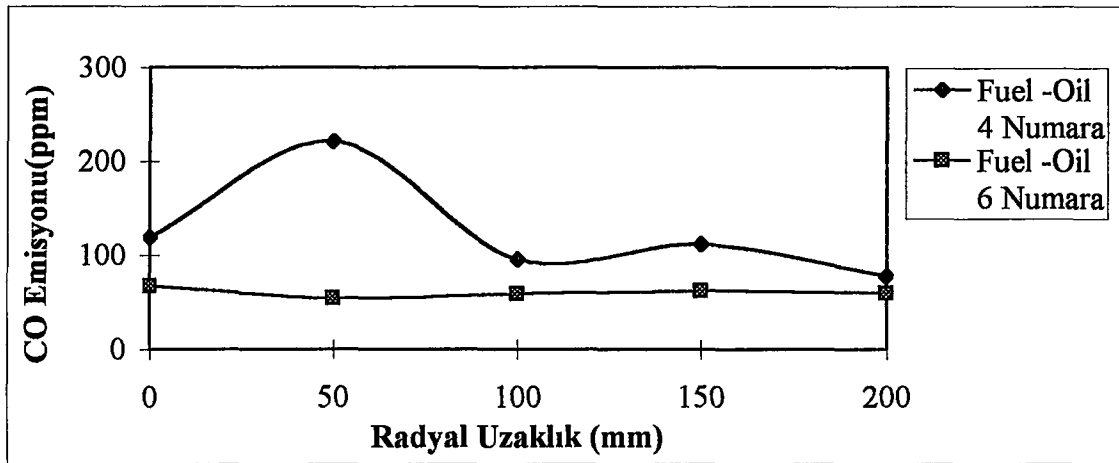
Şekil 5.19. İki Farklı Yakıtta NO_x Emisyonunun Değişimi. ($\lambda=1.82$)



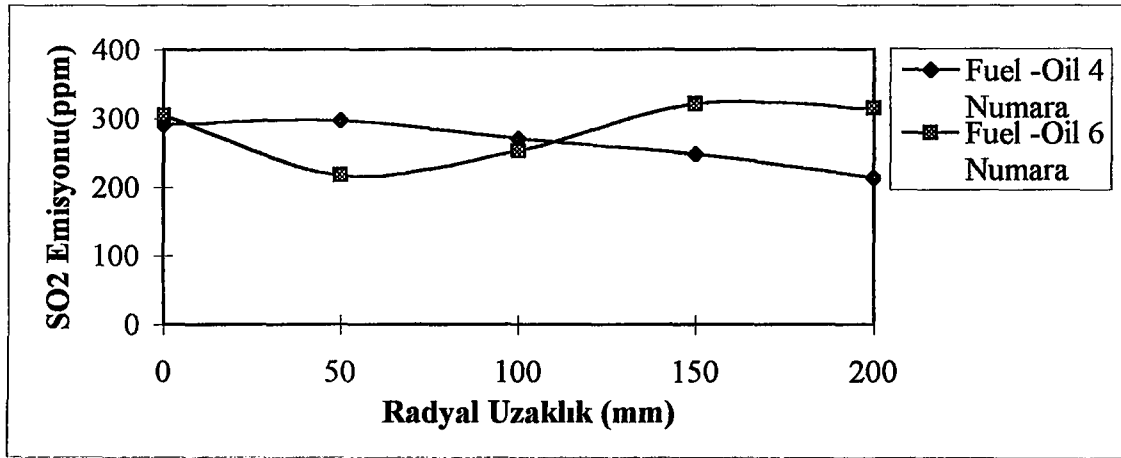
Şekil 5.20. İki Farklı Yakıtta Isıl Verimin Değişimi. ($\lambda=1.82$)



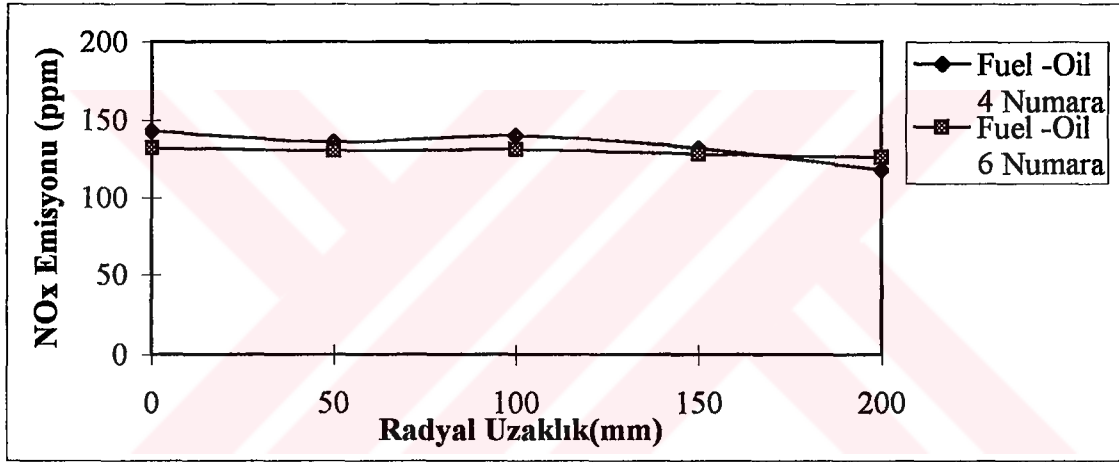
Şekil 5.21. İki Farklı Yakıtta Baca Gazı Sıcaklığının Değişimi. ($\lambda=1.82$)



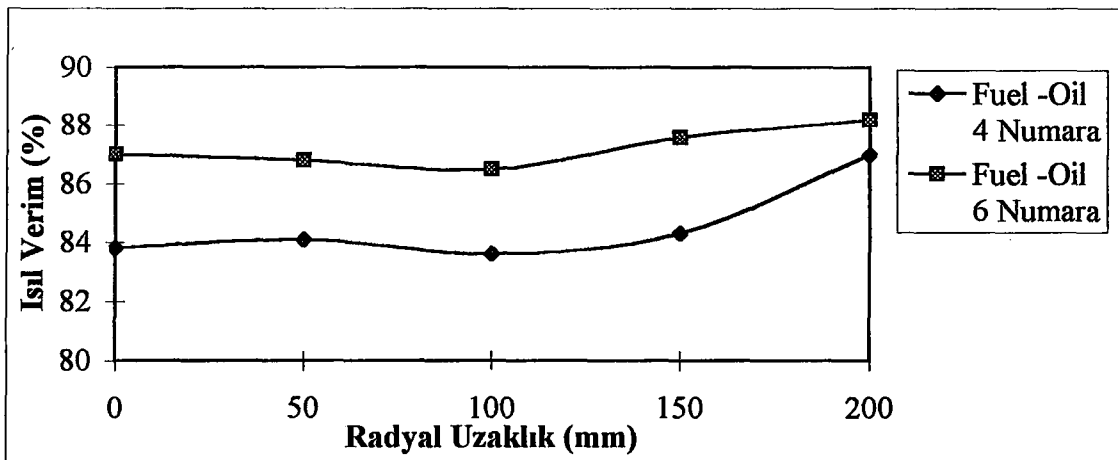
Şekil 5.22. İki Farklı Yakıtta CO Emisyonunun Değişimi. ($\lambda=2.12$)



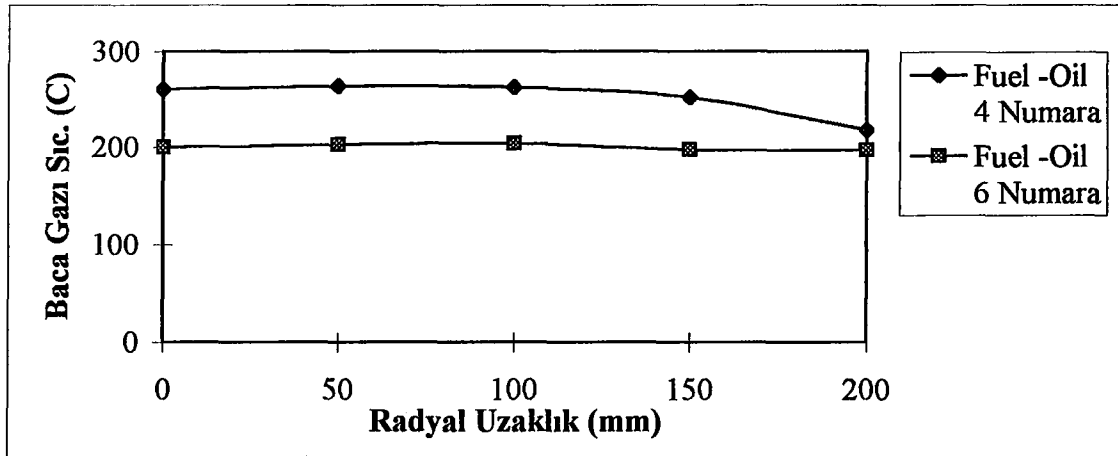
Şekil 5.23. İki Farklı Yakıtta SO₂ Emisyonunun Değişimi. ($\lambda=2.12$)



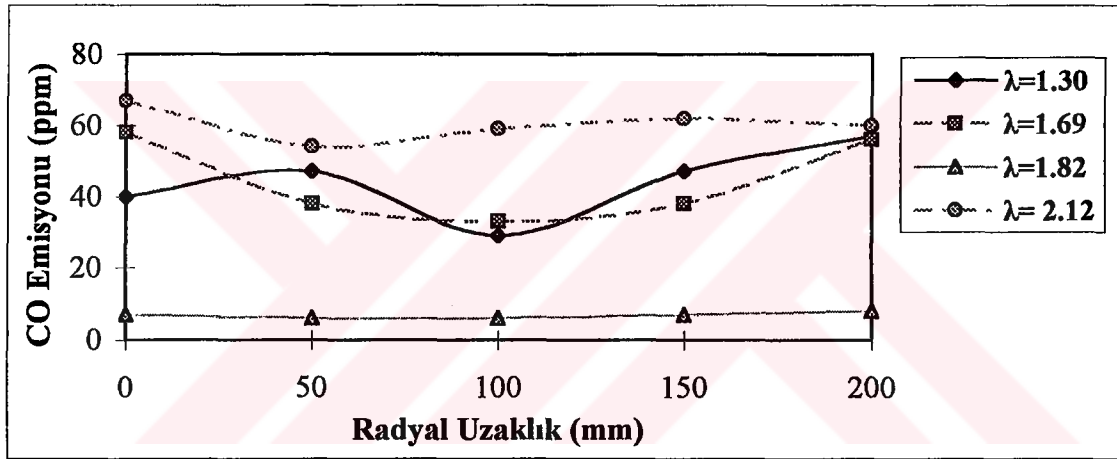
Şekil 5.24. İki Farklı Yakıtta NO_x Emisyonunun Değişimi. ($\lambda=2.12$)



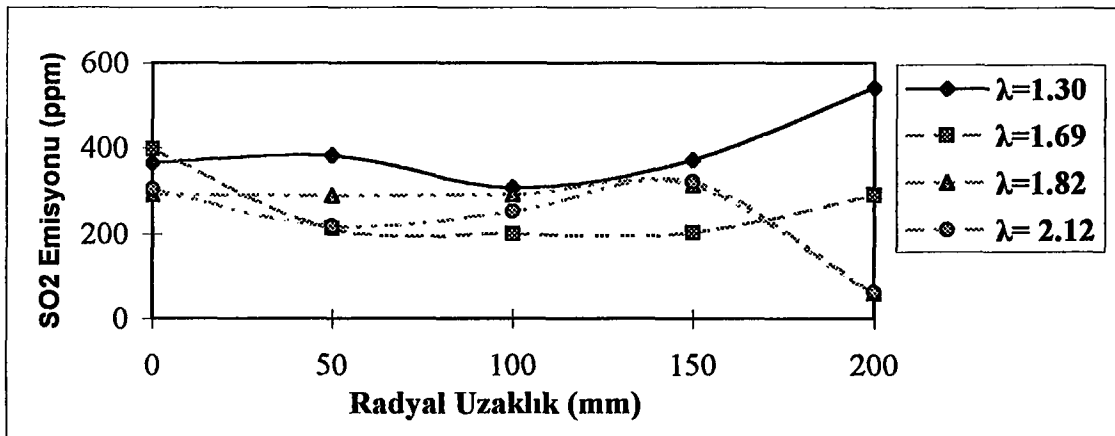
Şekil 5.25. İki Farklı Yakıtta Isıl Verimin Değişimi. ($\lambda=2.12$)



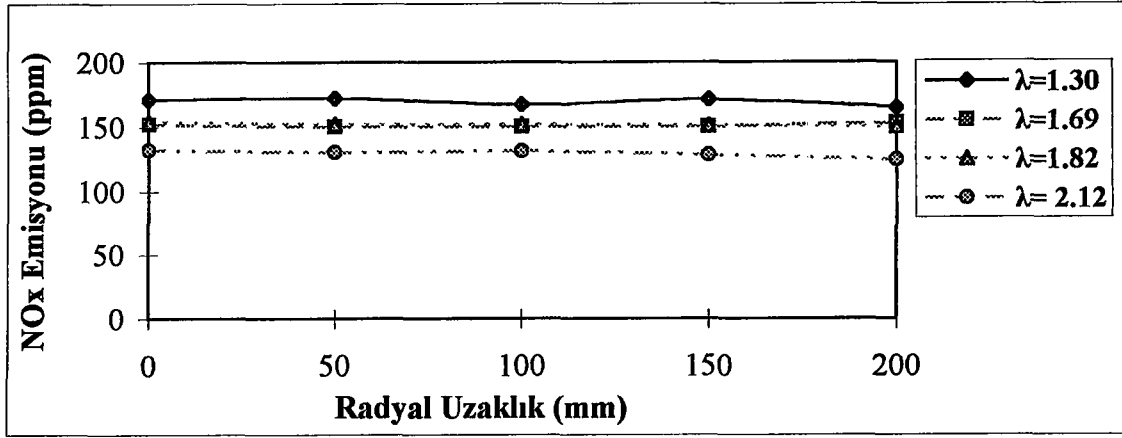
Şekil 5.26. İki Farklı Yakıtta Baca Gazı Sıcaklığının Değişimi. ($\lambda=2.12$)



Şekil 5.27. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının CO Emisyonuna Etkisi.
(1.Deneyin Yapıldığı Sistem ,Güç =3.065 MW)

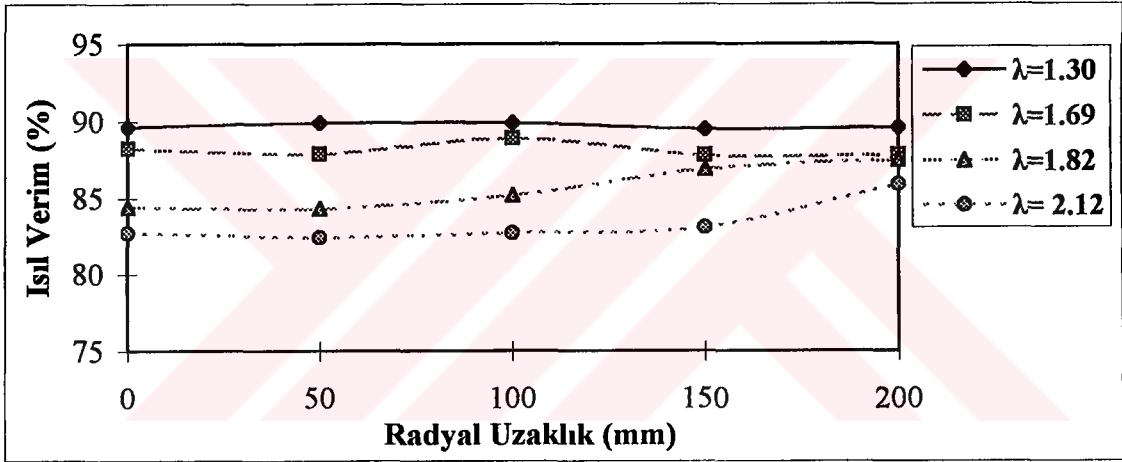


Şekil 5.28. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının SO₂ Emisyonuna Etkisi.
(1.Deneyin Yapıldığı Sistem ,Güç =3.065 MW)



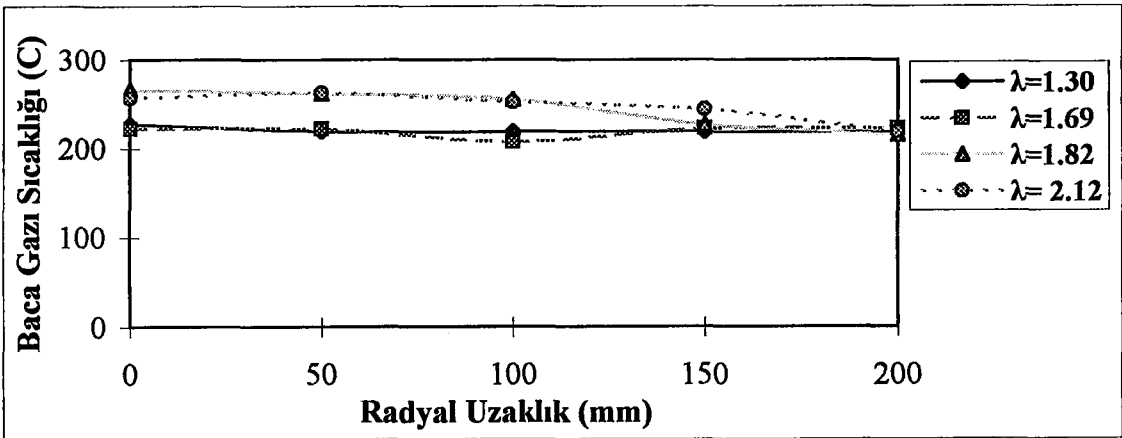
Şekil 5.29. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının NO_x Emisyonuna Etkisi.

(1.Deneyin Yapıldığı Sistem ,Güç =3.065 MW)



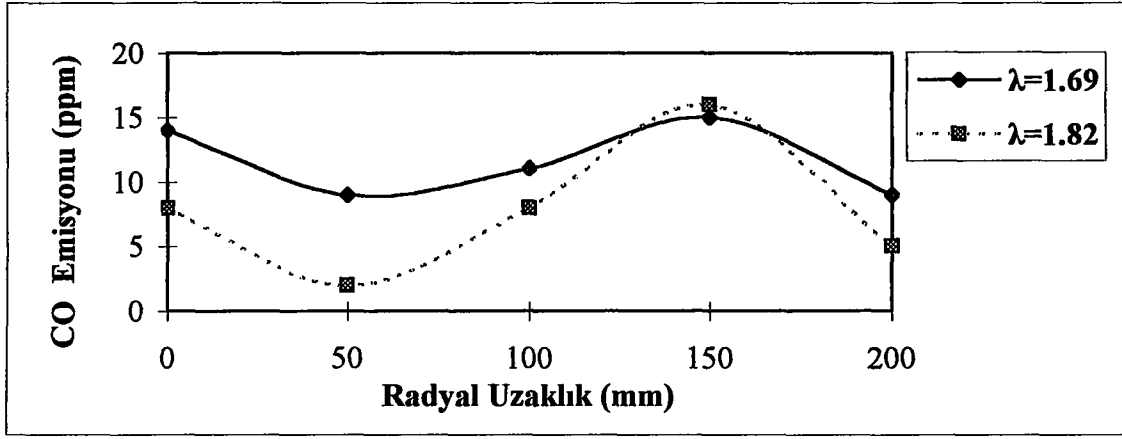
Şekil 5.30 . Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Isıl Verime Etkisi.

(1.Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç =3.065 MW)

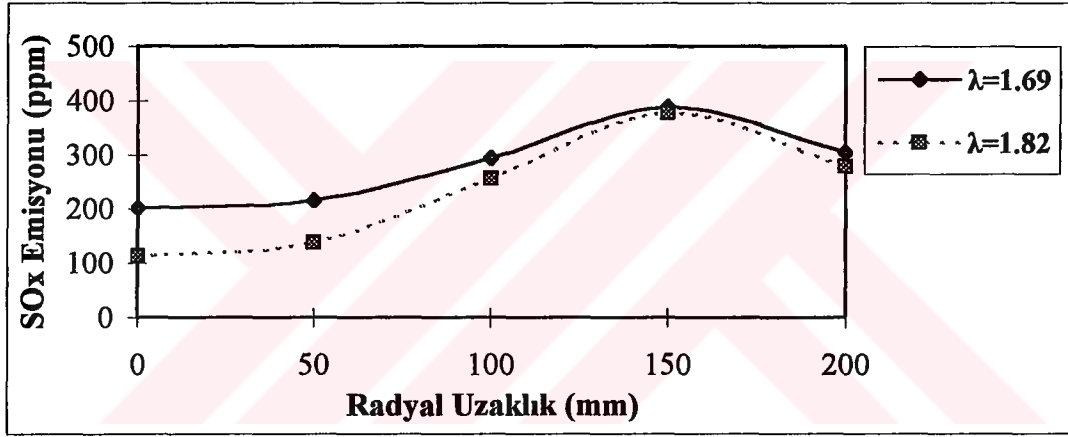


Şekil 5.31. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Baca Gazı Sıcaklığına Etkisi.

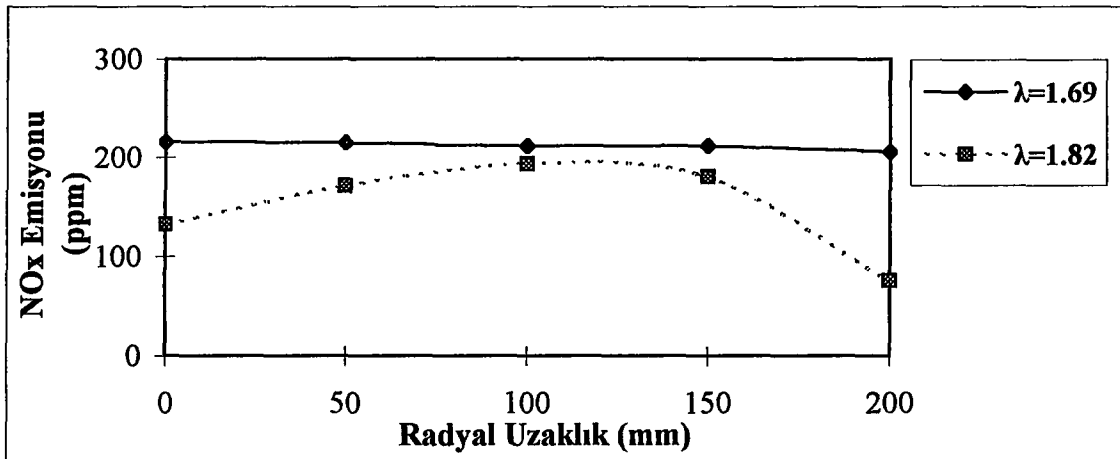
(1.Deneyin Yapıldığı Sistem ,Güç =3.065 MW)



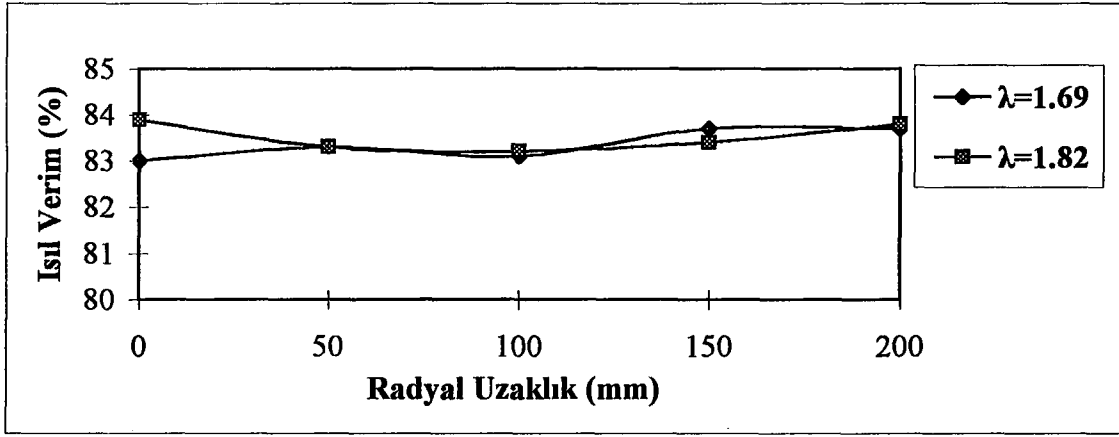
Şekil 5.32. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının CO Emisyonuna Etkisi.
(3. Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç = 2.2 MW)



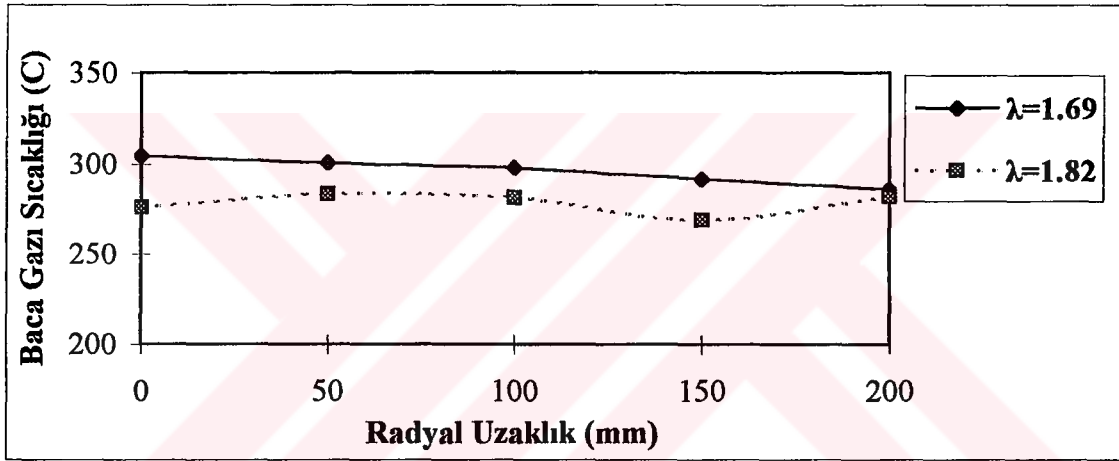
Şekil 5.33. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının SO₂ Emisyonuna Etkisi.
(3. Deneyin Yapıldığı Sistem , Güç = 2.2 MW)



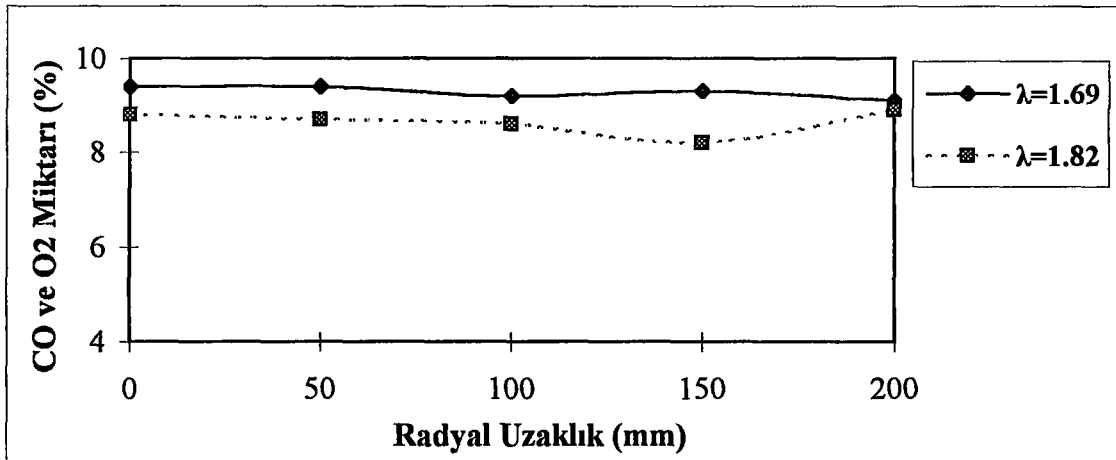
Şekil 5.34. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının NO_x Emisyonuna Etkisi.
(3. Deneyin Yapıldığı Sistem , Güç = 2.2 MW)



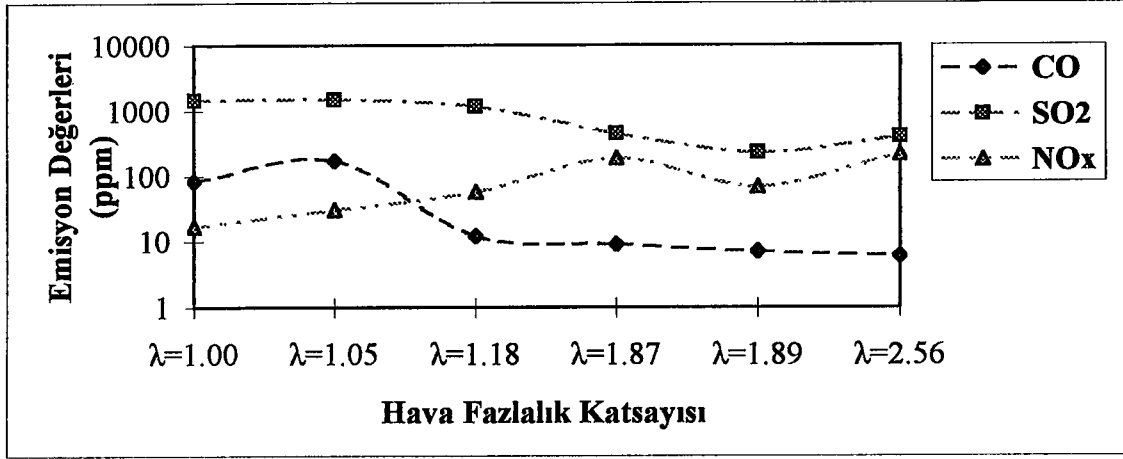
Şekil 5.35. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Isıl Verime Etkisi.
(3.Deneyin Yapıldığı Sistem , Güç = 2.2 MW)



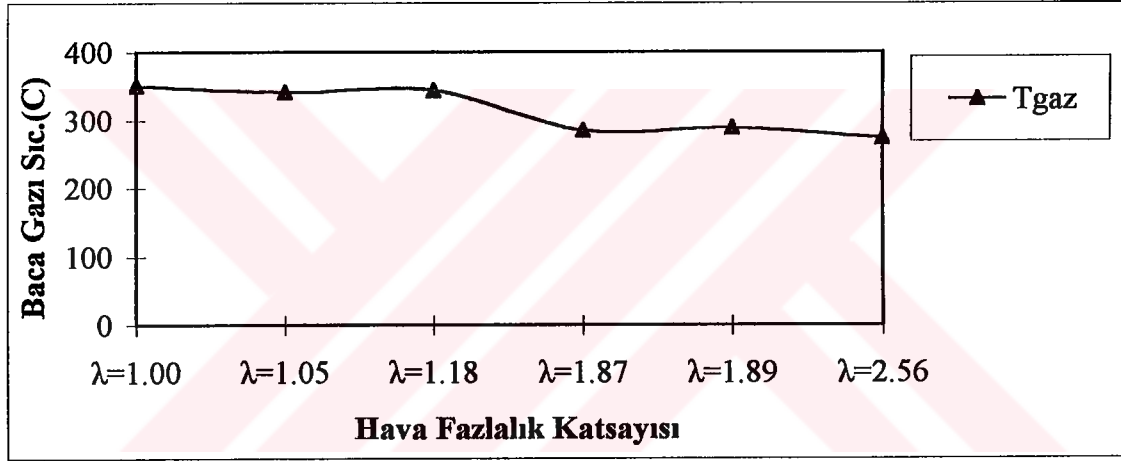
Şekil 5.36. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Isıl Verime Etkisi.
(3.Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç = 2.2 MW)



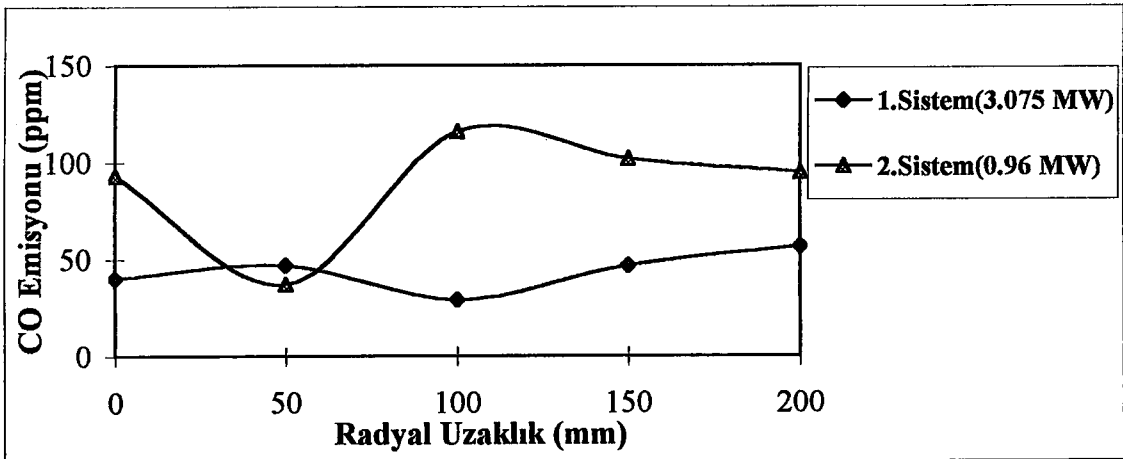
Şekil 5.37. Değişik Hava Fazlalık Katsayıları ile CO ve O2 Miktarlarının Değişimi
(3. Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç = 2.2 MW)



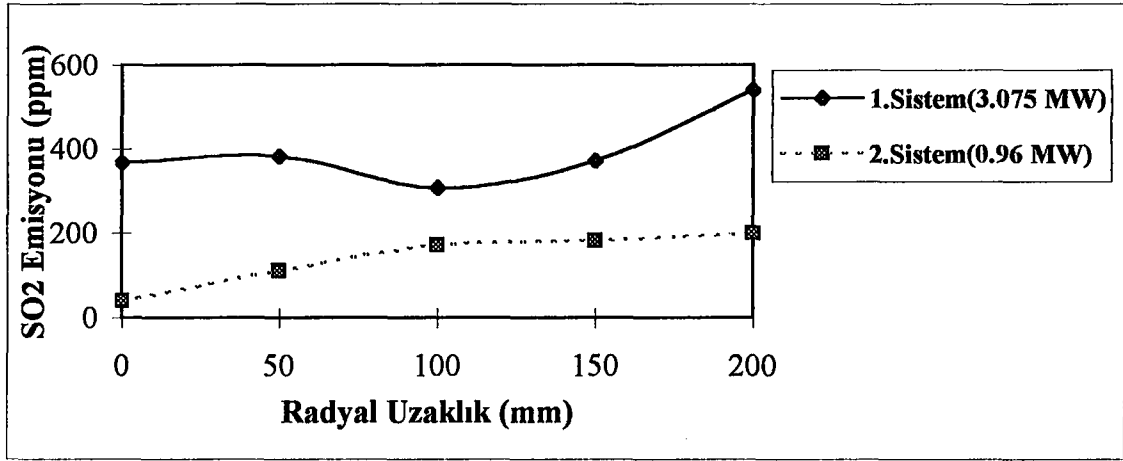
Şekil 5.38. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Emisyonlara Etkisi.
(3. Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç = 2.2 MW)



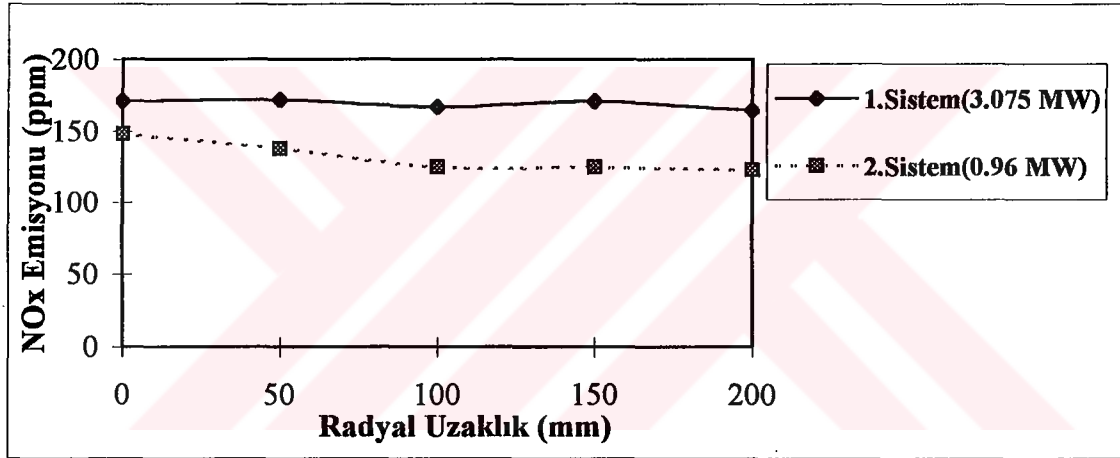
Şekil 5.39. Değişik Hava Fazlalık Katsayılarının Baca Gazı Sıcaklığına Etkisi.
(3. Deneyin Yapıldığı Sistem, Güç = 2.2 MW)



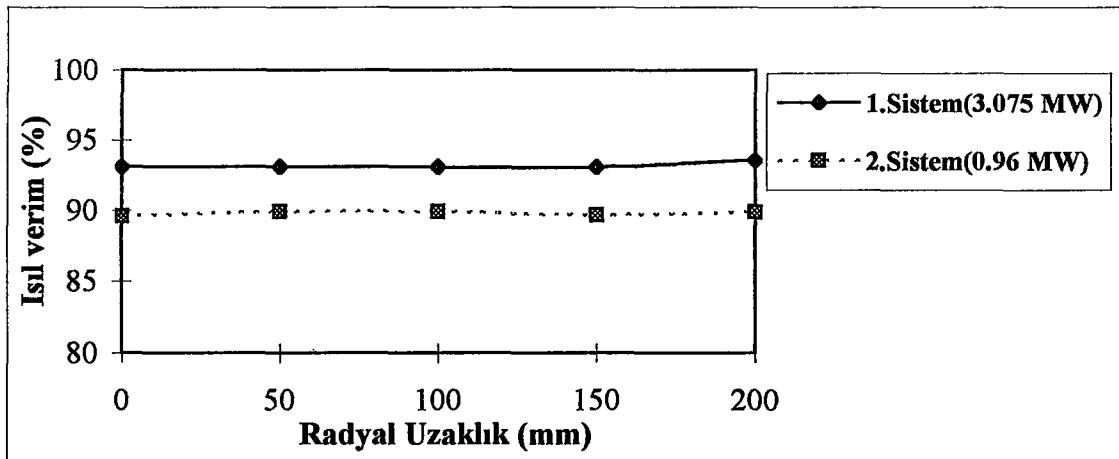
Şekil 5.40. Farklı Kazanlarda Oluşan CO Emisyonu. ($\lambda=1.30$)



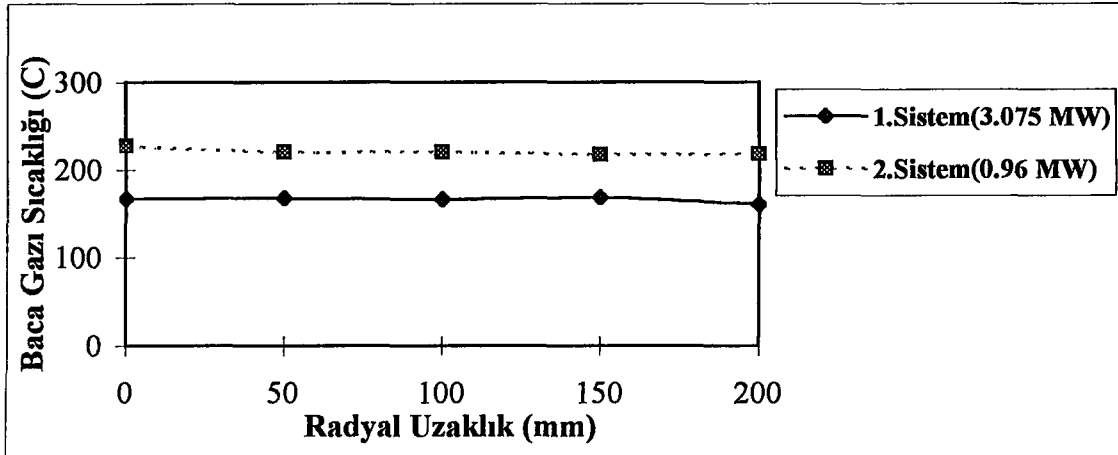
Şekil 5.41. Farklı Kazanlarda Oluşan SO_2 Emisyonu. ($\lambda=1.30$)



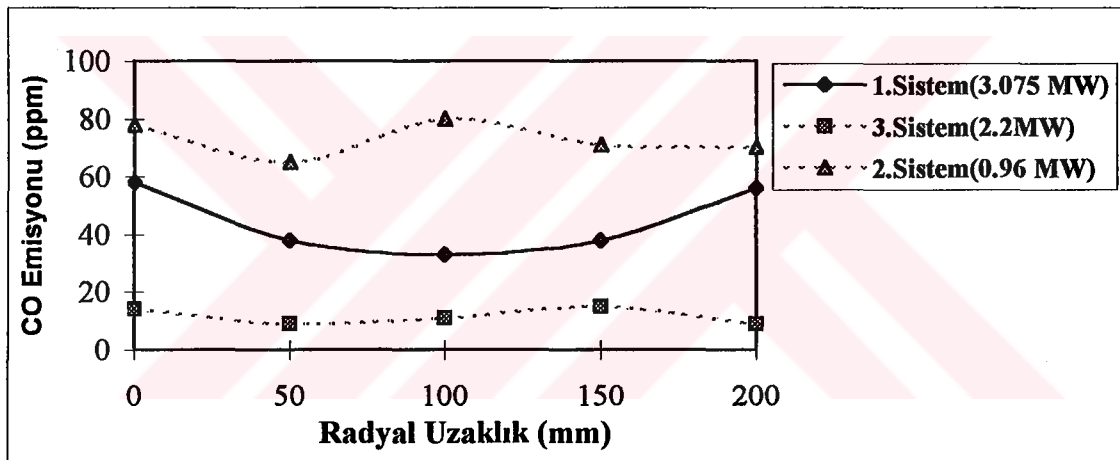
Şekil 5.42. Farklı Kazanlarda Oluşan NO_x Emisyonu. ($\lambda=1.30$)



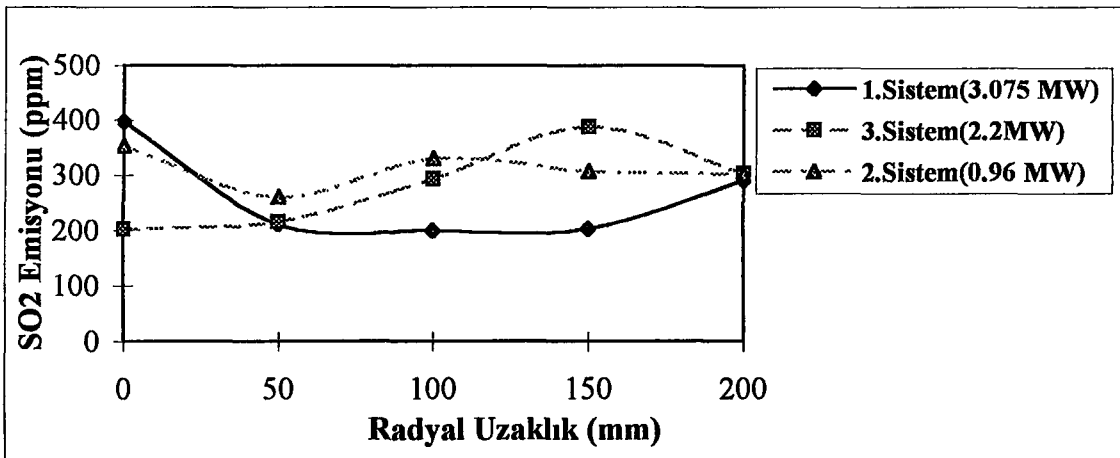
Şekil 5.43. Farklı Kazanlarda Oluşan Isıl Verim. ($\lambda=1.30$)



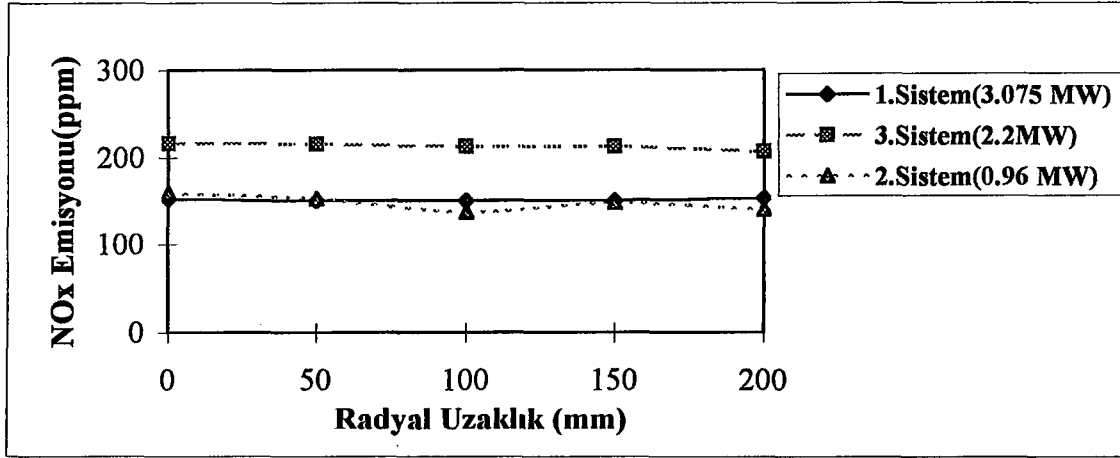
Şekil 5.44. Farklı Kazanlarda Oluşan Baca Gazı Sıcaklığı. ($\lambda=1.30$)



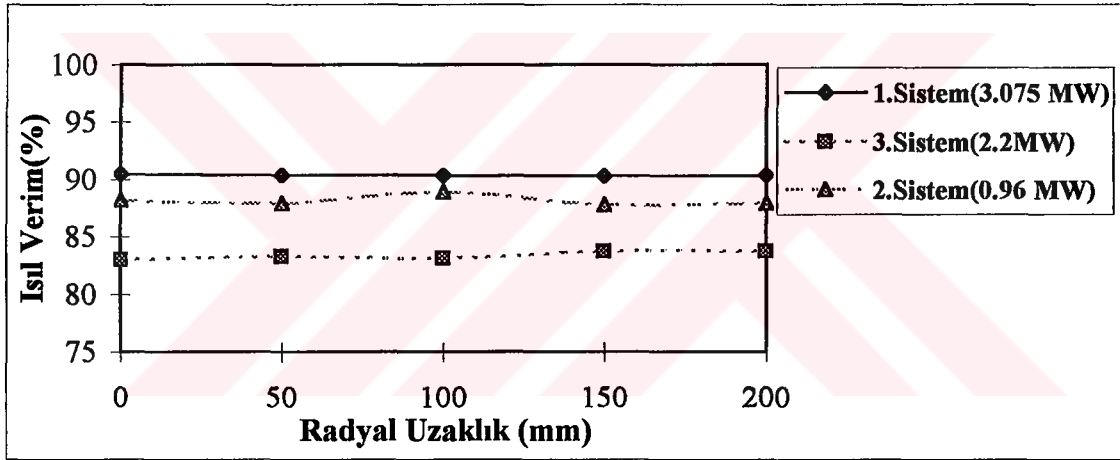
Şekil 5.45. Farklı Kazanlarda Oluşan CO Emisyonu. ($\lambda=1.69$)



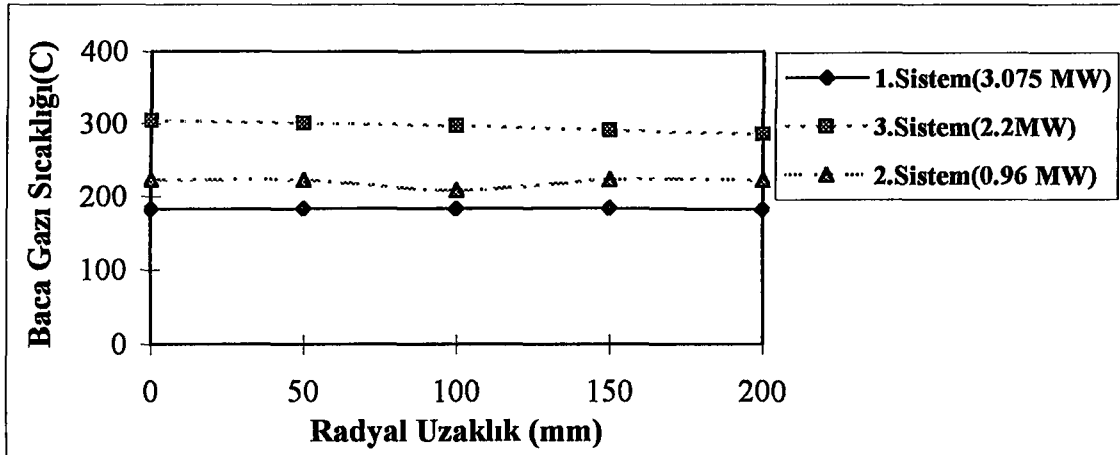
Şekil 5.46. Farklı Kazanlarda Oluşan SO₂ Emisyonu. ($\lambda=1.69$)



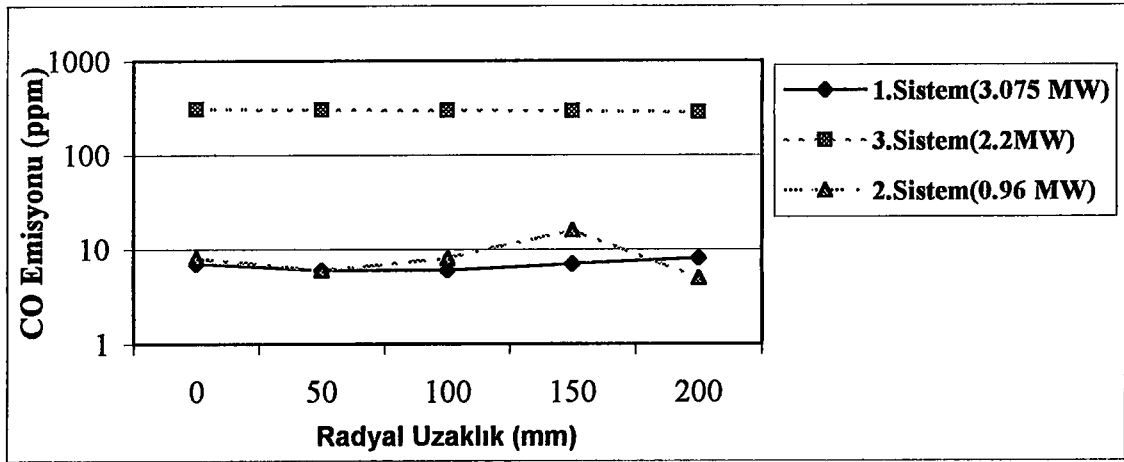
Şekil 5.47. Farklı Kazanlarda Oluşan NO_x Emisyonu.($\lambda=1.69$)



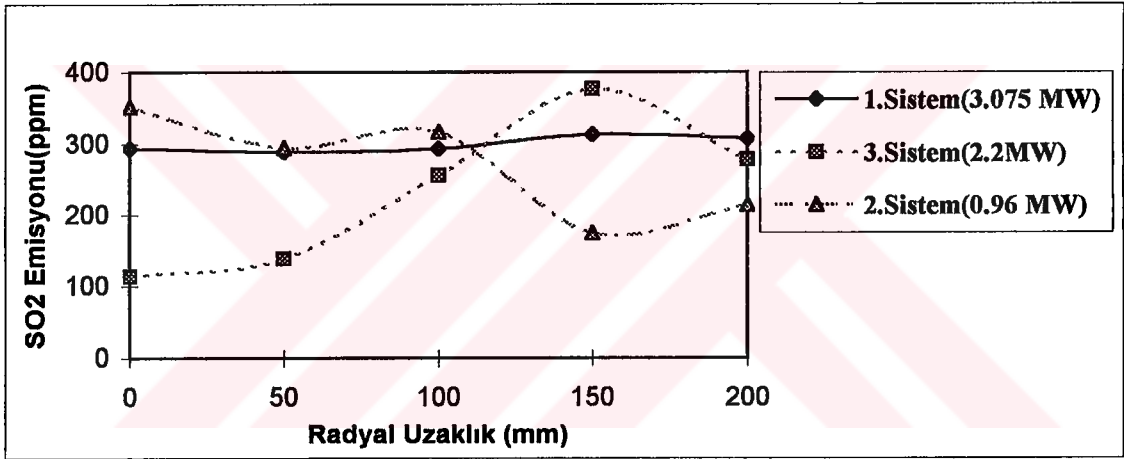
Şekil 5.48. Farklı Kazanlarda Oluşan Isıl Verim.($\lambda=1.69$)



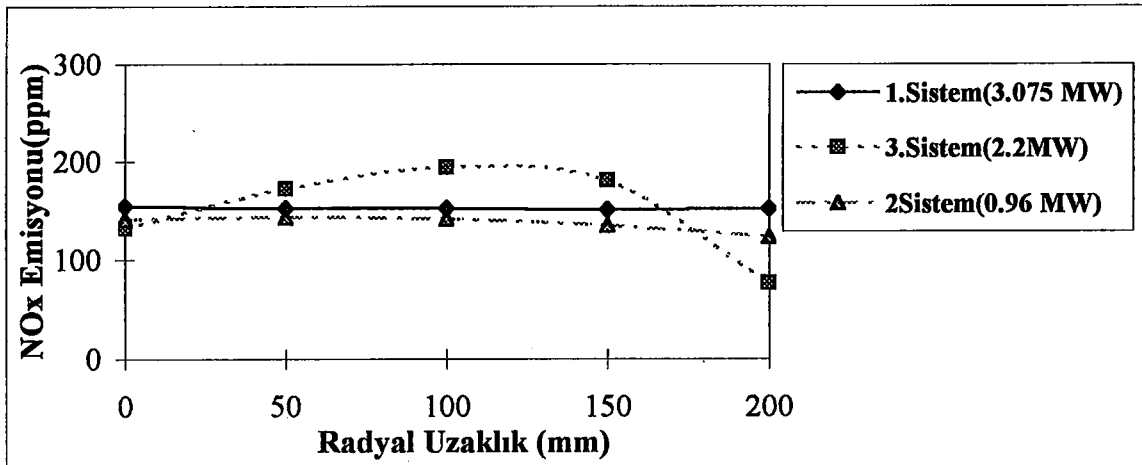
Şekil 5.49. Farklı Kazanlarda Oluşan Baca Gazı Sıcaklığı.($\lambda=1.69$)



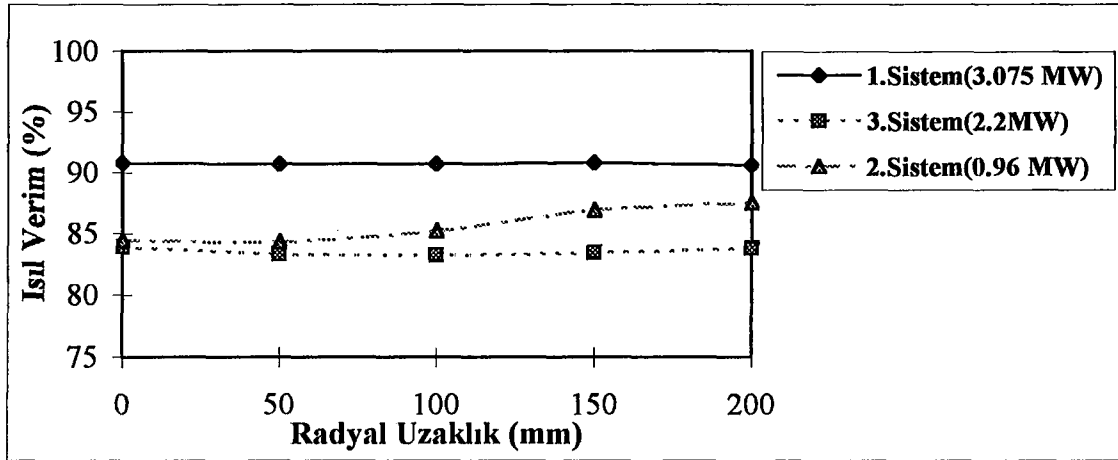
Şekil 5.50. Farklı Kazanlarda Oluşan CO Emisyonu. ($\lambda=1.82$)



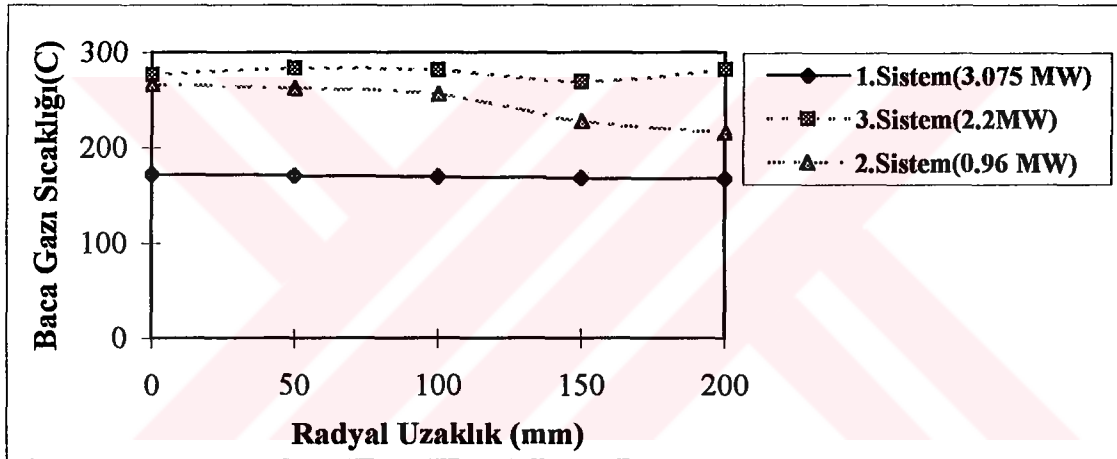
Şekil 5.51. Farklı Kazanlarda Oluşan SO₂ Emisyonu. ($\lambda=1.82$)



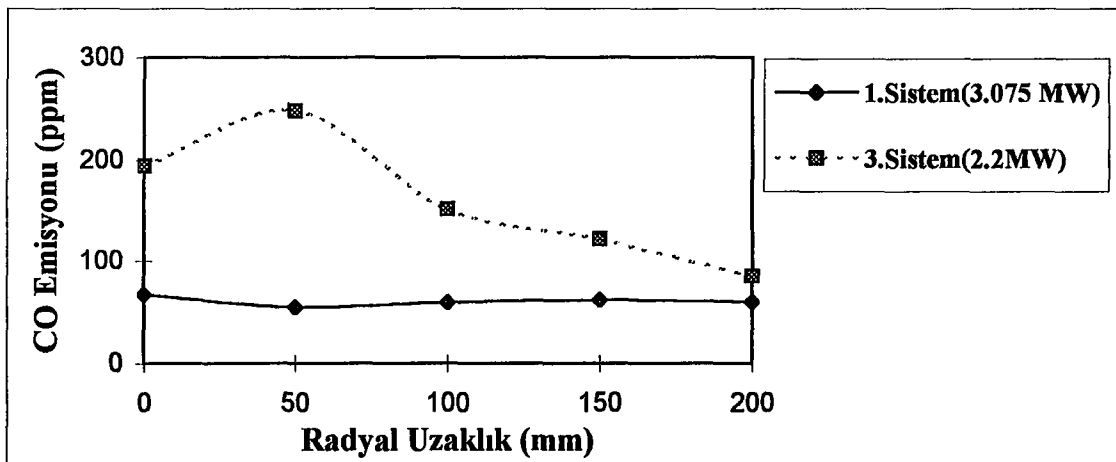
Şekil 5.52. Farklı Kazanlarda Oluşan NO_x Emisyonu. ($\lambda=1.82$)



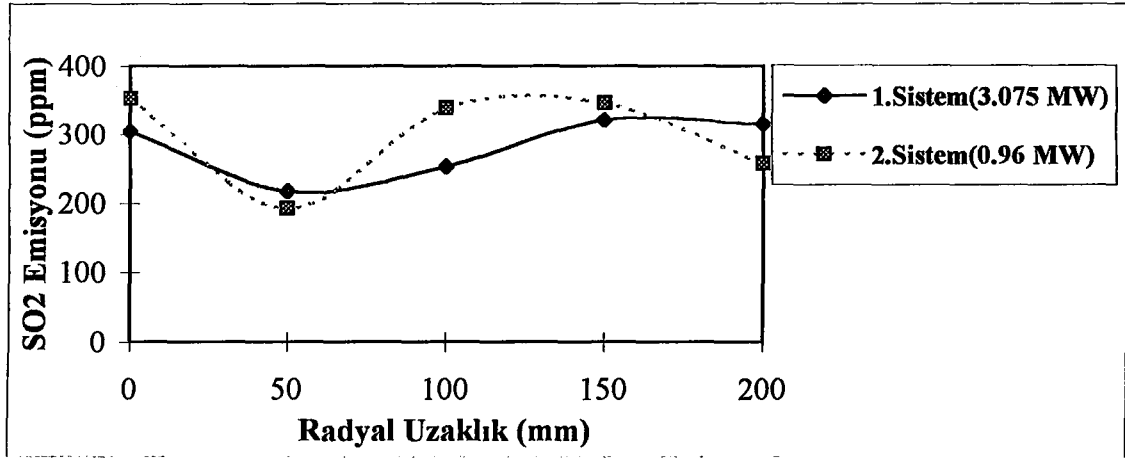
Şekil 5.53. Farklı Kazanlarda Oluşan Isıl Verim. ($\lambda=1.82$)



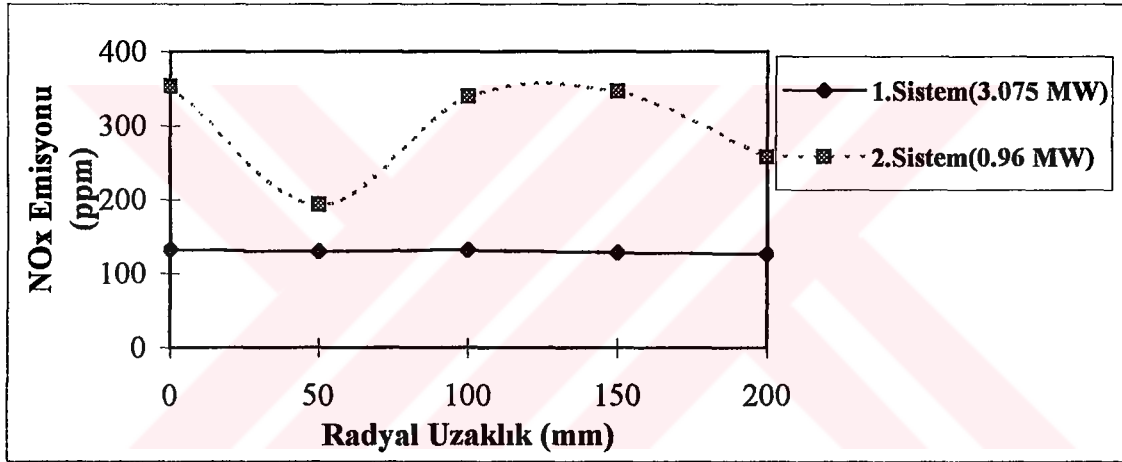
Şekil 5.54. Farklı Kazanlarda Oluşan Baca Gazı Sıcaklığı. ($\lambda=1.82$)



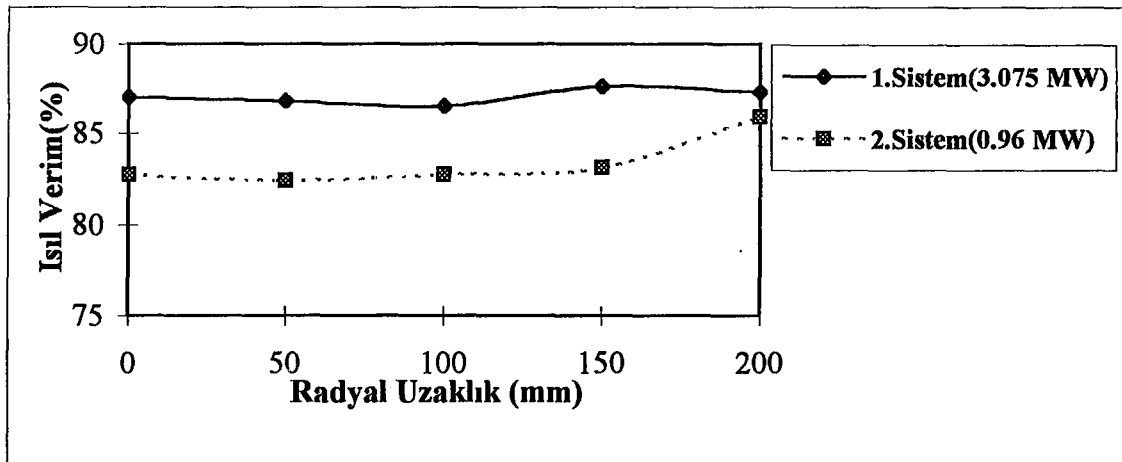
Şekil 5.55. Farklı Kazanlarda Oluşan CO Emisyonu. ($\lambda=2.12$)



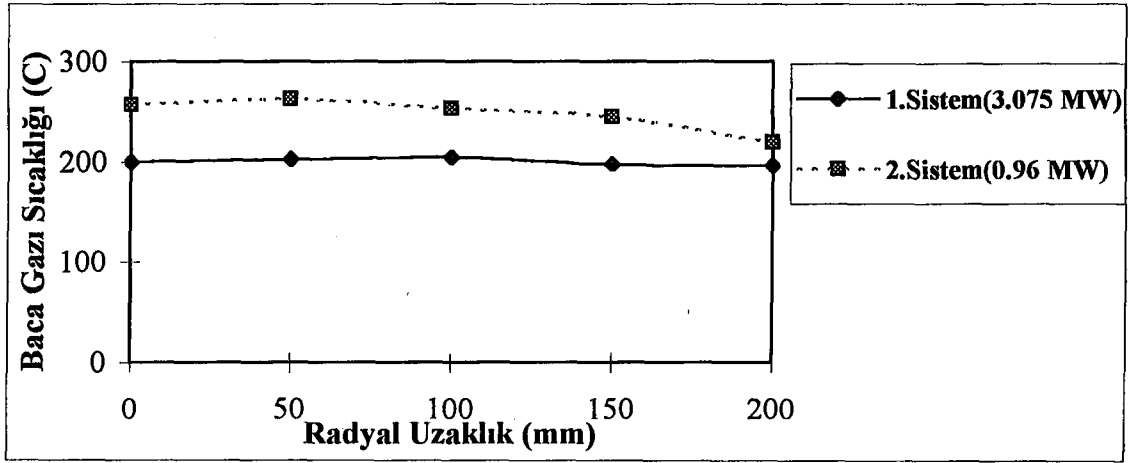
Şekil 5.56. Farklı Kazanlarda Oluşan SO₂ Emisyonu. ($\lambda=2.12$)



Şekil 5.57. Farklı Kazanlarda Oluşan NO_x Emisyonu. ($\lambda=2.12$)



Şekil 5.58. Farklı Kazanlarda Oluşan Isıl Verim. ($\lambda=2.12$)



Şekil 5.59. Farklı Kazanlarda Oluşan Baca Gazı Sıcaklığı. ($\lambda=2.12$)

6. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Bu yapılmış olan deneysel çalışmada; üç farklı sıvı yakıtlı yakma sistemlerinde (ısıl güçleri 3.065 MW, 2.2 MW ve 0.96 MW olan Kazanlarda) iki farklı yakıt (4 numara fuel-oil ve 6 numara fuel-oil) kullanılarak ve 4 farklı hava fazlalık değeri için; ($\lambda=1.30$, $\lambda=1.69$, $\lambda=1.82$, $\lambda=2.12$) duman kanalından belirli radyal uzaklıklarla (50 mm. uzaklıklarla), kazanlardaki yanma ve emisyon davranışları deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalardan sıvı yakıtlı yakma sistemleri için en uygun hava fazlalık değerleri ile, duman kanalı merkezinden başlanarak 50 mm. radyal uzaklıklarda ısı verim ve emisyon dağılımları tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği 3 farklı kazan sisteminde Isıl verim bakımından en yüksek değeri 6 numara fuel-oil kullanılan kazanda; $\lambda=1.30$ için, kazan bağlantı parçasından 200 mm. uzaklıkta $\eta = 93.6$ olarak tespit edilmiştir. Diğer, 4 numara fuel-oil kullanan iki kazandan en yüksek verimin ısı gücü 0.96 MW olan kazanda , $\lambda=1.30$ için , duman kanalı kesiti merkezinden 200 mm. uzaklıkta $\eta = 89.9$ olarak tespit edilmiştir. Diğer kazanda ise; $\eta = 87.3$ olarak belirlenmiştir. Isıl verimin, beklenildiği gibi kullanılan yakıtın ısı değerine bağlı olduğu gözlemlenmiştir.

Bunun yanısıra aynı ısı değerinde ve aynı yanma şartlarında, hava-yakıtın iyice karışmaması, yakıtın tutuşma için gerekli sıcaklığa kadar ön ısıtılmaması, brülörün uygun çaplarda ve püskürtme açılarında yakıtı yanma odasına gönderememesi sonucu alevin yanma odasını tam olarak dolduramaması ve bunun sonucunda kararsız bir yanma oluşması gibi sebeplerden dolayı sistemden elde edilen ısı değerlerinde de farklılıklar olabileceği belirlenmiştir. (Aynı yakıt kullanan iki kazandan 0.96 MW. gücündeki $\lambda=1.69$ için; $\eta = 88.2$ iken, 2.2 MW. gücündeki $\lambda=1.69$ için; $\eta = 83$ tür.)

Her üç kazanda da aynı hava fazlalık katsayısı CO Emisyonu bakımından, en yüksek değer 248 ppm (309 mg/m³) ile 2.2. MW gücündeki kazanda olduğu tespit edilmiştir. En düşük değer de 2 ppm (2 mg/m³) ile 2.2. MW gücündeki kazanda olduğu belirlenmiştir. Hava fazlalık katsayısı arttıkça CO emisyonun azaldığı ve bu değer yakıt tipine göre değişmekle birlikte asıl sebebinin hava fazlalık katsayısı olduğu tespit edilmiştir.

SO₂ emisyonu bakımından, 4 numara fuel-oil kullanılan iki kazandan en yüksek SO₂ emisyon değerinin 377 ppm (1077 mg/m³) ile ısı gücü 2.2 MW olan kazanda, en düşük değer 39 ppm (111 mg/m³) ile ısı gücü 0.96 MW olan kazanda olduğu tesbit edilmiştir. 6 numara fuel-oil kullanılan ısı gücü 3.065 MW olan kazanda en yüksek SO₂ emisyon değerinin 541 ppm (1546 mg/m³), en düşük değer 199 ppm (568 mg/m³) olduğu tesbit edilmiştir. Bu değerlere göre 4 numara fuel-oil kullanan kazanlarda SO₂ emisyonunun 6 numara fuel-oil kullanılan kazana göre daha az olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ise; 4 numara fuel-oil'in bileşimindeki kükürt oranının, 6 numara fuel-oil'in bileşimindeki kükürt oranından az olması ve yanmanın daha iyi olmasıdır. (4 numara fuel-oil' de kükürt oranı % 1.45 iken; 6 numara fuel-oil' de % 3.31' dir.)

Deney yapılan üç farklı kazanda NO_x emisyonunun; hava fazlalık katsayısı arttıkça genel olarak azaldığı görülmüştür. 3.076 MW gücündeki kazanda NO_x emisyonu $\lambda=1.30$ için; 171 ppm (235 mg/m³), $\lambda=1.69$ için; 152 ppm (209 mg/m³), $\lambda=2.12$ için; 132 ppm (181 mg/m³), 0.96 MW gücündeki kazanda NO_x emisyonu $\lambda=1.30$ için; 148 ppm (203 mg/m³), $\lambda=1.82$ için; 141 ppm (193 mg/m³), $\lambda=2.12$ için; 125 ppm (171 mg/m³)' dir. Bunun nedeni ise; hava fazlalık katsayısı arttıkça alev sıcaklığının ve dolayısıyla baca gazı sıcaklığının azalması ile NO_x emisyonunda azalmaktadır.

6.2. ÖNERİLER

Sıvı yakıt kullanılan yakma sistemlerinde (kazanlarda) yanma ve emisyon davranışlarının belirlenmesi için ileride yapılacak olan çalışmalarda aşağıdaki hususların dikkate alınması çalışmalar için yararlı olacaktır.

1. Özellikle değişik hava fazlalık katsayılarında çalışılırken, duman kanalı içerisinde radyal yöndeki yanma ve emisyon dağılımlarının değişimini tespit edebilmek için, farklı aksenal doğrultularda kazan içerisinde ölçüm yerleri belirlenerek, bu noktalardan alınacak veriler ışığında sistem davranışı ile ilgili yorum ve tahminler yapılabilir.
2. Yakma sisteminin yanma ve emisyon davranışını belirlerken; duman kanalında veri alınmasının yanısıra, kazan içerisindeki yanma odasının uygun bir yerinde de veri alınması, oluşan emisyonların yanma bölgesindeki karakterlerini belirleme açısından önemlidir. (Yapılan deneysel çalışmada bu durum hedeflenmesine rağmen, teknik imkansızlıklardan dolayı gerçekleştirilememiştir.)
3. Deneysel gerçekleştirilecek çalışmalarda, deney yapılan sistemin modellemesi yapılarak, akış ve yanma modellemesi yapabilen bir program yardımıyla (fluent v.b.) her iki durumundaki verilerin karşılaştırılarak yakma sistemi hakkında daha ayrıntılı bir sonuç elde etmek mümkün olabilecektir.
4. Günümüzde oluşum mekanizmaları ve davranışı konusunda önemli araştırmalar yapılan, NO_x (NO , NO_2) emisyonu için daha fazla çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmalar mühendislik uygulamalarında önemli yer tutan yanma (combustion) biliminin gelişmesine büyük katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] M.İlbaş, Studies of Ultra Low NO_x Burner, PhD Thesis, University of Wales, Cardiff, U.K.,1997.
- [2] M.İlbaş, Yakıtlar ve Yanma Ders Notları, E.Ü. Mühendislik Fak., Mak.Müh.Bölümü, Kayseri, 1997.
- [3] K.Onat, O.F.Genceli, A.Arisoy, Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları, Denklem Matbaası, 1988.
- [4] J.F.Griffiths, J.A.Barnard, Flame and Combustion , Third Edition, 1994.
- [5] J.C. Jones,Combustion Science, Principle and Practice , Millennium Books , Australia, 1993 .
- [6] İ.Yılmaz, Seminer Notları, E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Mayıs- 2000 .
- [7] S.R.Turns, An Introduction to Combustion, Concepts and Applications, Second Edition, McGraw –Hill İnternational Editions, Mechanical Engineering Series, 1996.
- [8] Y.A. Çengel, M. Boles, An Engineering Approach Thermodynamics, Third Edition McGraw- Hill Books , 1997 .
- [9] İ. Atılgan, Tunç bilek Linyitin Dolaşımli Akışkan Yatakta Yanma ve Emisyon Davranışının İncelenmesi, Bölüm 3, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1997 .
- [10] K.Sedighi, The Combustion of Fuel Oil and The Factors Influencing Pollutant Formation, PhD Thesis, Univerty of Leeds, U.K., March –1990 .
- [11] M.İlbas, N.Syred, Influence of Temperature, Air: Fuel Ratio, Geometry and Fuel Type on the NO_x Emissions of Small Burners, Proceedings of the Second Trabzon International Energy and Environment Symposium, Begel House, P123-127, Turkey, 1998.
- [12] A.E.Voulgaris, Characterisation Studies of A 2 MW Oil-Fired Furnace Regarding Temperature Distribution and Emissions of Nitrogen Oxides, Master Thesis, University of Wales, Cardiff, U.K., September-1995.
- [13] S.Eroğlu, Kireç Karıştırılmış Kömür Yakılan Sobaların Yanma ve Emisyon Davranışının Deneysel İncelenmesi, Bölüm 2, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1995.

- [14] Baca Gazı Emisyon Ölçümü, Mühendis El Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: 233, Ankara, 1999.
- [15] Boiler Book, Cleaver Brooks Company, Section -E (Emission), 1999 .
- [16] Çevre Bakanlığı, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, 2 Kasım 1986, Ankara.
- [17] M.İlbaş, N.Syred, P.Bowen, T.O.Doherty, A Study to Characterise an Industrial oil Burner-Furnace, The twenty-sixty International Syposium on Combustion, The Combustion Institue, Italy, 1996.
- [18] M.İlbaş, T.O.Doherty, P.Bowen, N.Syred, Prediction of NO_x and Combustion Performance of Cooled Cyclone Combustors, 3 rd European Conference on Industrial Furnaces and Boilers, Portugal, 1995.
- [19] Energy and Combustion Science, Selected Papers From Progress in Energy and Combustion Science, Student Edition 1, Pergamon Press, 1979.
- [20] N.A.Chigier, The Atomization and Burning of Liquid Fuel Sprays, Fossil Fuel Combustion, A Sources Book, pp.183-200, A Wiley –Interscience Publicantion,1989.
- [21] A.Polatdemir, Kalorimetrik Odada Sobalarda Isıl Verim Testi, Bölüm 1, Y.Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 1986.
- [22] G.M.Faeth, Status of Droplet and Liquid Combustion, Energy and Combustion Science, Selected Papers From Progress in Energy and Combustion Science, pp.149-181, Student Edition 1, Pergamon Press, 1979.
- [23] A.Williams, Fundamentals of Oil Combustion, Fossil Fuel Combustion, A Sources Book, pp. 135-182, A Wiley –Interscience Publicantion, 1989.
- [24] S.Önal, Buhar Kazanlarında Ekserji Metoduyla Verimlilik Analizi, Bölüm 2, Erciyes Üniversitesi, Y.Lisans Tezi, Kayseri, 1993.
- [25] Alarko, Orta Ağır ve Ağır Yağlar için Sıvı Yakıtlı Brülör, Kullanım Klavuzu .
- [26] Alarko, Motorin ve Hafif Yağlar için Sıvı Yakıtlı Brülörler Katoloğu .

7. EKLER

EK-1 DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN VERİ TABLOLARI

1. Deney Yapılan Sistemden Elde Edilen Veriler

$\lambda = 1,30$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	22,4	22,5	22,6	22,6	22,8
T _{Gaz}	°C	167,4	167,9	166,7	168,3	160,4
O ₂	%	4,9	4,9	4,9	4,9	4,5
CO ₂	%	12,2	12,2	12,2	12,2	12,5
Kayıp	%	6,9	6,9	6,9	6,9	6,4
Verim	%	93,1	93,1	93,1	93,1	93,6

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	40	47	29	47	57
	mg/ m ³	49	58	36	58	71
	mg/ %3O ₂	54	64	40	64	77
SO ₂	ppm	366	382	307	371	541
	mg/m ³	1046	1092	877	1060	1546
	mg / %3O ₂	1170	1221	981	1185	1687
NO _x	ppm	171	172	167	171	165
	mg/m ³	235	236	229	235	226
	mg/ %3O ₂	262	264	256	262	246

$\lambda = 1,69$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	22,8	22,9	22,9	22,9	22,9
T _{Gaz}	°C	182,3	183,2	183,4	184,3	182,4
O ₂	%	8,4	8,5	8,5	8,5	8,6
CO ₂	%	9,5	9,4	9,4	9,4	9,4
Kayıp	%	9,5	9,6	9,6	9,7	9,6
Verim	%	90,5	90,4	90,4	90,3	90,4

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	58	38	33	38	56
	mg/ m ³	72	47	41	47	69
	mg/ %3O ₂	103	67	59	67	100
SO ₂	ppm	397	211	199	203	291
	mg/m ³	1135	603	568	580	831
	mg / %3O ₂	1625	870	819	837	1209
NO _x	ppm	152	150	150	150	153
	mg/m ³	209	206	206	206	210
	mg/ %3O ₂	299	297	297	297	305

$\lambda = 1,82$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	25,3	25,3	25,3	25,3	25,2
T _{Gaz}	°C	172,4	171	169,7	168,3	168,6
O ₂	%	9,2	9,5	9,5	9,5	9,5
CO ₂	%	8,9	8,7	8,7	8,7	8,7
Kayıp	%	9,2	9,3	9,3	9,2	9,3
Verim	%	90,8	90,7	90,7	90,8	90,8

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	7	6	6	7	7
	mg/ m ³	8	7	7	8	8
	mg/ %3O ₂	12	10	10	12	12
SO ₂	ppm	293	289	293	313	320
	mg/m ³	837	826	837	894	890
	mg / %3O ₂	1280	1296	1314	1403	1398
NO _x	ppm	154	152	152	151	152
	mg/m ³	211	209	209	207	203
	mg/ %3O ₂	322	328	328	325	322

$\lambda = 2.12$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	22,9	23,1	23,1	23,2	23,2
T _{Gaz}	°C	200,2	203,1	204,4	197,6	198,7
O ₂	%	11	11,1	11,2	10,7	11,4
CO ₂	%	7,5	7,5	7,4	7,8	7,8
Kayıp	%	13	13,2	13,5	12,4	13,2
Verim	%	87	86,8	86,5	87,6	87,5

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	67	54	59	62	59
	mg/ m ³	83	67	73	77	74
	mg/ %3O ₂	150	122	134	135	132
SO ₂	ppm	305	218	253	321	318
	mg/m ³	871	623	723	917	915
	mg / %3O ₂	1574	1137	1334	1609	1602
NO _x	ppm	132	130	131	128	126
	mg/m ³	181	178	180	176	174
	mg/ %3O ₂	327	325	332	308	304

Deney Yapılan 2. Sistemden Elde Edilen Veriler

$\lambda = 1.30$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	21,4	21,3	21,4	21,4	21,2
T _{Gaz}	°C	227,6	219,8	219,8	217,3	217,6
O ₂	%	5,9	6,1	6,1	6,2	6,1
CO ₂	%	11,4	11,3	11,4	11,3	11,4
Kayıp	%	10,4	10,1	10,1	10,3	10,1
Verim	%	89,6	89,9	89,9	89,7	89,9

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	93	37	116	102	95
	mg/ m ³	116	46	144	126	114
	mg/ %3O ₂	138	55	174	164	136
SO ₂	ppm	39	111	171	182	200
	mg/m ³	111	317	488	496	503
	mg / %3O ₂	132	383	590	598	632
NO _x	ppm	148	138	125		
	mg/m ³	203	189	171		
	mg/ %3O ₂	242	228	206		

$\lambda = 1,69$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	20,2	20,3	20,6	20,4	20,4
T _{Gaz}	°C	222,5	222,5	208,3	223,5	222,6
O ₂	%	8,1	8,6	8,4	8,6	8,4
CO ₂	%	9,7	9,4	9,5	9,4	9,6
Kayıp	%	11,8	12,1	11,1	12,2	11,7
Verim	%	88,2	87,9	88,9	87,8	88,3

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	78	65	80	71	67
	mg/ m ³	97	81	99	88	83
	mg/ %3O ₂	135	117	141	128	120
SO ₂	ppm	353	261	331	307	296
	mg/m ³	1009	746	946	877	821
	mg / %3O ₂	1410	1085	1354	1276	1196
NO _x	ppm	159	152	137	148	142
	mg/m ³	218	209	188	203	194
	mg/ %3O ₂	304	304	269	295	283

$\lambda = 1,82$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	23,6	23,5	23,6	23,7	23,7
T _{Gaz}	°C	266,5	262,2	255,8	227,6	215,8
O ₂	%	9,4	9,7	9,3	9,5	9,6
CO ₂	%	8,7	8,5	8,8	8,7	8,6
Kayıp	%	15,6	15,7	14,8	13,1	12,5
Verim	%	84,4	84,3	85,2	86,9	187,5

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	125	121	104	88	77
	mg/ m ³	156	151	129	109	96
	mg/ %3O ₂	242	241	199	171	152
SO ₂	ppm	352	294	317	175	214
	mg/m ³	1006	840	906	500	611
	mg / %3O ₂	1565	1342	1398	785	967
NO _x	ppm	141	143	142	135	123
	mg/m ³	193	196	195	185	169
	mg/ %3O ₂	300	313	300	290	267

$\lambda = 1.94$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6
T _{Gaz}	°C	260,5	263,6	262,9	252	217,8
O ₂	%	10,2	9,8	10,2	10,3	10
CO ₂	%	8,1	8,4	8,1	8,1	8,3
Kayıp	%	16,2	15,9	16,4	15,7	13
Verim	%	83,8	84,1	83,6	84,3	87

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	119	221	96	112	79
	mg/ m ³	148	276	119	139	98
	mg/ %3O ₂	247	445	199	234	160
SO ₂	ppm	291	297	270	248	214
	mg/m ³	831	849	771	709	611
	mg / %3O ₂	1390	1369	1289	1197	1003
NO _x	ppm	143	136	140	132	118
	mg/m ³	196	187	192	181	162
	mg/ %3O ₂	327	301	321	305	266

$\lambda = 2.12$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	22,1	22,4	22,6	22,7	23,3
T _{Gaz}	°C	257,1	262,6	252,7	244,4	219,6
O ₂	%	11	11,1	11,3	11,4	10,8
CO ₂	%	7,5	7,5	7,3	7,2	7,7
Kayıp	%	17,3	17,6	17,3	16,9	14,1
Verim	%	82,7	82,4	82,7	83,1	85,9

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	194	248	152	122	86
	mg/ m ³	242	309	189	152	107
	mg/ %3O ₂	437	564	352	286	189
SO ₂	ppm	353	193	339	346	257
	mg/m ³	1009	551	969	989	734
	mg / %3O ₂	1824	1006	1806	1863	1300
NO _x	ppm	125	120	132	127	114
	mg/m ³	171	165	181	174	156
	mg/ %3O ₂	309	301	337	327	276

Deney Yapılan 2. Sistemde Değişik Hava Fazlalık Katsayılarında Elde Edilen Veriler

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinde Farklı Hava Fazlalık Katsayıları				
	Birim	$\lambda = 1,59$	$\lambda = 1,80$	$\lambda = 1,96$	$\lambda = 2,12$	$\lambda = 2,83$
T _{Ortam}	°C	20,4	20,5	20,5	20,5	20,5
T _{Gaz}	°C	210,7	219,8	218,3	212,2	176,2
O ₂	%	7,8	9,3	10,2	11,1	13,6
CO ₂	%	10	8,8	8,1	7,5	5,6
Kayıp	%	10,8	12,7	13,5	14,1	14,9
Verim	%	89,2	87,3	86,5	85,9	85,1

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinde Farklı Hava Fazlalık Katsayıları				
	Birim	$\lambda = 1,59$	$\lambda = 1,80$	$\lambda = 1,96$	$\lambda = 2,12$	$\lambda = 2,83$
CO	ppm	78	130	98	151	96
	mg/ m ³	97	162	122	188	119
	mg/ %3O ₂	132	249	204	343	291
SO ₂	ppm	484	449	179	386	316
	mg/m ³	1383	1283	511	1103	903
	mg / %3O ₂	1889	1979	854	2014	2214
NO _x	ppm	138	133	124	119	89
	mg/m ³	189	182	170	163	122
	mg/ %3O ₂	258	280	284	297	299

Deney Yapılan 3. Sistemden Elde Edilen Veriler

$\lambda = 1.69$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	21,3	21,6	21,9	22,2	22,7
T _{Gaz}	°C	304,6	300,6	297,9	291,4	285,8
O ₂	%	8,6	8,6	8,8	8,7	9
CO ₂	%	9,4	9,4	9,2	9,3	9,1
Kayıp	%	17	16,7	16,9	16,3	16,3
Verim	%	83	83,3	83,1	83,7	83,7

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	14	9	11	15	9
	mg/ m ³	17	11	13	18	11
	mg/ %3O ₂	24	16	19	36	16
SO ₂	ppm	202	216	294	388	304
	mg/m ³	577	617	840	1109	869
	mg / %3O ₂	839	897	1242	1627	1307
NO _x	ppm	216	215	212	212	206
	mg/m ³	297	295	291	291	283
	mg/ %3O ₂	432	429	430	426	425

$\lambda = 1,82$ için yapılan ölçümler ;

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkezde	50	100	150	200
T _{Ortam}	°C	22,9	23,1	23,3	23,9	24,2
T _{Gaz}	°C	276,1	283,4	281,2	269,1	281,9
O ₂	%	9,3	9,4	9,6	10,1	9,2
CO ₂	%	8,8	8,7	8,6	8,2	8,9
Kayıp	%	16,1	16,7	16,8	16,6	16,2
Verim	%	83,9	83,3	83,2	83,4	83,8

B-Kirletici Parametreler

		Baca Bağlantı Merkezinden Radyal Yönde Uzaklık (mm)				
	Birim	Merkez	50	100	150	200
CO	ppm	8	2	8	16	5
	mg/ m ³	9	2	9	19	6
	mg/ %3O ₂	15	3	14	31	9
SO ₂	ppm	113	138	256	377	278
	mg/m ³	323	394	731	1077	794
	mg / %3O ₂	498	613	1157	1785	1214
NO _x	ppm	132	172	194	181	76
	mg/m ³	181	236	266	248	104
	mg/ %3O ₂	279	367	421	411	159

Deney Yapılan 3. Sistemde Değişik Hava Fazlalık Katsayılarındaki Bazı Değişimler

Aşağıdaki ölçümlerde % 3.31 kükürt içeren 6 numara fuel-oil kullanılmıştır.

A-Gaz Emisyonları Ölçüm Şartları

Baca Bağlantı Merkezinde Farklı Hava Fazlalık Katsayıları						
	Birim	$\lambda = 1,00$	$\lambda = 1,18$	$\lambda = 1,89$	$\lambda = 2,56$	$\lambda = 2,94$
T_{Ortam}	°C	25,2	20,2	24,6	26,4	26,5
T_{Gaz}	°C	350,4	343,5	288,5	273,6	268,2
O_2	%	1,3	3,3	9,9	12,7	13,8
CO_2	%	14,9	13,4	8,4	6,2	5,4
Kayıp	%	13,1	14,3	17,5	21,6	24
Verim	%	86,9	85,7	82,5	78,4	76

B-Kirletici Parametreler

Baca Bağlantı Merkezinde Farklı Hava Fazlalık Katsayıları						
	Birim	$\lambda = 1,00$	$\lambda = 1,18$	$\lambda = 1,89$	$\lambda = 2,56$	$\lambda = 2,94$
CO	ppm	83	12	9	7	6
	mg/ m ³	103	14	11	8	7
	mg/ %3O ₂	94	14	17	13	15
SO ₂	ppm	1440	1154	448	288	394
	mg/m ³	4116	3299	1280	823	1126
	mg / %3O ₂	3758	3355	2045	1339	2457
NO _x	ppm	17	57	186	68	211
	mg/m ³	23	58	255	93	290
	mg/ %3O ₂	21	79	407	151	633

EK-2 YANMA ÜRÜNLERİNİ HESAPLAYAN PROGRAM**Program Komutları**

```
Function TForm1.CalcP0;
Begin
Result := 101.325 * power ((1-2.25577*0.00001*z),5.256)/100;
End;
```

```
Function TForm1.CalcT0;
Begin
Result := 288.15-0.0065*z;
End;
```

```
Function TForm1.CalcPs;
Const
g_1    =    -5800.2206;
g0     =    1.3914993;
g1     =    -0.048640239;
g2     =    0.000041764768;
g3     =    -0.000000014452093;
g4     =    6.5459673;
Var
T       :    Real;
begin
T := TH + T0;
Result := exp (g_1*power(T,-1)+g0 *
power(T,0)+g1*power(T,1)+g2*power(T,2)+g3*power(T,3)+g4*ln(T))/100000;
End;
```

```
Function TForm1.CalcXr;
Begin
result := 1.608*((P0/QH/PS)-1);
result := 1 / result;
End;
```

```
Function TForm1.CalcMHR;
Begin
result := 28.9645 * ((1+XR)/(1+1.608*XR));
End;
```

```
Function TForm1.CalcRHR0;
begin
Result := MHR / 22.414;
End;
```

```
Function TForm1.CalcKHK;
Begin
result := TH * 1.006;
```

End;

```
Function TForm1.CalcRHR;
Begin
Result := 1.006 * TH + Xr * (2501+1.805*TH);
End;
```

```
Function TForm1.CalcYKF;
Begin
result := c*1/mk;
End;
```

```
Function TForm1.CalcYUID;
Begin
Result := 32796 * c + 141886* (h-o/8)+9300*s;
End
```

```
Function TForm1.CalcYAIID;
Begin
result := H0-2440*(w+9*h);
End;
```

```
Function TForm1.CalcMOM;
Begin
result := c+0.25*h+s-0.5*o;
End;
```

```
Function TForm1.CalcMOT;
Var
    nco2,nh2o,nso2,no2,nn2:real;
Begin
result := 0;
nco2 := c;
nh2o := 0.5*h+7.656*xr*L*o;
nso2 := s;
no2 := o*(L-1);
nn2 := 0.5*n+3.762*L*o;
case tip of
1      :    result := nco2;
2      :    result := nh2o;
3      :    result := nso2;
4      :    result := no2;
5      :    result := nn2;
end;
End;
```

```
Function TForm1.CalcHOT;
Begin
    Result := mol * 22.4;
End;
```

```
Function TForm1.CalcKBH;
Begin
    result := mol * p0;
End;
```

```
Function TForm1.CalcMCO2M;
Begin
    Result := VCo2 / (Vco2+VSo2+Vo2+VN2);
End;
```

```
Function TForm1.CalcKOT;
Begin
    Result := mol * kutle;
End;
```

```
Function TForm1.CalcYHM;
Begin
    Result := L * O * (MO2 + (0.79/0.21)*MN2+(1/0.21)*(28.9644/18.015)*Xr*MH2O);
End;
```

```
Function TForm1.CalcNhr;
Begin
    Result := VarMhr / MHR;
End;
```

```
Function TForm1.CalcVHr;
Begin
    Result := 22.4 * Nhr;
End;
```

```
Function TForm1.CalcH;
Begin
    Result := HU + Mhr * HHr;
End;
```

```
Procedure TForm1.PrintEkran;
begin
    memo1.SelAttributes.Style := [fsBold];
    memo1.lines.add (Mesaj);
    memo1.SelAttributes.Style := [];
    memo1.lines.add (K+' = '+floattostrf(V,ffixed,15,7)+' '+B);
    memo1.lines.add ("");
End;
```

```
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
```

```
    pagecontrol1.ActivePageIndex := 1;
```

```

VarZ      := strtfloat(z.text);
VarTHA    := strtfloat(THA.text);
VarQHA    := strtfloat(QH.Text);
VarC_     := strtfloat(C.Text);
VarH_     := strtfloat(H.Text);
VarO_     := strtfloat(O.Text);
VarN_     := strtfloat(N.Text);
VarS_     := strtfloat(S.Text);
varW      := 0;
VarLamda := strtfloat(Lamda.Text);

VarP0     := calcp0(varz);
VarT0     := calcT0(varz);
VarPs     := calcPs(varTHA,VarT0);
VarXR     := calcXr(VarP0,VarQHA,VarPS);
VarMHR    := calcMHR(VarXR);
VarQHR0   := calcRHR0(VarMHR);
VarHHK    := calcKHK(VarTHA);
VarHHR    := calcRHR(VarTHA,VarXR);
VarC      := CalcYKF(VarC_,12.011);
VarH      := CalcYKF(VarH_,1.008);
VarO      := CalcYKF(VarO_,15.999);
VarN      := CalcYKF(VarN_,14.007);
VarS      := CalcYKF(VarS_,32.064);
VarH0     := CalcYUID(VarC_,VarH_,VarO_,VarS_);
VarHU     := CalcYUID(VarH0,VarW,VarH_);
VarOmin   := CalcMOM(VarC,VarH,VarO,VarS);
VarNCO2   := CalcMOT(VarC,VarH,VarN,VarS,VarXr,VarLamda,VarOmin,1);
VarNH2o   := CalcMOT(VarC,VarH,VarN,VarS,VarXr,VarLamda,VarOmin,2);
VarNso2   := CalcMOT(VarC,VarH,VarN,VarS,VarXr,VarLamda,VarOmin,3);
VarNo2    := CalcMOT(VarC,VarH,VarN,VarS,VarXr,VarLamda,VarOmin,4);
VarNN2    := CalcMOT(VarC,VarH,VarN,VarS,VarXr,VarLamda,VarOmin,5);
VarNToplam := VarNCO2+VarNH2o+VarNso2+VarNo2+VarNN2;
VarNCO2Oran := VarNCO2/VarNToplam;
VarNH2OOran := VarNH2O/VarNToplam;
VarNO2Oran  := VarNO2/VarNToplam;
VarNN2Oran  := VarNN2/VarNToplam;
VarNSO2Oran := VarNSO2/VarNToplam;
VarVCo2 := CalcHOT(VarNCo2);
VarVH2O := CalcHOT(VarNH2O);
VarVSO2 := CalcHOT(VarNSO2);
VarVO2 := CalcHOT(VarNO2);
VarVN2 := CalcHOT(VarNN2);
VarVToplam := VarVCo2 + VarVh2o + VarVSo2 + VarVo2 + varVn2;
VarVCO2Oran := VarVCO2/VarVToplam;
VarVH2OOran := VarVH2O/VarVToplam;
VarVO2Oran  := VarVO2/VarVToplam;
VarVN2Oran  := VarVN2/VarVToplam;
VarVSO2Oran := VarVSO2/VarVToplam;
VarPCo2 := CalcKBII(VarNCo2Oran,VarP0);

```

```

VarPH2O := CalcKBH(VarNH2OOran, VarP0);
VarPSO2 := CalcKBH(VarNSO2Oran, VarP0);
VarPO2 := CalcKBH(VarNO2Oran, VarP0);
VarPN2 := CalcKBH(VarNN2Oran, VarP0);
VarYCo2 := CalcMCO2M(VarVCo2, VarVSo2, VarVo2, VarVN2);
VarMCo2 := CalcKOT(VarNCo2, 44.009);
VarMH2O := CalcKOT(VarNH2O, 18.015);
VarMSO2 := CalcKOT(VarNSO2, 64.062);
VarMO2 := CalcKOT(VarNO2, 31.998);
VarMN2 := CalcKOT(VarNN2, 28.014);
VarMToplam := VarMCo2 + VarMh2o + VarMSO2 + VarMo2 + varMn2;
VarMCO2Oran := VarMCO2/VarMToplam;
VarMH2OOran := VarMH2O/VarMToplam;
VarMO2Oran := VarMO2/VarMToplam;
VarMN2Oran := VarMN2/VarMToplam;
VarMSO2Oran := VarMSO2/VarMToplam;
VarYHMMHR := CalcYHM(VarLamda, VarOmin, 31.998, 28.014, 18.015,
VarXr);
VarNHr := CalcNHr(VarYHMMHR, VarMhr);
VarVhr := CalcVhr(VarNhr);
VarQGir := CalcH(VarHu, VARYHMMHR, VarHHr);
VarQK := 1 / 22.4 * (VarNCo2Oran * 44.009 + VarNh2ooran *
18.015 + VarNso2oran * 64.062 + VarNo2oran * 31.998 + VarNN2oran * 28.014);
VarRx := VarMCO2Oran * 0.18892 + VarMH2OOran *
0.46152 + VarMSO2Oran * 0.1298 + VarMO2Oran * 0.25983 + VarMN2Oran * 0.2968;
VarMK := 8.31493 / VarRx;
VarGo := VarMToplam / VarQK;
end;

end.

```


ÖRNEK PROGRAM ÇIKTISI

Yanma Ürünlerinin Analizi	
Giriş Verileri	Sonuçlar
Yer	KAYSERİ
Rakım	1040
Kuru Termometre Sıcaklığı	15
İzafi Nem	0,35
C (kg-C/kmol-y)	0,844
H (kg-H/kmol-y)	0,125
O (kg-O/kmol-y)	0,008
N (kg-N/kmol-y)	0,008
S (kg-S/kmol-y)	0,0146
Hava Fazlalık Katsayısı	1,3
Hesapla	

Programın Bulduğu Sonuçlar

Standart Atmosfer Basıncı

$$P_0 = 0,8943910 \text{ [bar]}$$

Standart Atmosfer Sıcaklığı

$$T_0 = 281,3900000 \text{ [K]}$$

Havadaki Su Buharının Kısmi Basıncı

$$P_s = 0,0285153 \text{ [bar]}$$

Mutlak Nem Hesabı

$$X_r = 0,0070179 \text{ [kg/kg]}$$

Rutubetli Havanın Mol Kütlesi

$$M_{Hr} = 28,8422913 \text{ [kg/kmol]}$$

Rutubetli Havanın Yoğunluğu

$$Q_{HRO} = 1,2867980 \text{ [kg/Nm}^3\text{]}$$

Kuru Havanın Entalpisi

$$H_{HK} = 15,0900000 \text{ [kJ/kg]}$$

Kuru Havanın Entalpisi

$$HHK = 15,0900000 \text{ [kJ/kg]}$$

Rutubetli Havanın Entalpisi

$$HHr = 32,8317332 \text{ [kJ/kg]}$$

Yakıtın Kapalı Formülü

$$C = 0,0702689 \text{ [kmol-C / kmol-y]}$$

$$H = 0,1240079 \text{ [kmol-H / kmol-y]}$$

$$O = 0,0005000 \text{ [kmol-O / kmol-y]}$$

$$S = 0,0004553 \text{ [kmol-S / kmol-y]}$$

$$N = 0,0005711 \text{ [kmol-N / kmol-y]}$$

Yakıtın üst ısı Değeri

$$Ho = 45409,4680000 \text{ [kJ/kg-y]}$$

Yakıtın Alt ısı Değeri

$$Hu = 42664,4680000 \text{ [kJ/kg-y]}$$

Minimum oksijen Miktarı

$$O_{min} = 0,1014762 \text{ [kmol-O}_2\text{/kmol-y]}$$

Yanma Ürünleri Analizi**Mol Miktarları**

$$NCO_2 = 0,0702689 \text{ [kmol-CO}_2\text{/kmol-y]}$$

$$NH_2O = 0,0690918 \text{ [kmol-H}_2\text{O/kmol-y]}$$

$$NSO_2 = 0,0004553 \text{ [kmol-SO}_2\text{/kmol-y]}$$

$$NO_2 = 0,0304429 \text{ [kmol-O}_2\text{/kmol-y]}$$

$$NN_2 = 0,4965652 \text{ [kmol-N}_2\text{/kmol-y]}$$

$$N_{Toplam} = 0,6668242$$

Molar Oranları

$$Y-NCO_2 = 0,1053785 \text{ [kmol/kmol]}$$

$$Y-NH_2O = 0,1036133 \text{ [kmol/kmol]}$$

$$Y-NSO_2 = 0,0006828 \text{ [kmol/kmol]}$$

$$Y-NO_2 = 0,0456535 \text{ [kmol/kmol]}$$

$$Y-NN_2 = 0,7446719 \text{ [kmol/kmol]}$$

Hacim Miktarı

$$VCO_2 = 1,5740238 \text{ [Nm}^3\text{-CO}_2\text{/kg-y]}$$

$$VH_2O = 1,5476572 \text{ [Nm}^3\text{-H}_2\text{O/kg-y]}$$

$$VSO_2 = 0,0101996 \text{ [Nm}^3\text{-SO}_2\text{/kg-y]}$$

$$VO_2 = 0,6819203 \text{ [Nm}^3\text{-O}_2\text{/kg-y]}$$

$$VN_2 = 11,1230607 \text{ [Nm}^3\text{-N}_2\text{/kg-y]}$$

$$V_{Toplam} = 14,9368616 \text{ [Nm}^3\text{-T/kg-y]}$$

Hacimsel Oranları

$$VCO_2 = 0,1053785 \text{ [Nm}^3\text{-CO}_2\text{/Nm}^3\text{]}$$

$$VH_2O = 0,1036133 \text{ [Nm}^3\text{-H}_2\text{O/Nm}^3\text{]}$$

$$VSO_2 = 0,0006828 \text{ [Nm}^3\text{-SO}_2\text{/Nm}^3\text{]}$$

$$VO_2 = 0,0456535 \text{ [Nm}^3\text{-O}_2\text{/Nm}^3\text{]}$$

$$VN_2 = 0,7446719 \text{ [Nm}^3\text{-N}_2\text{/Nm}^3\text{]}$$

Kısmi Basınçlar

$PCO_2 = 0,0942496$ [bar]
 $PH_2O = 0,0926708$ [bar]
 $PSO_2 = 0,0006107$ [bar]
 $PO_2 = 0,0408321$ [bar]
 $PN_2 = 0,6660278$ [bar]

Maximum CO₂ Mikatı

$YCO_2 = 0,1175592$ [Nm³-CO₂/Nm³-y]

Kütle Mikatı

$MCO_2 = 3,0924649$ [kg-CO₂/kg-y]
 $MH_2O = 1,2446894$ [kg-H₂O/kg-y]
 $MSO_2 = 0,0291699$ [kg-SO₂/kg-y]
 $MO_2 = 0,9741109$ [kg-O₂/kg-y]
 $MN_2 = 13,9107779$ [kg-N₂/kg-y]
 $M_{Toplam} = 19,2512131$ [kg-T/kg-y]

Kütle Oranlar

$MCO_2 = 0,1606374$ [kg/kg]
 $MH_2 = 0,0646551$ [kg/kg]
 $MSO_2 = 0,0015152$ [kg/kg]
 $MO_2 = 0,0506000$ [kg/kg]
 $MN_2 = 0,7225923$ [kg/kg]

Yakma Havaının Mikatı

$M_{Hr} = 18,2512638$ [kg/kg-y]

Yakma Havaının Mol Mikatı

$N_{Hr} = 0,6327952$ [kmol-Hr/kg-y]

Yakma Havaı Hacmi

$V_{Hr} = 14,1746127$ [Nm³-Hr/kg-y]

Reaksiyona Giren Yakıt-Hava Entalpisi

$H_{yk} = 43263,6886222$ [kJ/kg-y]

Yanmış Gazların Normal Şartlardaki Yoğunluğu

$q_k = 1,2888392$ [kg/Nm³]

Yanmış Gaz Karışımının Gaz Sabiti

$R_x = 0,2879967$ [kJ/kg-K]

Yanmış Gaz Karışımının Mol Kütle

$M_k = 28,8716152$ [kg/kmol]

Yanmış Gaz Karışımının İndirgenmiş Debisi

$G_o = 14,9368616$ [Nm³/kg-y]