

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# İSTANBUL'DA DOĞALGAZ KULLANIMININ ÇEVREYE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Cihat AYDIN

90912

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

TEMMUZ 1999

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL'DA DOĞALGAZ KULLANIMININ  
ÇEVREYE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Cihat AYDIN

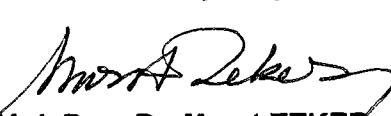
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 07 / 07 / 1999 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Yrd. Doç. Dr. Nedim SÖZBİR  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr. İsmail EKMEKÇİ  
Jüri Üyesi

  
Yrd. Doç. Dr. Murat TEKER  
Jüri Üyesi

## ÖNSÖZ

Modern yaşamla birlikte karşımıza çıkan hava kirliliği, dünyada ve ülkemizde özellikle büyük kentlerde insan sağlığını tehdit edici boyutlara ulaşmıştır. Bu durum insanları konvansiyonel yakıtlara alternatif bir enerji kaynağı olan doğalgaza yöneltmiştir. Bundan dolayı, zararlı emisyonları çok düşük olan doğalgaz hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.

Diğer taraftan tüm dünyada enerji darboğazının görülmeye başlandığı ve alternatif enerji kaynaklarının arandığı günümüzde doğalgaz; temizliği, yüksek verimliliği, doğalgazlı yakma sistemlerinin kolay kontrol edilebilmesi vb. sebeplerle fosil yakıtlar arasında en çok tercih edilen enerji kaynağı olarak yerini almıştır. Ülkemize ancak 80'li yıllarda giren doğalgaz, 1992 yılından bu yana İstanbul'da da kullanılmaya başlanmıştır. İstanbul'un havasının temizlenmesindeki rolü tartışılmaz olan doğalgazın doğru yöntemlerle ve maksimum verimlilikle kullanılmasını sağlamak için, yakma sistemlerinde bacagazı analizlerinin yapılması kaçınılmaz olmuştur.

Bu noktadan hareketle, çalışmamın başlangıcından bitimine kadar her türlü desteği veren başta değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Nedim SÖZBİR olmak üzere, anlayış ve yardımlarından dolayı İGDAŞ Beyoğlu Bölge Müdürlüğü'nün çok kıymetli yönetici ve çalışanlarına, Makina Y. Müh. İzzet KARABAY ve Makina Müh. Cansel COŞKUN beylere, bacagazı analizi ekibine gönüllü olarak katılan ve bütün kış boyunca kar, kış, soğuk, yağmur, çamur demeden, tüm zorluklara rağmen fedakarca çalışan mesai arkadaşlarım Fahri AKSU ve Hüseyin DEMİRCİ'ye, özellikle çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

15.04.1999

Cihat AYDIN

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
TABLolar LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
HAVA KİRLİLİĞİNİN TANIMI, KAYNAKLARI VE ETKİLERİ .....	4
2.1. Hava Kirliliğinin Tanımı ve Kirleticilere Genel Bakış .....	4
2.2. Hava Kirliliğinin Kaynakları .....	8
2.3. Hava Kirliliğinin Etkileri .....	9
2.4. Hava Kirliliği Problemlerine Genel Bakış .....	10
BÖLÜM 3.	
NO <sub>x</sub> EMİSYONLARI .....	13
3.1. Doğalgaz Yanmalarında NO <sub>x</sub> Oluşumu .....	13
3.2. Azot Oksitlerin Oluşum Mekanizmaları .....	14
3.2.1. Isıl (termik) – NO .....	15
3.2.2. Hızlı (ani) – NO .....	17
3.2.3. Yakıt (bileşik) – NO .....	18
3.3. Azotoksit Oluşumunun Denetlenmesi .....	19
3.3.1. Kömürlerin yanması .....	19
3.3.2. Sıvı yakıtların yanması .....	21

3.3.3. Gaz yakıtların yanması .....	22
3.4. Alçak NO Yanma Sistemlerinin Dizaynı .....	24
3.4.1. İki kademeli brülörler .....	24
3.4.2. Baca gazı geri dönüşü .....	25
3.5. Sonuç .....	29
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>KÜKÜRTOKSİT (SO<sub>x</sub>) EMİSYONLARI .....</b>	<b>32</b>
4.1. Kükürtoksitler ve Hava Kirliliği .....	32
4.2. Kükürtoksitler .....	33
4.3. Asit Yoğuşması .....	35
4.4. Kükürtoksit Kaynakları .....	37
4.4.1. Kömür .....	37
4.4.2. Fuel-oil .....	38
4.5. SO <sub>x</sub> Emisyonlarını Giderme Yöntemleri .....	38
4.5.1 Atmosferdeki SO <sub>x</sub> gazlarının doğal olarak giderilmesi .....	38
4.5.2. Baca gazındaki SO <sub>x</sub> emisyonlarının giderilme yöntemleri .....	38
4.6. Sonuç .....	40
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>KARBONMONOKSİT (CO) EMİSYONLARI .....</b>	<b>41</b>
5.1. CO Emisyonlarının İnsan Sağlığına Etkisi .....	41
5.2. CO Emisyonlarının Kaynakları .....	42
5.3. CO Emisyonlarını Azaltma Yöntemleri .....	42
<b>BÖLÜM 6.</b>	
<b>ÇEVRESEL ETKİLERİ AÇISINDAN DOĞALGAZ .....</b>	<b>44</b>
6.1. Doğalgazın Oluşumu .....	44
6.2. Doğalgazın Tarihçesi .....	44
6.3. Doğalgazın Kullanım Alanları .....	45
6.4. Doğalgazın Avantaj ve Dezavantajları .....	47
6.5. Türkiye’de Doğalgaz .....	48

## BÖLÜM 7.

<b>DOĞALGAZIN ÖZELLİKLERİ</b> .....	51
7.1. Genel .....	51
7.2. Doğalgazın Kimyasal Özellikleri .....	52
7.2.1. Özel denklemler .....	52
7.2.2. Sıkıştırılabilirlik faktörü .....	54
7.2.2.1. Temel Z bölümü .....	56
7.2.2.2. Deneysel düzeltme faktörü .....	57
7.3. Doğal Gazın Fiziksel Özellikleri .....	59
7.3.1. Gaz yoğunluğu .....	59
7.3.2. Gaz viskozitesi .....	59
7.3.3. Gazların ısı iletkenliği .....	62
7.3.4. Gaz gravitesi .....	63
7.4. Termodinamik Özellikler .....	63
7.4.1. Isıl kapasitesi .....	63
7.4.2. Basıncın entalpi ve özgül ısıya olan etkisi .....	65
7.4.3. Doğalgazın ısı değeri .....	66
7.4.4. Yanabilirlik sınırları .....	67
7.4.5. Entalpi-entropi (H-S) diyagramları .....	68
7.4.6. Akışkan özellikleri ve P-V-T-H-S arasındaki termodinamik Bağıntılar .....	70
7.5. Wobbe Sayısı .....	71

## BÖLÜM 8.

<b>HAVA KİRLİLİĞİNİN ÖNLENMESİNDE BACA GAZI ANALİZİ VE ÖNEMİ</b> .....	72
8.1. Giriş .....	72
8.2. Baca Gazı Analizi .....	72

8.2.1. Oksijen ölçümü .....	73
8.2.2. Sıcaklık ölçümü .....	75
8.2.3. Karbonmonoksit ölçümü .....	75
8.2.4. İslilik (smoke) kontrolü .....	75
8.2.5. Baca çekişi (basınç) ölçümü .....	76

## BÖLÜM 9.

İSTANBUL'DA YAPILAN BACA GAZI ANALİZİ ÇALIŞMASI .....	78
9.1. İstanbul'da Hava Kirliliği .....	78
9.2. İstanbul'da Yapılan Baca Gazı Analizi Çalışmasında Kullanılan Ekipmanlar .....	79
9.3. MRU 95/3 CD Tipi Baca Gazı Analizi Cihazının Tanıtılması.....	82
9.3.1. Gaz analiz cihazlarının fonksiyonu .....	82
9.3.2. Yanma parametrelerinin ölçümü .....	84
9.3.3. Yoğuşma kapağı ve mikro filtre .....	85
9.3.4. Sensörler .....	85
9.3.5. Ölçüm aralığının genişletilmesi .....	86
9.3.6. Servis programı .....	86
9.3.7. Basınç ölçümü .....	88
9.3.8. İslilik ölçümü .....	88
9.3.9. Gaz ölçüm programı ve sonuçların alınması .....	88
9.3.10. Probu ısıtılması .....	88
9.3.11. Kalibrasyon .....	89
9.3.12. Fonksiyon bozuklukları ve muhtemel sebepleri .....	90
9.3.13. Kayıp hesabı .....	92
9.4. Baca Gazı Analizi Sonuçlarının İrdelenmesi .....	93
9.4.1. Genel karşılaştırma .....	93
9.4.1.1. Karbonmonoksit emisyonları .....	93
9.4.1.2. Azotoksit emisyonları .....	94
9.4.1.3. Oksijen oranları .....	94
9.4.1.4. Karbondioksit oranları .....	95
9.4.1.5. Verim değerleri .....	96
9.4.1.6. Hava fazlalık katsayısı .....	96

9.4.1.7. Baca Gazı sıcaklığı .....	97
9.4.2. İlçeler bazında değerlendirmeler .....	97
9.4.2.1. Karbonmonoksit emisyonlarının karşılaştırılması .....	98
9.4.2.2. Azotoksitlerin karşılaştırılması .....	98
9.4.2.3. Baca Gazı sıcaklığı karşılaştırılması .....	99
9.4.2.4. Verimlerin karşılaştırılması .....	99

## BÖLÜM 10.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	100
10.1. Sonuçlar .....	100
10.2. Öneriler .....	102
10.3. Baca Gazı Analizi Uygulamalarının Yaygınlaştırılmasında İGDAŞ'ın Rolü .....	103

KAYNAKLAR .....	106
-----------------	-----

EKLER .....	109
-------------	-----

## ÖZGEÇMİŞ



## SİMGELER VE KISALTMALAR

ppm	: Milyonda Bir Parçacık	boyutsuz
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	m <sup>3</sup>
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğal Gaz	m <sup>3</sup>
T	: Sıcaklık	°C
T <sub>gaz</sub>	: Bacagazı Sıcaklığı	°C
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı	boyutsuz
P	: Basınç	bar
P <sub>r</sub>	: Küçültülmüş Sanal Basınç	bar
P <sub>c</sub>	: Kritik Basınç	bar
P <sub>c</sub> '	: Sanal Kritik Basınç	bar
T <sub>c</sub> '	: Sanal Kritik Sıcaklık	°C
m	: Kütle	kg
V	: Hacim	m <sup>3</sup>
M	: Molekül Ağırlığı	kg/kmol
R	: Evrensel Gaz Sabiti	kJ/kmol °K
ρ	: Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>
Z	: Sıkıştırılabilirlik Faktörü	boyutsuz
γ	: Korelasyon Sabiti	boyutsuz
γ <sub>g</sub>	: Gazın İzafi Yoğunluğu	boyutsuz
e	: Eksponansiyel	sabit
n	: Politropik Üs	boyutsuz
y <sub>i</sub>	: i Bileşeninin Mol Oranı	boyutsuz
ε <sub>3</sub>	: Düzeltme Faktörü	boyutsuz
μ	: Dinamik Vizkozite	kg/m.s
τ	: Kayma Gerilmesi	N/m <sup>2</sup>
F	: Kuvvet	N
A	: Alan	m <sup>2</sup>

$x$	: Yükseklik	m
$g_c$	: Gazın Gravitesi	boyutsuz
$k$	: Isıl İletkenlik	kcal/ m <sup>2</sup> °K
$c_p$	: Sabit Basınçta Özgül Isı	kJ/kmol °K
$c_v$	: Sabit Hacimde Özgül Isı	kJ/kmol °K
$H$	: Entalpi	kJ
$S$	: Entropi	kcal/kg °K
$W_{a,n}$	: Üst Wobbe Sayısı	kW/m <sup>3</sup>
$W_{a,n}$	: Alt Wobbe Sayısı	kW/m <sup>3</sup>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Isının bir fonksiyonu olarak NO oluşum hızı.....	16
Şekil 3.2. Alev dönüşlü yanma hücrelerinde kapasiteye bağlı olarak NO <sub>2</sub> oluşumu.....	17
Şekil 3.3. Isıl NO mekanizmasının toplam NO oluşumuna etkisi.....	18
Şekil 3.4. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak NO oluşum miktarı.....	24
Şekil 3.5. Brülör fanını kullanarak baca gazı geri dönüşü.....	25
Şekil 3.6. İlave bir brülör fanı kullanarak baca gazı geri dönüşü.....	26
Şekil 3.7. Çeşitli yakıtlarda geri döndürülen atık gaz oranına göre NO emisyonunun değişimi.....	26
Şekil 3.8. Adaptör prensibine göre Low-NO <sub>x</sub> brülör kafası.....	27
Şekil 3.9. Motorin ve gaz için düşük NO <sub>x</sub> kombine sistem duman gazı için fan kullanarak dahili geri döndürme.....	28
Şekil 4.1. Tatlı suda asiditenin artmasının, burada yaşayan canlılar üzerindeki etkisi .....	34
Şekil 4.2. Rubr endüstri bölgesinde bulunan ve 1702 yılında yapılmış bir heykelin, 1908 ve 1969 yıllarındaki durumunu gösteren iki fotoğraf.....	34
Şekil 4.3. Yakacaktır küllük yüzdesinin duman gazının çığ noktası üzerine etkisi.....	35
Şekil 4.4. Fuel-oil yakan bir sistemde duman gazında SO <sub>3</sub> bulunmasının, duman gazının çığ noktası üzerindeki etkisi.....	36
Şekil 4.5. Doğalgaz yakan bir sistemde Hava Fazlalık Katsayısının, duman gazının çığ noktası üzerindeki etkisi.....	36
Şekil 4.6. Bacagazında küllük giderme işlemi.....	40
Şekil 7.1. Gaz karışımlarının sanal kritik basınçları.....	55
Şekil 7.2. Hidrokarbonların sıkıştırılabilme faktörü .....	56
Şekil 7.3. Hidrokarbonlar için düzeltme faktörü .....	58

Şekil 7.4. Akışkanın hareket mekanizması .....	60
Şekil 7.5. Standart koşullarda doğal gazın viskozitesi .....	61
Şekil 7.6. Viskozite düzeltme faktörü .....	62
Şekil 7.7. Hidrokarbonların özgül ısısı .....	64
Şekil 7.8. Doğal gazların entalpisi üzerinde basınç etkisi .....	65
Şekil 7.9. Doğal gazlar için atmosferik basınçta özgül ısı oranları .....	66
Şekil 7.10. Metan gazının T-S diagramı .....	69
Şekil 7.11. Basınç-Entalpi diagramı .....	70
Şekil 8.1. Çeşitli yanma durumlarına göre atmosfere atılan emisyonlar .....	74
Şekil 8.2. İsliliğe bağlı olarak bazı parametrelerdeki değişimler .....	76
Şekil 8.3. Kazanların anma ısı gücüne göre ideal çekiş oranları .....	77
Şekil 9.1. MRU 95/3 CD bacagazı analizi cihazı .....	80
Şekil 9.2. İGDAŞ'ta kullanılan bacagazı analizi değerlendirme formu .....	81
Şekil 9.3. Bacagazı analizi cihazı üzerindeki fonksiyon tuşları .....	83
Şekil 9.4. Bacagazı analizi cihazının ön panelinin görünüşü .....	84
Şekil 9.5. CO emisyonlarının grafik olarak gösterilmesi .....	93
Şekil 9.6. NO <sub>x</sub> emisyonlarının grafik olarak gösterilmesi .....	94
Şekil 9.7. O <sub>2</sub> emisyonlarının grafik olarak gösterilmesi .....	94
Şekil 9.8. CO <sub>2</sub> emisyonlarının grafik olarak gösterilmesi .....	95
Şekil 9.9. Verim değerlerinin grafik olarak gösterilmesi .....	96
Şekil 9.10. Hava fazlalık katsayısı değerlerinin grafik olarak gösterilmesi .....	96
Şekil 9.11. T <sub>gaz</sub> sıcaklığının grafik olarak gösterilmesi .....	97
Şekil 9.12. İlçeler bazında CO emisyon değerleri .....	98
Şekil 9.13. İlçeler bazında NO <sub>x</sub> emisyon değerleri .....	98
Şekil 9.14. İlçeler bazında T <sub>gaz</sub> değerleri .....	99
Şekil 9.15. İlçeler bazında verim değerleri .....	99

## TABLolar LİSTESİ

	2
Tablo 1.1. İstanbul'da 1990 yılındaki kirletici emisyonlarını dağılımı.....	5
Tablo 2.1. Kuru Atmosferik Havanın Kimyasal Kompozisyonu.....	7
Tablo 2.2. Gaz kirleticilerinin genel sınıflandırılması.....	10
Tablo 2.3. Sanayileşmiş Toplumlarda Enerji Akışı.....	20
Tablo 3.1. Kömürlerin yanmasından çıkan kirleticilerin emisyon faktörleri.....	21
Tablo 3.2. Akaryakıt yanmaları için emisyon faktörleri.....	23
Tablo 3.3. Doğalgaz yanmalarında emisyon faktörleri.....	31
Tablo 3.4. Kuvvet santralleri emisyonları.....	33
Tablo 4.1. Kükürt dioksidin bazı fiziksel özellikleri.....	37
Tablo 4.2. ABD'de çeşitli kaynaklardan atmosfere atılan SO <sub>2</sub> yüzdeleri .....	39
Tablo 4.3. Çeşitli yakacalarda ağırlıkça kükürt oranı.....	46
Tablo 6.1. Dünya Doğal Gaz Rezervleri .....	52
Tablo 7.1. Dünyadaki değişik doğalgaz kaynaklarında bileşenlerin oranı (%)...	
Tablo 7.2. Hidrokarbonların kritik değerleri.....	55
Tablo 7.3. Doğal gaz bileşenlerinin ısı değerleri.....	67
Tablo 7.4. Gaz bileşenlerinin yanabilirlik sınırları.....	68
Tablo 8.1. Emisyonların sınır değerleri.....	77
Tablo 9.1. SIEGERT formülünde kullanılan düzeltme faktörleri.....	85
Tablo 9.2. Referans Değerler.....	87
Tablo 9.3. Cihazla ölçülen parametrelerin ölçüm aralıkları.....	87
Tablo 9.4. Bacagazı analiz cihazının ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri.....	91

## ÖZET

### **Anahtar Kelimeler: Hava kirliliği, Doğalgaz, Emisyon, İstanbul**

Hava kirliliği, modern hayatla karşımıza çıkan bir olgudur. İnsanların büyük kentlere göç etmesiyle birlikte, şehirlerin nüfusu hızla artmaya başlamıştır. Artan nüfusa paralel olarak, insanların rahat ve konforlu bir yaşam sürmeleri için gerekli olan ısı, ışık ve enerji ihtiyacı da hızla artmıştır. İhtiyaca cevap vermesi için insanlığın hizmetine sunulan kaynaklardan enerji elde edilirken ortaya çıkan yan ürünler hava kirliliği oluşturmakta, insan hayatını ve doğal yaşamı olumsuz yönde etkilemektedir.

Diğer taraftan, şehirlerde nüfusun hızla artması barınma sorununu ortaya çıkarmış ve şehirlerin akciğerleri mesabesinde olan ormanlık ve yeşil alanlar, nüfus artışıyla ters orantılı olarak hızla azalmaya başlamıştır. Buna bir de plansız ve çarpık kentleşme ile gecekondular eklenince, ortaya çok daha vahim bir tablo çıkmaktadır. Bu durum hava kirliliğinin insan hayatı ve doğal çevre üzerindeki etkisini bir kat daha arttırmaktadır. Bütün bunların sonucu olarak da İstanbul başta olmak üzere bazı büyük şehirlerde hava kirliliği insan hayatını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır.

Hava kirliliğinin önlenmesinde en önemli yöntemlerden biri, konvansiyonel yakıtlar içinde “Çevre Dostu” olarak bilinen doğalgaz kullanımının hızla yaygınlaştırılmasıdır.

Bu çalışmada, ilk etapta hava kirliliği kavramı üzerinde durulmuş ve hava kirliliğini oluşturan çevreye zararlı emisyonlar birer birer irdelenmiştir. İkinci etapta ise en temiz fosil yakacak olan doğalgaz genel olarak ele alınmış, doğalgazın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde durulmuştur. Son olarak da İstanbul’un hava kirliliğinin azaltılmasındaki payı çok büyük olan doğalgazın, yaygınlaştırılması ve maksimum verimle kullanılmasına yönelik olarak, İGDAŞ Beyoğlu Bölge Müdürlüğü sınırları dahilinde bulunan ilçelerde yapılan “Bacagazı Analizi Çalışması”nın değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu çalışma neticesinde, hızla yaygınlaşan doğalgazın İstanbul halkı tarafından doğru yöntemlerle kullanılmadığı görülmüştür. Yakma sistemlerinin maksimum verimle çalıştırılabilmesi için, doğalgazın yaygınlaştırılmasının yanısıra, bacagazı analizlerinin de yaygınlaştırılmasının gerekliliği karşımıza çıkmıştır.

## **SUMMARY**

**Key words: Air Pollution, Natural Gas, Emission, İstanbul**

Air pollution is a phenomenon with which we are faced when leading modern life. Due to the over population the need for heating, light and energy for people has increased rapidly. However while providing energy from the resources to satisfy the needs, the remaining resources causes the life and nature in a negative way.

On the other hand, the over population in cities has caused housing problems and the field of the forest considered the lungs of cities has decreased. What's more with the unplanned horrible urbanisation the number of shunties has increased. This situation causes air pollution and affects nature in a bad way. Therefore air pollution threatens the big cities especially İstanbul.

To prevent air pollution the most crucial way is to use natural gas considered natural friend among convertional heating materials using natural gas is very common at the moment.

In this work, firstly air pollution was deeply considered and observed the harmful emission. Secondly, the cleanist fosil heating material, gas was considered and studied the physical and chemical properties of natural gas. Finally, around İGDAŞ Beyoğlu branch chimney gas analysis has been focused on that has helped decrease air pollution in İstanbul.

From this observation it has been found out that the people İstanbul has been unaware of using natural gas effectively. To get maximum result by using heating system, the amount of using natural gas isn't so sufficient chimney gas analysis is also needed.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

İstanbul'da hava kirliliğinin en önemli kaynaklarını, ev ve apartmanlarda kış aylarında ısınma maksadıyla kullanılan yakıtların yakılmasından ileri gelen *alan kaynak* olarak sınıflandırılan kaynaklar teşkil etmektedir. Bunların yanında, *hareketli kaynaklar* olarak sınıflandırılan motorlu taşıtlar ve *nokta kaynaklar* kategorisine giren endüstriyel kaynaklar da bölgesel olarak hava kirlenmesine yol açmaktadır. Isıtma ve endüstriyel kaynaklardaki emisyonları *sabit kaynaklarda yakıt yanması* olarak belirlemek mümkündür.

Özellikle son yıllarda fosil yakıtların yanması ile oluşan atık gazların çevresel etkileri çok büyük bir önem kazanmıştır. Fosil yakıtların yanması ile oluşan gazlar ve tozlar, asit yağmuru, çürütme, sera etkisi ve atık ısı etkisi gibi olumsuz çevresel etkiler oluşturmaktadır. Dünyada insan ve çevre sağlığı açısından yaşanan birtakım olaylar çevresel duyarlılığın artmasına neden olmuştur. Yanma neticesinde oluşan kimyasal bileşikler, karbonoksitler (CO<sub>x</sub>), azotoksitler (NO<sub>x</sub>), kükürtoksitler (SO<sub>x</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O) ve hidrokarbonlar (HC) v.b. gibi bileşiklerdir. Bu yanma ürünlerinin hepsi, dünyanın global ısınmasıyla ilgili olarak sera etkisi meydana getirmektedirler. Kükürtoksitler ve azotoksitler asit yağmurları oluşumuna sebebiyet verirken, ayrıca azotoksitler fotokimyasal sis oluşturmaktadırlar.

İstanbul'da sabit kaynaklar ve taşıtlardan meydana gelen kirletici miktarları, emisyon faktörleri kullanılarak hesaplandığında, bu emisyonların izafi (relatif) dağılımları bulunabilir. 1990 yılı için bu faktörler kullanılarak tahmin edilen kirletici emisyonlarının dağılımı Tablo 1.1'de gösterilmiştir[1].



**Tablo 1,1: İstanbul'da 1990 yılındaki kirletici emisyonlarını dağılımı [1]**

Kirletici	Toplam Emisyon	Sabit Kaynaklar	Taşıtlar
PM	%48,10	%47,50	%0,65
SO <sub>2</sub>	%29,40	%29,10	%0,26
CO	%16,30	%9,90	%6,64
NO <sub>x</sub>	%3,10	%1,60	%1,44
HC	%3,00	%1,60	%1,40
<b>Toplam</b>	<b>%100</b>	<b>%90</b>	<b>~%10</b>

Tablo 1.1'den görüldüğü gibi, İstanbul'da hava kirlenmesine büyük ölçüde sabit kaynaklarda (evler, endüstri tesisleri) ısınma ve enerji temini maksadıyla kullanılan yakıtlar sebep olmaktadır. Taşıtların hava kirliliğindeki payı ise % 10'dur. Hava kirliliğinin oluşmasında kirletici kaynakların yanısıra, enversiyon yüksekliği, rüzgar hızı gibi meteorolojik faktörler ve topoğrafik özellikler de kirleticilerin dağılımı açısından önemli rol oynamaktadır[1].

Atmosferde yoğun bir şekilde bulunan SO<sub>2</sub> ve PM miktarına bakıldığında kirliliğin özellikle kış aylarında ısınma maksatlı olarak yakılan kömür ve Fuel-oil'den kaynaklandığı görülmektedir. Bu hava kirleticileri belirlenen sınır değerlerini İstanbul'da birçok kez aşmış, sonuç olarak da, hem insan sağlığı hem de canlıların sağlığı tehlikeye girmiştir. Bu nedenle alternatif yakıt olarak sunulan doğalgazın tanıtılmasına ve yapılacak yatırımların öncelikle hangi bölgelerde olması gerektiğine karar verilmelidir. Yapılacak olan yatırımlar ve çalışmalar doğrultusunda, ilerleyen yıllarda doğalgaz kullanıcı sayısı artacak, bunun sonucu olarak da atmosferde bulunan SO<sub>2</sub> ve PM miktarlarında farkedilir bir şekilde düşüş görülecektir. Ancak yatırımların uzaması ve halkın doğalgaz konusunda yeterli düzeyde bilinçlendirilmemesi neticesinde, 80'li yıllarda geliyorum sinyalleri veren hava kirliliği, 90'lı yıllara gelindiğinde tüm çirkinliğini İstanbullu'lara göstermeye başlamıştır.

1960-1990 yılları arasında tüketim miktarları açısından yaygın şekilde kullanılan yakıtlar çeşitli dönemlerde değişik görüntüler arzemiş, 1960-1980 yılları arasında Fuel-Oil, 1980'den sonra ise linyit kömürü ısınma maksadıyla tüketilen yakıtlar arasında öncelik göstermiştir. 1990'lı yıllarda ise doğalgaz kullanılmaya başlanmış ve özellikle 1994 yılından sonra yaygınlaşmıştır[1].

İstanbul Gaz Dağıtım Sanayii ve Anonim Şirketi (İGDAŞ)'nin özellikle son 5 yıl içinde yaptığı çalışmalarla, İstanbul'un büyük bir bölümüne doğalgaz ulaştırılmış ve hava kirliliği sorununda önemli bir mesafe katedilerek, hava kirliliği dünya standartlarının altına çekilmiştir.

Doğalgaz, temiz ve verimli yakılabilirlik açılarından üstün niteliklere haiz bir yakıttır. Ancak bu niteliklerden maksimum ölçüde faydalanabilmek, en son teknoloji ile donatılmış kazan/fırın ve brülör sistemlerinin kullanım gereksinimi ile birlikte hassas bir yanma ayarı ve doğru hava/yakıt oranlarının sağlanmasına bağlıdır. Bu ayar ve kontroller günümüzde artık "Baca Gazı Analiz Cihazları" ile son derece pratik ve hassas bir biçimde kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Yanma neticesinde oluşan ürünlerin analizinde kullanılan baca gazı analizi cihazları özellikle belli başlı yanma ürünlerinin (karbondioksit, karbonmonoksit, azotoksit, oksijen, kükürtoksitler vs) miktarlarının belirlenmesinde, yakıcı veriminin hesaplanmasında, basınç değerlerinin ölçümünde, yakıt hakkında ve yanmanın şekli hakkında, ve bazı yanma parametreleri hakkında bilgi edinilmesine yönelik olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.

Yapılan baca gazı analizi neticesinde yanma verimini iyileştirerek ekonomik tasarruf sağlamak, çevreyi kirleten maddelerin sınır değerler altında tutulmasını sağlamak, yakma sisteminin bakım ve kontrolünün gerekip gerekmediğini belirlemek, sistemin güven içerisinde çalıştırılmasını sağlamak, sistemde olan veya olabilecek sorunun kaynağını tespit etmek gibi temel faydalar elde etmek söz konusudur.

Bu çalışmada, doğalgaz yakan sistemlerin emisyonlarının oluşum mekanizmaları ve bu emisyonların çevreye olan etkilerinin minimize edilmesi, İstanbul'da yapılan "Baca Gazı Analizi Çalışması" çerçevesinde değerlendirilmiştir. İstanbul'da doğalgaz kullanımının yaygınlaştırılması ve doğru yöntemlerle kullanılması üzerinde durulmuş, bu konuda yapılan tesbitler ortaya konularak, karşılaşılan problemlerle ilgili çözüm önerileri sunulmuştur.

## **BÖLÜM 2. HAVA KİRLİLİĞİNİN TANIMI, KAYNAKLARI VE ETKİLERİ**

### **2.1. Hava Kirliliğinin Tanımı ve Kirleticilere Genel Bakış**

Hava kirliliğinin kontrol edilmesini formüle edebilen kanunlar ve düzenlemelere geçmeden önce, *hava kirliliği* teriminin tanımlanması gerekir. Birçok tanımlar önerilmiştir. Tanımlardan bir tanesi de şöyledir: “İş hayatını, eşyaları, rahat ve konforlu yaşamı olumsuz yönde etkileyen, insan, bitki veya hayvan yaşamına veya eşyalara zarar verecek boyutlardaki kirleticilerden birinin veya birkaçının veya bunların bileşimlerinin, belli bir süreyle ve belli bir miktarda atmosferde bulunması, *hava kirliliği* olarak tanımlanabilir.” Aynı kaynakta, Wisconsin kanunları hava kirliliğini daha detaylı bir şekilde “...su buharı içermeyen toz, baca gazları, sis, sıvı, duman, diğer partikül maddeler veya bunların herhangi bir bileşeni” olarak tanımlar.

Hava kirliliğini tanımlamanın bir metodu da şöyledir: Önce “temiz” veya “normal” kuru atmosferik havanın kompozisyonu açıkça belirlenir, sonra da, bu kompozisyon içerisinde ortaya çıkan insan, bitki ya da hayvan hayatına zararlı etkileri bulunan kirletici materyallerin tümü ve bu materyallerin miktarı sınıflandırılır. Tablo 2.1’de kara kıtasından uzak olan okyanuslar üzerindeki veya tipik kırsal alanlardaki kuru atmosferik havanın kimyasal kompozisyonu listelenmiştir. Atmosferik hava içerisinde % 1-3 oranlarında su buharı ve kükürtdioksit, formaldehit, iyot, sodyum klorit, amonyak, karbonmonoksit, metan ve biraz toz ve polen zerrecikleri bulunur. Bu yüzden, yukarıda bahsedilen tanımlardan karbonmonoksit, hidrokarbon buharları veya ozon, bu konsantrasyon içerisinde 0.04 ppm’den daha fazla olursa, hava kirliliği oluşacaktır[2].

Günümüzde ne karbondioksit, ne de su buharı kirlilik olarak sayılmaktadır. Gelecekte, atmosfere deşarj edilen maddelerden biri, global atmosferik sıcaklıkta önemli bir değişiklik oluşturabilecek miktarlara ulaştığında, bu durum değişebilir.

**Tablo 2.1: Kuru Atmosferik Havanın Kimyasal Kompozisyonu [2]**

Madde	% Hacim	Konsantrasyon (ppm)
Azot	78,084 ± 0,004	780900
Oksijen	20,946 ± 0,002	209400
Argon	0,934 ± 0,001	9300
Karbondioksit	0,033 ± 0,001	315
Neon		18
Helyum		5,20
Metan		1,20
Kripton		0,50
Hidrojen		0,50
Ksenon		0,08
Azotdioksit		0,02
Ozon		0,01-0,04

Pratikte havadaki gaz kirleticilerinin miktarı, milyonda bir parçacık (ppm: parts per million) olarak ifade edilir. Bundan dolayı;

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ hacim gaz kirleticisi}}{10^6 \text{ hacim (kirletici + hava)}} \quad (2.1)$$

1 ppm = % 0.0001 birim

kirleticinin kütlesi ise, havanın 1 metrekübündeki partikül maddenin mikrogram ( $\mu\text{g}$ ) cinsinden miktarı olarak ifade edilir. Sembolik olarak,

$$\frac{\text{mikrogram}}{\text{metreküp}} = \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \quad (2.2)$$

25 °C'de ve 101,3 kPa (1 atm) basınçta,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ile ppm arasındaki ilişki şöyle bulunur.

$$\frac{m_{pol}}{V_{air}} = \frac{\rho_{pol} V_{pol}}{V_{air}} \cdot \frac{PM_{pol}}{\rho_{pol} R_u T} = \frac{V_{pol}}{V_{air}} \cdot \frac{PM_{pol}}{R_u T} \quad (2.3)$$

Kirletici gazı ideal gaz olarak kabul edelim ve  $M_{pol}$  kirleticinin molar kütlesi olsun.  $P= 1 \text{ atm}$ ,  $T = 298 \text{ °K}$  ve  $R_u = 0,08208 \text{ atm.m}^3/\text{kg mol.°K}$  olarak denklemde yerine koyarsak;

$$\frac{m_{pol}}{V_{air}} = \frac{V_{pol}}{V_{air}} \cdot \frac{M_{pol}}{24,5} \quad (2.4)$$

Burada kirleticinin kütlesi  $\text{kg/m}^3$  olarak alınmıştır. Sonuç olarak, sağ taraf  $10^9$  ile çarpılırsa kütle mikrogram'a çevrilir ve  $10^6$ 'ya bölünürse, bu durumda  $V_{pol}/V_{air}$  milyonda bir parçacık (ppm) cinsinden bulunur.  $1 \text{ atm}$  ve  $25 \text{ °C}$ 'de ppm ile  $\mu\text{g/m}^3$  arasındaki temel bağıntı şöyledir:

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = \frac{\text{ppm} \times \text{MolekülAğırlılı}}{24,5} (10^3) \quad (2.5)$$

$1 \text{ atm}$  ve  $0^\circ\text{C}$  ( $273 \text{ °K}$ ) için payda sabiti  $22,41$  olmaktadır. Bazen kirlilik, milyarda bir parçacık (ppb) veya yüzmilyonda bir parçacık (pphm) olarak da alınabilmektedir.

Hava kirliliğinin genel bir sınıflandırılmasını şu şekilde yapabiliriz:

1. Partikül madde
2. Kükürt içerikli bileşikler
3. Organik bileşikler
4. Azot içerikli bileşikler
5. Karbonmonoksit
6. Halojen bileşikler
7. Radyoaktif bileşikler

**Parçacık maddeler;** sık sık, ince tozlar ( çapı 100  $\mu\text{m}$ 'den küçük), kalın tozlar ( çapı 100  $\mu\text{m}$ 'nin üstünde), duman (0,001-1  $\mu\text{m}$ ) ve sis (0,1-10  $\mu\text{m}$ ) gibi alt sınıflara bölünür. Duman; yoğuşma, katı halden direkt olarak gaz hale geçme, veya kimyasal reaksiyonlarla oluşan parçacıklar şeklindedir ve bazen de bacagazı olarak adlandırılır. Sis; yoğuşmayla oluşan sıvı parçacıklar içerir. Duman veya bacagazına göre çapı oldukça büyüktür. Bütün bu sınıfları aerosol olarak adlandırdığımız daha geniş bir sınıflandırma ile ifade edebiliriz.

Yukarıdaki genel listede Madde 2'den Madde 6'ya kadar olan kirleticileri belli başlı iki ana başlık altında gruplandırabiliriz: Primer (birincil) ve sekonder (ikincil) kirleticiler. İkincil kirleticiler, normalde atmosferde bulunan kimyasal türler ile birincil kirleticiler arasındaki kimyasal reaksiyonlarla meydana gelirken; birincil kirleticiler ise kaynaktan direkt olarak dışarı atılırlar. Tablo 2.2'de, bazı maddeler için primer ve sekonder kirleticiler listelenmiştir. Normalde karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) kirletici olarak kabul edilmediği için, bu tabloda parantez içinde not olarak yer almaktadır. Bununla birlikte, evrendeki  $\text{CO}_2$  konsantrasyonunun artması,  $\text{CO}_2$  emisyonlarının nihai etkileri açısından, dikkatleri bu konuya yönlendirmektedir. Partikül madde, karbonmonoksit, kükürtoksitler, azotoksitler, hidrokarbonlar, fotokimyasal oksidantlar, asbest, berilyum ve civa ilerdeki bölümlerde detaylı olarak incelenecektir.

**Tablo 2.2: Gaz kirleticilerinin genel sınıflandırılması [2]**

SINIF	BİRİNCİL KİRLETİCİLER	İKİNCİL KİRLETİCİLER
Kükürt İçerikli Bileşenler	$\text{SO}_2$ , $\text{H}_2\text{S}$	$\text{SO}_3$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{MSO}_4^a$
Organik Bileşikler	$\text{C}_1$ - $\text{C}_5$ Bileşikleri	Ketonlar, Aldehitler, Asitler
Azot İçerikli Bileşikler	$\text{NO}$ , $\text{NH}_3$	$\text{NO}_2$ , $\text{MNO}_3^a$
Karbonoksitler	$\text{CO}$ , ( $\text{CO}_2$ )	
Halojenler	$\text{HCl}$ , $\text{HF}$	

<sup>a</sup>  $\text{MSO}_4$  ve  $\text{MNO}_3$  ayrı ayrı sülfat ve nitrat bileşiklerini göstermektedir.

## 2.2. Hava Kirliliğinin Kaynakları

Hava kirliliği tamamen modern hayatla birlikte karşımıza çıkan bir olgudur. Yaşadığımız, bulunduğumuz ve çalıştığımız yerlerin ışık ve ısı ihtiyacı için enerji üretiriz. Kendimiz için ürettiğimiz enerjiyi elde ederken ortaya çıkan ürünlerden hava kirliliği oluşur. Hava kirliliğinin asıl sebebi yanmadır ve yanma da insanoğlu için gereklidir. Tam veya teorik yanma gerçekleştiğinde hidrojen ve karbon, havadaki oksijenle yanma reaksiyonuna girer ve ısı, ışık, CO<sub>2</sub> ve su buharı elde edilir. Ancak havadaki pislikler, hava/yakıt oranının fakir veya zengin oluşu ya da çok düşük yanma sıcaklıkları; karbonmonoksit, kükürtdioksit, azotoksitler, uçan küller ve yanmayan hidrokarbonlar – ki bunların hepsi hava kirliliğidir – gibi yan ürünlerin meydana gelmesine sebep olur.

Hava kirliliği olayı yakın zamanda başlamamıştır. İngiltere Kralı I.Edward 1272 yılında Londra üzerindeki sisi yok etmek amacıyla açık kömür kullanmayı yasak etmeye çalışmıştır. İngiliz parlamentosu yasadışı kömür satan ve yakan kimselere işkence edileceğini belirten yasa çıkarmıştır. Sonra II.Richard (1377-1399) ve daha sonra IV.Henri (1413-1422) İngiltere’de kömür kullanımını Belli bir seviyeye göre sınırlamış ve düzenlemiştir. Hava kirliliği hakkında kayıtlara geçen ilk broşür Kraliyet idarecisi II.Charles tarafından 1661 yılında yayınlanmıştır[2].

Enerji üretiminde kömürün kullanılması endüstriyel devrimin ana faktörüdür. Bu da bugünkü teknolojinin temelini oluşturur. Ne yazık ki, teknolojiden yararlanmayı kabullenmek, çevremizi kirletmek ve alçaltmak demektir. Hava kirliliğinin yasal kontrolü için ilk yasal teşebbüslerden biri 1895 yılında Amerika’da görülmüştür.

Orman yangınları, bitkilerin çürümesi, toz fırtınaları ve volkanik lavlar gibi doğal olaylar neticesinde oluşan kirleticiler her zaman atmosfere karışır. Dünyadaki bir kısım gazların ve belirli maddelerin doğal yolla oluşturduğu kirlilik; insanoğlunun yaptığından daha fazla ise de, bu kirleticilerin genel ortalama içindeki konsantrasyonu daha düşüktür.. Karada ve denizde emme, oksitlenme ve çökme

sayesinde atmosfer, bilinen bu kirleticilerden belirli bir zaman dilimi içerisinde kendi kendini temizler. Başka bir deyişle insanoğlunun ürettiği kirlilikler, genelde küçük coğrafik alanlarda toplanır. Bu sebepten hava kirliliğinin çoğu gerçekten insanlar tarafından oluşturulur. Sadece Amerika'da yılda 200 milyon ton üzerinde katı, sıvı ve gaz atıklar atmosfere karışıyor. Yerleşik bölgelerdeki atmosfere karışan kirliliğin gerçek oranı, atmosferin temizleme oranından kat kat fazladır.

### 2.3. Hava Kirliliğinin Etkileri

Bütün insanlık tarihi göz önüne alındığında, hava kirliliği ile ilgili yasaklamaların 1272 yıllarına kadar dayanmasına karşın , hava kirliliği özellikle son yıllarda büyük bir problem haline gelmiştir. 1930 yılının Aralık ayında ağır bir şekilde sanayileşme sürecine giren Belçika'da Meuse Valley'de 3 gün şiddetli bir sis gözlemlendi. Yüzlerce insan hastalandı ve 60 kişi öldü. Kısa bir zaman sonra 1931 yılının Ocak ayında İngiltere Manchester ve Safor Area'da 9 gün boyunca koyu bir sis oluştu, 592 insan öldü. 1948 yılında Pensilvanya Donora'da çelik ve kimyasal fabrikaların hakim olduğu küçük bir sanayi şehrinde 4 gün boyunca sis olmuştu ve 14.000 nüfusun yaklaşık olarak yarısı hasta olmuştu. 20 kişi ölmüştü. 10 yıl sonra, dönemde hasta olan Donora halkında hastalık oranı daha yüksek bulundu ve tüm şehir halıknda ortalama ölüm yaşından daha erken ölümlere rastlandı. 1873 yılına kadar gerilere baktığımızda Londra'da, sis boyunca bronşitten 268 ölüm gözlenmiştir. Hava kirliliği meş'um potansiyelinin tamamen ortaya çıktığı 1952 yılında Londra o kadar büyük bir sisle örtülü değildi. En son sis 5 Aralık'tan 8 Aralık'a kadar sürdü. 10 gün sonra öğrenildi ki, büyük Londra'da bu zaman içindeki toplam ölüm sayısı ortalama 4000'i de aşmıştır. İstatistiklere göre genelde astım veya kalp krizi ani ölümlere sebep olur ve en son kategoriye göre bu insanlar en kolay hastalanabilir kişilerdir. 1956 yılının Ocak ayında sis yüzünden 1000 extra ölümün olması Londra'da kınandı.

Rusya'da da hava araştırmalarının sonuçları diğer ülkelerden farklı değildir. Rusya'nın bugünkü araba üretimi, Amerika'nın onda biri olmasına rağmen, çoğu Sovyet şehirlerinde hava kirliliği derecelerinin farklı olmadığı gözlemlenmiştir.



Vadilerde veya dağlık bölgelerde bulunan şehirler, genellikle hava kirliliği seviyesi yönünden tehlike arzeden yerlerdir. Armenia'nın dağlık şehirlerinde, örneğin karbonmonoksit için standart değerler sık sık aşılır. Benzer şekilde Magnitogorsk, Alma Ata, Chelyabinsk'deki metalurjik endüstri nedeniyle gökyüzü koyu mavi bir sis tabakasıyla kaplıdır. Tıpkı Los Angeles, Tbilisi ve Georgia Cumhuriyeti'nin büyük şehirlerinin, yaklaşık yılın altı ayı sis içinde kalması gibi. Leningrad'da gündüz saatlerindeki hava açıklığı, yan kasabası Pavlosk'tan % 40 daha azdır[2].

#### 2.4. Hava Kirliliği Problemlerine Genel Bakış

Sınırlı sayıda hava, toprak ve su kaynakları olmasına rağmen, insan nüfusu artmakta ve kişi başına düşen alan azalmaktadır. 1900'lü yılların başlangıcına kadar, dünya nüfusu 1.7 milyara ulaşmıştı. 1974 yılında dünya nüfusu 3.9 milyara vardı ve 2000 yılında bu rakamın 7 milyara ulaşması bekleniyor. Tarımsal alandaki teknolojik gelişmelerle, köylerdeki işlerin sayısı da büyük ölçüde artmıştır. Ancak diğer gelişmiş şehirlerde olduğu gibi, bugün nüfusun 3'te 2'si karanın yaklaşık %1'ini kaplayan şehirlerde yaşıyor. Banliyöler yaygınlaştı, insanların uzak şehirlere kolayca ulaşımını sağlayan büyük yollar yapıldı ve bunlar şehirlerimizi birbirine yaklaştırdı. Böylece , yüksek bir yaşam standardı ile birleşen nüfus artışı, yerleşim alanlarında hava kirleticilerinin konsantrasyonunun ve kirleticici çıkışlarının yoğunluğunun artmasına neden olmuştur.

Tablo 2.3. Sanayileşmiş Toplumlarda Enerji Akışı [2]

Ülke	Brüt Milli Hasıla (GNP) (\$/Capita)	Ticari Enerji Tüketimi (Milyon Btu/Capita)	GNP/Enerji
Hindistan	50	5	10
Şili	450	20	22
Japonya	600	30	20
Sovyetler Birliği	900	70	13
Almanya	1450	85	17
İngiltere	1500	117	13
Kanada	1900	130	15
Amerika	2850	180	16

Gelişmiş veya gelişmekte olan şehirlerde, ekonomik seviye ile enerji tüketimi yüzdesi arasında yakın bir ilişki olduğu açıkça görülür. Tablo 2.3’de, sanayileşmiş toplumlarda enerji akışı üzerine çalışan Cook’tan alınan bazı şehirlerin bilgileri verilmiştir. Tablodaki tüm değerler yaklaşıktır.

Bu bilgiler bize, bir insanın rahat ve iyi yaşamasının bir göstergesinin de, (direkt veya indirekt olarak) yaklaşık tükettiği enerji miktarına bağlı olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, enerjinin elde edilebilmesi ve kullanılması, yüksek bir yaşam standardı için gereklidir. Gelişmekte olan ülkelerin enerji ihtiyacındaki artış, Amerika ve Batı Almanya ile benzerdir. Global nüfusun artmasıyla birlikte, hava kirleticilerinin kontrolsüz emisyonları tehlikeli boyutlara ulaşabilir[2].

Geçmişte endüstri, ziraat kirleticileri ve bireysel kirleticilerin atmosfere boşatılmasının, kirlilik kontrolünden daha ekonomik olduğu görülmektedir. Genellikle kirliliğe sebep olan aktivite ve organizasyonlar, kirliliğin oluşturduğu sonuçlardan zarar görmediler. Bununla birlikte, hava kirliliğinin düşürülmesi için kurulan kontrol ekipmanlarından elde edilen faydalar , bu ekipmanların maliyetini karşılamadı. Son yıllarda, toplumların çevre problemlerine olan ilgilerinin artması nedeniyle, hava, toplum hayatının vazgeçilmez bir ögesi olarak gözönüne geldi. Bu nedenle hava kirliliği bir toplum problemi olarak düşünüldü. Bu ilgi, sadece kirlilikten dolayı değil, aynı zamanda kirliliğin ortaya çıkardığı zararlı sonuçlardan dolayı da olabilir. Böylece, bazı ülkelerdeki kanunlar, özellikle halkın yaşadığı bölgeleri direkt olarak kirleten kampanya ve organizasyonları, bireysel veya gruplar halinde dava etmelerine müsaade etmektedir.

Hava kirliliğinin rasyonel kontrolü dört ana varsayıma dayanır:

1. *Yerleşim yerlerindeki hava:* Sadece kirlilikten dolayı değil, aynı zamanda zarar verebilecek olan sonuçlardan dolayı da, hava kirliliğini bir toplum problemi olarak ele alırsak, böyle bir varsayım gereklidir.
2. *Hava kirliliği modern hayatın kaçınılmaz bir ögesidir:* Biyolojik yaşam ve insanların ekonomisi arasında bir farklılık vardır. Geçmişte bu farklılık, ancak

hava kirliliği felaketlerinden sonra farkedildi. En gerekli biyolojik fonksiyonların yerine getirilebilmesi ve atmosferin korunması için, programlı ve siyasi sistematik bir gelişmeye ihtiyacımız vardır.

3. *Toplum politikalarının şekillendirilmesinde bilimsel veriler uygulanabilir:*Hava kirliliğinin kaynakları ve etkileri hakkında bilgi çok yetersizdir. Gelişmiş kontrol araçları ve metodlarla büyük bir çalışma yapılması gerekmektedir. Ne yazık ki, hava kirliliği seviyesinde düzenli bir azalma olması için yeterli bilgiye ulaşılamadı. İnsanoğlu, ne teknolojiden, ne de yaşamından vazgeçmemelidir, fakat bilgisini kullanabilir.
4. *Hava kirliliğini azaltma metodları, çevrenin diğer sektörlerindeki kirliliği arttırmamalı:*Bazı fabrikalar havadaki zararlı atıkları azaltmak için, onları suda çözüdürürler ve kirlenen suyu derelere akıtırlar. Örneğin, kömür yakan bir elektrik güç ünitesinin kükürdioksit emisyonlarını azaltmak için yapılan bir tasarıda ne katı, ne de sıvı atıkların nitelikleri iyileştirilememiştir. Bu gibi metodlar hava kirliliği problemlerinde doğru bir çözüm değildir[2].

## BÖLÜM 3. NO<sub>x</sub> EMİSYONLARI

### 3.1. Doğalgaz Yanmalarında NO<sub>x</sub> Oluşumu

Doğalgazın yanması sonucu oluşan atık gazlar, çevre koruması açısından ele alındığında, özellikle NO<sub>x</sub> emisyonları son yıllarda gittikçe daha çok önem kazanmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşum mekanizmaları, bu emisyonları azaltacak yöntemler ve bu yöntemlerin etkinlik dereceleri, yakıt ve yakma sistemine bağlı olarak değişen emisyon faktörleri ve emisyon miktarları bu bölümde incelenecektir.

Ekonomik gelişmenin en önemli parametrelerinden olan enerji, toplumun yaşam düzeyinin iyileştirilmesinde ve gelişme hızının yükseltilmesinde en büyük itici güç olmuştur. Her ne kadar doğal kaynaklardan atmosfere verilen benzer kirleticilerin miktarı, fosil yakıtların kullanılabilir enerjiye dönüşüm ve tüketim süreçlerinde meydana gelen CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, tanecik, polisiklik organik bileşikler v.b. kirleticilerinkinden çok daha fazla ise de, bu sonuncuların derişiminin özellikle yoğun yerleşim merkezleri ve sanayi bölgeleri çevresinde büyük ölçüde artması, gerek insan sağlığı ve gerekse bitki örtüsü ve çevre dokusu üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu bağlamda kirletici kaynak emisyonlarının hava kirliliğine katkılarının önlenmesi ve yaşamsal tehlike oluşturacak sınırların aşılması önem kazanmaktadır. Büyük ölçekli faaliyetler sonucu bölgesel düzeyde ortaya çıkan çevre sorunları, CO<sub>2</sub> artışından kaynaklanan sera etkisi, florlu karbon bileşiklerinin ve azot oksitlerinin yol açtığı ozon tabakasının incilmesi ya da ozon deliği gibi olaylar ile giderek yerkürenin sorunu olmuştur[4].

Gelişen daha ciddi çevre bilinci ve yanma sırasında oluşan zararlı emisyonları en aza indirecek yakma teknolojilerinin uygulanması sonucu zararlı emisyonlar ve termik

kayıplar azaltılmış olmasına karşın yinede  $\text{NO}_x$  miktarı zaman zaman endişe verecek boyutlara ulaşmaktadır.

Yakma tekniğinde son yıllarda kaydedilen gelişmeler, yanma veriminin iyileştirilmesi üzerine konsantre olmuştur. Daha ciddi bir çevre koruma bilincinin uyanması ile birlikte, yanış esnasında oluşan zararlı emisyonu en aza indirmek için büyük çaba sarfedilmektedir. Böylece son 15 yıl içinde zararlı emisyonun azaltılmasına paralel olarak, termik kayıplar da % 30 oranında azaltılmıştır. Ancak buna rağmen, çevreye yayılan azot oksitlerinde bir artış kaydedilmiştir. Bunlar daha birkaç yıl öncesine kadar sadece hatırı sayılır masraflar yapılarak geliştirilen ölçüm teknikleri ile saptanabilmekte ve bu sebepten büyük ölçüde ihmal edilmekteydi.

Sanayi bölgeleri ve yoğun yerleşim merkezlerinin çevresinde son yıllarda görülen ozon konsantrasyonu endişe ile karşılanmakta ve emisyon sınırlarının tayini bakımından yeni yasal düzenlemelere gidilmesi zorunlu olmaktadır[3].

### 3.2. Azot Oksitlerin Oluşum Mekanizmaları

Fosil yakıtların yakılması sırasında, gerek yakıtta bulunan azot ve gerekse yakma havasındaki azot tepkime koşullarında oksijen ile birleşerek  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  ve  $\text{NO}_3$  gazlarını meydana getirir. Ancak bunlardan  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  ve  $\text{NO}_3$  kararsız yapıda oldukları için,  $\text{NO}$  ve  $\text{NO}_2$  verecek şekilde bozunurlar. Bu nedenle yanma gazlarında bulunan azotoksitleri  $\text{NO}$  ve  $\text{NO}_2$  şeklinde olup, toplam oksit miktarı;



şeklinde ifade edilir.

Yanma esnasında oluşan azotoksitin % 95-98'i  $\text{NO}$ , % 2-5'i  $\text{NO}_2$ 'dir. Azotoksitin bu iki şekli ( $\text{NO}_x$  olarak tanımlanır) duman gazları içinde atmosfere karışmaktadır.  $\text{NO}$  molekülleri oldukça değişken karakterli olup, duman gazları veya atmosfer içinde  $\text{NO}_2$ 'ye dönüşürler. Bu yüzden  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu  $\text{NO}_2$  cinsinden vermek mantıklı bir yaklaşım olmaktadır[3].

Yüksek sıcaklıkta yanma işleminde azotoksitlerin oluşum tepkimeleri üç ana başlık altında toplanmaktadır:

1. Isıl-NO<sub>x</sub>
2. Hızlı(ani)-NO<sub>x</sub>
3. Yakıt-NO<sub>x</sub>

### 3.2.1. Isıl (termik) – NO<sub>x</sub>

Hava kirliliği açısından NO<sub>x</sub> oluşumu özellikle sanayi bölgelerinde en büyük problemi teşkil etmektedir. Özellikle İsviçre’de, son yıllarda düşük NO<sub>x</sub> değerleri elde edilen işletmeler kurulmuştur. NO<sub>x</sub> oluşumunun en önemli etkeni termik (Zeldovich) faktörüdür[3].

Azot bileşikleri içermeyen yakıtların yanması sırasında yakıcı gazdaki atmosfer azotunun ortamda yeteri kadar oksijen bulunması halinde “ısı” mekanizma ile oksitlenmesi sonucu oluşmakta ve sıcaklığın üstel bir fonksiyonu olarak gelişmektedir. Zeldovich mekanizması uyarınca;



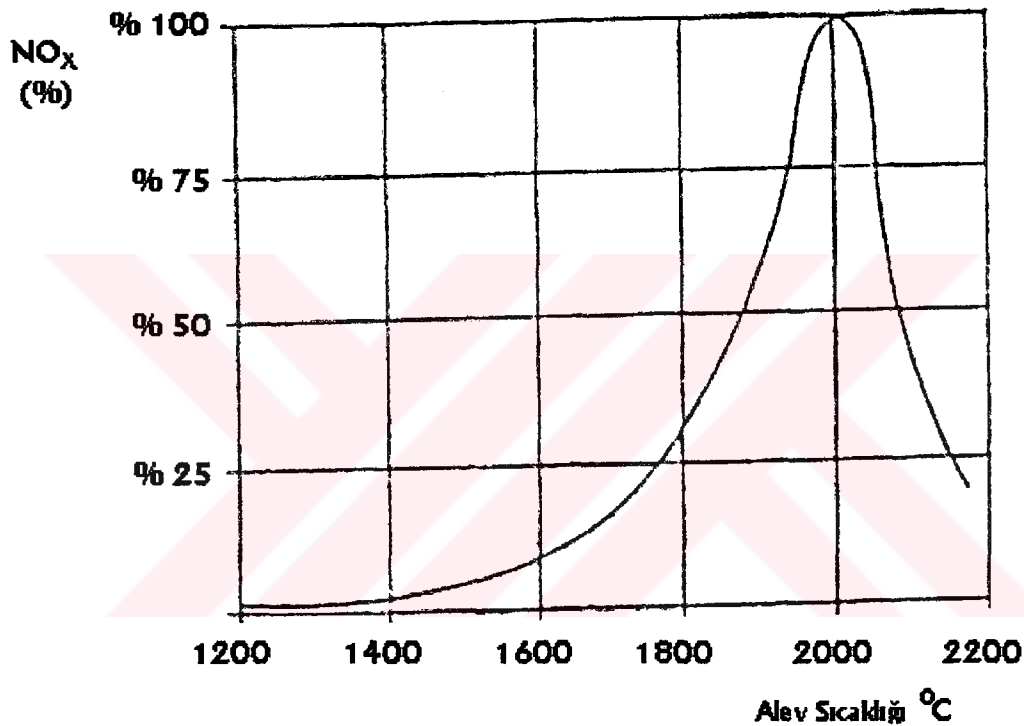
tepkimleri ile azotoksitin meydana gelişi, yüksek aktivasyon enerjilerinden dolayı 1200-1400 °C üzerinde önem kazanmakta, bu sıcaklığın altında yakıtça zengin karışımlarda ise azotoksit indirgenmektedir. Oksijenin az miktarda bulunduğu alev bölgesinde ayrıca;



tepkimesi de meydana gelmekte, yakıtın oksitlenme tepkimelerinde önemli rol oynayan OH ve H radikallerinin NO<sub>x</sub> oluşumunda da belirleyici olduğu görülmektedir[4].

1200 °C'nin üzerindeki yanış sıcaklığında havadaki oksijen ve azot NO<sub>x</sub> oluşturacak şekilde birleşir. Bu proses aşağıdaki değişkenlerden etkilenir:

- Alev bölgesindeki sıcak mahallerin sıcaklığı
- 1200 °C'nin üzerinde NO<sub>x</sub> üretim hızı Şekil 3.1'de görüldüğü gibi hızla artmaktadır. 2000 °C'de pik değerine ulaştıktan sonra, NO<sub>x</sub> moleküllerinin ayrışması neticesinde eğri aşağıya döner.

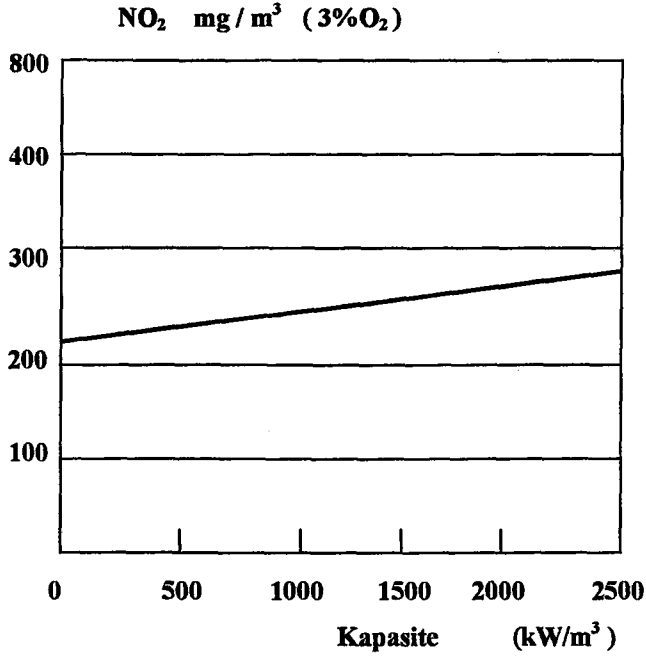


Şekil 3.1: Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak NO<sub>x</sub> oluşum hızı [3]

- Kızgın yüzeylerde gazların reaksiyona girme süresi
- Bu bölgedeki kısmi oksijen basıncı

Zeldovich faktörü ile oluşan NO<sub>x</sub> miktarı, bahsedilen yolların en önemlisidir. Bu yüzden, düşük NO<sub>x</sub> üreten sistemlerin dizaynında dikkat edilen birinci faktördür[3].

Kazan dizaynına bağlı olarak, kazan kapasitesi arttıkça termik NO<sub>x</sub> oluşumu da artmaktadır. Şekil 3.2 bu ilişkiyi alev geri dönüşlü kazanlarda göstermektedir.



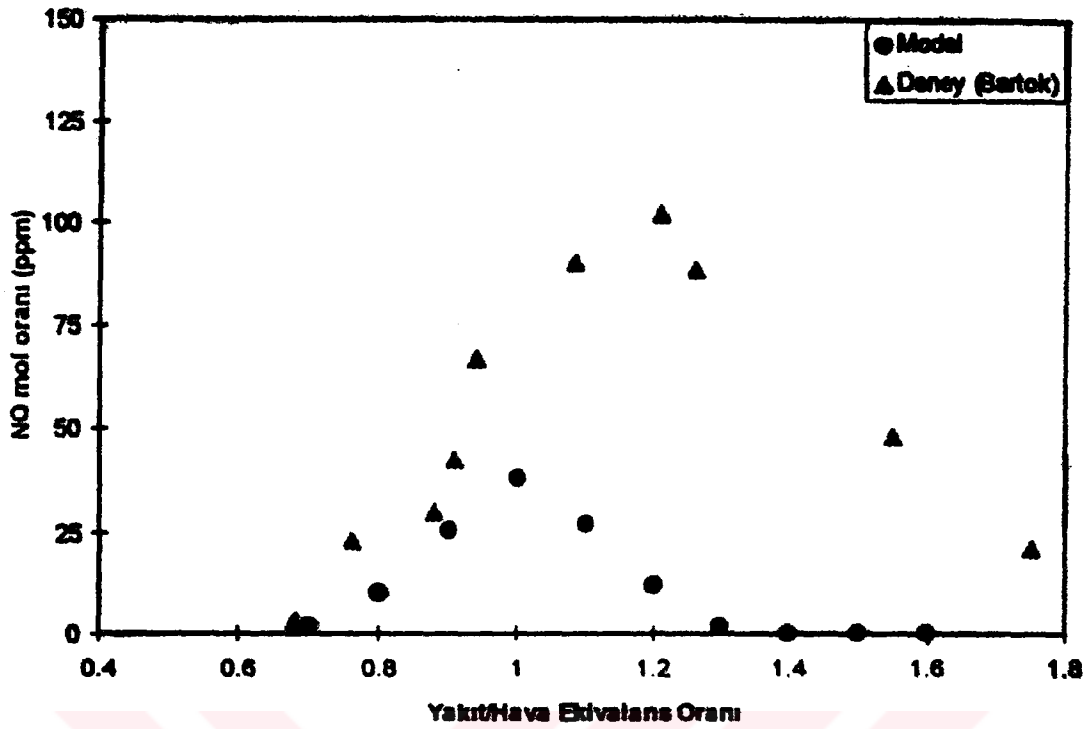
Şekil 3.2: Alev dönüşlü yanma hücrelerinde kapasiteye bağlı olarak NO<sub>2</sub> oluşumu [3]

### 3.2.2. Hızlı (ani) - NO

Genelde yakıt/hava oranının zengin olduğu bölgelerde (yanmakta olan yakıtların zerreciğinden ve oksijenin az olduğu yerlerde) beklenmektedir. Bu da yakıtın buharlaştığı ve yanışın kademeli olduğu çevre mevzuatına uygun brülörlerde elde edilen düşük NO<sub>x</sub> değerlerini açıklamaktadır.

Hidrokarbon yakıtların yanmasında azotoksitlerin oluşum hızları, özellikle zengin karışım bölgesinde Isıl-NO<sub>x</sub> mekanizmasında tanımlanan azotun oksitlenme hızını aşmakta ve çok hızlı bir şekilde, Ani-NO<sub>x</sub> oluşumu gerçekleşmektedir. Bu oluşumda özellikle (CH, CH<sub>2</sub>) gibi hidrokarbon radikallerinin önemli rol oynadığı, bunların moleküler azotla hızlı bir tepkimeye girerek amin ve siyanid gibi ara ürünler üzerinden zincirleme reaksiyon ile NO<sub>x</sub> oluşumuna neden olduğu belirtilmektedir. Şekil 3.3'de Bortok'un (1972) deneysel NO<sub>x</sub> ölçüm verileri ile Miller'in (1989) Isıl-NO<sub>x</sub> modeli karşılaştırılmıştır[5,6].





Şekil 3.3: Isıl-NO<sub>x</sub> mekanizmasının toplam NO<sub>x</sub> oluşumuna etkisi [4]

Ekivalens oranının 1'den küçük olduğu fakir karışım bölgesinde model sonuçları ile deneysel verilerin uyum içinde olduğu görülür, bu da fakir karışım bölgelerinde tüm azotoksit oluşumunda Zeldovich mekanizmasının geçerli olduğu kabulünü doğrular. Yakıt/hava karışımının 1 ve 1'den büyük olduğu zengin karışım bölgesinde oksijen derişiminin azalmasına bağlı olarak model ve deney sonuçlarının farklı olduğu, bu bölgedeki tepkimelerde Isıl-NO<sub>x</sub> yanısıra Ani-NO<sub>x</sub> oluşumunun ortaya çıktığı görülmektedir[4].

### 3.2.3. Yakıt (bileşik) – NO<sub>x</sub>

Yanma sonucu oluşan azotoksitler için bir başka kaynak da yakıtın bünyesinde bulunan azottur. Yakıtın organik olarak içerdiği bileşik azot, yanma esnasında büyük oranda azot monokside dönüşmektedir. Yakıttaki azotun, azotoksite dönüşümü, büyük ölçüde sıcaklık ve stokiyometri gibi yanma bölgesinin yerel özelliklerine ve yakıt/hava karışımındaki başlangıç derişimine bağlıdır. Yakıt-NO<sub>x</sub> oluşumunda

reaksiyon zincirinin, yakıttaki azot bileşiklerinin çok hızlı bir şekilde HCN ve NH<sub>3</sub>'e dönüşümleri ile başladığı bilinmekte, azotun aromatik halkaya bağlı olması halinde HCN, amin şeklinde olması halinde ise NH<sub>3</sub>'ün ağırlık kazandığı belirtilmektedir[4].

### 3.3. Azotoksit Oluşumunun Denetlenmesi

Yanma sürecinde azotoksit oluşumunun önlenmesi, öncelikle azot veya azotlu bileşik içermeyen yakıtların kullanımı, NO<sub>x</sub>'in baca gazlarından uzaklaştırılması ya da yanma sırasında NO<sub>x</sub> oluşumunu önleyici yöntemlerin uygulanması ile yapılmaktadır. Yanma bölgesinde pik alev sıcaklığını düşürmek, yakıtın bu sıcaklıkta kalma zamanını azaltmak, yakma havasındaki oksijenin derişimini düşürmek ya da kademeli yanma sağlamak sıklıkla uygulanan yöntemlerdendir. Kuşkusuz en başta kullanılan yakıt türü olmak üzere, yöntemin uygulanma kolaylığı ve verimi, uygulama ile diğer kirletici emisyonlarda olabilecek değişiklikler seçimde belirleyici olacaktır.

#### 3.3.1. Kömürlerin yanması

Kömürlerin yanması ile oluşan NO<sub>x</sub>'in büyük bir kısmı NO, çok az bir kısmı da NO<sub>2</sub> şeklinde olup Isıl-NO<sub>x</sub> ve Yakıt-NO<sub>x</sub> kaynaklıdır. Taşkömürü ve linyitlerde genelde % 0,5-2 oranında aromatik halkaya bağlı olarak bulunan yakıt azotunun % 20-60 kadarı yanma sırasında NO'ya dönüşmekte ve toplam NO<sub>x</sub> emisyonu içinde bu yakıt kökenli NO'nun payı % 80'e ulaşmaktadır. Tablo 3.1'de kömürlerin değişik yakma sistemlerinde yanması sonucu oluşan kirleticilerin emisyon faktörleri ve bu faktörlerin hassasiyetleri verilmiştir[7].

**Tablo 3.1: Kömürlerin yanmasından çıkan kirleticilerin emisyon faktörleri [7]**

(Parantez içindeki büyük harfler emisyon faktör sıralamasını gösterir.)

Yakıcı Şekli	Tanecik <sup>b</sup> kg/ton	Kükürt oksitler <sup>c</sup> kg/ton	Azotoksitler <sup>d</sup> kg/ton	Karbonmonoksitler kg/ton	Uçucu organikler <sup>e</sup> kg/ton	Metan kg/ton
Pulvarize kömür ateşleme	Islak 5A (A)	19,56(17,54)-(A)	10,5(7,5) <sup>f</sup> (A)	0,3 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
	Kuru 3,5A <sup>g</sup> (D)	19,56(17,54)-(A)	17 (C)	0,3 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Siklon fırınlar	1A <sup>g</sup> (D)	19,56(17,54)-(A)	18,5 (B)	0,3 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Hareketli mazgal	30 <sup>h</sup> (B)	19,56(17,54)-(A)	7 (A)	2,5 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Uçucu kül püskürtmeli siklonlar	0,5 (B)	19,56(17,54)-(A)	7 (A)	2,5 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Uçucu kül püskürtmesiz siklonlar	6A (A)	19,56(17,54)-(A)	7 (A)	2,5 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Mazgal üstü denetimsiz	8 (B)	19,56(17,54)-(A)	3,25 (A)	3 (B)	0,04 (A)	0,015 (A)
Siklon sonrası	4,5 (B)	19,56(17,54)-(A)	3,25 (A)	3 (B)	0,04 (A)	0,015 (A)
Mazgal altı denetimsiz	7,5 (B)	15,54 (B)	4,75 (B)	5,5 (B)	0,65 (A)	0,4 (A)
Siklon sonrası	5,5 (C)	15,54 (B)	4,75 (B)	5,5 (B)	0,65 (A)	0,4 (A)
Elle yakma	7,5 (D)	15,54 (C)	1,5 (D)	45 (D)	5 (D)	4 (A)

<sup>b</sup> Tanecikler, kömürün kül içeriği (A) cinsinden gösterilir. (Kül(A)= % 12 ise, tanecik= 12 x 5 = 60 kg/ton )

<sup>c</sup> Toplam kükürtoksitler SO<sub>2</sub> cinsinden hesaplanır. Parantez içindeki değerler linyit emisyonları içindir.

<sup>d</sup> Azotoksitler NO<sub>2</sub> cinsinden hesaplanır. Genel olarak NO<sub>x</sub> içinde % 95-99 NO, kalanı NO<sub>2</sub> olarak bulunur. NO<sub>x</sub> olarak belirtmek için 0,66 ile çarpılır.

<sup>e</sup> C<sub>2</sub>-C<sub>16</sub> arası hidrokarbonları gösterir.

<sup>f</sup> Parantez içindeki değer, tanjantiel yakma sistemi içindir.

<sup>g</sup> Uçucu kül püskürtmesi yapıldığında kontrol edilemeyen tanecik emisyonları

<sup>h</sup> Ekonomizer, hava ısıtıcısı veya kontrol ekipmanlarında toplanan uçucu kül miktarıdır.

NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmak amacı ile yapılan çalışmaların başında az hava fazlası ile yakma gelir. Bu yöntem, eski yeni her büyüklükteki yakma sistemlerine uygulanabilmesi açısından en çok kullanılan denetim şeklidir. Yüksek alev sıcaklığı nedeniyle NO<sub>x</sub> oluşumu artacağından bu yöntem pulvarize yakma sistemleri ve mazgal yakıcılarda ancak % 20 ve % 30 hava fazlasının üstünde etkin olmaktadır.

Ayrıca stokiyometrik olmayan kademeli yakma, yanma gazlarının geri dolaşımı, su buharı veya su püskürtülmesi, pahalı olmasına karşın NH<sub>3</sub> püskürtülmesi bu amaç için kullanılan etkin yöntemlerdendir. Bu yöntemlerin herhangi biri yada birkaçı vasıtasıyla yapılacak NO<sub>x</sub> miktarını düşürmek işi, büyük ölçüde yakıcının tipi, kömürün özellikleri ve mevcut işletme deneyimi ile değişmektedir. Ayrıca NO<sub>x</sub>'in denetimi için yapılan tüm bu kısıtlı yakmalar yanma gazlarında uçucu organik maddelerin ve CO emisyonunun miktarını arttırabilir. Bu nedenle NO<sub>x</sub> denetimi, atık gazlardaki CO miktarı max. 200 ppm üst sınırını geçmeyecek şekilde yapılır. Yanmayı sağlayan diğer yöntemlerde CO sınırlaması yoktur[4].

### 3.3.2. Sıvı yakıtların yanması

Sıvı yakıtların yanma ürünlerine ilişkin emisyon faktörleri ve hassasiyet dereceleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Sıvı yakıt yanması sonucu ortaya çıkan  $NO_x$  de yakıt azotunun ve yakma havasındaki azotun oksidasyonu ile oluşur. Yakıt kökenli  $NO_x$ , yakıtın azot içeriğinin ve yakma havasındaki oksijenin bir fonksiyonudur. Yakıt azotu % 20-70 arasında  $NO_x$ 'e dönüşürse de ortalama olarak %45 kabul edilir. Isıl- $NO_x$  ise; büyük ölçüde pik alev sıcaklığına ve yakıcı boyutuna, yakma konfigürasyonuna ve işletme pratiğine bağlı olan ortamdaki oksijenin bir fonksiyonudur[7].

**Tablo 3.2: Akaryakıt yanmaları için emisyon faktörleri [7]**

Emisyon faktör sıralaması: A

Yakıcı Şekli <sup>a</sup>	Tanecik kg/10 <sup>3</sup> l	Kükürt oksitler <sup>b</sup> kg/10 <sup>3</sup> l	Azotoksitler <sup>c</sup> kg/10 <sup>3</sup> l	Karbonmonoksitler <sup>d</sup> kg/10 <sup>3</sup> l	Uçucu organikler kg/10 <sup>3</sup> l	Metan kg/10 <sup>3</sup> l
Kuvvet santralleri						
Ağır fuel-oil	e	19 x S	8	0.6	0.03	0.03
Sanayi tipi yakıcılar						
Ağır fuel-oil	e	19 x S	6,6 <sup>e</sup>	0.6	0.034	0.12
Hafif fuel-oil	0.24	17 x S	2.4	0.6	0.024	0.006
Ticari tipi yakıcılar						
Ağır fuel-oil	e	19 x S	6.6	0.6	0.14	0.057
Hafif fuel-oil	0.24	17 x S	2.4	0.6	0.04	0.026
Evsel yakıcılar						
Hafif fuel-oil	0.3	17 x S	2.2	0.6	0.85	0.214

<sup>a</sup> Yakıcılar üst ısıl değerlerine göre sınıflandırılabilirler: Termik santral yakıcıları > 106 x 10<sup>9</sup> J/h

Sanayi tipi yakıcılar : 10,6 x 10<sup>9</sup>-106 x 10<sup>9</sup> J/h

Ticari tip yakıcılar : 0,5 x 10<sup>9</sup>-10,6 x 10<sup>9</sup> J/h

Evsel tip yakıcılar < 0,5 x 10<sup>9</sup> J/h

<sup>b</sup> S yakıtta bulunan % kükürt miktarıdır.

<sup>c</sup>  $NO_2$  cinsinden azotoksitler. Evsel yakıcılar dışında tüm yakıcılardan çıkan  $NO_x$  içindeki  $NO$  miktarı % 95'dir. Evsel yakıcılarda ise % 75'dir.

<sup>d</sup>  $CO$  emisyonları, yanma tam değil ise bu değer 10-100 katına çıkabilir.

<sup>e</sup> Akaryakıtların yanmasından çıkan tanecik emisyonları, yakıtın numarası ve kükürt içeriği ile bağlantılıdır. No:6 için:  $1,25xS+0,38$  kg/10<sup>3</sup> lt , No:5 için: 1,25 kg/10<sup>3</sup> lt ve No:4 için: 0,88 kg/10<sup>3</sup> lt'dir.

<sup>f</sup>  $NO_x$  emisyonları yakıtın azot içeriğine çok sıkı bağlı olup ampirik olarak hesaplanabilir.  $kg\ NO_2/10^3\ lt = 2,75 + 50(N)2$  formülünde N, yakıtın azot içeriğidir. Azot içeriği > 0,5 % olan ağır fuel-oil için 15 kg  $NO_2/10^3\ lt$  emisyon faktörü olarak kullanılabilir.

Ağır bakiye yağlarda yakıt kökenli  $NO_x$ , toplam  $NO_x$ 'in % 50'sini geçerken, distile yağ yakan yakıcılardan baskın  $NO_x$  oluşumu, yakıtın yok denecek kadar az azot içermesi nedeniyle Isıl- $NO_x$  şeklindedir. Ayrıca yakma konfigürasyonundaki

değişiklikler  $\text{NO}_x$  oluşum miktarı üzerinde etkindir. Örneğin tanjantiyel (köşe) yakıcılardan oluşan  $\text{NO}_x$  miktarı, düşey karşıt yakıcı sistemlerden çıkan  $\text{NO}_x$ 'den çok daha azdır[4].

Kısıtlı fazla hava ile yakma, atıkgaz geri dolanımı, kademeli yanma gibi yöntemlerin biri ya da birkaçı  $\text{NO}_x$  miktarını % 5-60 oranında düşürmektedir. Fazla hava ile yakma dışındaki yöntemlerin pek çoğu sadece büyük yakıcılara uygulanabilirken, kısıtlı hava fazlası ile yakma işlemi pekçok küçük yakıcılarda uygulanabilmektedir. Bununla birlikte sıvı yakıtlı kazanlarda  $\text{NO}_x$  oluşumunu azaltmak için 3 temel yol vardır:

- Brülör namlu dizaynında yapılan değişiklikler
- Kazan yanma hücresi ve duman yolları dizaynında yapılan değişiklikler
- Sıvı yakıttaki azotun azaltılması

Yukarıda 3 metod olarak belirtilen yaklaşımı kazan kullanıcısının ve yakıt üreticisi firmanın gerçekleştirmesi mümkün olmamaktadır. Sıvı yakıtın kükürt içeriği hususunda olduğu gibi, devlet yönetiminin sıvı yakıt üreticisi firmalara destek vermesi ve bu yönde gerekli yatırımların yapılması için uygun koşulları sağlaması gerekmektedir. Buna karşılık ilk iki metod üretici firmaların kontrolü altındadır. Her ikisinde de amaç termik azot oluşumunu önlemektir[4].

### 3.3.3. Gaz yakıtların yanması

“Temiz enerji” olarak tanımlanan doğalgazın yanmasında bile yanma tepkimesi sonucu bazı kirletici emisyonlar meydana gelebilir. Örneğin kötü karışma, yetersiz hava gibi uygun olmayan işletme koşulları, büyük miktarlarda  $\text{is}$ ,  $\text{CO}$  ve yanmamış hidrokarbon emisyonlarının nedenidir. Ancak doğalgazın yanmasında asıl kirleticiler azotoksitlerdir. Bunların miktarı yanma odasının sıcaklığı ve yanma ürünlerinin soğuma hızı ile değişir. Emisyon düzeyi ise yakma ünitesi büyüklüğüne ve işletme koşullarına bağlıdır. Kimi büyük ölçekli yakma sistemlerinde  $\text{NO}_x$  kontrolü için bir kısım işletme değişikliklerine gidilir. Örneğin stokiyometrik olmayan yakma ve/veya iki kademeli yanma ile emisyon oranları % 5-50 oranında düşürülmüştür.

Stokiyometrik olmayan yanmada yakıcıların bir kısmı zengin yakıtla, bir kısmı fakir yakıtla çalıştırılırken, bir kısmı da sadece hava temini için çalıştırılır. İki kademeli yakıcılarda ise, birinci basamakta yakıcılar, stokiyometrik havanın sadece % 70-90 oranında hava olacak şekilde yakıtça zengin çalıştırılır, ikinci basamakta alev bölgesine hava püskürtülerek yanma tamamlanır. Bu şekilde yakma işleminde yanma yakıtça zengin koşullarda gerçekleştiğinden NO<sub>x</sub> oluşumu azalmaktadır. Az hava fazlası ile yakma ve atıkgaz geri dolanımı da bir başka NO<sub>x</sub> azaltım yöntemidir. Birincisinde yakma işlemi; CO, uçucu organikler ve is gibi kirletici emisyon oluşumuna neden olmayacak kadar az hava fazlası ile yapılır. Bu yöntemle ortamda oksijen yetersizliğinden dolayı NO<sub>x</sub> emisyonları % 5-35 oranında düşürülür. İkincisinde ise; birincil yanma bölgesinde atık gazların dolanımı ile, bu gazların görece soğuk olmaları ve oksijen içermeleri nedeniyle, NO<sub>x</sub> oluşumu dolaştırılan gaz miktarına bağlı olarak % 4-85 oranında düşürülmektedir. Sıralanan tüm bu yöntemlerin bir yada birkaçının birlikte uygulanması ile doğalgaz yakan sistemlerde NO<sub>x</sub> oluşumu % 70-90 oranında aşağı çekilir. Tablo 3.3'de doğalgaz yanmasından çıkan kirleticiler, emisyon faktörleri ve bunların hassasiyetleri verilmiştir[4].

**Tablo 3.3: Doğalgaz yanmalarında emisyon faktörleri [4]**

Tipi:(106 Btu/h ısı girişi)	Tanecik kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Kükürtoksitler <sup>a</sup> kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Azotoksitler <sup>b</sup> kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Karbonmonoksitler kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Uçucu organikler <sup>c</sup> kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Metan <sup>d</sup> kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Kuvvet santral yakıcıları (>100)	16-80 (B)	9,6 (A)	8800 <sup>d</sup> (A)	640 (A)	23 (C)	4,8 (C)
Sanayi tipi yakıcılar(10-100)	16-80 (B)	9,6 (A)	2240 (A)	540 (A)	44 (C)	48 (C)
Evsel ve ticari tipi yakıcılar (<10)	16-80 (B)	9,6 (A)	1600 (A)	320 (A)	84 (D)	43 (D)

<sup>a</sup> Doğalgazın kükürt içeriğinin ortalama 4600 gr/10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup> olduğu kabul edilerek.

<sup>b</sup> NO<sub>2</sub> cinsinden. (Toplam NO<sub>x</sub>'in % 95'inin NO şeklinde olduğu bulunmuştur.)

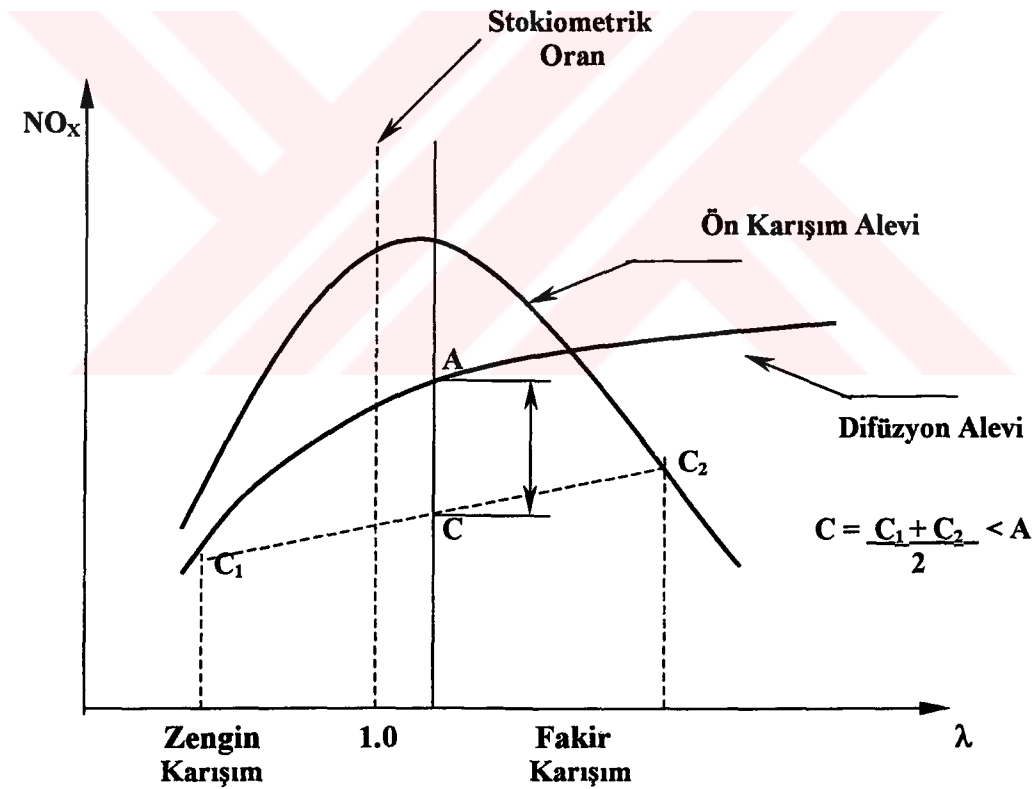
<sup>c</sup> Tam yanma olmadığında bu değerlerin 10-100 kat üstüne çıktığı görülmüştür.

<sup>d</sup> Tanjantiel yakıcılarda 4400 kg/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> alınır. Düşük yüklerde, bu faktörler yük azaltma katsayısı ile çarpılacaktır.

### 3.4. Alçak NO<sub>x</sub> Yanma Sistemlerinin Dizaynı

#### 3.4.1. İki kademeli brülörler

İki kademeli brülör, NO<sub>x</sub> oluşumunun yakıt hava karışımına ( $\lambda$ ) olan bağımlılığını (Şekil 3.4) bir avantaja dönüştürür. Stokiyometrik noktanın gerisinde ( $\lambda < 1$ ), oksijen azlığı dolayısıyla çok düşük kısmi oksijen basıncı oluşmaktadır. Stokiyometrik noktanın üzerinde ( $\lambda > 1$ ), alev fazla hava tarafından soğutulduğu için, NO<sub>x</sub> üretim hızı yeniden düşer. Birinci kademe yanışı bu brülörlerde stokiyometrik altıdır, oksijen azlığı mevcuttur (Şekil 3.4'de nokta 1 ve 2). İkinci kademe alev ekseninde püskürtülen ilave hava, yanabilir tüm fraksiyonları hava fazlalığı yaratarak yakar. Bu kademedeki is ve CO oluşumu önlenir[3].



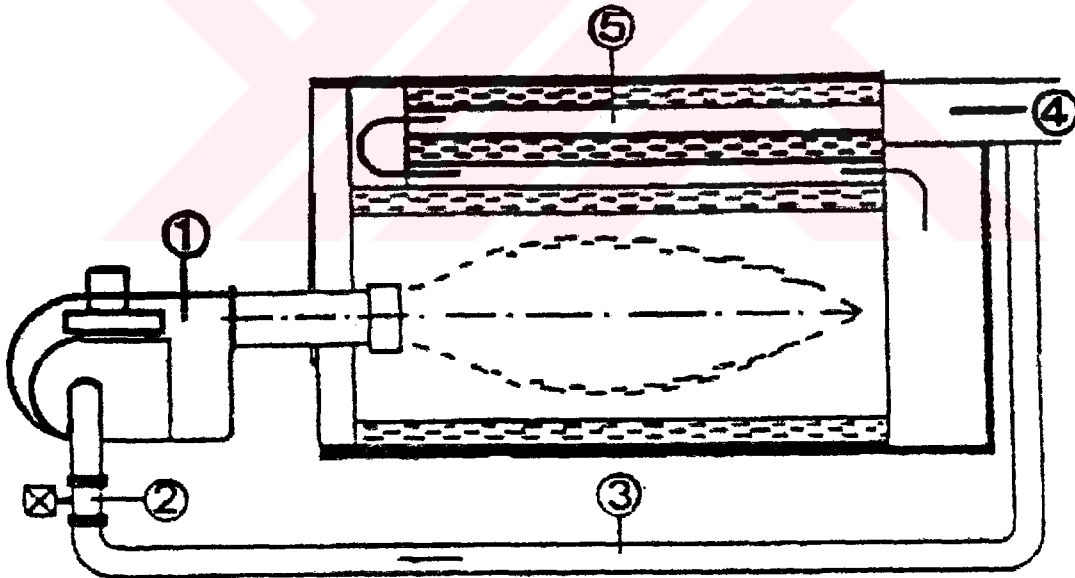
Şekil 3.4: Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak NO<sub>x</sub> oluşum miktarı [3]

### 3.4.2. Baca gazı geri dönüşü

Tüm düşük  $\text{NO}_x$  sistemleri baca gazı geri dönüşü prensibine göre dizayn edilmiştir. Bu sistemler baca gazının brülörde sirküle ediş biçimlerinde ve yatırım ile işletme masraflarında farklılık göstermektedir. Monoblok brülörlerdeki sistemlere bir göz atılırsa :

#### a) Brülör fanını kullanarak baca gazı geri dönüşü

Bu sistemde (Şekil 3.5) baca gazının sadece ufak bir kısmını geri döndürebilmektedir (% 10), çünkü alev stabilitesinde ve brülörde terleme ve korozyon problemleri oluşmaktadır. Bu yüzden gaz yakılan sistemlere özellikle uygundur.



1- Düşük- $\text{NO}_x$  Brülörü

2- Atık gaz ayar klapesi

3- Atık gaz geri dönüş kanalı

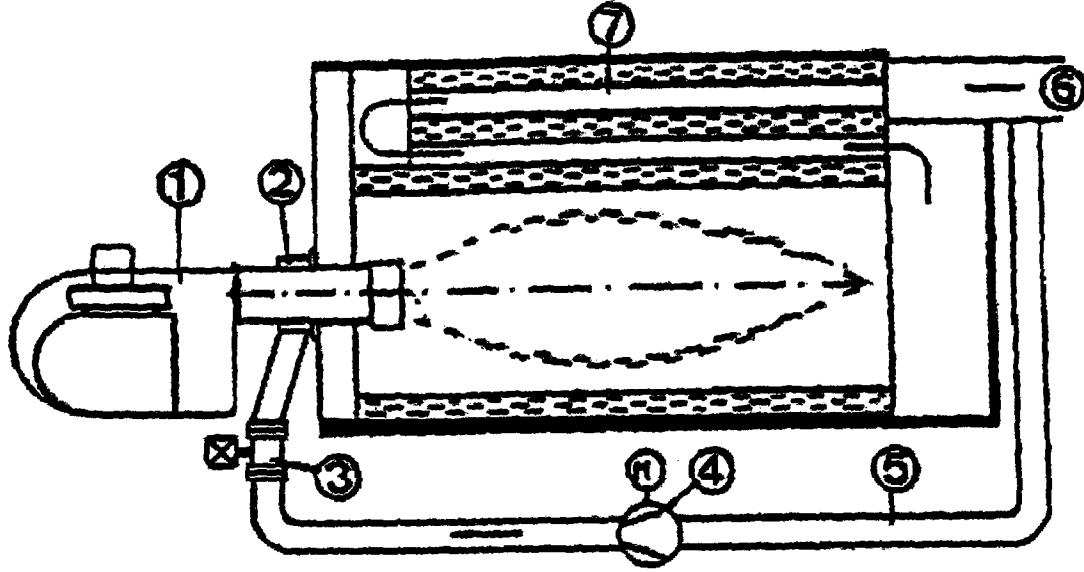
4- Atık gaz bacası

5- Isı üreticisi

Şekil 3.5: Brülör fanını kullanarak baca gazı geri dönüşü [3]



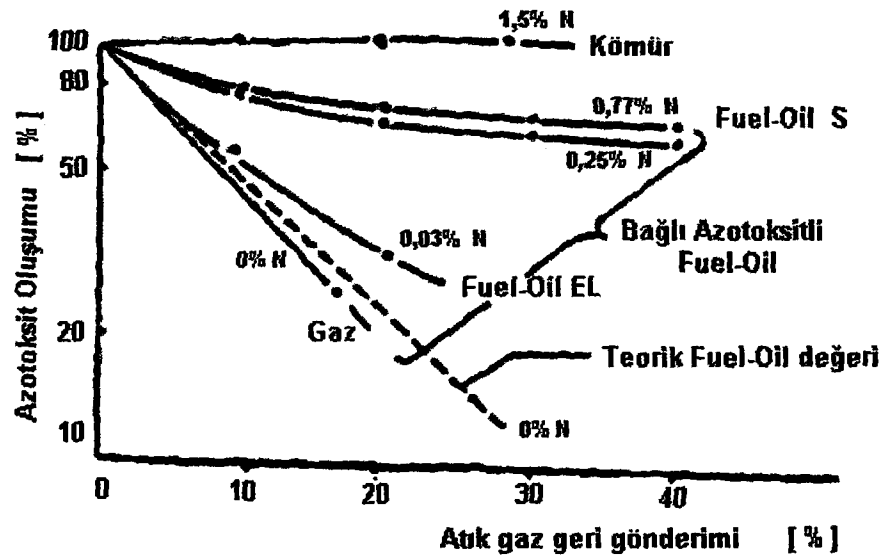
b) İlave bir brülör fanı kullanarak geri döndürme



- |                                    |                                  |                  |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------|
| 1- Low-NO <sub>x</sub> Brülörü     | 4- Atık gaz vantilatörü          | 7- Isı Üreticisi |
| 2- Atık gaz geri gönderme adaptörü | 5- Atık gaz geri döndürme kanalı |                  |
| 3- Atık gaz ayar klapesi           | 6- Atık gaz bacası               |                  |

Şekil 3.6: İlave bir brülör fanı kullanarak baca gazı geri dönüşü [3]

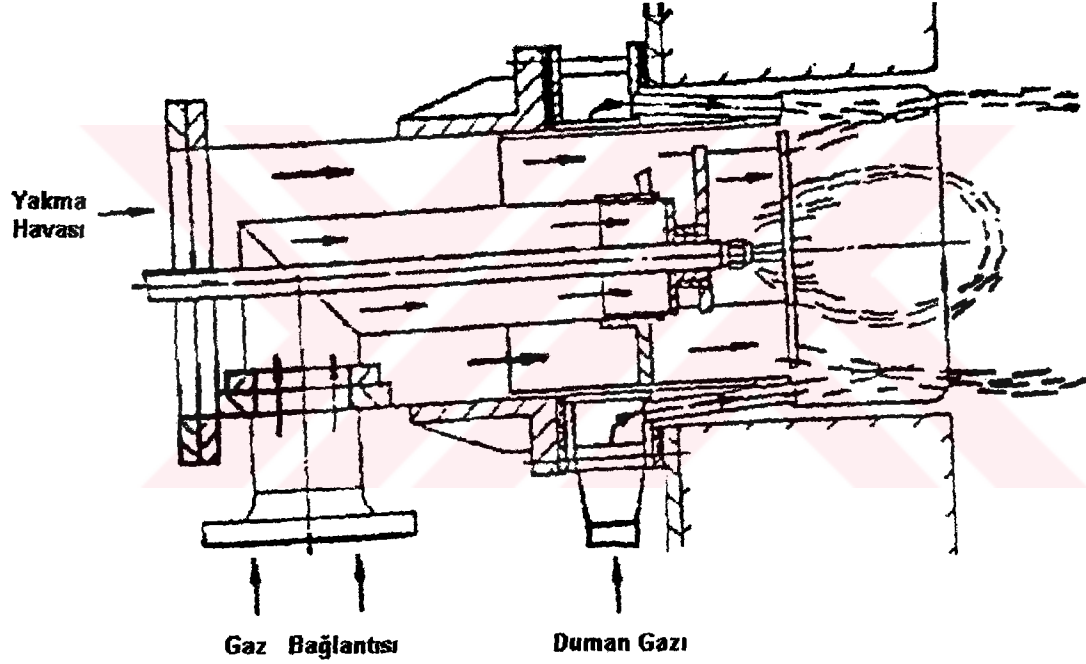
Geri döndürülen baca gazının hacmi, yanma esnasında oluşan NO<sub>x</sub>'i azaltmada çok önemlidir. Bu hacim genelde brülöre verilen toplam yanma havasının yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Şekil 3.7 çeşitli yakıtlar için azaltma hızını göstermektedir. Gaz yakan sistemlerde aynı azaltma, daha az hacimdeki baca gazı geri döndürülerek elde edilebilir.



Şekil 3.7: Çeşitli yakıtlarda geri döndürülen atık gaz oranına göre NO<sub>x</sub> emisyonunun değişimi [3]

Bu sistemlerde ilave bir fan kullanılmaktadır. Oransal çalışan brülörlerde, brülör kapasitesine uygun havayı vermek için bir kontrol cihazı da kullanılır. Bu aşamada ilave fanın yakıt tüketiminin çok artmaması için iki detaya dikkat edilmektedir.

- Geri döndürülen gazlar mümkün olduğunca serin olmalıdır (Yoğuşma noktasının sınırında).
- Baca gazı brülöre optimum karışmayı sağlayacak şekilde verilmelidir. Bu koşul, Şekil 3.8'da görülen adaptör prensibiyle ELCO brülörlerinde sağlanabilmektedir.



Şekil 3.8: Adaptör prensibine göre Düşük-NO<sub>x</sub> brülör kafası [3]

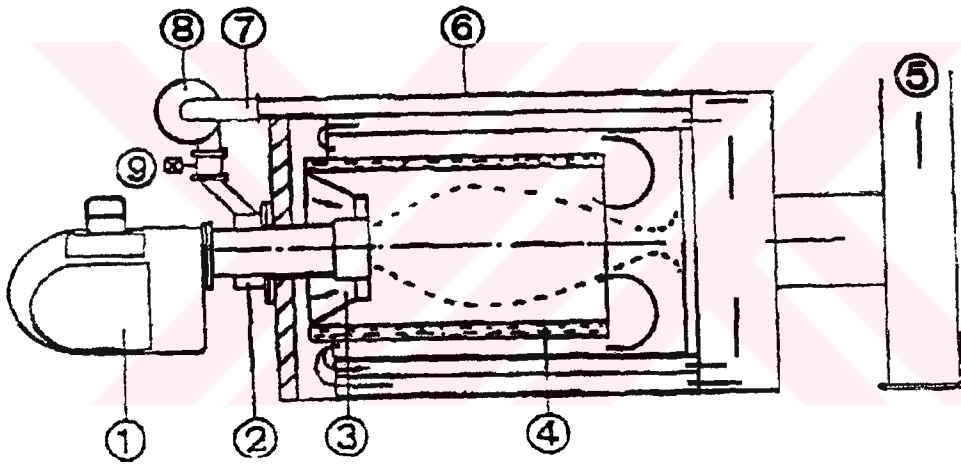
Duman gazı kanallarının kazan dışında olmasının dezavantajları, sızdırmaz ve yoğuşmayı önleyecek izolasyonlu harici borulara gerek duyulmasıdır. İlave fanın yanında bu da maliyeti artırıcı bir etkidir.

### c) Dahili aktif duman gazı geri dönüşü

$NO_x$ 'i minimuma indirgeyen optimum çözümdür.

#### Dizayn özellikleri

- Kısa harici duman gaz kanalları
- Atık gazların optimum soğuması ve ufak bir fanı mümkün kılması için özel dahili duman kanalı
- Su soğutmalı yanma hücresi, alevin çabuk soğumasını sağlayarak termik NO oluşumunu azaltmaktadır.



- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1. Düşük $NO_x$ Brülörü       | 6. Kazan  |
| 2. Duman Gazı Dönüş Adaptörü  | 7. Atık Gaz Dönüş Kanalı                        |
| 3. Venturi Başlığı            | 8. Atık Gaz Fanı                                |
| 4. Su Soğutmalı Yanma Hücresi | 9. Atık Gazın Kontrolü İçin Elektriksel Kumanda |
| 5. Atık Gazlar                |   |

Şekil 3.9: Motorin ve gaz için düşük  $NO_x$  kombine sistem duman gazı için fan kullanarak dahili geri döndürme [3]

### **Brülör ve kazan kombine bir ünite şeklinde**

Bu brülör-kazan ünitesinde, karışım sistemi ve su soğutmalı yanma hücresi, sıcaklık dağılışını ve efektif kılan optimum akış koşullarını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Aynı şekilde, geri döndürülen atık gazların hacmi ve sıcaklığı yanma prosesine uyacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu da minimum harcamayla minimum atık gaz değerleri hedeflendiği takdirde, brülör namlusu ve yanma hücresinin beraber dizayn edimesini gerekli kılmaktadır. Gerekli kontrol ekipmanlarının, çeşitli değişkenleri kontrol etmesi suretiyle, yanlış kullanıcının istediği biçimde yönetilebilmektedir. Sistemi oluşturan komponentlerin birinin dahi değişimi, toplam performansın düşmesine sebep olmaktadır[3].

### **3.5. Sonuç**

Çevreye olan duyarlılığın giderek arttığı günümüzde, pekçok ülkede yanma gazlarının neden olduğu kirliliğe karşı sıkı yaptırımlar uygulamaya sokulmuştur. Gelişmiş Avrupa ülkelerinde önümüzdeki yıllarda azot emisyonuna önemli sınırlamalar getirileceği açıktır (120 mg NO<sub>2</sub>/Wh). Bu nedenle artık her ölçekte enerji üretiminde, çevresel etkiler dikkate alınarak yakıtların yanması sonucu en düşük kirlitici emisyonu verecek teknolojiler seçilmektedir. Bu gerçekten yola çıkarak, üretici firmalar hazırlıklarını bu noktaya konsantre olarak tamamlamalı, yeni standartlara uygun bir pazar bilinci hazırlamalıdır. Bu çalışmalar için gerekli olan maliyet ise, çok sayıdaki yeni tesisin ve yenilenen sistemlerin talebi ile karşılanabilir.

Tecrübeler göstermiştir ki, çok ufak bir azınlık, zararlı emisyonu azaltmak için gereken ilave yatırım masrafını ödemeyi kabullenmektedir. NO<sub>x</sub>'in çevreye vereceği zararları azaltmak için, devlet yönetiminin kademeli olarak sınırlamalar getirmesi gerekmektedir.

Ülkemizde ise özellikle kış aylarında dayanılmaz boyutlara varan hava kirliliğine karşı, kısa vadeli çözüm olarak doğalgaz kullanımı devreye sokulmuştur. Kimi çevrelerde ise doğalgazın yanmasında kendine özgü kirlitici olarak azotoksitler, NO<sub>x</sub>

emisyonlarının oluştuğu belirtilmiş ve dikkatler gelecekte olası bir NO<sub>x</sub> kirliliğine çekilmiştir. Kuşkusuz doğalgazın yakılmasında da çevreye kirletici emisyonlar verilmektedir. Ancak bu emisyonların büyük ölçekli kullanımlarda bile diğer yakıtların emisyonları ile karşılaştırıldığında çok az olduğu görülecektir (Tablo 3.4). Nitekim doğalgaz kullanan Ambarlı Kombine Çevrim Santrali için yapılan bir değerlendirmede[10]; % 99,99'luk bir yakma verimi ile yanma gazlarında NO<sub>x</sub> miktarının EPA'nın kirlilik limitlerinin çok altında 125 mg/kWh olduğu CO emisyonunun ise hemen hemen hiç olmadığı belirtilmişti. Ayrıca sanayi ölçekte yapılan bir çalışmada[11] da sıvı/doğalgaz (çift) yakıtlı yakıcı kullanılarak doğalgazın yakılmasında, CO miktarında beklenenin aksine azalma olurken NO<sub>x</sub> emisyonlarının da % 60 oranında azaldığı bulunmuştur. Noktasal ve alansal bazda kullanılan yakıtların cinsi, yıllık tüketim miktarları saptandığında, hazırlanacak bir model ile bu yakıtların neden olduğu emisyon miktarlarını ve bunların hava kirliliğindeki ağırlıklarını saptamak mümkün olabilecektir.

NO<sub>x</sub>'i azaltma yönünde yapılan çalışmalar neticesinde değişkenlere bağlı olarak çeşitli NO<sub>x</sub> değerleri alınmış ve en iyi değerlere % 3 oksijende 100-120 mg NO<sub>2</sub> olarak birbirine uyumlu kazan-brülör kombinasyonlarında ulaşılmıştır. Sonuç olarak düşük NO<sub>x</sub> üreten sistemler kurmak teknik olarak mümkün olmaktadır. Fakat sistemin fiyatı yüksek satışı nedeniyle sadece ilgili sınırlamaların konuğu bölgelerde yapılabilmektedir.

Tablo 3.4: Kuvvet santralleri emisyonları

Enerji Kaynağı	Tesis Tipi	Net Tesis Verimi (%)	Kaynağın Isıl İçeriği (Mj/kg)	Emisyon Kontrol Tipi	Kükürt oksitler			Tanecik Emisyonu			Azot oksitler		
					Kükürt Giderme Verimi (%)	SO <sub>2</sub> Emisyon <sup>a</sup> Faktörü (mg/MJ)	SO <sub>2</sub> <sup>b</sup> Emisyonu ton/MW-yıl	Kül içeriği % (ağırlıkça)	Tanecik Emisyon Faktörü (mg/MJ)	Tanecik Emisyonu (ton/MW-yıl)	Emisyon Kontrol Tipi	NO <sub>x</sub> Emisyon Faktörü (mg/MJ)	NO <sub>x</sub> Emisyonu (ton/MW-yıl)
Kömür (% 3 kükürt)	Kuru duvardan ateşli	34	28	-----	0	1929	180	8,8	2514	234	-----	438	41
Kömür (% 3 kükürt)	FBC	33,8	28	FGD	85	1929	27	8,8	2514	1 (ESP)	Kademeli Yanma	250	23
Kömür (% 3 kükürt)	IGCC	38,0	28	FGD	99	1929	2	8,8	2514	1 (ESP)	Kademeli Yanma	240	20
Ağır fuel-oil (% 3 S)	Boiler	35,2	43	-----	0	1395	126	0,4	1327	207	-----	395	36
Hafif fuel-oil (% 3 S)	Yanma türbünü	27,8	45	-----	0	133	15	0,2	44	5	-----	203	22
Doğalgaz (% 0,002 S)	Boiler	35,2	51	-----	0	1	0,07	0,015	2,9	0,3	-----	290	26
Doğalgaz (% 0,002 S)	GT, kombine	44,7	51	-----	0	1	0,06	0,015	2,9	0,2	Buhar püskürtme	168	4

<sup>a</sup> SO<sub>2</sub> emisyon faktörü :  $0,9 \times (2 \times \% S / \text{ısııl içeriği}) \times 10^6$

(kükürtün % 10' nun külde kaldığı kabul edilir.)

<sup>b</sup> Yıllık SO<sub>2</sub> emisyonu :  $0,03171 \times (\text{SO}_2 \text{ emisyon faktörü/tesis verimi})$

(0,03171: mg/MJ' nin ton/MW-yl' a dönüşüm faktörü)

<sup>c</sup> Tanecik emisyonu :  $(0,8 - 0,9) \times (\% \text{ kül/ısııl içeriği}) \times 10^6$

(% 10, % 20 külün taban külü olduğu kabul edilir.)

<sup>d</sup> NO<sub>x</sub> emisyonu :  $0,03171 \times (\text{NO}_x \text{ emisyon faktörü/net tesis verimi})$

FBC = Akışkan yataкта yanma  
IGCC = Kömür-gaz bileşik çevrim

FGD = Atıkgaz kükürt giderimi  
ESP = Elektro-statik çöktürme

## BÖLÜM 4. KÜKÜRTOKSİT (SO<sub>x</sub>) EMİSYONLARI

### 4.1. Kükürtoksitler ve Hava Kirliliği

Kükürt oksitler, özellikle doğalgazın dışındaki fosil yakacakların yanması sonucunda oluşan önemli atmosferik kirleticilerden biridir. Belli başlı bileşenleri SO<sub>2</sub> (kükürt dioksit), SO<sub>3</sub> (kükürt trioksit), H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (sülfüroz asit) ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfirik asit) olarak sıralanabilir. Bunların yanında endüstriyel işlemlerden kaynaklanan CuSO<sub>4</sub> (bakır sülfat), CaSO<sub>4</sub> (kalsiyum sülfat) ve MgSO<sub>4</sub> (magnezyum sülfat) ile kükürt oksit emisyonlarının giderilmesinde kullanılan kontrol tekniklerinin son ürünleri olan bazı kükürt tuzları da önemli kükürt bileşenleridir[12].

Yerleşim bölgelerindeki hava kirliliğinin ana sebeplerinden biri olan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), kükürdün yanması sonucunda,



Şeklindeki reaksiyon sonucunda ortaya çıkar. Bu kirleticisi özellikle sisli günlerde solunum yollarını tahriş etmenin yanı sıra, havadan 2,2 kat daha ağır olması sebebiyle çökelir ve toprakta suyla birleşerek sülfirik asidi meydana getirir. Bu asidin binalar ve metaller üzerindeki agresif ve korozyif etkisi oldukça fazladır[15].

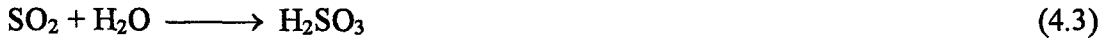
Günümüzde kükürt içeren fosil yakacakların yanması sonucunda açığa çıkan kükürt dioksitleri kolayca elimine eden yakma teknolojileri henüz geliştirilememiştir. Yakın bir gelecekte katalizörlerin de yardımı ile bunun gerçekleşeceği umulmaktadır.

## 4.2. Kükürt Oksitler

Kükürt dioksit yanıcı olmayan, renksiz, kokusuz, gözü, deriyi ve solunum yollarını tahriş edebilen bir gazdır. Karakteristik bazı özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiş olan bu gaz oksijenle reaksiyona girdiğinde



kükürt trioksit bileşenini oluşturur. Ayrıca su ile reaksiyona girerek



Sülfüroz asidi meydana getirebilir.

Tablo 4.1: Kükürt dioksidin bazı fiziksel özellikleri [12]

Moleküler Ağırlık	64.06
Gaz fazındaki yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) 0 °C sıcaklık 760 mmHg basınçta	2.927
Katılma Noktası (°C)	-75.46
Kaynama Noktası (°C)	-10.02
Kritik Sıcaklık (°C)	157.2
Kritik Basıncı (bar)	77.7

Bu reaksiyonlar sırasında SO<sub>2</sub> oranı daima düşük seviyelerdedir. Oluşan SO<sub>3</sub> gazı oldukça tehlikeli bir bileşiktir. Çünkü bu gaz yoğunlaşma ya da topraktaki nem sonucu suyla temas ettiğinde canlılar, yapılar ve metaller için agresif ve korozif çok kuvvetli bir asit olan

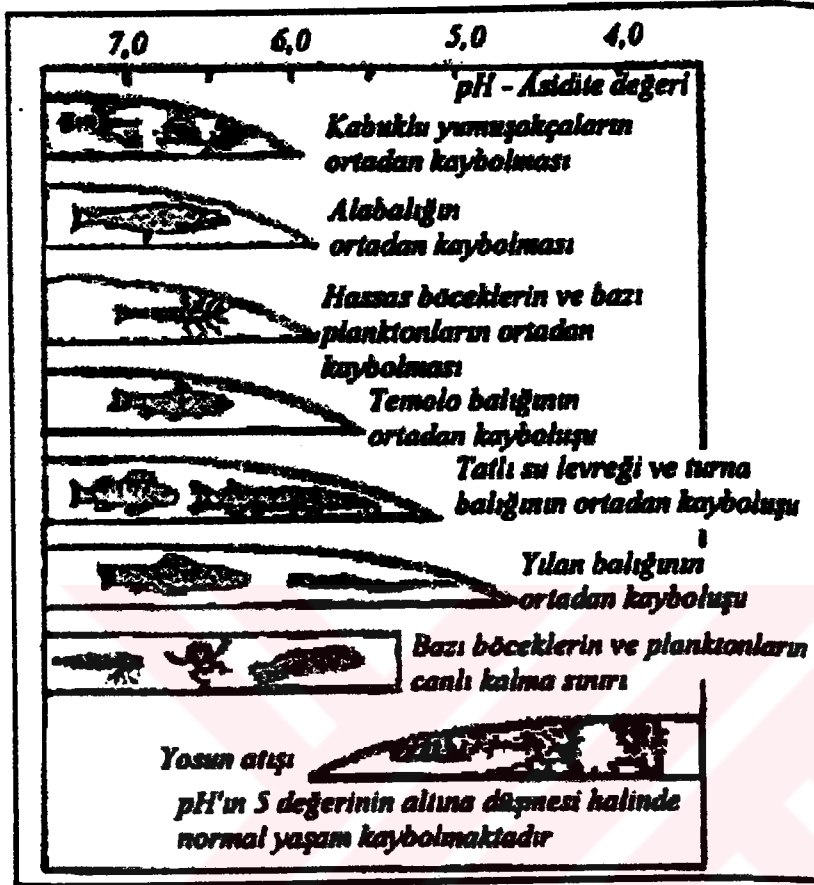


şeklinde sülfirik asidi oluşturur.

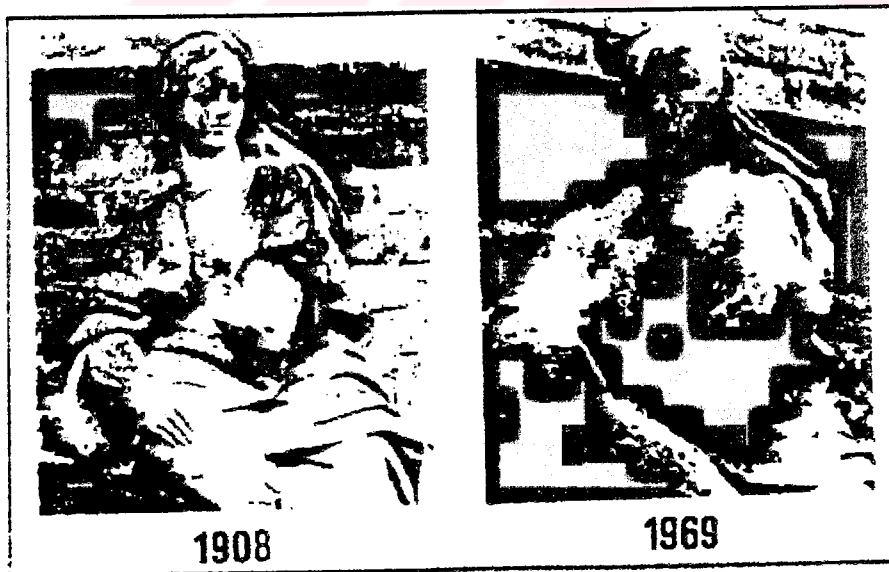
Kükürt dioksit ve trioksit ile birlikte, karbon dioksit ve azot oksitlerin su ile teması halinde atmosferde oluşan asit yağmurları, genelde endüstriyel yapılaşmanın yoğun olduğu bölgelerde görülür. Bu tip hava kirleticileri taş, beton ve metal yapıların



yanısıra, tüm canlı varlıklar için tehlike arzederler. Şekil 4.1'de tatlı suda yaşayan canlıların, Şekil 4.2'de de mermer bir heykelin, üzerinde bu tip asitlerin meydana getirdiği tahribatlar görülmektedir[14].



Şekil 4.1: Tatlı suda asiditenin artmasının, burada yaşayan canlılar üzerindeki etkisi [14]

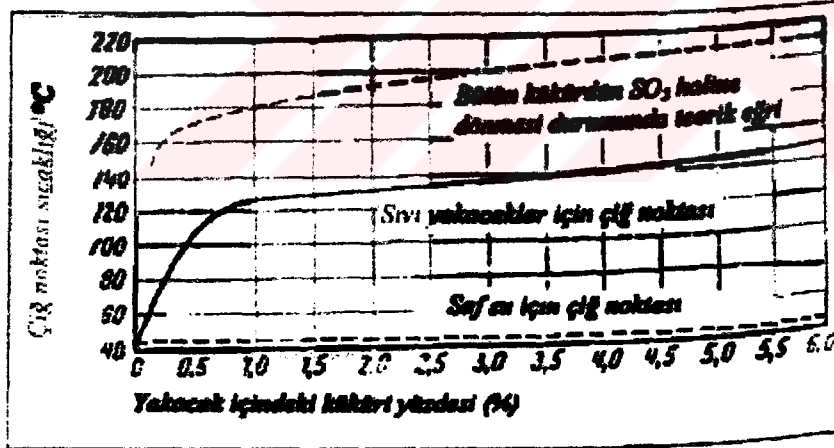


Şekil 4.2: Rubr endüstri bölgesinde bulunan ve 1702 yılında yapılmış bir heykelin, 1908 ve 1969 yıllarındaki durumunu gösteren iki fotoğraf [14]

Diğer taraftan asit yağmurlarının şehir şebekesi kullanım rezervuarlarına nüfuz ederek insan sağlığına ve ekosistemin dengesine büyük ölçüde etki eder. Son yıllarda Almanya'daki ormanların % 50'si, İsveç'tekilerin % 30'u ve Finlandiya'dakilerin % 11 kadarı asit yağmurlarından etkilenmiştir. Avrupa ve Kuzey Amerika'daki yüzlerce göl ve su kaynağındaki canlı yaşam bu yüzden oldukça güçleşmiştir. Asit yağmurlarında kükürt oksitlerin önemli rolü olması nedeniyle, öncelikle bu kirletici ile mücadele edilmelidir[13].

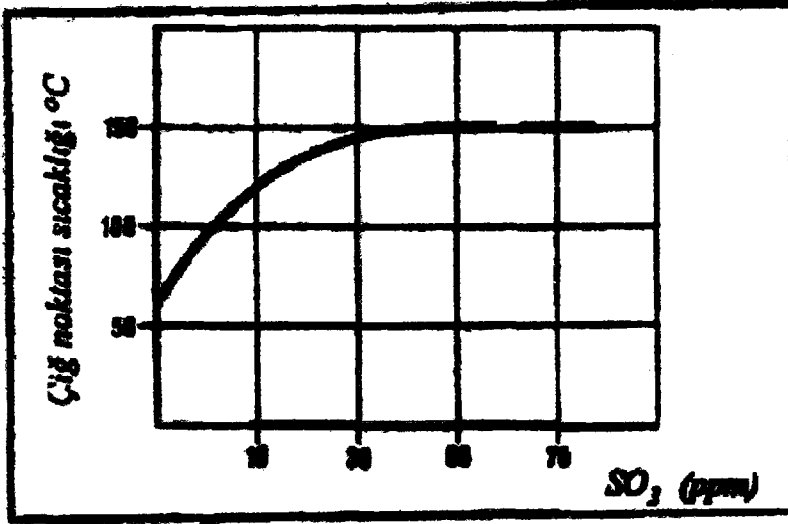
### 4.3. Asit Yoğuşması

Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, yakacak içindeki kükürt yüzdesinin artması, duman gazındaki çığ noktasının sıcaklığını artırır. Ayrıca Şekil 4.4'de verildiği gibi, duman gazının içindeki  $SO_3$  gazının artması da çığ noktası sıcaklığını artırır. Duman gazının çığ noktası sıcaklığının artması, teknik açıdan istenmeyen bir olaydır. Çığ noktasına ulaşan duman gazı içinde oluşan sıvı fazındaki sülfirik veya sülfüroz asitleri, kazanda ve bacada önemli korozyona neden olur[15].



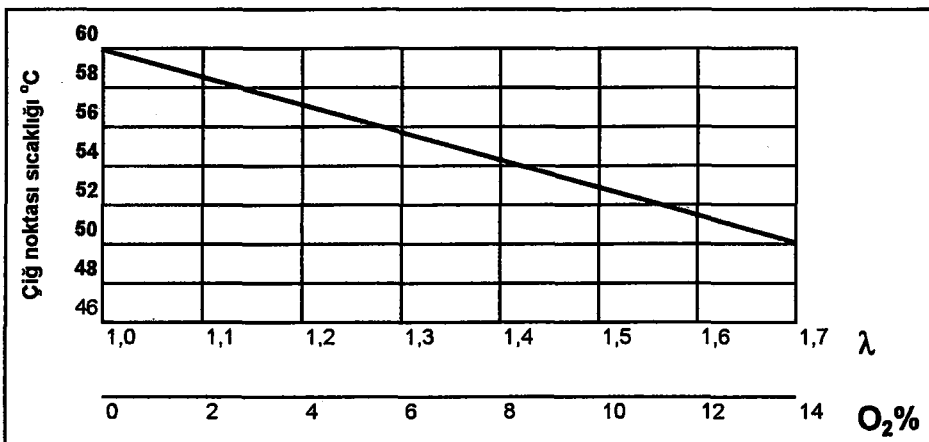
Şekil 4.3: Yakacaktaki kükürt yüzdesinin duman gazının çığ noktası üzerine etkisi [15]

Duman gazının bu sıcaklığa düşmemesi için, duman gazları, bu sıcaklıktan daha yüksek bir sıcaklıkta bacadan atmosfere atılmak durumundadırlar ki, bu da kazan ısı veriminin düşmesine sebep olur.



Şekil 4.4: Fuel-oil yakan bir sistemde duman gazında SO<sub>2</sub> bulunmasının, duman gazının çığ noktası üzerindeki etkisi [15]

Doğalgaz gibi kükürt içermeyen fosil yakacalarda duman gazının çığ noktası sıcaklığına sadece karbondioksitin oluşturduğu karbonik asit etki eder. Şekil 4.5’de doğalgaz yakan bir sistemdeki hava fazlalık katsayısının çığ noktası sıcaklığı üzerindeki etkisi verilmiştir. Görüldüğü gibi, başka üstünlükleri yanı sıra özellikle asit yoğunlaşması açısından, doğalgazın diğer fosil yakacalara göre önemli bir üstünlüğü vardır.



Şekil 4.5: Doğalgaz yakan bir sistemde Hava Fazlalık Katsayısının, duman gazının çığ noktası üzerindeki etkisi [15]

#### 4.4. Kükürtoksit Kaynakları

Tablo 4.2'de ABD'de yapılan bir araştırma sonucuna göre, çeşitli kaynaklardan atmosfere atılan kükürt oksit emisyonlarının yüzdeleri verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, kömür ve ağır fuel-oil atmosfere atılan kükürt oksitlerin en büyük kaynağını oluşturmaktadır. Bu yakacaklardan tonlarca kükürt oksit atmosfere atılmaktadır[14].

Tablo 4.2: ABD'de çeşitli kaynaklardan atmosfere atılan SO<sub>2</sub> yüzdeleri [14]

Kaynak Cinsi	Toplamdaki yüzdesi (%)
Nakil vasıtaları	2.4
Motorlu taşıtlar	0.9
Benzin	0.6
Diesel	0.3
Uçaklar	.---
Trenler	0.3
Gemiler	0.9
Diğer	0.3
Sabit sistemler	73.5
Kömür	60.5
Hafif fuel-oil	1.2
Ağır fuel-oil	11.8
Doğalgaz	.---
Odun	.---
Endüstriyel işlemler	22.0
Orman yangınları	.---
Kömür artıkları	1.8
<b>Toplam</b>	<b>100.0</b>

##### 4.4.1. Kömür

Kömür içinde kükürt, pirit, demir sülfat, organik bileşikler ve sülfatlar halinde bulunur. Bunlardan sadece ilk ikisi büyük öneme sahiptir. Bu tip kükürt bileşenleri, kömür parçalandıktan sonra gravitasyonel yöntemlerle kükürttten uzaklaştırılabilir. Diğer kükürt bileşenlerinin kömürden uzaklaştırılabilmesi, sıvılaştırma ya da gazlaştırma işlemleri dışında çok güçtür. Bununla beraber yıkanması yöntemi ile 1/3 oranında kükürt giderilmesi mümkündür.

#### 4.4.2. Fuel-oil

Çeşitli rezervlerden çıkarılan ham petrol, değişik oranlarda kükürt içerir. Ham petrolün rafinerisi sırasında, kükürtün giderilmesi için bir çok kimyasal yöntem geliştirilmiştir. Bazı rafineriler fuel-oil'deki kükürt oranını % 1 değerinin altına indirebilecek kapasitededir.

#### 4.5. SO<sub>x</sub> Emisyonlarını Giderme Yöntemleri

##### 4.5.1 Atmosferdeki SO<sub>x</sub> gazlarının doğal olarak giderilmesi

SO<sub>2</sub> gazının atmosferdeki ömrü yaklaşık 4 gündür. Atmosferdeki bu gaz, doğrudan yağmurla yıkanarak veya bazı bitkiler tarafından depolanarak giderilebilir. Azot oksitlerin ve hidrokarbon bileşiklerinin etkisiyle aerosol yapıda H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> asidine dönüşebilir. Metal oksitlerin varlığı, SO<sub>2</sub> gazının SO<sub>3</sub> gazına dönüşü, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> asidini oluşturur. Sisli ya da nemli havalarda, atmosferde az miktarda bulunan amonyak ile reaksiyona girerek, amonyum sülfatı oluşturur ve bu bileşen de kısa sürede yıkama etkisiyle atmosferden uzaklaştırılır. Bütün bu giderme mekanizmaları SO<sub>2</sub> gazının atmosferdeki kalış süresini oldukça kısaltır[12].

##### 4.5.2. Baca gazındaki SO<sub>x</sub> emisyonlarının giderilme yöntemleri

Fosil yakacakların yanması sonucunda ortaya çıkan SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> gazlarının tamamını gidermek teknolojik olarak oldukça zor ve pahalı bir işlemdir. Baca gazındaki bu emisyonları gidermek için pratikte geliştirilmiş bazı yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

**a) Enerji tasarrufu:** Bir yakma sisteminde enerji tasarrufu yapılarak daha az yakacak kullanılması, daha az baca gazı üretimine neden olacağından, atmosfere atılan kükürt miktarını azaltacaktır.

**b) Kükürt oranı az yakacak kullanılması:** Tablo 4.3'de değişik yakacakların içerdiği kükürt miktarları verilmiştir. Kükürt oranı az yakacaklar ve özellikle

kükürdü hiç içermeyen doğalgazın kullanılması, baca gazından atılan kükürt oksit emisyonlarının azalmasına veya tamamen giderilmesine neden olur.

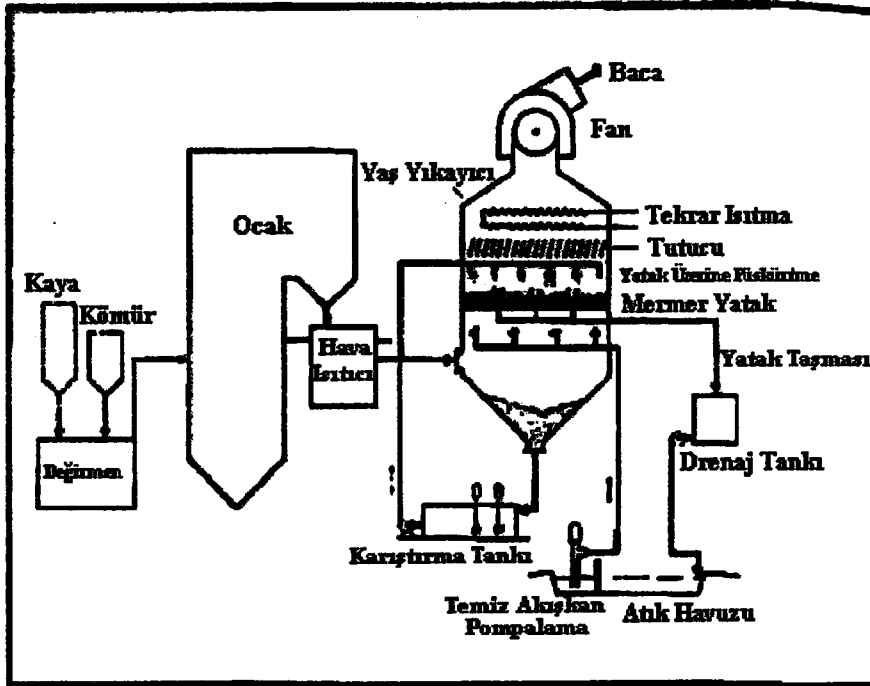
**Tablo 4.3: Çeşitli yakacalarda ağırlıkça kükürt oranı [15]**

Yakacak Cinsi	Ağırlıkça Kükürt Oranı (%)
Ağır Fuel-Oil	4
Fuel-Oil	3
Kalorifer Yakıtı	1
Motorin	0,3
İşlem Görmüş Motorin	0,1
LPG	0
Doğalgaz	0

**c) Yakacaktan kükürdün uzaklaştırılması (Desülfürizasyon):** Bu teknik özellikle rafinasyon işlemi için geçerlidir ve uygulanması politik ölçüler çerçevesinde mümkündür. Gerçekte desülfürizasyon işlemi sadece benzin ya da mazot gibi yakacaklar için uygulanabilen bir işlemdir. Bu işlem fuel-oil'e de uygulanarak düşük kükürtlü kalorifer yakacağı elde edilebilmektedir. Gelecekte motorin içindeki kükürt yüzdesinin % 0,15 değerine azaltılması hedeflenmiştir. Kömürdeki kükürt giderme işlemleri ise yıkama ve gravitasyonel yöntemler ile yapılmaktadır.

**d) Yanma odalarında kükürt giderme işlemi :** Yanma odasında yakacağı kalsiyum, kireçtaşı, kalsiyum hidroksit ve dolomit gibi bileşenler katılarak, duman gazındaki kükürt emisyonlarının azaltılması sağlanabilir. Kömür yakan ocaklarda bu tekniğin en iyi uygulaması, akışkan yataklı yakma sistemleri ile mümkün olabilmektedir.

**e) Baca gazında kükürt giderme işlemi :** bu yöntemin uygulanmasında ıslak, kuru, yarı-kuru olmak üzere üç farklı yol izlenebilir. Bu yöntemlerin her üçünde de duman gazı içindeki kükürt oksidi absorbe edebilen bir bileşen ıslak, kuru veya yarı-kuru şekilde sıcak duman gazının içine püskürtülür. Bu şekilde kükürt oksidin absorbe edilmesi sağlanır. Çoğu zaman oluşan çamur içinden hava geçirilerek okside edilmesi suretiyle, deşarj suyunun çevre kirliliğine yol açması önlenir. Elde edilen ürün binalarda sıva malzemesi olarak kullanılabilir. Bu işleme ait karakteristik bir örnek Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6: Baca gazında kükürt giderme işlemi [12]

#### 4.6. Sonuç

Hava kirliliği açısından en önemli bileşenlerden birisi kükürt oksitlerdir. İnsan sağlığı ve çevre açısından bu kirleticinin olumsuz etkisi mümkün olduğu kadar azaltılmalıdır. İçinde kükürt miktarı nispeten fazla olan kömür ve ağır fuel-oil gibi fosil yakacakların yakılması halinde, açığa çıkan duman gazları muhakkak bir kükürt giderme işlemine tabi tutulmalıdır. Külfetli olan bu giderme işlemi ancak, büyük kapasiteli tesislerde mümkün olabilmektedir. Nispeten küçük kapasitelerde, doğalgaz, LPG veya motorin gibi kükürt oranı az olan yakacakların kullanılması gereklidir. Bu hususta özellikle küçük endüstride ve konutlarda doğalgaz veya motorin kullanımı, büyük kapasiteli endüstrilerde ve termik santrallarda desülfirizasyon işlemi uygulanmış kömür ve ağır fuel-oil kullanımı teşvik edilmelidir.

## **BÖLÜM 5. KARBONMONOKSİT (CO) EMİSYONLARI**

Renksiz,kokusuz ve havanın ortalama yoğunluğuna eşit olan karbonmonoksit, hem kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmayan, hemde varlığı kolay farkedilemeyen zehirli bir gazdır. Atmosferde kolay kolay yok olmaz, ömrü 2-4 aydır.

### **5.1. CO Emisyonlarının İnsan Sağlığına Etkisi**

İnsan sağlığı bakımından bilinen en eski gaz zehirlenmeleri, tam yanmamış atık gazların solunması nedeniyle karbonmonoksitten kaynaklananlardır. Bu zehirlenme kanda bulunan hemoglobinin karbonmonoksitle kompleks bir bileşik (COHb: karboksi hemoglobi) oluşturarak hücrelere oksijen sevkinin önlenmesine yol açar. Karboksi hemoglobinin, ayrıca dokulara ulaşabilen oksijeninde hücrelerde serbest hale gelmesini engellediği belirlenmiştir. Kanın COHb oluşturma hızı, oksijenle O<sub>2</sub>Hb oluşum hızından 210 kat daha fazladır. Böylece hava içinde oksijen varlığının en az 1/200-1/250 kadar CO derişikliliğine ulaştığında karbonmonoksit hemoglobini tamamen bağlar. Buda yaklaşık olarak 750-1000 ppm'dir. CO değerinin 750 ve üstünün doğrudan ve hızlı bir şekilde insan ölümüne yol açtığı belirlenmiştir. Kandaki COHb derişikliği ile solunan dış havanın CO derişikliği ile ilişkilidir. Dış havanın CO değeri azalır azalmaz, COHb de parçalanır ve CO gazını dışarı atar. Ortalama %0,4'lük bir kan içi COHb derişikliği normalde sürekli olarak korunur. Kandaki COHb seviyeleri, dış havanın CO derişikliği ve bu havayı soluma süresi ile orantılıdır[16].

Karbonmonoksit esas olarak eksik yanma neticesi görülen bir yanma ürünüdür. Dolaşım, kalp ve kan hastalığı bulunan kişilerin soluduğu havada 10-50 ppm düzeyinde karbonmonoksitin bulunması bile insan sağlığı açısından oldukça zararlı olmaktadır[19].



## 5.2. CO Emisyonlarının Kaynakları

Yanma ürünü olarak CO formasyonu genellikle stokiometrik altı yanma ile ilgilidir. CO yüksek sıcaklıkta oluşur ve artan oksijen konsantrasyonu ile oluşumu azalır. CO alevin yanma haznesindeki soğuk yüzeylere çarpması ve bunun sonucunda ateşleme için alevin gereğinden çok daha fazla geniş hacime ulaşması (yakıtça zengin karışım) ana neden olmakla birlikte, yanlış alev konumu ve hatalı yanma haznesi dizaynı karşılaşılan diğer nedenlerdir. Yetersiz yanma ve yüksek CO oluşumun bir diğer nedenide çok düşük baca çekişidir. Carrier Havalandırma Firması yaptığı araştırmalar neticesinde CO oluşumunun görüldüğü alev şekillerini şöyle sıralamaktadır. Sarı alev, yüksek ve kopuk alev, kararsız alev, dalgalı alev ve mantar şeklindeki alev tipleri[17].

Türkiyede hava kalitesi koruma yöneltmeliğine göre uzun vadeli sınır değeri 10 mg/m<sup>3</sup> ve kısa vadeli sınır değerleri 30 mg/m<sup>3</sup> değerindedir. Dünya Sağlık Örgütü'nce tavsiye edilen uzun vadeli hava kalitesi değerleri 8 saatlik ortalama olarak 10 mg/m<sup>3</sup> (maksimum 40 mg/m<sup>3</sup> tür). Doğalgazlı yakma tesislerinin çevre koruma yöneltmeliğine göre dumangazı içindeki CO değeri 15 kW ila 300 MW arasındaki bütün yakıcılar için 100 mg/m<sup>3</sup> tür.

## 5.3. CO Emisyonlarını Azaltma Yöntemleri

CO emisyonlarının azaltılmasında çevresel sorunlara karşı duyarlılığın artması ve gelişen teknoloji beraber birtakım yöntemler uygulanmaktadır. Bunlardan birisi üst ısıl değer kazanları kullanmaktır. Bir diğer yöntem hava yakıt karışımının çok iyi sağlandığı ve alevin geniş yalama yüzeylerine ulaşmadan yakılarak ışınlım yoluyla ısı transferinin sağlandığı brülörler (Özellikle küçük kapasiteli yakıcılarda uygulanıyor). Belli aralıklarla yakıcıların bakımının yaptırılması, dönüşüm yapılan yakıcıların tercih edilmemesi, uygun baca kullanımı, yakıcının on-off değilde modülasyonlu ve oransal olarak çalışması, merkezi sistemlerdeki uygulamalarda uyumlu çalışacak ve gerekli testlerden geçirilmiş kazan-brülör seçimi vs.

Amerikan Tüketiciyi Koruma Komisyonu, Amerika'da her yıl 250-300 kişinin CO'e bağlı olarak öldüğünü raporlamaktadır. Bu ölümlerin %80'inin gaz yakıcılardan kaynaklanan ölümler olduğuda belirtilmektedir. Yine aynı komisyonun raporuna göre, sadece New York şehrinde 1987-1990 periyodunda 900 kişinin CO zehirlenmesine maruz kalmıştır. Bu zehirlenme olaylarının temel sebebi olarak uygunsuz uygulama, imalat veya ayarlardır. Özellikle ülkemizde yaşanan şofben zehirlenmelerinin ekseriyeti cihazların banyolara yerleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak İstanbul'daki doğalgaz uygulamalarında cihazların banyo, yatak odası, tuvalet gibi mahallerine yerleştirilmesine izin verilmemiştir. Bir ileri adım olarak CO (bacagazı ) sızıntılarının en çok görülebileceği noktalardan birisinde baca bağlantıları olması hasebiyle bu mahallerden baca bağlantısına izin vermemektedir. Bununla birlikte yine CO en fazla görülebileceği durumlardan birisinde bacanın geri tepmesi, tıkanması yanlış yerleştirme vs olması hasebiyle İstanbul'da doğalgazlı yakma sistemlerinde bacagazı sensörünün bulunması zorunluluğu getirilmiştir. Merkezi ısıtma sistemlerinin olduğu mahallerde zehirlenme olaylarının çok az olduğu belirlenmiştir[17].

## **BÖLÜM 6. ÇEVRESEL ETKİLERİ AÇISINDAN DOĞALGAZ**

### **6.1. Doğalgazın Oluşumu**

Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakacaklar, milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan artıklarının zamanla yerkabuğunun derinliklerine toplanması ve fiziksel ve kimyasal değişimlere uğraması neticesinde oluşmuşlardır. Organik madde olarak bilinen bu bitki ve hayvan artıklarının doğal süreç sonunda göl ve okyanusların dibine çökerek burada katılmışlardır. Giderek daha da derine gömülen bu organik madde basınç ve sıcaklık ve biyolojik etkilerle ayrışarak petrol, kömür ve doğalgaz oluşturmuşlardır[20]. Oluşan doğalgaz buldukları yerdeki boşluklarda yukarı doğru yükselmiş ve bu yükselme geçirgen olmayan tabakaya kadar devam etmiştir.

Doğalgaz petrolden hafif olduğu için petrolün üstündeki katmanda bulunan boşlukları doldurur. Alt tarafta petrol ve en altta tuzlu su bulunur. Doğalgaz petrolün üstündeki katmanlarda bulunabileceği gibi petrolün sürüklenmesi sonucu yalnız olarakta bulunabilir[22].

### **6.2. Doğalgazın Tarihçesi**

Doğalgaz, insanlar tarafından yüzyıllardır bilinmektedir. Günümüzden 5000 yıl önce ateşe tapan insanların taptıkları sönmeyen alev doğalgazdan başka bir şey değildi. Ayrıca 3000 yıl önce Çin'de bambu boruları ile taşınan doğalgazın tuz üretiminde kullanıldığı bilinmektedir[20,22].

Doğalgazın ilk olarak modern üretim ve tüketim tekniklerine A.B.D.'de rastlanmaktadır. William Hart 1821 yılında doğalgazı ilk defa şehir aydınlatmasında kullandı. İlk endüstriyel kullanım 1841 yılında ABD'nin West Virginia eyaletinde

yapılan tuz üretimidir. 1855 yılında Robert Wilhem Bunsen'in mavi alev gaz ocağını geliştirmesiyle evsel kullanımı gerçekleştirildi[21].

İkinci Dünya Savaşı'na kadar doğalgaz kullanımı ABD'de dışında yaygın değildi. Pakistan ve eski Sovyetler Birliği'nde önemli kaynakların bulunmasıyla doğalgaz üretim ve tüketim olanakları artmıştır. OPEC ülkelerinin 1973 yılında petrol fiyatlarına % 370 zam yapması, ülkeleri birincil enerji kaynaklarından birisi olan doğalgaz kullanımına yöneltmiştir[20].

Doğalgaz tüketim alanının genişlemesine paralel olarak yeni doğalgaz kaynağı arayışları hızlanmış, üretim teknikleri geliştirilmiş ve kayıplar azaltılmıştır. Bu nedenle bilinen doğalgaz rezervinde sürekli bir artış gözlenmektedir. Örneğin 1991 yılı itibariyle dünya bilinen doğalgaz rezervi 125 trilyon m<sup>3</sup> olup bu rezerv 18 yıl önce bilinen doğalgaz rezervinin iki katından fazladır. Tablo 6.1 Ocak 1994 tarihi itibariyle ispatlanmış gaz rezervleri gösterilmektedir.

Dünyada doğalgazın oldukça büyük rezervlerde olması, fiyatlarının makul olması, çevreye olan etkilerinin diğer fosil yakacıklara oranla çok iyi olması gibi temel sebeplerle uygulanan ulusal programlar dünya ölçeğinde ve ülkemiz ölçeğinde doğalgaz tüketiminde yükselen bir trendi desteklemektedir. Ülkemizin içinde bulunduğu enerji krizinin aşılmasında çok etkin ve ekonomik bir enerji kaynağı konumuna gelmiştir[24].

### **6.3. Doğalgazın Kullanım Alanları**

Doğalgaz endüstriyel ve evsel kullanımda enerji gereksiniminin sağlanmasının dışında, özel ve toplu taşıma araçlarında yakıt olarak kullanımı, çeşitli endüstri sektörlerinde hammadde olarak kullanımı, termik santrallerde daha iyi emisyon değerlerinin sağlanması ve sistemin performansının artırılmasında kullanımı, soğutma sistemlerinde kullanımı vardır. Konvansiyonel gaz üretimlerinin dışında, sıkı formasyondan gaz eldesi, kömür maden ocaklarında cevher damarlarından özel bir yöntemle gaz eldesi, atık gazlardan ve salamuradan gaz eldesi gibi yeni kaynak imkanları geliştirilmektedir[23].

Tablo 6.1: Dünya Doğal Gaz Rezervleri [20]

Ülke/Bölge	Miktar (milyar m <sup>3</sup> )	Ülke/Bölge	Miktar(Milyar m <sup>3</sup> )
ABD	4675	Cezayir	3700
Kanada	2640	Mısır	595
Meksika	1973	Libya	1289
Venezuela	3750	Nijerya	3451
Arjantin	522	<b>Afrika</b>	9974
<b>Amerika</b>	14880	Abu Dabi	5324
Almanya	198	İran	21000
Hollanda	1875	Irak	3100
Norveç	2805	Kuveyt	1498
İngiltere	630	Katar	7070
Eski Sovyetler Birliği	57500	Suudi Arabistan	5134
<b>Avrupa</b>	64480	Umman	550
Çin	2000	Türkiye	25
Endonezya	2662	<b>Ortadoğu</b>	45102
Malezya	2148	Avustralya	2986
Pakistan	651	Yeni Zelandı	132
Hindistan	718	<b>Okyanusya</b>	3118
<b>Asya</b>	10559	<b>TOPLAM</b>	<b>148223</b>

Doğalgazın evsel ve endüstriyel enerji kaynağı olarak kullanım dışında en önemli özelliklerinden biride bazı kimyasal maddeleri elde etmek amacıyla hammadde olarak kullanımınıdır. Doğalgaz hidrojen, amonyak , üre, alkol, karbon siyahı, asetilen, metanol, sentetik lastik, deterjan, boya, dinamit, plastik, antifriz, gübre, mürekkep, zambak, fotoğraf filmi gibi maddelerin imalinde hammadde olarak kullanılır. Ayrıca bazı doğalgaz kaynaklarında Helyum gazı bulunması sebebiyle bu gaz üretiminin büyük bölümü doğalgaz kaynaklarından sağlanmaktadır[20].

Gaz türbinleri ile elektrik üretiminde doğalgaz ideal bir yakıttır. Normal gaz türbinlerinde %30-35 civarında olan verim, türbinden çıkan yüksek sıcaklıktaki gazlarla, atık ısı kazanında buhar elde edilmesi ve elektrik üreten buhar türbinine gönderilmesi suretiyle %50'ye kadar çıkabilir[20,24].

#### 6.4. Doğalgazın Avantaj ve Dezavantajları

Doğalgaz havaya göre daha hafif olup uçucu özelliğe sahiptir. Renksiz ve kokusuzdur. Kapalı mekanlarda hava içindeki gaz oranı % 5-15 arasında olduğunda patlayıcı özellik kazanır. Doğalgazın kendisi zehirsiz olup, havadaki gaz miktarının artması ile oksijenin azalması sözkonusu olup, bu olay boğulmaya yol açabilir. Fakat doğalgaza koku vermek amacıyla kükürtlü bileşikler (Tiyoeterler ve Tiyoller) katılmaktadır[18].

Yanma sonunda oluşan ürünlerin içinde kükürt bulunmaması, alev veya dumanla temas eden yüzeylerde korozyon problemini ortadan kaldırmaktadır. Ancak yanma sonucu oluşan su buharı korozyon etki yapmakta, ayrıca bacalarda nem oluşumu dolayısıyla sıva çatlama ve yıkılmalarına sebep olmaktadır. Homojen karışıma sahip olmasından dolayı yanma verimi yüksektir. (% 95-99)

Doğalgazın yanması neticesinde oluşan baca gazları içinde, sıvı yakıtakinin 2 katı, katı yakıtakinin 3 katı daha fazla su buharı oluşur. İlk yanma esnasında soğuk yüzeylerle temasıyla yoğuşma oluşur. Bu husus göz önüne alınarak gerekli tedbirler alınmalıdır. Doğalgazın içindeki hidrojen (H) miktarı da oldukça fazladır (% 24). Doğalgazda bulunan azot (N), oksijenle (O<sub>2</sub>) temas ettiğinde azotoksitler (NO<sub>x</sub>) oluşmaktadır. Alev ve dumanla temas ettiği noktalarda korozyona sebep olurlar. Yanma odasının ısısı düşürülerek bu problem ortadan kaldırılabilir. Yanma ürünleri içinde kül, is, kurum, katran gibi atıklar bulunmadığı için hava kirliliği oluşturmaz. Karbonmonoksit (CO) miktarının düşük olması hava kirliliğine yol açmayan avantajlardan biridir[20,25].

Doğalgaz homojen bir yapıya sahip olduğundan ve daha az hava gerektirdiğinden yanma verimi yüksektir. Personelin yetiştirilmesi ile bu verim daha da artırılabilir.

Doğalgaz tesisatlarının eğitilmiş kişilerce yapılması, doğabilecek sorunların önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Hava kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde, doğalgaz kullanılması en geçerli çözümlerin başında yer alır[19].

Yanma verimi ve ısı değeri çok yüksek olduğundan sistem durduğu anda ani soğumalar dolayısıyla çatlama olabilir. Yanma sonucu oluşan su damlacıkları kazanın alev alan yüzeylerinde, duman kanallarında ve bacalarda koroziyon etkisi yapar. Bacalarda sıva patlamaları ve yıkılmalarına neden olur. Alev alan yüzeyler ile bacaların paslanmaz malzemelerden yapılması veya kaplanması gerektiğinden ek bir maliyet gerektirir[18].

Metan gazı patlayıcı bir gaz olduğundan sızıntılarda gazın birikmesi sonucu ( mahal hacminin % 5-15'i ) büyük çapta patlama tehlikesi vardır. Çevreye son derece olumsuz etki yapabilir.

Doğalgaz renksiz ve kokusuz bir gaz olduğu için hissedilmesi zordur. Bu da çevresel yönden olumsuz bir değerdir. Doğalgaza bu amaçla belli bir oranda koku maddesi katılmasında fayda vardır. Ancak bu tür gazların da koroziyon etkisi olur.

Yüksek sıcaklıklarda, doğalgazdaki azot (N), oksijenle (O<sub>2</sub>) birleşerek azotoksitleri (NO<sub>x</sub>) oluşturur. CO<sub>2</sub> oranı % 11,5-12,5 civarında olduğu için bir miktar çevre kirliliği oluşturabilir[18].

Yanma ürünleri içinde kül, is, kurum, katran ve kükürt v.b. atıklar olmadığı için hava kirliliği oluşturmaz. Hem de sık sık temizleme gerektirmez. Bu da çevresel yönden önemli bir avantajdır. Sosyal yönden de olumlu bir çevre etkisi oluşturur. Konfor hissini artırır, iyi ısınma sağlar.

Doğalgazın en önemli çevresel özelliklerinden birisi de, diğer yakıtlara göre daha verimli ve temiz bir gaz olması nedeniyle, diğer fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılması sonucu, petrol rezervlerinin korunmasını sağlayacak, ayrıca ormanların ısınma amacıyla yok edilmesinin veya yakılmasının önüne geçilecek ve "Ekolojik

Denge”nin korunmasına önemli yönde etki edecektir. Özellikle sanayide ve motorlu taşıtlarda yaygın şekilde kullanılması halinde çevre kirliliğini önemli ölçüde azaltacaktır[18].

Doğalgaz depolama gerektirmez ve borularla kullanım yerlerine kadar taşınır. Ancak pik talepleri karşılamak ve stratejik miktarlarda bulundurmak üzere depolama yapılabilmektedir. Doğalgazın içinde yanmayan madde bulunmadığı için tümü yanar, hava ile çok iyi karışabildiğinden hava fazlalık katsayısı (1.05- 1.10) diğer yakıt tiplerine oranla düşüktür. Yanmamış yakacak kaybı yoktur. Baca kayıpları diğer yakıtlara oranla daha azdır. Doğalgaz yük değişimlerine kolayca cevap verebilecek şekilde otomatik kontrolleri kolaydır. Ayrıca yakıldığı cihazın rejim şartlarına ulaşması kısa bir zamanda olur[24].

İçindeki karbon (%C) miktarının diğer yakıtlara göre az olması nedeniyle doğalgaz mavi ve mat bir alev ile yanar. Bu ise ocaklarda ışınım sebebiyle olan ısı transferini azaltır. Doğalgazın içindeki hidrojen (H) miktarında oldukça fazladır (yaklaşık %24). Yanma neticesinde ortaya çıkan yanma ürünleri içindeki su buharı miktarı daha fazladır. Temiz bir yakıt olan doğalgaz yanmayan partiküller, kükürt vs olmadığından çevresel etkileri oldukça iyidir. Bu nedenle doğalgaz yakma sistemlerinde ısı geçişinin büyük oranlarda taşınım ile olduğu düşünülürse ısı transfer yüzeylerinde kirlenmeyle ısı geçişini kötüleştiren şartlar oluşmaz ve sistemde stabilite sağlanır. Yanmayı tamamlamak için gereken zaman 0,4-0,6 saniye mertebesinde olup kısadır. Bu nedenle ocak hacmi küçük yakma sistemleri yapılabilir. Gerek ocak yükünün fazla olması, gerekse alevde is ve katı taneciklerin olmaması ışınım ile ısı geçişinin az olmasına neden olur ve dolayısıyla ocak sıcaklığı yüksek olur[20,25].

Doğalgazın taşınması genellikle boru hatları ile yapılmaktadır. Ancak doğalgaz kaynaklarının uzaklığı, teknolojik, ekonomik, siyasi ve stratejik sebeplerden dolayı doğalgazın sıvılaştırılarak taşınması bugün oldukça büyük bir yoğunluk kazanmıştır. -164 °C de hacimce yaklaşık 1/600 oranına sıvılaştırılarak sıkıştırılabilen doğalgaz, büyük kapasitelerde ve özel donanımlara haiz nakliye gemilerine yüklenecek, kaynağından alınıp doğalgaz sıvılaştırma tesislerine taşınır. Sıvılaştırılan doğal gaz



tekrar bir LNG tesisinde gerekli olan işlemler yapılarak boru hatlarıyla tüketim merkezlerine taşınır[22,26].

### 6.5. Türkiye’de Doğalgaz

Türkiye’de ilk defa 1970 yılında Kumrular Bölgesinde varlığı tespit edilen doğalgaz 1976 yılında Pınarhisar Çimento Fabrikası kullanılmaya başlanmıştır. 1975 Çamurlu sahasında bulunan doğalgaz 1982 yılında Mardin Çimento Fabrikasına verilmiş, fakat bu kaynaklardaki rezerv ve üretim miktarı düşük olması nedeniyle Türkiye’de doğalgaz kullanımı yaygınlık kazanamamıştır[22].

Sovyetler Birliği ile Türkiye arasında 18 Eylül 1984 tarihinde yapılan anlaşma ile tesis edilen 850 kilometrelik doğalgaz boru hattının 1988 Nisan ayında tamamlanmasıyla doğalgaz kullanımı yaygınlık kazanmaya başlamıştır. Doğalgaz boru hattının ilk bölümünün Haziran 1987 de işletmeye alınmasıyla Trakya Kombine Çevrim Santralinde yerli doğalgazın yanısıra ithal doğalgazda kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra pederpey boru hattı güzergahı üzerindeki sanayi tesislerine ve şehirlere doğalgaz verilmiştir. Doğalgaz talebinin artması sebebiyle sıvılaştırılmış doğalgaz alımı konusunda Cezayir ile bir anlaşma yapılarak 1994 yılında Marmara Ereğlisi’nde bir LNG terminali işletmeye alınmıştır. Türkiye’de doğalgazın evsel kullanımına 1988 yılı sonunda Ankara’da başlanmış, 1992 de İstanbul ve Bursa’da başlanmıştır. 1996 yılında İzmit’te kullanılmaya başlanmıştır. Şehiriçi doğalgaz dağıtımını Ankara’da EGO, İstanbul’da İGDAŞ, Bursa’da BOTAŞ ve İzmit’te İZGAŞ tarafından yürütülmektedir.

Bugün özellikle Türkiye’nin içinde bulunduğu enerji darboğazının aşılmasında, sanayide ucuz enerji kaynağı olan doğalgazın kullanılarak üretim maliyetlerinin düşürülmesi, hava kirliliğinin önlenmesi ve enerji tasarrufu sağlanması gibi temel nedenlerle siyasi ve stratejik açıdan doğalgaz temin kaynaklarının çeşitlendirilmesiyle ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

## BÖLÜM 7. DOĞALGAZIN ÖZELLİKLERİ

### 7.1. Genel

Doğalgaz esas olarak metan ( $\text{CH}_4$ ) ve metana göre hacimce daha az oranda etan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propan ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), bütan ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) gibi hidrokarbonlar ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ), karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ), hidrojen sülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ ), azot ( $\text{N}_2$ ), helyum ( $\text{H}_2$ ) vs gibi bileşenlerden meydana gelir. Bu bileşenlerin hacimce değişimi gazın kaynağına bağlı olarak değişir. Doğalgaz kaynağında renksiz ve kokusuzdur. Ancak emniyet gerekçesiyle çeşitli kokulandırma maddeleriyle kokulandırılır[20].

Doğalgazın fiziksel, kimyasal, termokimyasal ve termodinamik özellikleri doğalgazın bileşenlerinin oranlarına ve bu bileşenlerin özelliklerine bağlı olarak değişir. Doğalgazın uygun bir şekilde taşınması için kurulacak sistemlerin dizaynı ve işletilmesinde, sınıai kullanımında performansı, yakma sistemlerinde gerek sistem dizaynında gerekse yanma olayının ve verimliliğinin istenilen değerlere yaklaştırılması vs. alanlarda doğal gazın özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Doğalgazın içinde bulunan hidrokarbonların ve diğer gaz bileşenlerinin oranı, doğalgazın çıkartıldığı kaynağa göre değişmektedir. İçindeki bileşim yüzdelerinin değişmesi doğalgazın özelliklerini değiştirdiğinden bu bileşenlerin özelliklerinin de bilinmesi gerekir. Tablo 7.1 dünyadaki değişik doğal gaz kaynaklarındaki doğal gaz bileşenlerini yüzde olarak göstermektedir[20,22,24].

Tablo 7.1: Dünyadaki değişik doğal gaz kaynaklarında bileşenlerin oranı (%) [20]

No	Bölge	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>M</sub> H <sub>N</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
1	İngiltere (K. Denizi)	83.8	6.06.0	2.0	1.0	1.7	4.5
2	SSCB (Bakü)	87.7	5.8	.....	.....	.....	0.8
3	ABD (Kansas)	76.8	3.9	2.6	2.0	0.6	13.0
4	ABD (Teksas)	91.0	4.5	1.8	1.1	0.8	0.7
5	ABD (California)	87.2	5.2	3.5	2.0	1.7	.....
6	Almanya (Emsland)	79.0	5.0	1.7	1.0	1.2	4.3
7	Almanya (Diephaiz)	67.2	.....	.....	.....	2.6	10.2
8	Almanya (Ampring)	92.3	6.0	.....	.....	.....	1.2
9	Hollanda	70.0	4.6	1.0	0.4	0.4	21.5
10	Cezayir	63.3	11.3	6.4	4.1	7.2	7.3
11	Tunus	66.0	17.3	9.7	5.5	1.5	.....
12	Arjantin	95.0	4.0	.....	.....	.....	1.0
13	Kanada	86.9	9.2	2.8	0.4	.....	0.5
14	S.Arabistan	56.2	19.0	14.3	5.90	2.7	.....
15	Venezuela	76.7	6.8	6.7	3.3	3.7	.....

## 7.2. Doğalgazın Kimyasal Özellikleri

### 7.2.1. Özel denklemler

İdeal olmayan gerçek gazların davranışlarını tanımlayabilmek için birçok eşitlikler geliştirilmiştir. Herbiri ampirik olan bu ifadelerde düzeltme faktörü olarak bir ya da daha fazla sabit kullanılır. Aşağıda en fazla ortak yönleri bulunan ve kabul görmüş olan ampirik formüller verilecektir[29].

*Van Der Walls Eşitliği:*

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2} \quad \text{a ve b sabit} \quad (7.1)$$

*Benedict - Webb - Rubin (BWR) Eşitliği :*

$$P = RT\rho + (B_0RT - A_0 - C_0 / T^2)\rho^2 + (bRT - a)\rho^3 + a\alpha\rho^6 + (cP^3 + T^2)(1 + \gamma\rho^2)e^{-\rho^2} \quad (7.2)$$

Burada  $A_0$ ,  $B_0$ ,  $C_0$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$  korelasyon sabitleridir.  $\rho$  ise molar yoğunluktur.

*Redlich - Kwong (R-K) Eşitliği :*

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{T^{0.5}V(V+b)} \quad (7.3)$$

*Peng - Robinson Eşitliği:*

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{aT}{V(V+b) + b(V-b)} \quad (7.4)$$

*Sıkıştırılabilme Faktörü :*

$$P = \frac{ZRT}{V} \quad (7.5)$$

$Z$  : Diğer parametrelerin fonksiyonu olarak sıkıştırılabilme faktörü

*Van Der Walls* eşitliği P-V-T eşitliklerinin temelidir. Bugün çok az kullanılmaktadır. Fakat karışım özelliklerinin ilişkilendirilmesinde kullanılan birçok kavram için esas olarak kullanılır. *BWR*, *R-K* ve yenilenmiş bu tip eşitlikler öncelikle bilgisayar çözümleri için temel olarak kullanılır. Bu yeni eşitlikler daha doğru ve kesin sonuçlar almak için geliştirilmişlerdir. Fakat sonuçların gerçek doğruluğu öncekilerden elde edilenlerden daha iyi olmayabilir. Bütün gaz karışımları için uygulanabilecek bir ifade yoktur. Bu tip eşitlikler sadece gaz karışımının bileşenlerinin yol açtığı hata payı ile birlikte eşitliklerin kendisinden kaynaklanan

hataları içerir. Eğer bir doğal gaz kompozisyonu bütünüyle hidrokarbonlardan oluşuyorsa basit bir eşitlik yeterli olabilir. Ancak içerisinde başka yapıdan gaz molekülleri vardır[29].

### 7.2.2. Sıkıştırılabilirlik faktörü

*Van Der Waals* eşitliği küçültülmüş basınç ( $P_r$ ) ve küçültülmüş sıcaklık ( $T_r$ ) kavramlarının temelini teşkil eder[29].

$$T_r = \frac{T}{T_c} \text{ ve } P_r = \frac{P}{P_c} \quad ; T_c \text{ ve } P_c \text{ kritik değerler} \quad (7.6a) \text{ ve } (7.6b)$$

Bu kavram iki farklı gazın aynı  $P_r$  ve  $T_r$  değerlerinde farklı basınç ve sıcaklığa sahip olmalarına rağmen benzer fiziksel özellikleri olduğunu gösterir. Aynı benzer durumda olmanın anlamı eşdeğer fiziksel özelliklere sahip olmasıdır. Benzer durumlar kavramı sadece bir yaklaşımdır. Ancak oldukça faydalı sonuçlar verir.

Basit bir sistem için  $P_c$  ve  $T_c$  değerleri Tablo 7.2'de gösterilmiştir. Karışımlar için,  $T_c$  ve  $P_c$  nin sanal  $T_c'$  ve  $P_c'$  mol oranlarının analizinden  $T_r$  ve  $P_r$  eşitlikleri kullanılarak çoğaltılır veya Şekil 7.1'den yaklaşık değerler kullanılabilir[29,31].

İdeal gazlar için sıkıştırılabilirlik metodunu kullanarak elde edilen eşitlikler aşağıdaki gibidir.

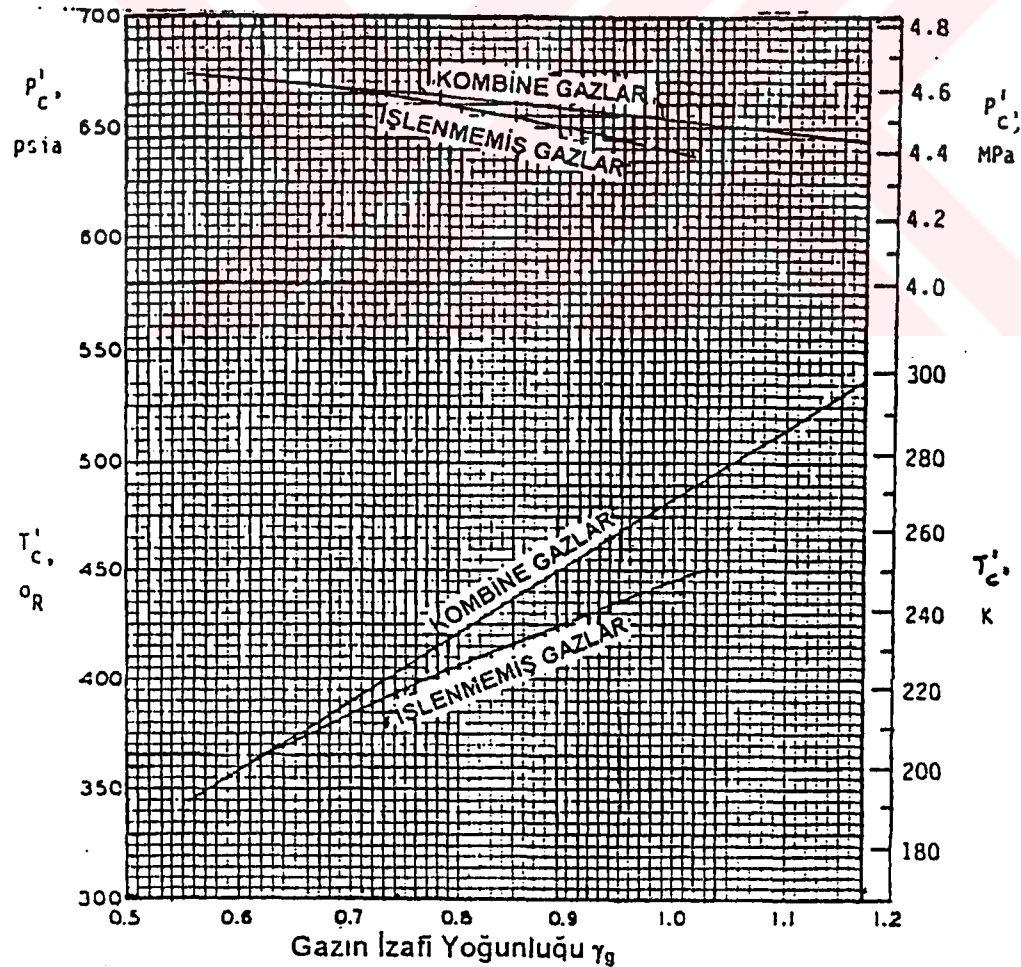
$$P.V = Z.n.R.T \quad (7.7)$$

$$V_2 = V_0 \left( \frac{P_0}{P_2} \right) \left( \frac{T_2}{T_0} \right) \left( \frac{Z_2}{Z_0} \right) \quad (7.8)$$

Sıkıştırılabilirlik faktörü  $Z$  bütün gazlar için kullanılabilir[29].

Tablo 7.2: Hidrokarbonların kritik değerleri [29]

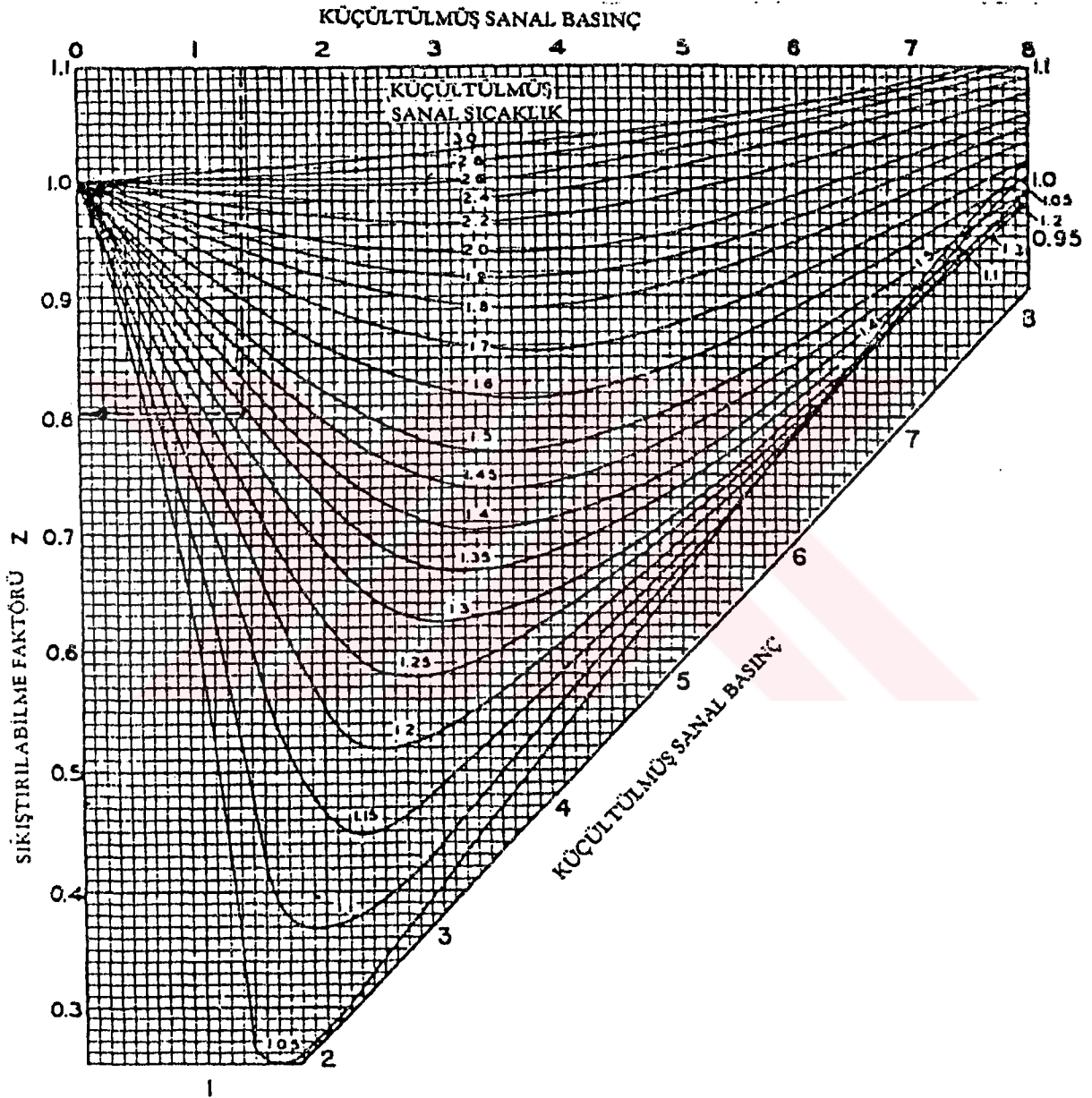
Bileşen	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kritik Sıcaklık (°K)	Kritik Basınç (Mpa)	Bileşen	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kritik Sıcaklık (°K)	Kritik Basınç (Mpa)
CH <sub>4</sub>	16.042	190.55	4.604	nC <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.224	567.76	2.486
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.068	305.42	4.880	nC <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128.250	594.56	2.288
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.094	369.82	4.249	nC <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142.276	617.40	2.099
Iso- C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.120	408.13	3.648	N <sub>2</sub>	28.016	126.1	3.399
NC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.120	425.16	3.797	CO <sub>2</sub>	44.010	304.19	7.382
NC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.146	460.39	3.369	H <sub>2</sub> S	34.076	373.5	9.005
NC <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.172	469.60	3.012	O <sub>2</sub>	32.000	154.7	5.081
NC <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.198	507.40	2.736	H <sub>2</sub>	2.016	33.2	1.297



Şekil 7.1: Gaz karışımlarının sanal kritik basınçları.

### 7.2.2.1. Temel Z bölümü

Şekil 7.2 Katz tarafından geliştirilen temel sıkıştırılabilme diyagramını göstermektedir. Bu diyagram aşağıdaki eşitlik uyarınca oluşturulmuştur.



Şekil 7.2: Hidrokarbonların sıkıştırılabilme faktörü

$$T_c' = y_i T_{c_i}, P_c' = y_i P_{c_i}, M_w = y_i \cdot M_{w_i} \quad (7.9)$$

Bu eşitlik gaz karışımları için  $P_c'$  ve  $T_c'$  nün hesaplanmasında kullanılır. Eğer saf bir bileşen içeriyorsa bu bileşene ait değerler Tablo 7.2' den alınır. Şekil 7.2,  $T_r$  değerinin 8'e kadar olan kısımlarını gösterir. Bu değer üstündeki değerlerde bu prosedürün kullanımı sınırlıdır. Gerçek ya da sanal sıcaklık ve basınç değerleri bilindikten sonra  $T_r$  ve  $P_r$  tesbit edilir. Bu değerler için diyagramdan Z değeri belirlenir[29].

### 7.2.2.2. Deneysel düzeltme faktörü

Şekil 7.2'deki diyagram hidrokarbonlardan oluşan doğal gazlar için geliştirilmiştir. Eğer gaz büyük miktarda ağır hidrokarbonlar  $CO_2$ ,  $H_2S$  vs içeriyorsa Z değerinin bir düzeltme faktörü kullanılarak düzenlenmesi gerekir. Daha önce verilen *Bendict-Webb-Rubin* ve *Redlich-Kwang* eşitliklerinde bu faktör yer almıştır.

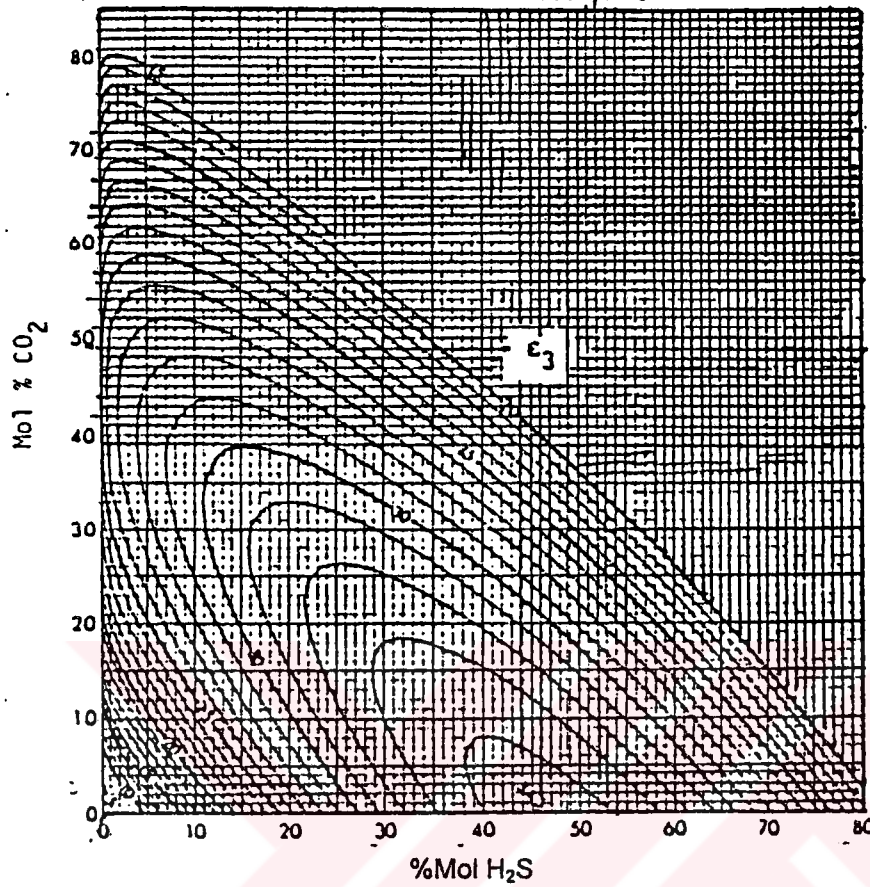
Şekil 7.2'nin içerisinde ağır hidrokarbonlar ve başka türden gazların bulunduğu karışımlar için bir düzeltme faktörü olarak Şekil 7.3'ten alınan değerler kullanılarak çözüm yapılır

İlk aşamada karışımın ortalama molekül ağırlığı bileşenlerin mol oranlarının molekül ağırlıklarıyla çarpılıp toplanması suretiyle elde edilir. Aynı zamanda mol oranları kullanılarak gaz karışımı için sanal kritik değerler hesaplanır. Eğer gaz kompozisyonu bilinmiyorsa gazın gravitesine dayanan bir yaklaşımla Şekil 7.1'den bu değerler tesbit edilebilir. Daha sonra Şekil 7.3'ten elde edilen değer kullanılarak aşağıdaki ifadeler yardımıyla kritik değerler belirlenir.

$$T_c'' = T' - 0,556 \epsilon_3$$

$$P_c'' = \frac{P_c' \cdot T_c''}{T_c'' + B(1-B)\epsilon_3 \cdot 0,556} \quad (7.10 \text{ ve } 7.11)$$





Şekil 7.3: Hidrokarbonlar için düzeltme faktörü

$\epsilon_3$  H<sub>2</sub>S in mol oranı B ile CO<sub>2</sub> mol oranının toplanmasıyla elde edilen A'ya bağlı olarak şu ifade ile de hesaplanabilir.

$$\epsilon_3 = 120(A^{0.9} - A^{1.6}) + 15(B^{0.5} - B^4) \quad (7.12)$$

Z sıkıştırılabilirlik faktörünün hesaplanmasına ilişkin bir çok metod vardır. Bu metod gaz iletim hatlarındaki hesaplarda kullanılır[29,31].

### 7.3. Doğal Gazın Fiziksel Özellikleri

#### 7.3.1. Gaz yoğunluğu

$P \cdot V = n \cdot Z \cdot R \cdot T$  eşitliği gerçek bir gazın gerçek şartlardaki yoğunluğunu hesaplamak için aşağıdaki formda yazılabilir. Gazın moleküler ağırlığı gazın izafi yoğunluğunda ya da örneğinde yapılacak revizyonla gerekli analizler yapılarak da bulunabilir. Gazın moleküler ağırlığı izafi yoğunluğu ile havanın molekül ağırlığının çarpımına eşittir[29,31].

$$\rho_g = \frac{P \cdot M_w}{ZRT} \quad (7.13)$$

$$M_{w_{gaz}} = \gamma_g \cdot M_{w_{hava}} \quad M_{w_{hava}} = 28,97 \quad (7.14)$$

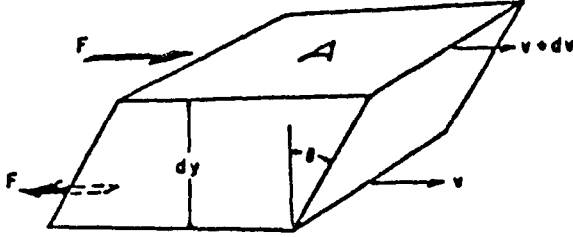
Eğer bir yoğunluk teriminin amacı standart  $m^3$  cinsinden gaz debisini hesaplamak ise yukarıdaki eşitliği kullanmak gerekmez. İzafi yoğunluk ve/veya moleküler ağırlık kullanılabilir. Gaz yoğunluğu izafi yoğunluk ile havanın yoğunluğunun çarpılmasıdır.  $15^\circ C$  ve  $100 \text{ kPa}$  da: Gaz yoğunluğu :  $kg/m^3 = \gamma_g \cdot 1,211$

#### 7.3.2. Gaz viskozitesi

Viskozite akış hesaplarında öncelikle kullanılan akışkan özelliklerinden birisidir. Komşu akışkan tabakalarında çekme kuvvetlerinin sebep olduğu sürtünme kuvvetlerini temsil eden bir sayıdır. Buradaki sürtünme moleküller arasındaki sürtünmedir.

Şekil 7.4 şematik olarak bir akışkanın viskozite özelliğini temsil eden aktif kesme bileşenlerini ve hareket mekanizmasını göstermektedir. Üst tabaka ile alt tabaka

arasındaki izafi hız farkı “dv”. Kesme gerilmesi ( $\tau$ ) bir F kuvvetinin A kesitinde oluşturduğu gerilmedir ve  $\tau = F/A$  dir. Genel bir viskozite ifadesi olarak;



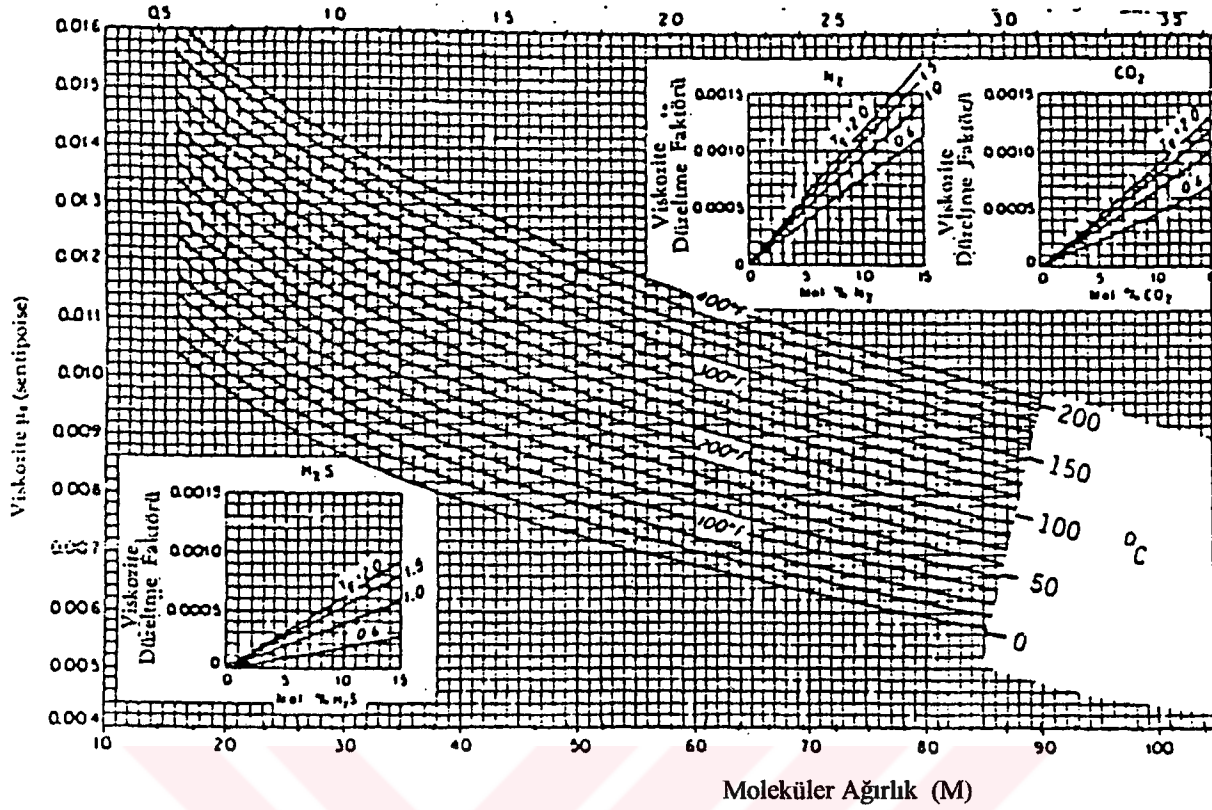
Şekil 7.4: Akışkanın hareket mekanizması [29]

$$\mu = \frac{(F/A)g_c}{\theta} = \frac{\tau g_c}{\theta} \quad (7.15)$$

Gazlar bir Newton akışkanı gibi davrandıkları için sadece basınca ve sıcaklığa gazın bileşenlerine bağlıdır. Kinematik viskozite dinamik viskozitenin yoğunluğa bölünmesiyle elde edilir. Viskozite birimi olarak

1 poise = 0,1 kg / m.s, 1 centipoise = 0,001 Pa, saniye vs kullanılır.

Standart şartlardaki doğal gazın viskozitesi [ $\mu_g$ , atm] Şekil 7.5’den hesaplanabilir. Bu diyagramda ayrıca  $N_2$ ,  $H_2S$  ve  $CO_2$  nın oranlarına bağlı olarak yapılması gereken düzeltme faktörleri verilmiştir. Bu diyagram hızlı ve iyi bir yaklaşım sağlar. Sıcaklık ve basınç değerlerindeki farklılaşmalar için Şekil 7.6 kullanılır. Bunun için öncelikle küçültülmüş sanal basınç ve sıcaklık değerler belirlenir. Bu diyagramda soldaki ordinattaki  $\mu/\mu_1$  değeri gerçek şartlardaki viskozitenin standart şartlardaki (Şekil 7.5) daki hesaplanan viskozitesine oranıdır. Gaz viskozitesi merteye olarak moleküller arası uzaklığın izafi olarak yüksek olduğunu gösterecek şekilde küçük değerlerdedir[29,30,31].



Şekil 7.5: Standart koşullarda doğal gazın viskozitesi

Bir karışım için aşağıdaki eşitlikten karışımın viskozitesi hesaplanabilir.

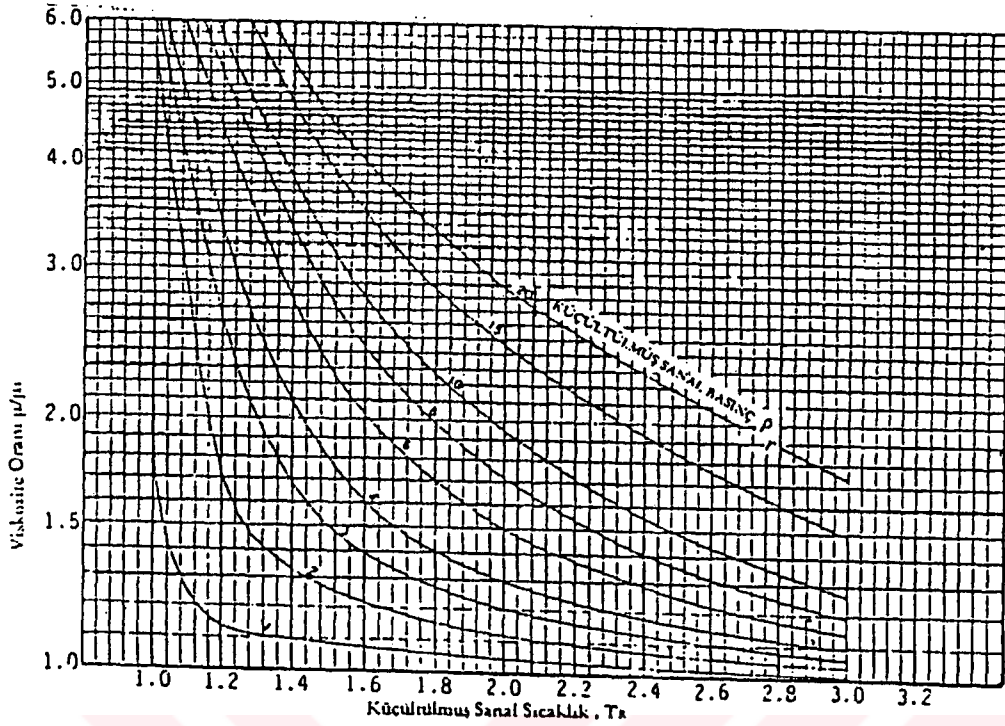
$$\mu_m = \frac{\sum \mu_i y_i \sqrt{M_i}}{\sum y_i \sqrt{M_i}} \quad (7.16)$$

Bir başka eşitlik ise bilgisayar çalışmalarında kullanılabilecek olan şu eşitliktir :

$$\mu_g = \frac{(7,77 + 0,00627M_w) T^{1,5} e^{(x\rho^y)}}{(122,44 + 12,95M_w + T) \cdot 10^4} \quad (7.17)$$

Burada  $x = 2,576 + (1914,45 / T) + 0,00953 M_w$  ,  $y = 1,108 + 0,404x$

Bu ifade normal boru şartlarında, gaz viskozitesini hidrokarbonlar için %  $\pm 2$  ve içerisinde  $N_2$  ve  $CO_2$  nin karışımında %10 kadar olması durumunda % $\pm 5$  lik bir hata ile hesaplanır[28].



Şekil 7.6: Viskozite düzeltme faktörü

### 7.3.3. Gazların ısı iletkenliği

İletim yoluyla transfer edilen ısı oranını belirten ısı iletkenlik maddenin temel özelliklerinden biridir. Isı iletkenlik katılar için verilen Fourier bağıntısıyla tanımlanır. Burada  $k$  ısı iletkenlik,  $A$  akış kesiti,  $\frac{dQ}{dt}$  ısı transferi oranını,  $x$  uzunluğu,  $T$  ise sıcaklığı ifade etmektedir.

$$\frac{dQ}{dt} = -k_y \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (7.18)$$

Doğal gaz karışımlarının ısı iletkenliğinin deneysel bilgilerle ispat edilen değerler olmamasına rağmen, karışımların ısı iletkenliği için kesin olmayan bağıntılar tavsiye edilmektedir. Doğal gazlarda çoğunlukla saf bileşenler için bulunan sınırlı deneysel ısı iletkenlik bilgisi elde edilebilir[31].

#### 7.3.4. Gaz gravitesi

Gaz gravitesi atmosferik basınçta gazın yoğunluğunun veya moleküler ağırlığının havanın yoğunluğu veya moleküler ağırlığına oranıdır. Gaz gravitesi gaz akış debisinin hesaplanmasında zorunlu bir ölçüdür ve gaz akışında fiziksel özelliklerin tesbitinde kullanılır. Gaz gravitesi gazın analizinden veya fiziksel ölçümlerden tesbit edilebilir[31].

#### 7.4. Termodinamik Özellikler

Hidrokarbonların özelliklerinin belirlenmesinde ve uygulamalarda bağlantıların kurulmasında bunların termodinamik ilkelere bağlı bir zemine oturtulması gerekir. Örneğin bir gazın entalpisi üzerinde basıncın etkisi P-V-T den hesaplanabilir. Gizli ısılar basınç buhar eğrilerinden hesaplanabilir. Bu özelliklerden en önemlileri gazların özgül ısıları, buharlaşma ısıları, sıkıştırılabilen akışkanların üzerinde basınç etkileridir. Doğal gazlar için entalpi-entropi çizelgeleri gazlar genleştiğinde ya da tersinir sıkıştırmada sıcaklık tahminlerine imkan tanır[31].

##### 7.4.1. Isıl kapasitesi

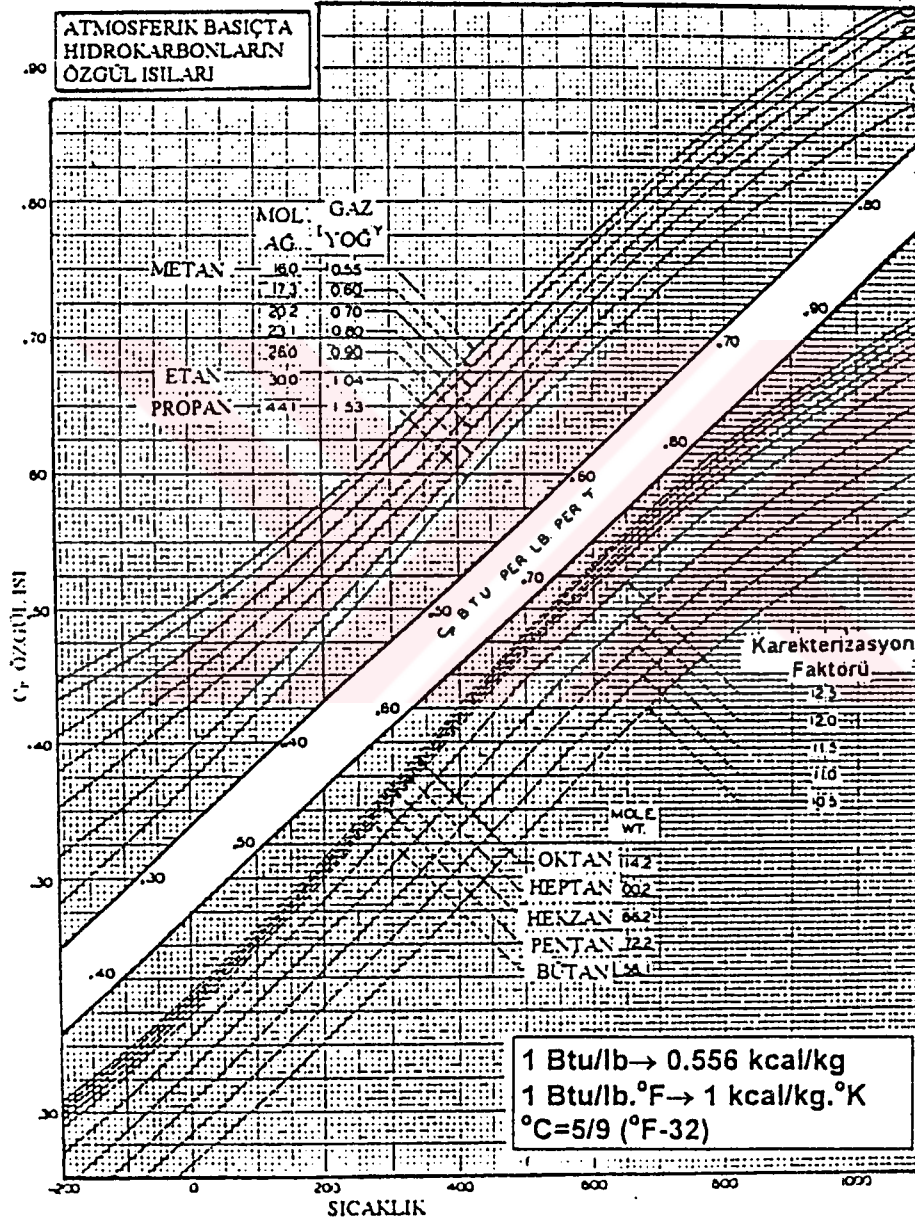
Tek fazlı akışta T-P ve entalpinin değişimi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir. Entalpi üzerinde tek başına sıcaklığın etkisi sabit basınçta özgül ısı  $C_p$  ile ölçülür.

$$dH = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT + \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP \quad (7.19)$$

Basıncın tek başına etkisi de  $\left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T = 0$  dir. Bir diğer eşitlikte sıkıştırılabilme faktörünü de kasayacak şekilde H-P-T ilişkisini veren aşağıdaki eşitliklerdir.

$$\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = \frac{-RT^2}{P} \left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P \quad (7.20)$$

Özgül ısılar bir kalorimetrede deneysel olarak tesbit edilir. Doğal gaz için, özgül ısı sıcaklığın ve gaz gravitesinin ya da moleküler ağırlığın fonksiyonudur. Şekil 7.7 özgül ısıların değişimini göstermektedir[31].



Şekil 7.7. Hidrokarbonların özgül ısı

### 7.4.2. Basıncın entalpi ve özgül ısıya olan etkisi

Sabit sıcaklıkta basıncın etkisi düşünülürken  $\frac{-\Delta H}{T}$  ifadesinin kullanılması uygun

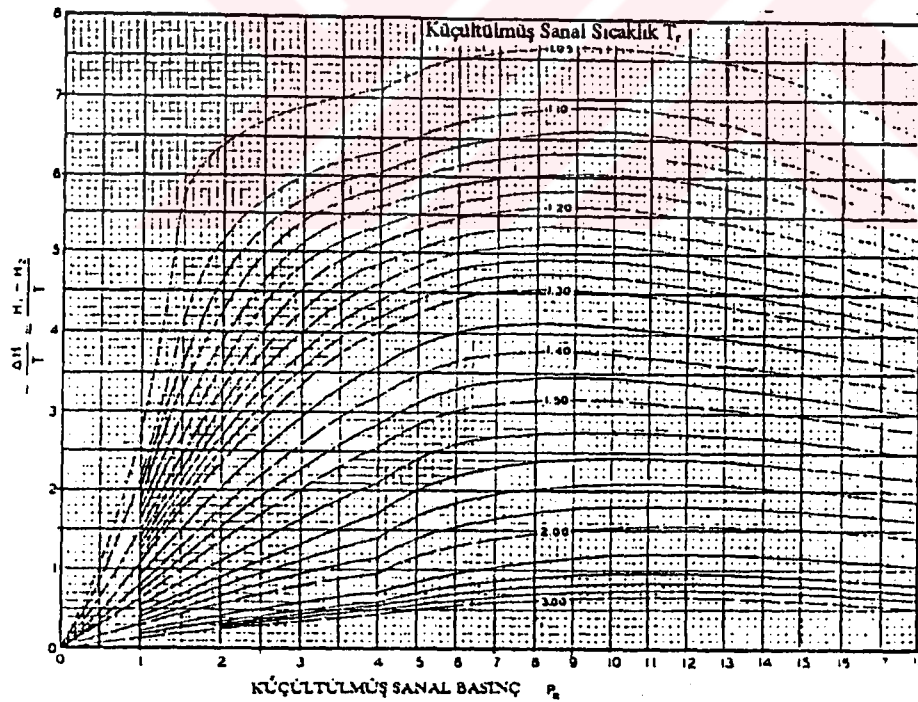
olur. Şekil 7.8 sabit sıcaklık eğrileri ile entalpi-basınç değişimini gösteren bir grafiktir. Doğal gaz için bu değişim sıkıştırılabilirlik faktörüne dayanır.

$\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = \frac{-RT^3}{P} \left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P$  eşitliğine göre  $\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P$  pozitif olduğunda (bunun sınırı

$P = 8 \div 10$  dir) entalpi sıkıştırmada azalır, genişleme de artar.  $\frac{\Delta H}{T}$  'nin pozitif

değerleri  $\Delta H = H_2 - H_1$  olduğu için gaz genişlerken alınan entalpilerdir. Küçültülmüş şartlar elde edildiğinde sanal kritik basınç ve sıcaklık gaz karışımları için kullanılır.

$\frac{\partial Z}{\partial T}$  negatif olduğunda genişlemede ısı ayrılır (Yüksek basınçlı gazlardaki gibi)[31].



Şekil 7.8: Doğal gazların entalpisi üzerinde basınç etkisi [31]



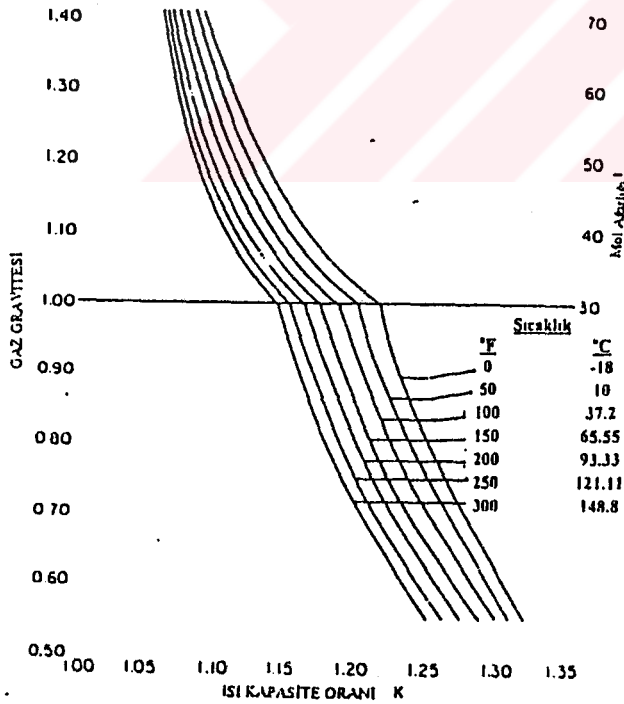
Özgül ısı gerçek gazlar için basıncın bir fonksiyonudur. Özgül ısıdaki yükselme  $\Delta C_p$  atmosferik basınçtaki değere göre hesaplanır ( $\Delta C_p = C_{p_g} - C_{p_0}$ ).

Sabit hacimdeki özgül ısı katsayısı  $C_v$  ideal gazlar için  $C_v = C_p - R$  dir.  $k = \frac{C_p}{C_v}$

oranı gazların adyabatik sıkıştırmasında hesaplamalarda kullanılır. Şekil 2.9 atmosferik basınçta doğal gazlar için özgül ısı oranını vermektedir[31].

### 7.4.3. Doğal gazın ısı değeri

Doğal gazın ısı değeri özel şartlar altında oksijen ile bir birim doğal gaz yakıldığında açığa çıkan ısıdır (kimyasal enerji). Metanın standart koşullarda ısı değeri 39,694 MJ/m<sup>3</sup> tür. Bu değer 1 m<sup>3</sup> metan yandığında yanma ürünlerinin standart şartlara dönmesi halinde açığa çıkan enerjidir. Eğer yanma sonunda oluşan su buharı buhar halinde kalıyorsa bu durumda metanın ısı değeri 33,435 MJ/m<sup>3</sup> olur.



Şekil 7.9: Doğal gazlar için atmosferik basınçta özgül ısı oranları [31]

Bu değere net ısı değeri (alt ısı değeri) denir[26,31]. Doğal gazın içerisinde bulunan diğer bileşenlerin ısı değeri Tablo 7.3'te verilmiştir.

**Tablo 7.3: Doğal gaz bileşenlerinin ısı değeri [31]**

Bileşen	Metan	Etan	Propan	İzo-Bütan	n-Bütan	Pentane	Azot
Isıl Değeri (MJ/m <sup>3</sup> )	39.694	66.032	93.972	121.426	121.779	163.521	0

#### 7.4.4. Yanabilirlik sınırları

Uygun oranlarda hava ve doğal gaz bir araya geldiğinde karışım yanacak ve ısı ortaya çıkacaktır. Gazın sıcaklığının yükselmesi basınçta bir artmaya sebep olur, karışımın sahip olduğu saklı enerji açığa çıkar. Bir patlamada oluşabilir. Doğal gaz endüstrisiyle ilgili olan herkesin doğal gazın yanma kimyası ve yanabilme sınırlarını anlaması açısından çok önemlidir.



Metanın yanma eşitliği yukarıdaki gibidir. Uygun oranlarda metan ve hava bazı ateşleme kaynakları prosesi başlatıncaya kadar reaksiyon olmaz. Özel şartlar altında gaz yakıtlar ve hava için yanabilirlik sınırı olarak iki sınır vardır. Alt limit yanmayı sağlayabilecek minimum gaz konsantrasyonudur. Üst limit ise yanmanın olabileceği maksimum gaz konsantrasyonudur. Tablo 7.4 çeşitli gazların alt ve üst sınırlarını gösterir. Gaz karışımları için bu sınırlar aşağıdaki formül ile hesaplanabilir[31].

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots + \frac{n_n}{N_n} = 1 \quad (7.22)$$

Gaz bileşeninin mol veya hacim yüzdesi  $n$ , alt veya üst yanabilme sınırı  $N$  dir.

**Tablo 7.4: Gaz bileşenlerinin yanabilirlik sınırları [31]**

Bileşen	Alt Sınır	Üst Sınır
Metan	5.0	15.0
Etan	2.9	13.0
Propan	2.1	9.5
n-Bütan	1.8	8.4
Iso-Bütan	1.8	8.4
n-Pentane	1.4	8.3
İso-Pentane	1.4	8.3
Hekzan	1.2	7.7
H <sub>2</sub> S	4.3	45.5

#### 7.4.5. Entalpi-entropi (H-S) diyagramları

Bir sistem için enerji değişimlerinin ve etkilerinin incelenmesinde P-V-T-H-S ilişkilerine sahip olunması çok faydalıdır. Moiller diyagramı sabit entropide  $-\Delta H$  ile ifade edilebilecek tersinir adyabatik genişleme için gerekli işi verir. Doğal gaz için değişik gaz gravitelerine bağlı olarak H-S diyagramları hazırlanmıştır. Şekil 7.10 metan için hazırlanmış T-S diyagramını göstermektedir. Ayrıca metan, etan ve propan için hazırlanmış P-H diyagramları da vardır. Bir diyagram kompresörün teorik işinin bulunması için veya sabit entalpide soğuma ve genişleme teorik işinin bulunmasında önemli faydalar sağlar. Basınç entalpi (P-H) diyagramı gaz fazında sabit entropi (S) eğrileri ile gösterilmiştir. (Şekil 7.11) Bu grafik özellikle soğutma problemlerinin çözümünde ve anlaşılmasında fayda gösterir[31].

# METAN

İÇİN  
SICAKLIK-ENTROPİ  $^{\circ}\text{K}$

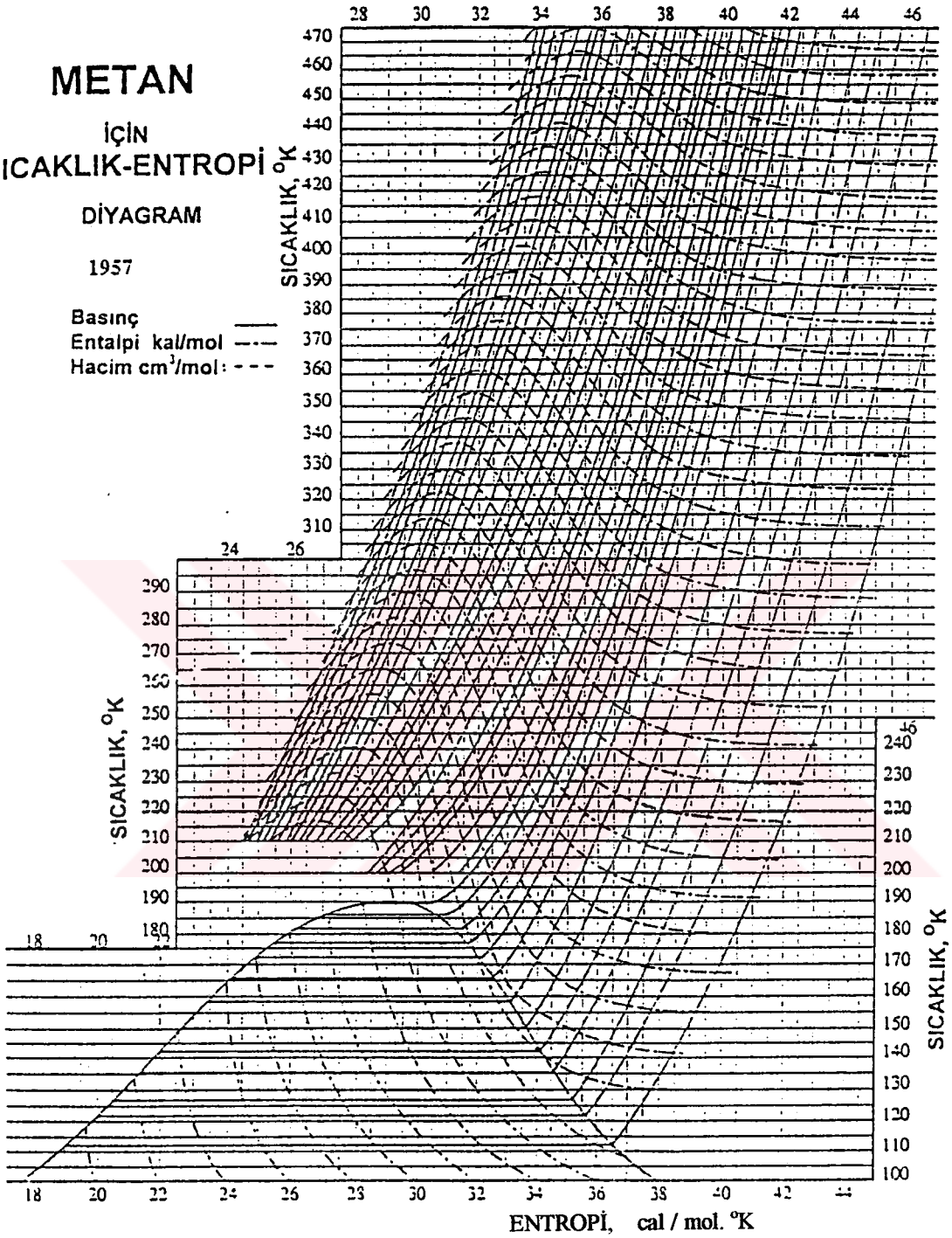
DİYAGRAM

1957

Basınç

Entalpi  $\text{kal/mol}$  ---

Hacim  $\text{cm}^3/\text{mol}$  - - -

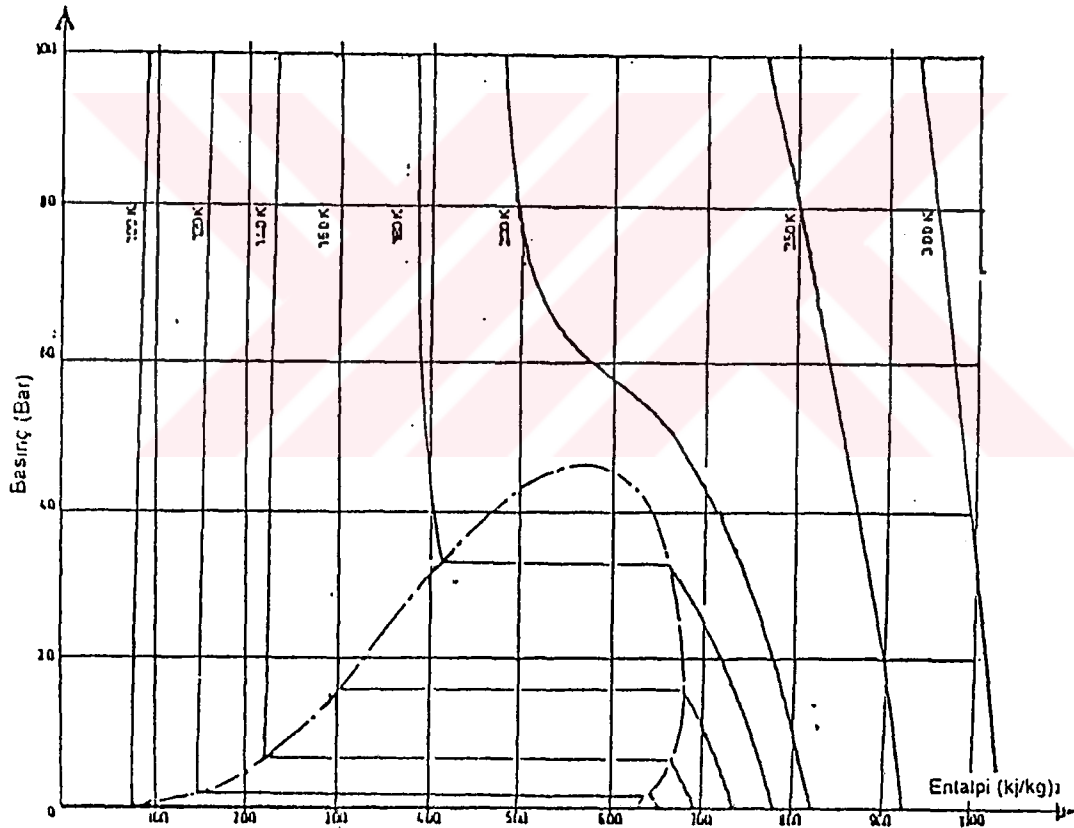


Şekil 7.10: Metan gazının T-S diagramı

#### 7.4.6. Akışkan özellikleri ve P-V-T-H-S arasındaki termodinamik bağıntılar

Termodinamik fonksiyonlar hacim, entalpi, entropi, Joule-Thomson sabiti gibi volumetrik parametrelere bağlıdır. Z sıkıştırılabilirlik faktörü de bir volumetrik faktör olduğu için H ve S üzerinde basınç etkilerini bulmak için Z faktörü kullanılarak termodinamik bağıntılar genişletilir. Yer ve zaman tam bir gelişmeye izin vermez. Aşağıda Maxwell eşitlikleri olarak bilinen bu bağıntılardan bazıları verilmiştir[31].

$$PV = ZnRT \quad (7.23)$$



Şekil 7.11: Basınç-Entalpi diagramı [31]

$$dH = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT + \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP \quad (7.24)$$

$$dH = C_v dT + \left[ V - T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \right] dP \quad (7.25)$$

$$dH = C_v dT + \left[ \frac{-RT^2}{P} \left( \frac{\partial Z}{\partial T} \right)_P \right] dP \quad (7.26)$$

$$dS = \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_P dT + \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_T dP \quad (7.27)$$

$$dS = \frac{C_p}{T} dT - \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP \quad (7.28)$$

$$dS = \frac{C_p}{T} dT - \frac{R}{P} \left[ Z + T \left( \frac{\partial Z}{\partial T} \right)_P \right] dP \quad (7.29)$$

### 7.5. Wobbe Sayısı

Cihazların ısı yüklerine göre yanıcı gazların değiştirilebilirlik özelliğini gösteren sayıdır. Gazların üst ve alt ısıl değerlerine göre Wobbe sayısı da üst Wobbe sayısı ( $W_{u,n}$ ), alt Wobbe sayısı ( $W_{a,n}$ ) olarak iki türlü tarif edilip, ısıl değerin izafi yoğunluğun kareköküne oranıdır.

$$W_{u,n} = \frac{H_{u,n}}{\sqrt{\text{izafi yoğunluk}}} \quad W_{a,n} = \frac{H_{a,n}}{\sqrt{\text{izafi yoğunluk}}} \left[ \frac{mj}{m^3} \right] \frac{kw}{m^3} \quad (7.30)$$

Doğal gaz için Wobbe sayısı doğal gazın bileşenlerine bağlı olarak değişir (11,46 – 16,1 kW/m<sup>3</sup>)[26]. Doğal gazın içinde bulunan hidrokarbonların ve diğer gaz bileşenlerinin oranı, doğal gazın kaynağına bağlı olarak değiştirilmektedir. İçindeki bileşim yüzdelerinin değişmesi doğal gazın özelliklerini değiştirdiğinden bu bileşenlerin özelliklerinin bilinmesi gerekir.

## **BÖLÜM 8. HAVA KİRLİLİĞİNİN ÖNLENMESİNDE BACA GAZI ANALİZİ VE ÖNEMİ**

### **8.1. Giriş**

Yanma ürünlerinin analizi enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanımı için büyük bir önem taşır. Yanma neticesinde oluşan ürünlerin analizinde kullanılan bazı metotlar ve buna paralel olarak yapılan cihazlar söz konusudur. Bunlar Orsat Aparatı, Gaz Kromatografi cihazları, IR metodu vs'dir. Bu bölümde özellikle fonksiyonel hale getirilmiş olan kompakt baca gazı analiz cihazlarından bahsedilecektir. Bu cihazlar özellikle belli başlı yanma ürünlerinin (karbondioksit, karbonmonoksit, azotoksit, oksijen, kükürtoksitler vs) miktarlarının belirlenmesinde, yakıcı veriminin hesaplanmasında, basınç değerlerinin ölçümünde, yakıt hakkında ve yanmanın şekli hakkında, ve bazı yanma parametreleri hakkında bilgi edinilmesine yönelik olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.

### **8.2. Baca Gazı Analizi**

Doğalgaz temiz ve verimli yakılabilirlik açılarından üstün niteliklere haiz bir yakıttır. Ancak bu niteliklerden maksimum ölçüde faydalanabilmek, en son teknoloji ile donatılmış kazan/fırın ve brülör sistemlerinin kullanım gereksinimi ile birlikte hassas bir yanma ayarı ve doğru hava/yakıt oranlarının sağlanmasına bağlıdır. Bu ayar ve kontroller günümüzde artık “Baca gazı Analiz Cihazları” ile son derece pratik ve hassas bir biçimde kolayca gerçekleştirilebilmektedir[18].

Çok değil sadece 20 yıl öncesine kadar ülkemizde ve dünyada Yanma-Yakma-Isıtma sistemlerinden istenen, çok sık bakım onarım gerektirmeden ve devre dışı kalmadan emniyetli çalışabilmesiydi. Ancak 1973-1978 döneminde yaşanan petrol krizi sonucunda yakıt fiyatlarında % 325'lere varan artışlar, yakıt maliyetlerinin toplam

maliyet içindeki oranını çok büyük miktarlara taşımış ve yakıt maliyetinin azaltılması verimli yanmayı öncül hedef haline getirmiştir. Buna ilave olarak 80'li yıllarda tüm dünyada yaşanan hava kirliliği ve buna ilişkin sosyal duyarlılığın artması kirletici atık gazlarla ilgili olarak standartlar ve kısıtlamalar getirmiştir. Ülkemizde doğalgaza kadar oluşmuş yapı ve bilinen eski teknolojilere dayalı sistemlerde bu hedefin temini mümkün değildi. Ancak doğalgaz ülkemizde; tüm dünyayı sarsan ve süratle köklü çözümlere ulaştıran petrol krizi ve çevre kirliliğinin yapamadığını yapmış ve yanma-yakma-ısıtma sistem ve tekniklerine ilişkin önceki yapıyı toptan bir kabuk değişimine itmiştir[18].

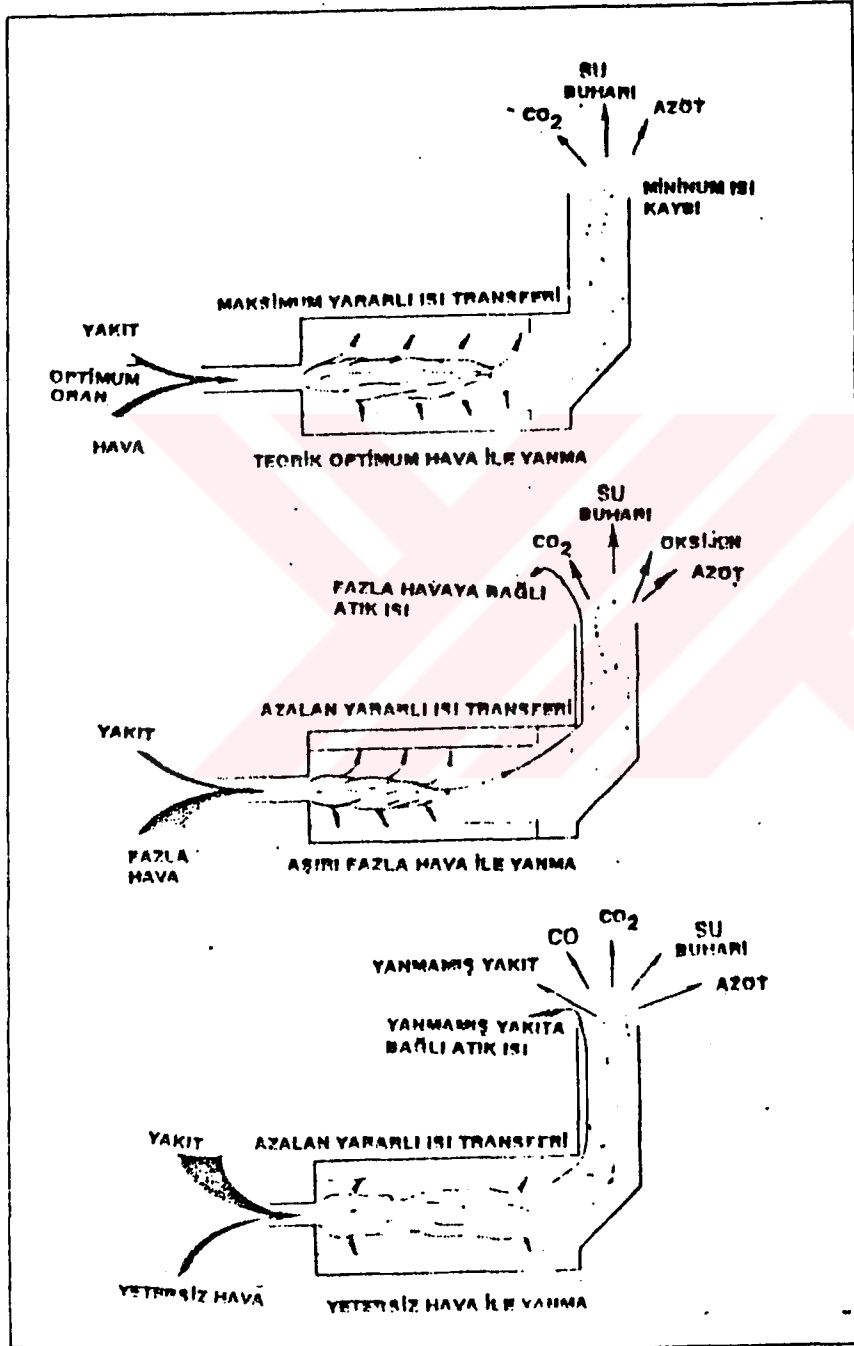
Ülkemizde artık en son teknoloji ile donatılmış yakma sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bugün uygulanmakta olan gelişmiş yakma sistemlerinin ilk devreye alınmasında, kontrolünde, bakımında kullanılan hantal kontrol ve değerlendirme yöntemlerinin yerini kompakt hale getirilmiş olan "**Baca Gazı Analiz**" cihazları almıştır. Bu tip cihazlarla baca gazı içindeki  $O_2$  ve  $CO_2$  yüzdelerini,  $CO$ ,  $SO_x$ ,  $NO_x$  miktarlarını, ortam ve baca gazı sıcaklıklarını, hava fazlalık katsayısını, verimi, baca kayıplarını, ıslilik miktarını, basınç değerlerini vs kolayca elde etmek mümkün olmaktadır. Yapılan baca gazı analizi neticesinde yanma verimini iyileştirerek ekonomik tasarruf sağlamak, çevreyi kirleten maddelerin sınır değerler altında tutulmasını sağlamak, yakma sisteminin bakım ve kontrolünün gerekip gerekmediğini belirlemek, sistemin güven içerisinde çalıştırılmasını sağlamak, sistemde olan veya olabilecek sorunun kaynağını tespit etmek gibi temel faydalar elde etmek söz konusudur[18].

### 8.2.1. Oksijen ölçümü

Oksijen değeri iyi bir yanma için önemli ve yol gösteren bir değerdir. İdeal şartlarda bir yanma olayının oluşturulabilmesi için en güvenilir, pratik ve belirleyici parametredir. Karbondioksit ve hava fazlalık katsayısı arasındaki ilişkinin yakıt çeşitlerine göre önemli sapmalar vermesine karşın, Oksijen için böyle bir durum konusu değildir. Oksijen ölçümünün bir diğer avantajıda hava fazlalığına bağlı olarak ortaya çıkmasıdır. Karbondioksit ölçümü ile sadece yanmanın yönü hakkında bir fikir sahibi olmak mümkündür.



Hava miktarının fazlalığı genellikle ikincil hava ve aşırı baca çekişi gibi durumlarda görülür. Hava fazlalığının yüksek olması yanma verimini düşürür. Hava fazlalığının yetersiz olması durumunda eksik yanma görülür. Bu durumun temel sebebi ikincil havanın yetersiz olması, baca çekişinin düşük olması, sistem ayarının yanlış yapılması vs. Bu durumlarda yoğun duman ve CO emisyonu ortaya çıkar. Şekil 8.1'de çeşitli yanma durumlarına ait gösterimler görülmektedir[18].



Şekil 8.1: Çeşitli yanma durumlarına göre atmosfere atılan emisyonlar [18]

### 8.2.2. Sıcaklık ölçümü

Yanma veriminin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden birisi de "sıcaklık"tır. Burada baca gazı sıcaklığındaki değerden kastedilen "Net değer" olup bacadaki ile yanma havası arasındaki sıcaklık farkıdır. Bacagzının ideal değeri yakma sistemi ve yakıtı bağlı olarak değişmektedir. Bu bakımdan net bir sıcaklık değeri vermek zordur. Ancak doğalgaz yakıcı kazanlar için bacagazı sıcaklığının 110-130 °C gibi bir sıcaklık değerinin altında olması istenir. Kömür ve fuel-oil yakan yakıcılarda sülfirik asit oluşumuna engel olabilmek için bacagazı çıkış sıcaklığının 140-160 °C'nin altına indirilmesi zordur[18]. Ancak özellikle gaz yakıtlı yakma sistemlerinde olan gelişmeler dumangazları içindeki subuharındanda faydalanma imkanı vererek sıcaklık değerinin 40-50 °C değerine indirilmesine imkan vermektedir.

### 8.2.3. Karbonmonoksit ölçümü

Karbonmonoksit eksik yanmanın en iyi göstergesidir. Bir yakma sisteminde karbonmonoksit miktarının yüksek olmasının sebepleri şunlardır[18].

1. Alevin yanma haznesindeki soğuk yüzeylere çarpması ve bunun sonucunda ateşleme için gerekli sıcaklığın altına düşülmesi ile bu noktalarda yanmanın sona ermesi. Soğuk yüzeylere çarpması için alevin gereğinden çok fazla geniş hacme ulaşılması(Yakıt zengin yanma-overfiring) ana neden olmakla birlikte, yanlış alev konumu ve hatalı hazne dizaynı karşılaşılabilecek diğer nedenlerdir.

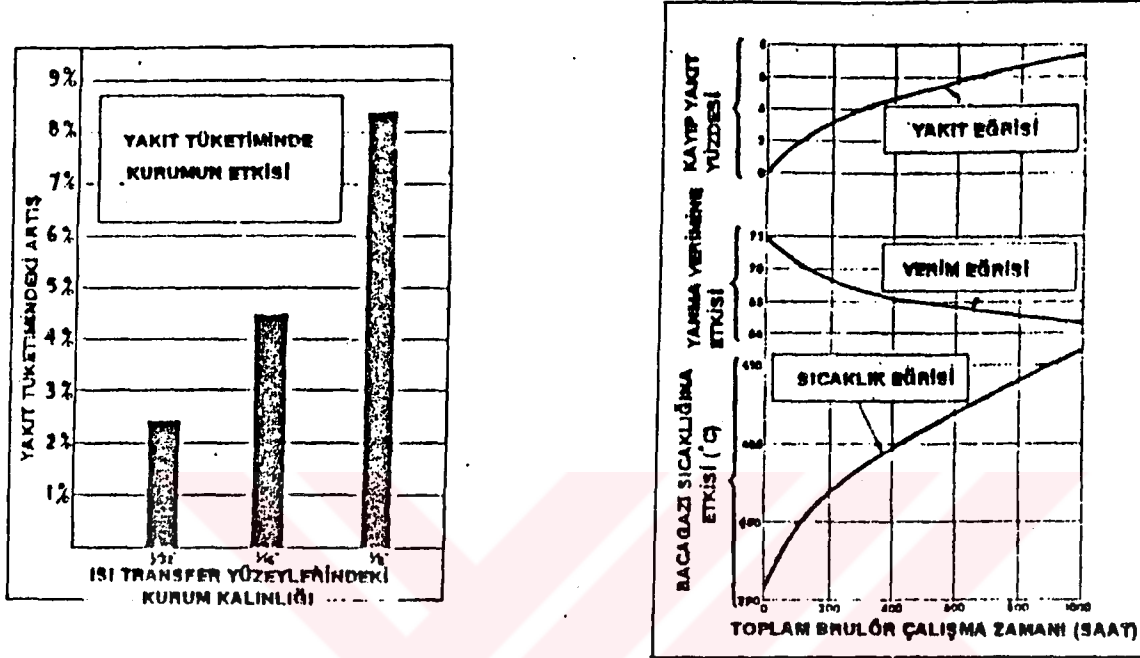
2. Eksik yanmanın (CO oluşumunun) bir diğer nedenide çok düşük baca çekişidir.

3. Bir diğer neden de, hava fazlalığının yetersiz olmasıdır.

### 8.2.4. İslilik (smoke) kontrolü

Doğalgazlı yakma sistemlerinde olmasada diğer yakıtların yakıldığı sistemlerde islilik kontrolü önemlidir. İslilik önemli ölçüde yanma kaybına neden olur. İslilik yetersiz yanmanın en iyi göstergesidir. Yetersiz yanma sonucunda ısı transfer yüzeylerinde biriken kurum oldukça düşük bir ısı iletim katsayısına haizdir. Aşağıdaki grafikte

çesitli kurum kalınlıklarına bağılı olarak yakıt tüketimindeki artışı belirtmektedir. Aynı zamanda diğerk grafikte brülörün toplam çalışma süresinin değışimine bağılı olarak yakıt kaybındaki artışı, verimin değışimini ve bacagazı sıcaklığındaki artışı göstermektedir[18].

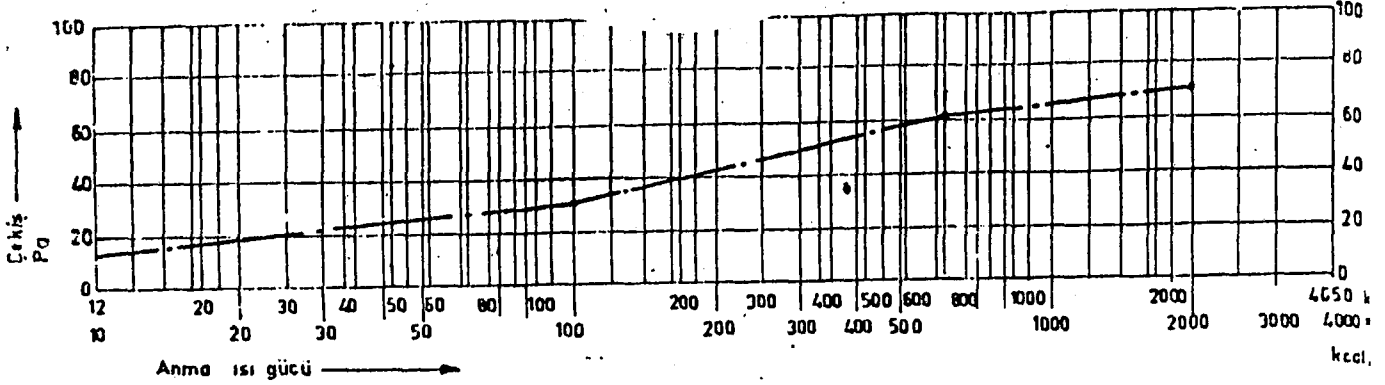


Şekil 8.2: İsliliğe bağılı olarak bazı parametrelerdeki değışimler

### 8.2.5. Baca çekışı (basınç) ölçümü

Yakma sistemlerinde verimli bir yanmanın sağlanabilmesi için ölçümü gerekli bir diğerk parametrede baca çekış basıncıdır. Çekış basıncı dumangazlarının kazandan geçiş hızını ve bacada dumangazlarının hızını belirlemeye yarar. Ayrıca atmosferik yakıcılarda emilen havanın (sekonder hava) miktarına doğrudan etki eder. Aşırı çekış sistem verimini doğrudan etkiler ve düşürür. Ayrıca yanmanın eksik yanma şeklinde olmasına, alev kopmasına, işletme sorunlarının çıkmasına (Küçük kapasiteli cihazlar için devre dışı kalma, havalandırma vs) neden olur. Aşırı çekış emilen hava miktarının artmasına ve bu suretlede net bacagazı sıcaklığıının artmasına neden olur. Baca çekışindeki değışiklikler baca ile ilgili olarak bazı problemlerin olduğuna işaret eder ( Uygunsuz kesit ve yükseklik, baca tıkanmaları, çatı üstü yanlış yerleştirme,

meteorolojik koşullar.). Kazanın anma ısı gücüne göre istenen ideal çekiş oranlarına dair şekil aşağıda verilmiştir[18].



Şekil 8.3: Kazanların anma ısı gücüne göre ideal çekiş oranları [18]

TS 11392'ye göre (Ek-A) üflemler için yanma kalitesi bakımından CO ve NO<sub>x</sub> 'ya ait emisyon sınır değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir. (mg/kWh)

Tablo 8.1: Emisyonların sınır değerleri [Ek-A]

Yakma Isı Gücü (kwh)	2.Gaz Ailesinde		3.Gaz Ailesinde	
	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO
<350	150			
>350	200	100	300	120

## **BÖLÜM 9. İSTANBUL'DA YAPILAN BACA GAZI ANALİZİ ÇALIŞMASI**

### **9.1. İstanbul'da Hava Kirliliği**

İstanbul'da hava kirliliği özellikle son 10-15 yıl içinde insan sağlığını tehdit eden boyutlara ulaşmış, kirlenici konsantrasyonları hava kalitesi standartlarının birkaç kat üzerine çıkmıştır. Hava kirliliğinin belli başlı kaynakları arasında, yerleşim bölgelerinde düşük kaliteli yakıt kullanımı, endüstriyel kaynaklar ve motorlu taşıtlar gelmektedir[1].

İstanbul'un hava kirliliği haritaları incelendiğinde, özellikle nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu iki bölgede kirliliğin yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölgelerden biri, Eminönü'nden başlayıp Beşiktaş, Eyüp, Kağıthane, Şişli ve Gaziosmanpaşa'ya uzanan Haliç koridoru, diğeri ise Üst Göztepe, Kozyatağı'ndan Hasanpaşa'ya kadar uzanan alandır. Bu bölgelerin kış aylarında, sürekli olarak en yüksek kirlenmeye maruz kaldığı görülmektedir. Bu iki bölgenin yüksek değerlere sahip olmasının önemli nedenlerinden biri de topoğrafik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Her iki bölge de kirlenicilerin birikmesi için uygun topoğrafik yapıya sahiptir. Bu bölgeler kirliliğin biriktiği bir çanak işlevi görmektedir[1].

Ayrıca insan müdahalesiyle oluşan çarpık yapılaşma da bu bölgelerdeki doğal topoğrafik yapıyı büyük oranda değiştirmiş özellikle Kağıthane ve Gaziosmanpaşa bölgelerinde hızla artan gecekonduların yerine inşa edilen apartmanlar, hem yakıttan gelen kirlenici miktarını artırmış, hem de bunların dağılmasını engellemiştir. Denizden esebilecek ve kirlenicileri dağıtabilecek deniz meltemlerinin esmesine çarpık ve plansız yapılaşma, maalesef bir bariyer işlevi görmektedir[1].

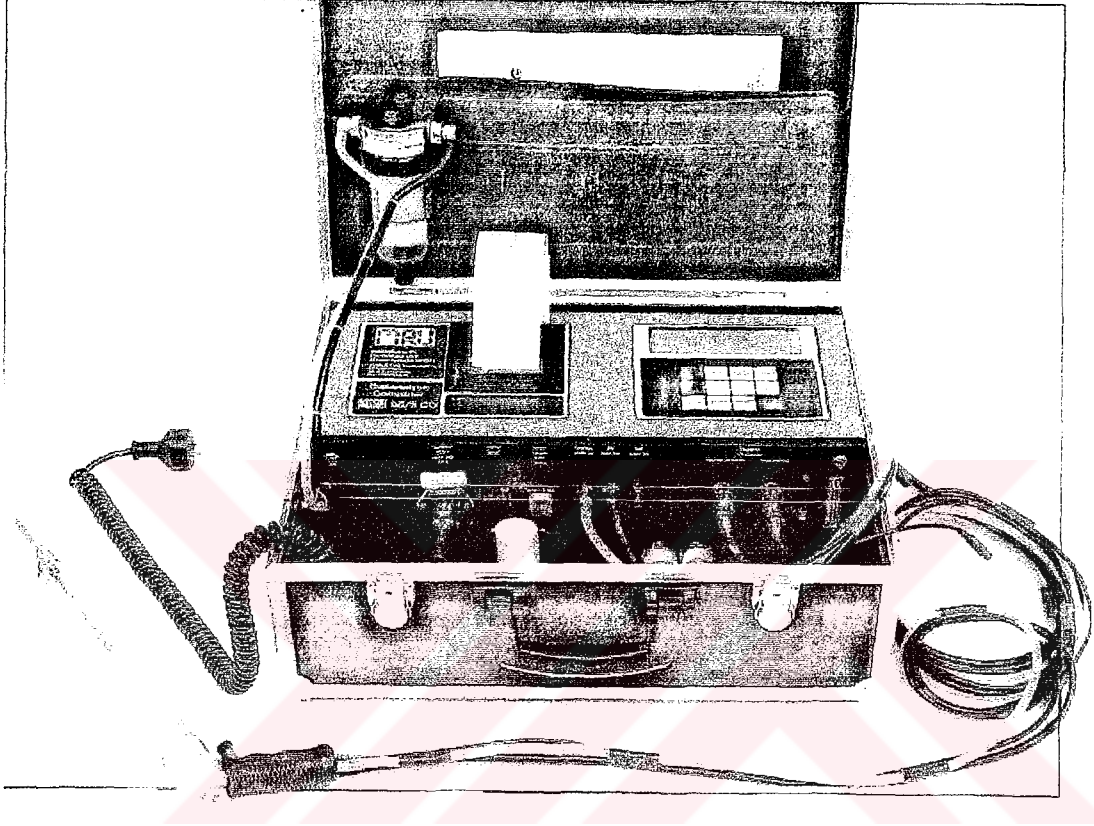
Bütün bu analizler dikkate alındığında, hava kirliliğinin azaltılmasında en etkin önlem, kirletici kaynaklarının kontrol altına alınmasıyla mümkündür. İstanbul'un hızla kirlenen havasının temizlenebilmesi ve kirletici emisyonların çevreye olan zararlı etkilerinin minimize edilebilmesi için, doğalgaz kullanımının olabildiğince yaygınlaştırılması gerekmektedir. Ancak sadece doğalgazın yaygınlaştırılması yeterli değildir. Aynı zamanda doğalgazla çalışan yanma- yakma-ısıtma sistemlerinin verimli olarak çalıştırılabilmesi gerekmektedir. Ülkemizde artık en son teknoloji ile donatılmış yakma sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemlerin ilk devreye alma, kontrol ve bakımlarında baca gazı analizi yapılması, sistem verimi açısından çok önemlidir. Doğalgaz yakan kazanlarda, gazın maksimum verimle yakılması, baca gazı emisyon değerlerinin çevre yönetmeliğine ve standartlara uygunluğunun sağlanması ve bunun takibinin yapılarak bir süreklilik oluşturulması temin edilmelidir.

Bu çalışmada, yukarıda yapılan analizler gözönüne alınarak, İGDAŞ Beyoğlu Bölge Müdürlüğü sınırları dahilinde bulunan Beşiktaş, Şişli ve Kağıthane ilçelerinde, doğalgazlı merkezi ısıtma sistemleri kullanan yaklaşık 120 farklı nokta tesbit edilmiştir. Bu noktalardaki kazan dairelerinde baca gazı analizleri yapılmıştır. Şekil 9.1'de İstanbul'da yapılan baca gazı analizi çalışması sırasında kullandığımız MRU 95/3 CD marka baca gazı analiz cihazı görülmektedir. Şekil 9.2'de ise, İGDAŞ bünyesinde yapılan baca gazı analizlerinde kullanılan, ve ölçüm alınan noktalardaki kazan ve brülörün özellikleriyle birlikte ölçüm sonuçlarının işlendiği "Baca Gazı Analizi Değerlendirme Formu" görülmektedir.

## **9.2. İstanbul'da Yapılan Bacagazı Analizi Çalışmasında Kullanılan Ekipmanlar**

1. Baca gazı analizörü (MRU 95/3 CD)
2. Kiralık veya sabit araç
3. Uzatma Kablosu
4. Alüminyum Folyo
5. 300-400 °C sıcaklığa dayanıklı mastik dolgu
6. Metre (Uzunluk ölçer)

7. El matkabı ve matkap uçları (değişik boyutlarda)
8. Takım çantası
9. Termometre (0-300 °C)



Şekil 9.1: MRU 95/3 CD baca gazı analizi cihazı

**İGDAŞ İSTANBUL GAZ DAĞITIM A.Ş**  
**BACA GAZI ANALİZİ DEĞERLENDİRME FORMU**

Bu form .../.../199 tarihinde, aşağıda adresi ve özellikleri verilen kazanda ölçülen baca gazı analizi sonuçlarını göstermektedir.

<b>ADRES:</b>					
<b>K A Z A N</b>	<b>MARKA</b>		<b>B R Ü L ÖR</b>	<b>MARKA</b>	
	<b>MODEL/TİP</b>			<b>MODEL/TİP</b>	
	<b>KAPASİTE</b>			<b>KAPASİTE</b>	
	<b>DÖKÜM/ÇELİK</b>			<b>KADEME</b>	
	<b>YENİ/ESKİ</b>				

**ÖLÇÜLEN DEĞERLER**

ÖLÇÜM ADI	Ölçülen Değer	İstenilen Değer	ÖLÇÜM ADI	Ölçülen Değer	İstenilen Değer
$T_{Oda}$			Oksijen ( $O_2$ )		%4-5
$T_{Bacagazi}$		110-150 °C	$CO_2$		%9-12
Hava Fazlalığı		1,05-1,10	CO		100 ppm
Yanma Verimi		%90	$NO_x$		150 ppm
Yanma Kaybı		%10	$SO_2$		0 ppm

**NOTLAR :**

**NETİCE:**

.../.../1998  
**İGDAŞ YETKİLİSİ**

Şekil 9.2: İGDAŞ'ta kullanılan baca gazı analizi değerlendirme formu



### 9.3. MRU 95/3 CD Tipi Baca Gazı Analizi Cihazının Tanıtılması

Yanma ürünlerinin analizi enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanımını için büyük bir önem taşır. Yanma neticesinde oluşan ürünlerin analizinde kullanılan bazı metotlar ve buna paralel olarak yapılan cihazlar söz konusudur. Bunlar Orsat Aparatı, Gaz Kromatografi cihazları, IR metodu vs'dir. Bu çalışmada özellikle fonksiyonel hale getirilmiş olan kompakt baca gazı analiz cihazlarından bahsedilecektir. Bu cihazlar özellikle belli başlı yanma ürünlerinin (Karbon dioksit, karbonmonoksit, azotoksit, oksijen, Kükürtoksitler vs) miktarlarının belirlenmesinde, yakıcı veriminin hesaplanmasında, basınç değerlerinin ölçümünde, yakıt hakkında ve yanmanın şekli hakkında, ve bazı yanma parametreleri hakkında bilgi edinilmesine yönelik olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar[32].

#### 9.3.1. Gaz analiz cihazlarının fonksiyonu

Duman gazı analiz cihazları yüksek kalitede ve ölçüm yapan elektronik aletlerdir. Bu cihazlarda setup birimleri, ölçüm probu, filtrasyon birimleri, kondens tüpleri vs gibi ünitelerden oluşur. Bu tip cihazlar kullanım amacıyla açıldığında öncelikle 2-3 saniye süresince otomatik olarak bir ön-test denilen sistemdeki üniteleri kontrol eden bir test işleminden geçirilir. Ardından 3 dakika süreyle temiz hava bütün ölçüm birimlerinde dolaştırılmasıyla bir kalibrasyon yapılır. Mikroişlemci cihazın çalışmaya hazır olduğunu belirtir. Eğer herhangi bir problem varsa 'cihaz hazır değil' bilgisini verir[32].

Kalibrasyon tamamlandıktan hemen sonra ölçüm probu duman kanalına sokularak membranlı gaz pompası yardımıyla duman kanalından dumanı alarak ölçüm yapar. Sıcaklık ölçümü probun hemen ucundaki NiCr-Ni'den yüksek kaliteli bir termoeleman tarafından yapılır. Membranlı pompa yaklaşık olarak dakikada 1 litre hacmindeki gazı emerek sensörlere doğru pompalayabilir. Bir ölçüm için genellikle 0.2 lt duman gazının pompalanması yeterli olmaktadır. Bu emilen duman gazları sensörlerden geçirilerek analogik değerler bir mikroişlemci vasıtasıyla dönüştürülerek ekrana aktarılır. Yine basınç ölçümü için ayrı bir soket mevcuttur.

Şekil 9.3'te cihazın ekranında istenilen ve mümkün olan işlemlerin ve ölçümlerin yapılabilmesi için konulmuş olan fonksiyon tuşları gösterilmiştir. Bu fonksiyon tuşları kullanılarak daha sonra bahsedilecek olan işlemlerin yapılması mümkündür.

### Kontrol Paneli-Keybord

1 ↑	4 PRINT	7 PAPER FEED	10 LIGHT
2 ↓	5 TIME/ DATE	8 DRAFT	11 SMOKE TEST
3 SERVİS	6 BIG/ SMALL	9 ADVANCE	12 QUIT/ START

1-2: Yön Tuşları

3 : Servis bilgilerinin alındığı tuştur.

4 : Ölçüm neticesinin basımı için kullanılan tuştur.

5 : Zamanın ve tarihin ayarlandığı tuştur.

6 : Ekranın büyüklüğünü ayarlayan tuştur.

7 : Kağıt besleme tuşudur.

8 : Basınç ölçüm tuşudur.

9 : Genişletme tuşudur.

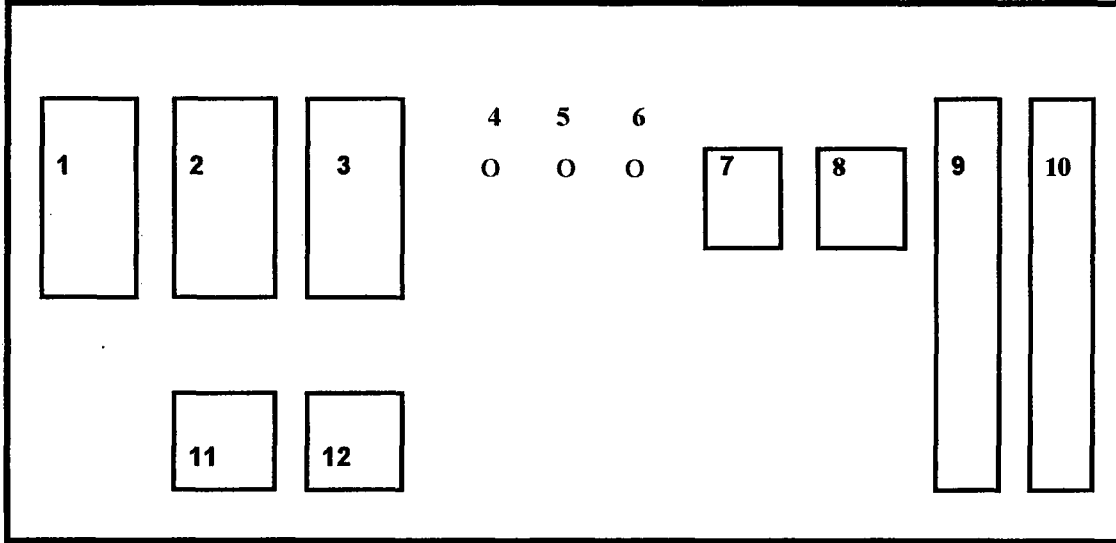
10 : Işıklandırma tuşudur.

11 : İslilik ölçüm tuşudur.

12 : İşlem başlama ve bitirme tuşudur.

Şekil 9.3: Baca gazı analizi cihazı üzerindeki fonksiyon tuşları [32]

Kompakt baca gazı analiz cihazının ön panelinde bulunan bağlantı ve ölçüm soketlerinin yerleri ve tanımları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



- 1 : Direkt elektrik girişi (230 V /50 Hz veya 117 V / 60 Hz )  
 2 : Açma-Kapama tuşu  
 3 : Prop ısıtma soketi (isteğe bağlı)  
 4 : Gaz girişi  
 5 : İslilik ölçüm alma soketi  
 6 : Basınç ölçüm girişi  
 7 : Gaz sıcaklık bağlantısı  
 8 : Temiz hava alma girişi  
 9 : Analog çıkış  
 10 : İnterface soketi  
 11 : Opsiyon soketi (Prop ısıtma, ek ekipman vs)  
 12 : 4AT soketi (Genel amaçlar için)

Şekil 9.4: Baca gazı analizi cihazının ön panelinin görünüşü [32]

### 9.3.2. Yanma parametrelerinin ölçümü

Gaz analiz cihazında doğru yakıt tipi seçilir. Bütün yakıt tipleri ve bunlarla ilgili değerler cihaza programlanmıştır. Verim değerlerinin ve duman gazı ile olan kayıpların hesaplanmasında cihaza programlanmış olan SIEGERT formülü kullanılır. A CO<sub>2</sub> ile bağlı olarak yanma verimi ile ilgili faktör, B Siegert düzeltme faktörüdür.

$$q_A = (t_A - t_B) \left( \frac{A}{CO_2} \right) + B \quad (9.1)$$

$q_A$ : Bacagazı kaybı, %

$t_A$ : Dumangazı sıcaklığı, °C

$t_B$ : Yakma havası sıcaklığı, °C

CO<sub>2</sub>: Kuru duman içindeki CO<sub>2</sub> oranı, %

O<sub>2</sub>: Kuru duman içindeki O<sub>2</sub> oranı, %

**Tablo 9.1: SIEGERT formülünde kullanılan düzeltme faktörleri [32]**

Yakıt Tipi	CO <sub>2</sub> mak	A	B
2 Nolu Fuel-Oil	15.3	0.50	0.007
6 Nolu Fuel-Oil	15.9	0.50	0.007
Doğalgaz H	12.2	0.37	0.009
Doğalgaz L	11.7	0.37	0.009
Kömür	19.1	0.59	0.009
Kuru Odun	19.4	0.60	0.009
Kalibrasyon	0.0	0.50	0.007
Bireysel	10.0	0.50	0.007

### 9.3.3. Yoğuşma kapağı ve mikrofiltre

Akrallikle kaplı mikrofiltre yoğuşma kapağının bir parçasıdır. Mikrofiltre sensörlerin sağlıklı ölçüm yapmalarını garantiye almak sensörlerin ön tarafına yerleştirilmiştir. Kirlenmiş filtre fonksiyonunu kaybetmiş olarak düşünülür ve yenisi takılarak kullanılması istenir. Aksi halde hem sensör ömrü azalacaktır hemde elde edilen neticeler yanıltıcı olabilecektir[32].

### 9.3.4. Sensörler

Sensörler genellikle elektrokimyasal pillerdir ve ölçümlerin yapılmasında temel işlevi yürütürler. Elektrokimyasal piller bazı özel gazlara ve gaz bileşiklerine karşı çok duyarlıdır. Bu etkiler birbirine benzerdir ve eşitlenebilirler. Cihazda O<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> sensörleri bulunmaktadır[32].

- **Bir O<sub>2</sub> sensörünün ömrü:** O<sub>2</sub> Sensörünün ömrü sınırlıdır. Sensör O<sub>2</sub> ölçümü boyunca tahrifata uğramaktadır. Bunun anlamı, düşük O<sub>2</sub> konsantrasyonunda daha uzun ömürlü olacaktır. Bu MRU tipi duman gazı analiz cihazlarında kullanılan sensör ömrü 9-15 aydır.

- **Diğer sensörlerin ömrü:** Normal sensörler hemen hemen sınırsız bir ömre sahiptirler. Fakat, elektrolit kullanımı esnasında reaksiyon ve oluşan kirlenme ömrünü azaltmakta ve bu nedenle de bu tip sensörlerin ömrü 2-3 yıl olarak kabul edilmektedir. Sensörlerin reaksiyonu mükemmeldir ve onların duyarlılığına bağlıdır.

O<sub>2</sub> —————→ T90 yaklaşık 15 saniye

CO —————→ T90 yaklaşık 30 saniye

### 9.3.5. Ölçüm aralığının genişletilmesi

Ölçüm aralığının genişletilmesi mümkündür. Eğer böyle bir şey isteniyorsa prop duman kanalından çıkarılır ve flotasyon ve taze havaya bağlı olarak sensör yeniden kullanılabilir. İstenirse ölçüm yeniden başlatılabilir.

### 9.3.6. Servis programı

Analiz cihazı açılır açılmaz program çalışır. Ölçümlerin ve kalibrasyonun yapılmasının olanaksız olduğu ve herhangi bir yanlış çalışma durumu görüldüğünde cihaz kullanılmamalıdır. Bu durumda cihazın servis menüsüne girilmelidir. Bu işlem yapıldığında cihaz ekranında bütün servis değerleri görülecektir. Tablo ..1'deki servis değerleri hafızadadır ve bu değerlerle cihazdan o anda alınan değerler arasında, tabloda müsaade edilen aralıkta bir değişme olmuşsa ölçüm sonucu tamamdır. Aksi halde bir yanlışlık söz konusudur[32].

O<sub>2</sub> sensörü fonksiyonunu 1300 mV değerine kadar ifa edebilir. Fakat bu sensörde kullanılan elektrolit değişik karakterlere sahiptir. Bunlardan bazıları 1300 mV değerinin çok altındada fonksiyonunu yerine getirebilir. Bu nedenle bu sensörle ilgili olarak net bir tanımlama yapmak zordur. Hatalar düzeltilir düzeltilmez normal menüye dönülür. Ekranda okunabilecek değerlerle ilgili aralık şöyledir[32].

**Tablo 9.2: Referans Değerler [32]**

Batarya	1200 mV	+ - 150
O <sub>2</sub>	1500 mV	+ - 300
CO	0 mV	+ - 20
SO <sub>2</sub>	0 mV	+ - 20
NO	0 mV	+ - 20
NO <sub>2</sub>	0 mV	+ - 20
H <sub>2</sub> S	- 853 mV	+ - 100
Neg V	222 mV	*
T-Ref	225 mV	*
T-Oda	214 mV	*
T-SEN	0 mV	+ - 10
T-Gaz	0 mV	+ - 100
Basınç	100 mV	+ - 50
Pompa	999 mV	+ - 5
A/D-C	1200mV	+ - 150

**Tablo 9.3: Cihazla ölçülen parametrelerin ölçüm aralıkları [32]**

<b>KANAL</b> <b>Çevrimi</b> <b>1-4</b>	O <sub>2</sub>	20 %	5%	10 %
	CO	8000ppm	250ppm	1000ppm
	CO <sub>2</sub>	20%	5%	10%
	Sıcakılık	1000 °C	250 °C	500 °C
<b>KANAL</b> <b>Çevrimi</b> <b>5-8</b>	SO <sub>2</sub>	4000ppm	250ppm	1000ppm
	Hava Fazlalık	1.0-3.5	Ver	0-100 %
	NO <sub>2</sub>	4000ppm	250ppm	1000ppm
	NO <sub>x</sub>	4000ppm	250ppm	1000ppm

CO aralığı: CO değeri 4000ppm den daha fazla bir alanda genişletilmek istenirse cihaz üzerinden bunun yapılması mümkündür.

### 9.3.7. Basınç ölçümü

Duman gazlarının akışı esnasında sahip oldukları efektif basıncın ölçümü işlemini yapar. Atmosferik basıncın altındaki değerleri (-), üstündeki değerleri (+) olarak gösterir. Ölçüm çevrimi -10 hPa ile +10 hPa arasındadır[32].

### 9.3.8. İslilik ölçümü

İslilik ölçümünde öncelikle prop ısıtılır. Doğru neticenin alınmasını sağlamak için bu işlem önemlidir. Isıtılan prop ölçüm için islilik ölçüm soketinin olduğu ve vakum yapılan sokete bağlanır. Aynı zamanda isliliği belirlemek için vakum pompasının rahatlıkla emme yapabileceği ve geçirgenliği yeterli olan bir beyaz plaka proptaki islilik ölçüm aralığına takılır. Analiz cihazı emilen gazın miktarının 1.63 lt/dk değerini aldığı anda vakum işlemi sonlanır. Dumangazlarının geçirildiği beyaz plak RİNGELMAN skalası ile karşılaştırılarak islilik değeri belirlenir[32].

### 9.3.9. Gaz ölçüm programı ve sonuçların alınması

Baca gazı analiz cihazı monitöründe dış hava sıcaklığı (ortam sıcaklığı), gaz sıcaklığı, O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> yüzdeleri, CO, SO<sub>2</sub>, No<sub>x</sub> vs ölçüm değerleri gösterilir. Bu tip cihazlara isteğe bağlı olarak NO, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Cl<sub>2</sub>, HCN, HCl vb sensörleri de takılarak bu tip bileşenlerinde bulunduğu gazları ölçmek mümkündür. Proben duman kanalına takılmasından 10-30 sn sonra değerler değişmeye başlar. Gaz sıcaklığı, CO<sub>2</sub> değerleri artarken O<sub>2</sub> yüzdesi azalır. Bu esnada ekranda CO, SO<sub>2</sub>, No<sub>x</sub> değerleri sürekli değişir. Bu değişimlerin küçülmesiyle birlikte ölçüm olayı bitirilir ve ekrandaki değerler ölçüm değeri olarak kabul edilir[32].

### 9.3.10. Proben ısıtılması

İs ölçüm membranını kuru tutmak için probun ısıtılması istenir. Prop ısıtma sistemi 4 bakır kablo ile bağlantı sağlanan ve elektrik ihtiyacını gören bir bütün sistem olarak cihazın bünyesine monte edilmiştir. Bu kablolardan ikisi sıcaklık diğer ikisi ise ısıtma için kullanılır. Yalnız probun ısıtılması cihazın bataryasının ömrünü ve

kapasitesini (kullanım süresini) bitireceğinden dışarıdan sağlanan enerji kaynaklarının kullanımı daha uygun olacaktır. Sağlıklı ve güvenilir bir ölçüm yapabilmek ve sonuç alabilmek için ısıtılma ölçümüne başlamadan önce 2 dakika kadar probun ısıtılması tavsiye edilmektedir[32].

### 9.3.11. Kalibrasyon

Baca gazı analiz cihazları aktif hale getirilmeden önce belirli bir sıcaklık aralığında olmalıdır. Analizörler eğer sıcaklık 0 °C'nin altında ise aktif hale gelmez.

Çalışma Sıcaklığı → 0 °C ila +40°C

Depolama Sıcaklığı → -20 °C ila +50 °C

Cihazın kullanılmaması durumunda her 4 haftada bir 14 saat süreyle sarj edilmesi gerekir. Bu yapılmadığı takdirde cihaz desarj olabilecek ve olumsuz etkiler görülebilecektir. Cihaz kuru bir ortamda muhafaza edilmelidir. Cihaz belli aralıklarla benzin gibi hafif sıvı temizleyiciler kullanmak suretiyle temizlenebilir. Yıpratıcı solventler kesinlikle kullanılmamalıdır[32].

Baca gazı analiz cihazları bir otomatik iç test programı ile donatılmışlardır. Bu testler cihaz açıldıktan sonra yapılır. Bunlar:

- Çalışma Sıcaklığı
- Cihazın Sarj Durumu
- A-D Transformatörü
- Prop Bağlantısı
- Gaz ve İslilik Proplarının Durumları

Kalibrasyon testinden sonra yapılan iç testler:

- O<sub>2</sub> Sensörü
- SO<sub>2</sub> Sensörü
- CO Sensörü
- NO<sub>x</sub> Sensörü
- Basınç Sensörü



Cihaz kendini "selftest" komutu ile test eder. Eğer herhangi bir fonksiyon bozukluğu tespit edilirse, ölçüm sonuçlarının alınması mümkün olmayacaktır. Cihaz tekrar bu testten geçirilir. Sonuç yine aynı olursa cihazın yetkili bir birim tarafından kontrolü gerekir. Kalibrasyon başarı ile tamamlanırsa bütün sensörler otomatik olarak test edilecektir. Eğer bir veya daha fazla sensör kendi seviyelerini koruyamıyorlarsa cihaz ekranında "sensör hazır değil" mesajı görülecektir. Bu durumda yine cihazın yetkili bir birim tarafından kontrolü gerekecektir[32].

### 9.3.12. Fonksiyon bozuklukları ve muhtemel sebepleri

1- Analizörün çalıştığı ortamın sıcaklığı çok düşük olabilir. Bu durumda ekranda "Analizör Çok Soğuk" ifadesi görülür. Bu durumda cihazın sıcaklığının cihazın çalışabilir sıcaklık aralığına alınması gerekir.

2- Sıcaklıklardaki farklılıklar yada emisyonlardaki yüksek nemlilik sensör nozullarında görülecek yoğuşmaya neden olurlar. Bu durumda cihazın kuru ve ılık bir odaya yerleştirilmesi ve temiz hava ile defalarca kalibre edilmesi ve ekranda fonksiyon bozukluklarına ait görüntülerin hiç görünmediği ana kadar cihazın kontrol edilmesi gerekir.

3- Cihaz kalibrasyonu yapılırken, sensörler hatalı olarak çeşitli gazların yoğun olarak bulunduğu bir ortamda olması söz konusu olabilir. Böyle bir durumun tespiti halinde kalibrasyonun yeniden temiz ve kuru bir hava ile yapılmasına çalışmak gerekir.

4- Sensörlerin kullanım sürelerinin geçmiş olması durumunda; hataların farkedilmesi ve fonksiyon bozuklukları ekranda belirmeyecektir. Buda hatalı ölçüm alınmasına ve dolayısıyla yanıltıcı değerler alınmasına yol açacaktır. Değişik sensörlerin ömürleri şöyledir:

O <sub>2</sub> Sensörü	9-18 ay
SO <sub>2</sub> Sensörü	2-3 yıl
CO Sensörü	2-3 yıl

NO <sub>2</sub> Sensörü	2-3 yıl
NO Sensörü	2-3 yıl
Basınç Sensörü	2-3 yıl

Bu tip cihazlarda sıcaklık ölçüm birimleri °C olarak ölçülür. Diğer ölçüm birimleri şöyledir:

O <sub>2</sub> Sensörü	→	%
SO <sub>2</sub> Sensörü	→	ppm
CO Sensörü	→	ppm
NO <sub>x</sub> Sensörü	→	ppm
NO Sensörü	→	ppm
NO <sub>2</sub> Sensörü	→	ppm
Basınç Sensörü	→	hPa
İslilik	→	Duman Hacmi 1.63±- 0.07 dm <sup>3</sup>

**Tablo 9.4: Baca gazı analiz cihazının ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri [32]**

Temiz Hava Sıcaklığı	-20 °C÷ -120 °C	+ - %2
Baca Gazı Sıcaklığı	0 °C÷ 850 °C	+ - %2
O <sub>2</sub>	% (0 ÷ 20.9)	+ - % 0.2
CO	0 ÷ 8000 ppm	+ - % 5
SO <sub>2</sub>	0 ÷ 4000 ppm	+ - % 5
NO	0 ÷ 4000 ppm	+ - % 5
NO <sub>2</sub>	0 ÷ 4000 ppm	+ - % 5
NO <sub>x</sub>	0 ÷ 4000 ppm	+ - % 5
CO <sub>2</sub>	Cihaz Hesaplar	+ - % 0.2
Verim	% (0 - 99)	+ - %2
Hava Fazlalığı (λ)	0 ÷ sonsuz	+ - %2
Basınç	-10 hPa÷+10 hPa	+ - % 3

### 9.3.13. Kayıp hesabı

Emisyon gazlarından CO kısmı ve gaz sıcaklığı ile temiz hava (dış hava) sıcaklığı arasındaki farktan kaynaklanan kayıp bir sistemin verimini azaltan temel parametrelerdir. Verim hesaplamasında bu kayıplar esas teşkil ederler. Yanma sıcaklığı ısı kaynağına giriş yakınında alınarak ölçülür. Bu yolla çevreye (ışınım ve taşınım) yoluyla olan kayıplar gözönüne alınamaz. Daha önce verdiğimiz Siegert formülü olarak adlandırılan formül yardımıyla dumangazı ile olan kayıplar belirlenir[32].



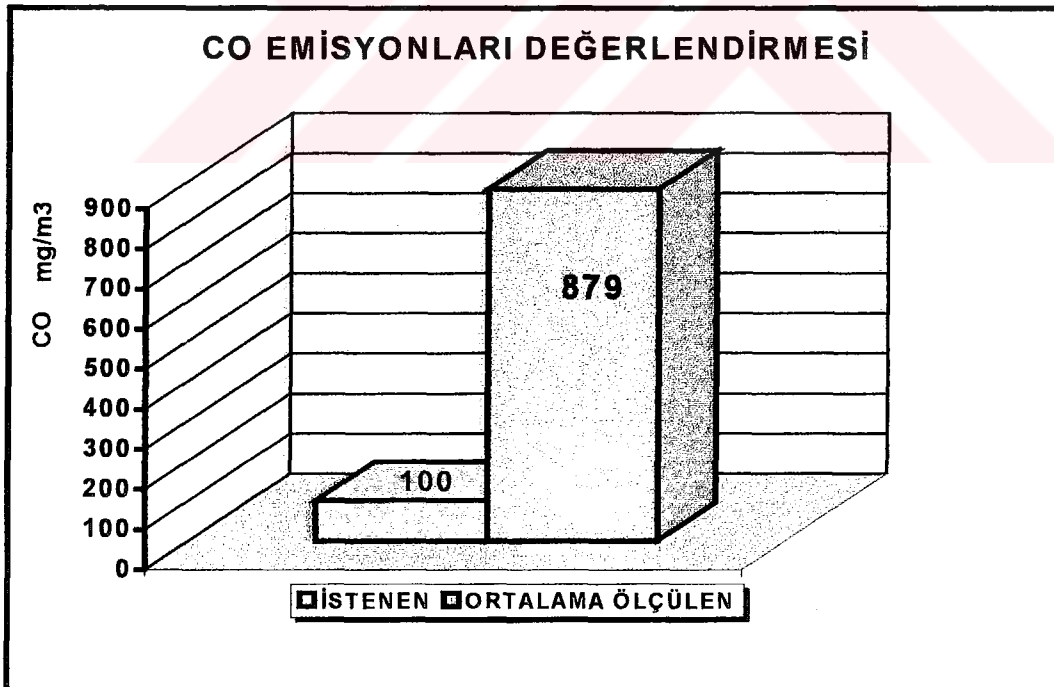
#### 9.4. Bacagazı Analizi Sonuçlarının İrdelenmesi

İlk olarak, İstanbul'da belirlenen tüm ölçüm noktalarından alınan neticelerin ortalama değerleri ile, olması gereken standart değerlerin karşılaştırılması yapıp, her bir ölçüm parametresi için değerlendirmeler grafik şeklinde verilmiştir. İkinci adımda ise Beyoğlu Bölge Müdürlüğü'ne bağlı ilçeler bazında ( Şişli, Kağıthane, Beşiktaş ) ölçüm neticeleri karşılaştırılmıştır. Ölçümler sırasında yapılan tesbitler, karşılaşılan problemler ve bunların değerlendirilmesi sonucunda önerilen çözüm yolları ve teklifler bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

##### 9.4.1. Genel karşılaştırma

###### 9.4.1.1. Karbonmonoksit emisyonları

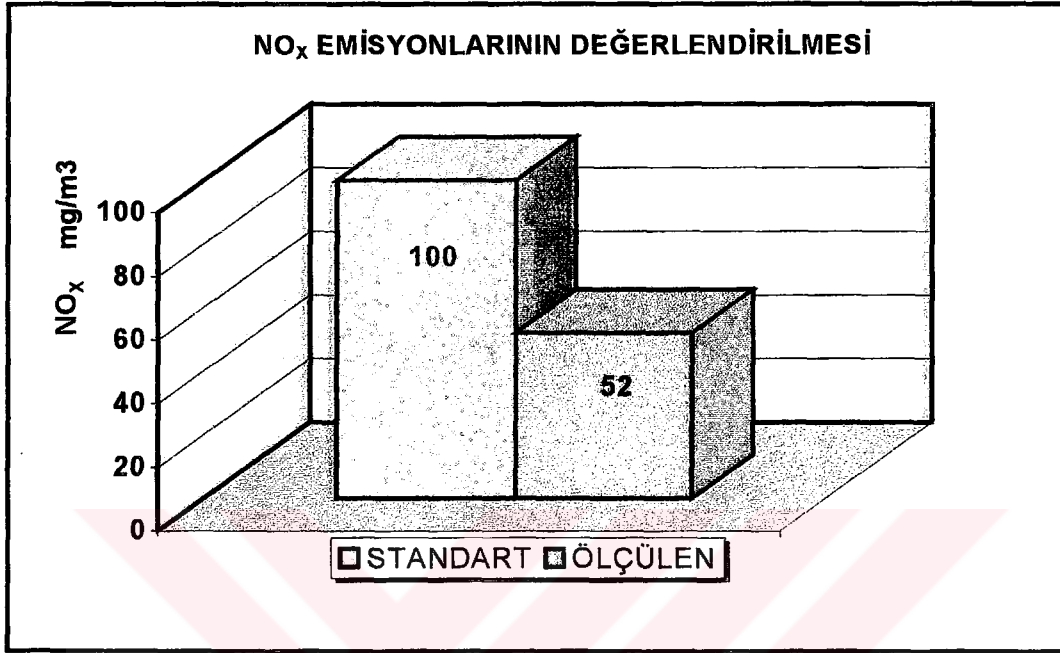
Karbonmonoksit değerleri ortalaması çevre yönetmeliğinde belirtilen  $100 \text{ mg/m}^3$  değerinin oldukça üstündedir.



Şekil 9.5: CO emisyonlarının grafik olarak gösterilmesi

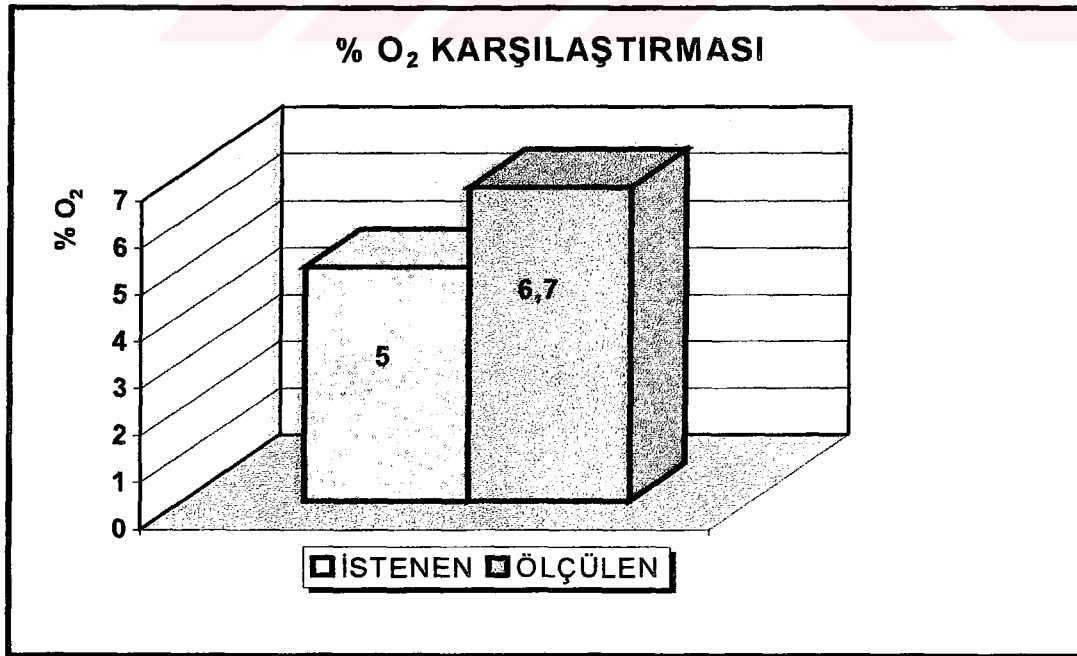
#### 9.4.1.2. Azotoksit emisyonları

Azotoksit emisyonları ortalaması, çevre yönetmeliğinde belirtilen  $100 \text{ mg/m}^3$  değerinin altında olup, kabuledilebilir sınırlar içerisinde dir.



Şekil 9.6: NO<sub>x</sub> emisyonlarının grafik olarak gösterilmesi

#### 9.4.1.3. Oksijen oranları

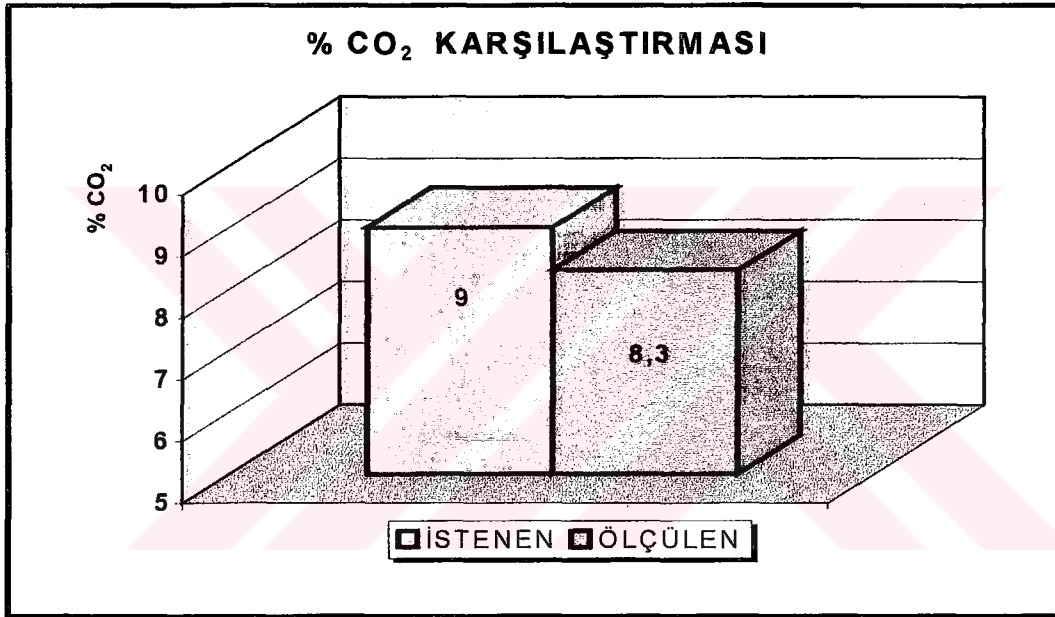


Şekil 9.7: O<sub>2</sub> emisyonlarının grafik olarak gösterilmesi

Baca gazı içindeki oksijen miktarı yakma tekniği açısından olması gereken % 5 değerinin üzerinde olup, negatif bir durum arz etmektedir.

#### 9.4.1.4. Karbondioksit oranları

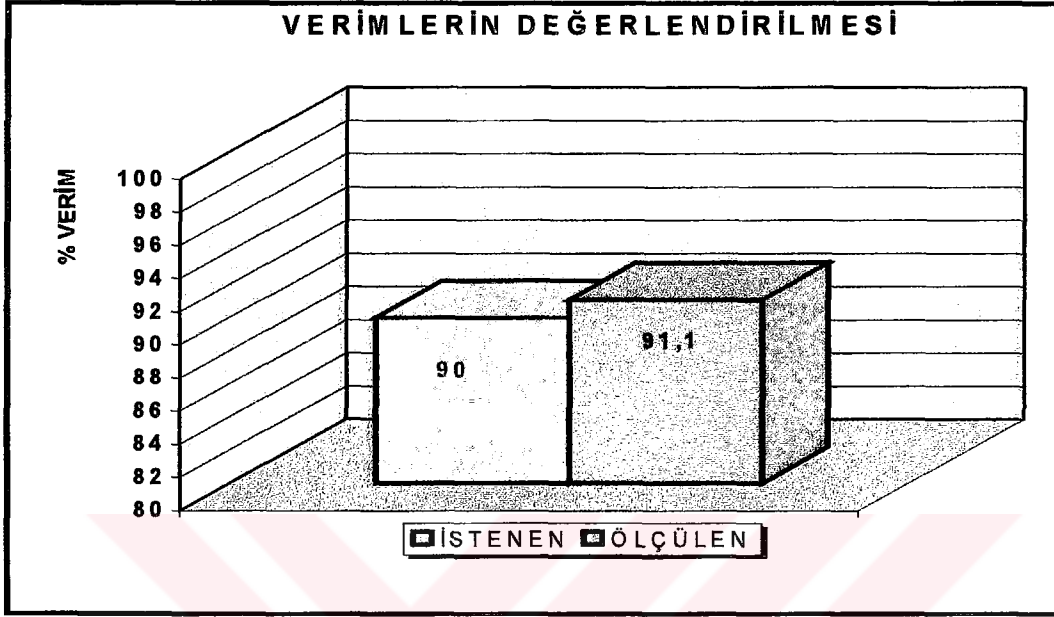
Stokiyometrik (teorik ideal yanma) yanmada doğalgaz için CO<sub>2</sub> oranı % 11,7 'dir. Bununla birlikte iyi bir yanma için CO<sub>2</sub> oranının % 9-12 arasında olması istenir. Ancak yapılan ölçümlerin ortalaması ( % 8,3 ) grafikten de görüldüğü gibi, istenen sınır değerlerin dışındadır.



Şekil 9.8: CO<sub>2</sub> emisyonlarının grafik olarak gösterilmesi

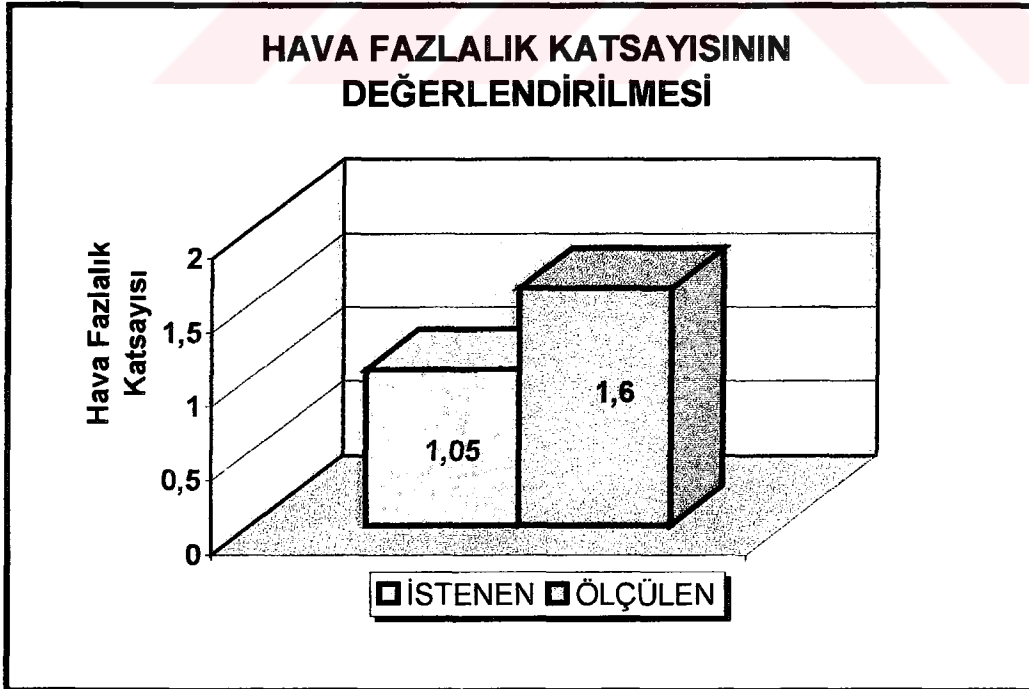
#### 9.4.1.5. Verim değerleri

Yapılan ölçümler neticesinde elde edilen yanma verimi değerleri istenilen sınırlar<sup>®</sup> dahilindedir.



Şekil 9.9: Verim değerlerinin grafik olarak gösterilmesi

#### 9.4.1.6. Hava fazlalık katsayısı

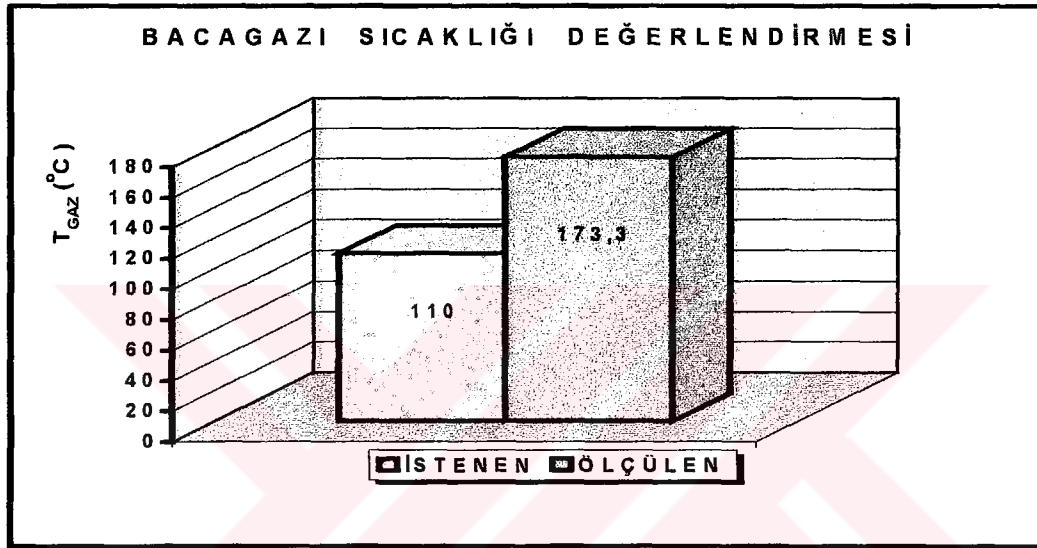


Şekil 9.10: Hava fazlalık katsayısı değerlerinin grafik olarak gösterilmesi

Hava fazlalık katsayısı yakma tekniği açısından, doğalgazlı yakıcılarda olması gereken 1,05-1,10 değerlerinin çok üzerinde olup yanmayı olumsuz etkilemektedir.

#### 9.4.1.7. Baca gazı sıcaklığı

Baca gazı sıcaklığı konvansiyonel doğalgazlı yakma sistemlerinde 110 °C civarında olmalıdır. Ancak yapılan ölçümlerin ortalaması istenen değerlerden oldukça yüksektir.



Şekil 9.11:  $T_{gaz}$  sıcaklığının grafik olarak gösterilmesi

#### 9.4.2. İlçeler bazında değerlendirmeler

Bu bölümde, yanma sonucunda oluşan zararlı emisyonların, verim değerlerinin ve bacagazı sıcaklıklarının ilçeler bazında karşılaştırmaları yapılarak, bu sonuçlar çerçevesinde oluşturulan grafikler verilmiştir.

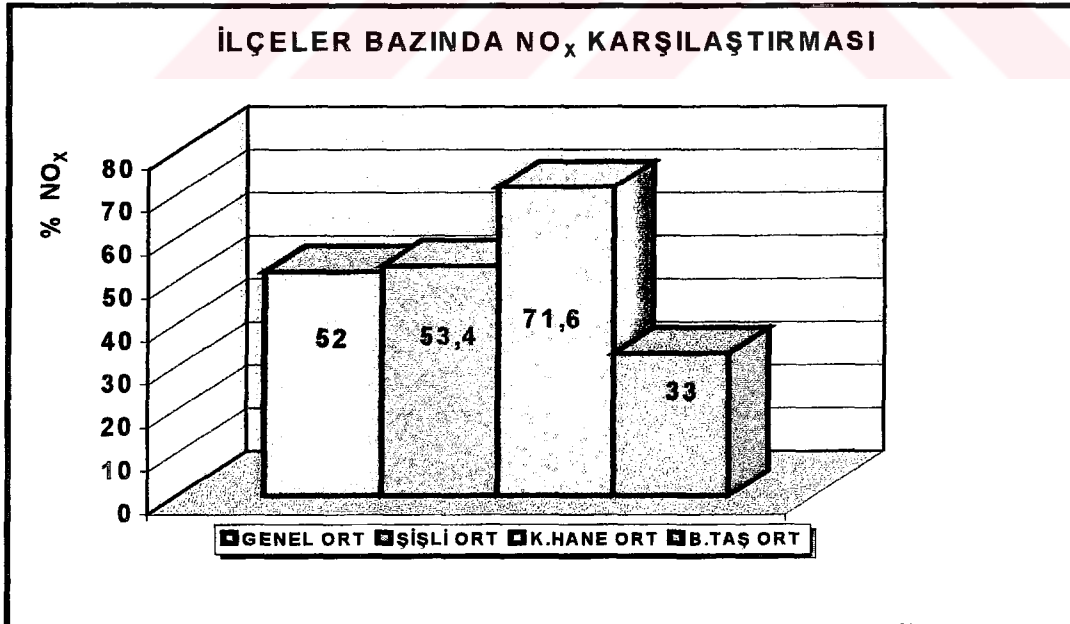


#### 9.4.2.1. Karbonmonoksit emisyonlarının karşılaştırılması



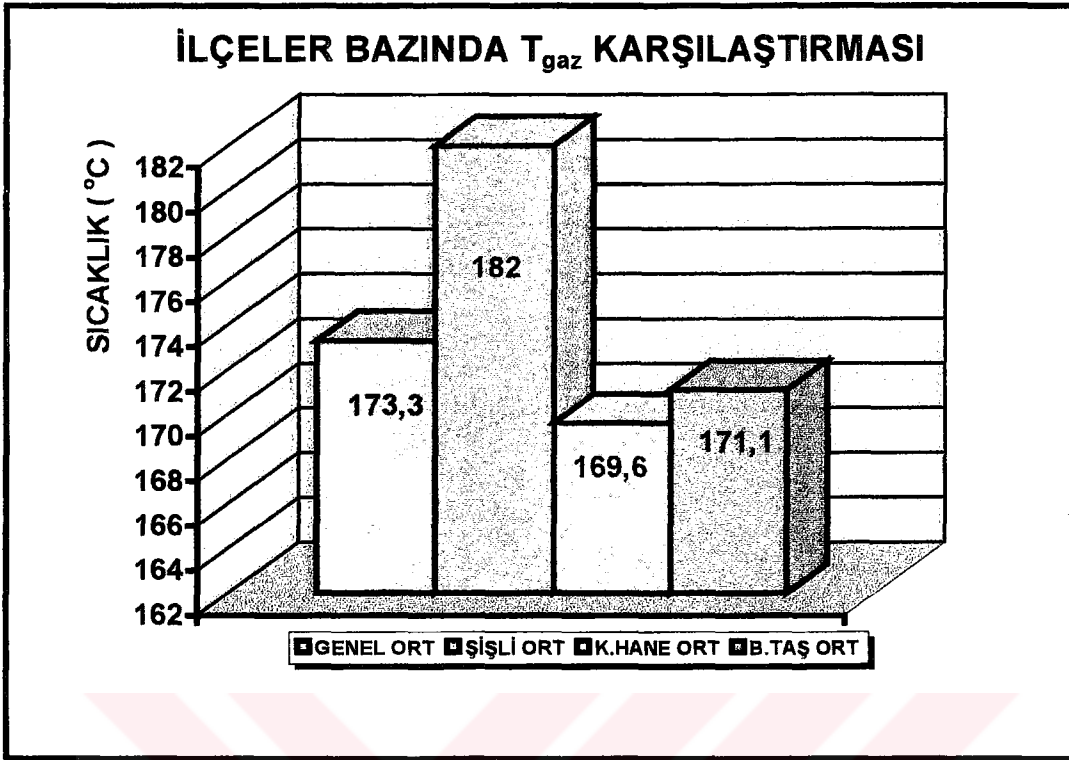
Şekil 9.12: İlçeler bazında CO emisyon değerleri

#### 9.4.2.2. Azotoksitlerin karşılaştırılması



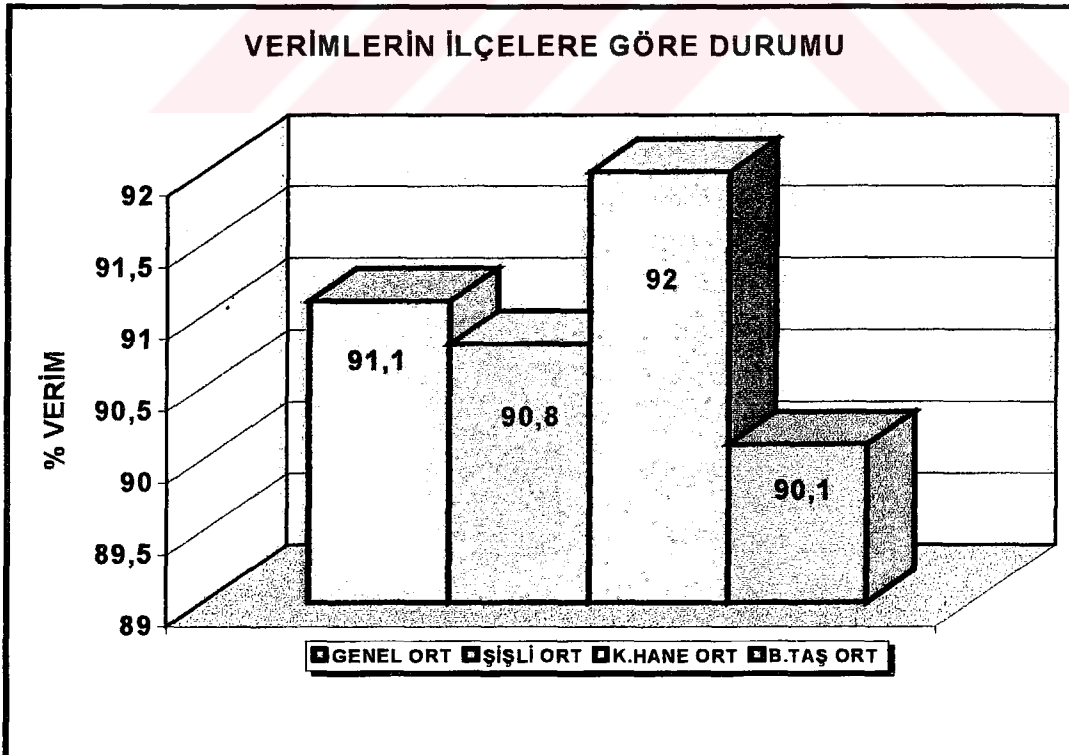
Şekil 9.13: İlçeler bazında NO<sub>x</sub> emisyon değerleri

#### 9.4.2.3. Baca gazı sıcaklığı karşılaştırılması



Şekil 9.14: İlçeler bazında  $T_{\text{gaz}}$  değerleri

#### 9.4.2.4. Verimlerin karşılaştırılması



Şekil 9.15: İlçeler bazında verim değerleri

## BÖLÜM 10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 10.1. Sonuçlar

Yapılan bu ölçümler ile 1992 yılından itibaren İstanbul'da kullanılan doğalgazın verim ve çevreye bıraktığı emisyonlar açısından istenilen şekilde kullanılıp kullanılmadığının tesbiti yapılmaya çalışılmıştır.

Özellikle verim değerlerinin istenilen sınırlar içinde olduğu belirlenmiştir. Ancak burada sözkonusu olan verim yanma verimi olup, bu verim değeri içerisine kazan yüzeylerinden kazanın büyüklük, geometri ve izolasyon durumuna bağlı olarak kaybolan % 2-12 arasında değişen cidar kayıpları hesaba katılmamıştır.

On-Off çalışan yakıcılarda baca cidarlarının ısıl ataleti dolayısıyla olan ısı kaybı da dikkate alınmamıştır ( ihmal edilebilir bir değerdedir ).

1. Bu çalışmada baca gazlarının ortalama sıcaklığının kabuledilebilir değerden çok yüksek olması ve hava fazlalık katsayısının da benzer bir eğilim göstermesi çok manidardır[Ek-B].

2. Özellikle yapılan ölçümlerde baca gazı sıcaklığının yaklaşık % 40'nın 200 °C'nin üzerinde ve hatta kimi kazanlarda 350-450 °C sıcaklıkları arasında (yaklaşık % 5) olduğu görülmüştür[Ek-B].

3. Yine hava fazlalık katsayısının 2-4,5 gibi yanma tekniği açısından kabul edilemez sınırlarda olduğu tespit edilmiştir. Kimi kazan dairelerinde sürekli hava akımının oldukça şiddetli olduğu tespit edilmiştir. Bu durum özellikle kazan cidarlarından olan ısı kaybının artmasına neden olmaktadır. Yine aynı markada olan

bazı brülör ve kazanlarda hava fazlalık katsayısının ve dolayısıyla oksijen oranının çok yüksek olduğu durumlar tespit edilmiştir[Ek-C].

4. Bazı kazanlarda doğalgazda kükürt olmamasına rağmen kükürtoksitler tespit edilmiştir. Bu tespitin yapıldığı yerlerde ölçüm probunun genellikle bir is tabakasıyla kaplandığı, baca sorunlarının yaşandığı (bu yerlerde baca temizliğinin yapılmadığı belirlenmiştir), özellikle dönüşüm kazanlarında bu tip sorunların olduğu duman borularının yeterince temiz olmadığı, çift yakıtla çalışan kazanlarda bu tip sorunların yaşandığı vs gibi hususlar belirlenmiştir[Ek-D].

5. Ölçüm yapılan yerlerde, karbonmonoksit değerinin yaklaşık %35 oranında sınır değerlerin üstüne çıktığı ve hatta bazı yerlerde cihazın ölçebileceği maximum değer (4000 ppm) üstüne çıktığı tespit edilmiştir[Ek-D].

6. Azotoksitlerle ilgili olarak yapılacak değerlendirme için şu söylenebilir. Hemen hemen hiç bir yerde azotoksit sınır değerlerinin aşılmadığı görülmüştür.

7. Yine bölgesel bazda yapılan değerlendirme neticesinde şunları söylemek mümkündür. Özellikle kültürel ve sosyal yapının sistem kurdurmada, uygun yakma ortamları sağlamada, baca gazı analizini ve önemini anlamada ne kadar önemli bir husus olduğu gözlemlenmiştir. Bazı yerlerde yapılan bu işleme yaklaşımın çok iyi olduğu, bazı yerlerde ise önce tepki gösterdikleri ancak olayın önemi anlatıldığında insanların olumsuz bakışlarının oldukça müsbetleştigi ve ikna oldukları görülmüştür.

8. Ölçüm yapılan kazan dairelerinin önemli bir bölümünün kazan dairesinden sorumlu elemanı bulunduğu ve buna rağmen baca gazı analiz cihazı ile brülör ayarının yapılıp yapılmadığı konusunda net bir şey söyleyemedikleri görülmüştür.

9. Birçok ölçüm noktasında kazanların baca bağlantıları üzerinde herhangi bir ölçüm deliğine rastlanılmamıştır. Bu noktalarda ölçümler baca gazı ekibi tarafından delik açılarak yapılmıştır. Bu da göstermektedir ki ; birçok kazanın, ilk çalıştırma sırasında baca gazı analiz raporlarına göre brülör ayarları yapılmadan, devreye almaya gelen

servis elemanının tecrübesine bırakılarak, yanma tekniği açısından son derece yanlış uygulamalarla devreye alındığı tesbit edilmiştir.

10. Yine kazanların yıllık bakımlarının düzenli olarak yapılmadığı, yapılanların da son derece sıradan ve rastgele yapıldığı gözlemlenmiştir.

## 10.2. Öneriler

1. Baca gazı analizi konusunun önemi ve gerekliliği ile ilgili olarak abonelere bilgi verilmesi ve aydınlatılması gerekir.

2. Sanayi, ticari ve büyük kullanım olan yerler tespit edilerek bunlarda yapılacak ölçüm periyotları belirlenmelidir. Bunların ölçüm sıklığı daha fazla olmalı ve hatta cihaz kapasitelerine göre kontrol periyotları tespit edilmelidir.

3. Evsel kullanımda merkezi sistem sıcak su ve ısınmada kullanılan yakıcılar için de, ölçüm periyotları ve yöntemleri belirlenerek bir an evvel uygulanmalıdır. Bunun kazanların devreye alındığı Kasım ayı içerisinde yapılması tavsiye edilmektedir.

4. Bu çalışmada özellikle bacalarda yanlış dizayn ve uygulamaların yapıldığı, yoğunlaşma ve geri tepme olaylarının vuku bulduğu görülmüştür. Bacalar konusunun daha dikkatli bir şekilde ele alınarak değerlendirilmelidir. Zira bacalar konusunda genel anlamda önemli sorunların yaşandığı ( gerek kontrol gerekse işletme ) herkes tarafından bilinen bir gerçektir.

5. Baca gazı ölçüm cihazlarının kullandığı Siegert formülündeki katsayıların Türkiye'deki doğalgazın özelliklerine göre belirlenerek, baca gazı analiz cihazlarının hafızasına yüklenmesi, verim değerlerinin daha sağlıklı olarak belirlenmesinde önemli bir yer tutacaktır. Bununla ilgili olarak DIN normlarının edinilmesi gerekir.

### 10.3. Baca Gazı Analizi Uygulamalarının Yaygınlaştırılmasında İGDAŞ'ın Rolü

İstanbul'da hava kirliliğinin önlenmesindeki payı tartışılmaz olan doğalgazın, yakma sistemlerinde doğru yöntemlerle ve maksimum verimle kullanılabilmesi için, baca gazı analizi uygulamalarının yaygınlaştırılması şarttır. Bu noktada İstanbul Gaz Dağıtım Sanayii ve Anonim Şirketi (İGDAŞ) de çok önemli katkılar sağlayabilir. Bu hususları şöyle özetleyebiliriz:

1. Baca gazı analizlerinin fonksiyonları ve önemi noktasında, doğalgaz abonelerine bilgi verilmesi ve aydınlatılması sağlanabilir.

2. İGDAŞ tarafından binaların gaz açılma işlemi yapıldığında, bina yöneticisinden 15 gün içerisinde baca gazı analiz raporunu İGDAŞ Proje Kontrol Şefliğine teslim etmeleri bir yazı ile talep edilebilir.

3. Baca gazı analiz raporunu getirmeyen binaların baca gazı analizleri, Bölge Müdürlükleri bünyesinde oluşturulan bir ekip tarafından yapılabilir. Bu ekibin belli bir eğitimden geçirilmesi ve ekibin baş sorumlusunun karşılaşılan sorunları görebilecek ve yorumlayabilecek nitelikte bir kimse olması gerekir. Bu bakımdan bilgi ve tecrübe sahibi olabilecek kimsenin mühendis olmasında fayda vardır.

4. Baca gazı analizi yapılırken ölçümü yapacak ekibin zaman içerisinde kazanması gereken bir takım özellikler vardır. (Bunlar: Ölçüm alınacak noktanın belirlenmesi, Ölçüm sayısının tespiti, çalışılan cihazın özellikleri ve bunların devreye alınmaları, kazan dairesinin durumu vb.). Çalışacak ekibe bu konuda tecrübe aktarabilir ve diğer bölgelerdeki ölçüm ekipleriyle koordinasyon sağlanarak farklı uygulamaların yapılması engellenebilir.

5. Türkiye'de Çevre Bakanlığı, Sanayi Bakanlığı, Çevre Koruma Daire Başkanlığı ve TSE'nin çevre mevzuatlarında yer alan emisyon sınırları araştırılıp, bu kanun ve yönelmelik çerçevesinde kabul edilebilecek alt ve üst sınırlar İGDAŞ tarafından tesbit edilerek uygulamaya konulabilir.

6. Yeni gazlanan binalarda, servislerin ilk alıştırma sırasında baca gazı analizi yapmaları zorunlu hale getirilerek, bu analiz raporlarının -emisyon değerleri açısından- İGDAŞ tarafından kontrol edilmesi sağlanabilir.

7. Baca gazı analiz raporları, her yıl kış sezonuna girerken (örneğin Kasım ayı içerisinde) İGDAŞ'a verilmesi için merkezi sistem doğalgaz aboneleri mektupla uyarılabilir. (Mektuplar şebeke şefliklerince kendi bölgeleri dahilindeki abonelere imza karşılığı dağıtılabilir.)

8. İGDAŞ tarafından yapılan analizler için aboneden cüz'i miktarda ücret talep edilerek en azından Baca Gazı Analizi Ekibi'nin masrafları için gelir temin edilebilir. Yapılan ölçümlerin neticesinin olumlu olması durumunda, yapılan bu işlemin ücreti müşterinin faturasına ilave edilerek tahsil edilebilir. Şayet ölçüm sonucu uygun değilse kazanın uygun çalışma şartlarına getirilmesi için 15 gün süre verilebilir. (Bu işlemi ilgili kazan ve/veya brülör servislerine yaptırabileceklerdir.) Bu süre içerisinde analiz raporunun getirilmemesi durumunda ilgili çevre yönetmeliği ve gaz sözleşmesi gereğince abonenin gazı ihbarsız olarak kesilmelidir. Servislerden gelen raporlar doğrultusunda, -gerekirse- teyit amacıyla tekrar İGDAŞ tarafından kontrol edilebilir.

9. Abonelerin özel talepleri halinde, belli bir ücret karşılığı analiz yapılabilir.

10. Baca gazı analizi ölçümü yapan diğer servislerin analiz cihazlarının kalibrasyon raporları, güncel olarak İGDAŞ tarafından kontrol edilebilir.

11. Duman kanallarına açılacak ölçüm deliklerinin proje onay ve kontrol aşamalarında konulmasının sağlanması ve bu hususun proje yapımcılarına ve uygulayıcılarına bildirilmesi ve bunların yapılmasının istenmesi gerekir. Bu hususta oldukça çok sorun yaşanacaktır. Çoğu duman kanalında veya bacada ölçüm alma deliği olmadığından, bu kanallar üzerinde ölçüm alacak olan firma servis vs. meydana getirebilecekleri mağduriyetler ve hatalı uygulamalar, yakma sisteminin stabilitesini bozabilecektir.(Bunlar: İzolasyon sargılarının bozulması, ölçüm

deliklerinin yanlış açılarak sayılarının artırılması, baca girişlerinin zarar görmesi, duman kanallarının eğilmesi vs).Bu hususlara azami dikkat etmek gerekir.

12. Bölge Müdürlükleri'nde oluşturulan Baca Gazı Ölçüm Ekibi'nin bölge bünyesinde yaşanan baca problemlerini de kontrol ederek, karşılaşılan problemlerle ilgili ara raporlar ve yıllık raporlar vermesinde fayda olacaktır. Bu hususun önemle üzerinde durulması gerekir. Bu konuda bacalarda sorun olan yerlerin adresleri ve sorunun tipi konusunda şebeke şeflikleriyle bir bilgi akışının temini gerekir.





## KAYNAKLAR


- [1] ERTÜRK, F., “ İstanbul’un Hava Kirliliği Haritasının Çıkarılması ve Doğalgaz Kullanımına Öncelik Verilecek Bölgelerin Belirlenmesi ”, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı, İstanbul, Mart 1995.
- [2] WARK, K., WARNER, C.F., “ Air Pollution ”, Second Edition, Harper & Row Publishers, New York, 1981.
- [3] DURUKAN, H., “ Doğalgazlı ve Mazotlu Isı Üretim Tesislerinde NO<sub>x</sub> Azaltma Teknolojileri ”, I. Uluslararası Doğalgaz Kullanımı ve Dönüşümü Sempozyumu Bildirileri, İstanbul, 26-29 Kasım 1992.
- [4] ARAYICI, S., “ Doğalgaz Yanmalarında NO<sub>x</sub> Oluşumu ”, Doğalgaz Dergisi
- [5] BARTOK, W., et al., AICH E Symp. Ser. 126, Vol. 68, p 30, 1972.
- [6] MİLLER, J.A., and BOWMAN, C.T., “ Progress in Energy and Combustion Science ”, Vol. 15, 287-338, 1989.
- [7] “ Compilation of Air Pollutant Emission Factors ”, Fourth Edition, U.S. Environmental Protection Agency, V. 1 and 2, 1985.
- [8] LİM, K.J., et al., “Technology Assesment: Report for Industrial Boiler Applications: NO<sub>x</sub> Combustion Modification ”, EPA Contract No: 68-02-3101, 1979
- [9] “ Energy and Environment: Policy Overview ”, OECD Publications, p.203-206

- [10] ÖZGÜREL, B., EGELİ, M.S., “ En Yüksek Verim, En Az Etki: Kombine Çevrim Santralleri ”, 21. Yüzyılda Bütün Yönleriyle Enerji Semp., p.612-620, 1994
- [11] BOZACI, R.K., “ Endüstriyel Kazanlarda NOX Emisyonunu Azaltıcı Yöntemler ve Bir Uygulama ”, Doğalgaz Dergisi, Sayı 19, 63-70, 1992
- [12] YETSAN Teknik Dökümanları
- [13] ZANARDİ, L., “New Combustion Technologies Improve The Quality of Life”, ECOFLAM Technical Data Sheets.
- [14] PERKİNS, H.C., “ Air Pollution ”, Mc Graw - Hill Book Company, New York, 1974.
- [15] ÜSKENT, A., “ Kükürtoksitler ve Hava Kirliliği ”, Doğalgaz Dergisi, Sayı 38
- [16] MÜEZZİNOĞLU, A., “ Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları ”, İzmir, 1987.
- [17] HANBY, V.I., “ Combustion and Pollution Control in Heating Systems ”, Department of Civil Engineering, University of Technology, Loughborough, U.K., 1994.
- [18] DURUKAN, M., “ Endüstriyel/Ticari Doğalgaz Uygulamalarında Yanma Gazı Analizlerinin Yeri ”, I. Uluslararası Doğalgaz Kullanımı ve Dönüşümü Sempozyumu Bildirileri, İstanbul, 26-29 Kasım 1992.
- [19] AYDIN, C., KARABAY, İ., “ Doğalgazlı Yakma Sistemlerinin Veriminin ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi ”, V. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Bursa, 1996.
- [20] ÖZTÜRK, S., “ Doğalgazın Tarihçesi, Özellikleri ve Genel Bilgiler ”, Doğalgaz Uygulamaları, Ankara, Şubat 1991.

- [21] KARABAY, İ., “ Doğalgaz Hatlarının Dizayn Esasları ”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 1997.
- [22] BOTAŞ, “ Doğalgaz Seminer Notları ”, Ankara, 1996.
- [23] NAYYAR, M.L., “ Piping Handbook ”, New York, 1992I.
- [24] Doğalgaz Dergisi
- [25] KÜÇÜKÇALI, R., “Doğalgaz Tesisatı ”, Isısan Çalışmaları, No:75, Ocak 1994.
- [26] DAĞSÖZ, A.K., “ Doğalgaz Ders Notları ”
- [27] ÖNAL,İ., “ Çevresel Etkileri Açısından Doğalgaz ”, Doğalgaz Uygulamaları, Ankara, Şubat 1991.
- [28] Mc. ALLISTER, E.W., “ Pipe Line Rules of Thumb ”, Third Edition, Gulf Publishing Company, Houston, 1993.
- [29] BOYD, O.W., “ Petroleum Fluid Flow Systems ”, USA, 1993.
- [30] SEGELER, C.G., “ Gas Engineering Handbook ”, American Gas Assocation, New York, 1965.
- [31] KATZ, D.L., LEE, R., “ Natural Gas Engineering ”, Chemicial Engineering Series, New York, 1990.
- [32] TİTAŞ A.Ş., “ MRU Marka 95/3 CD ve 95/2D Model Baca Gazı Analiz Cihazı Kullanma Talimatı”

## EK-A: TS 11392'NİN İLGİLİ BÖLÜMLERİ

## TÜRK STANDARDI

BİRİNCİ		TS 11392 prEN 676/Nisan 1996
BASKI		ICS 01.040.27
BRÜLÖRLER-VANTİLATÖRLÜ-GAZ YAKITLAR İÇİN		
FORCED DROUGHT BURNERS FOR GASEOUS FUEL		

TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ  
Necatibey Caddesi, 112 Bakanlıklar/ANKARA

**4.4.1.5 - Emniyet Süreleri****4.4.1.5.1 - Ateşleme Emniyet Süresi****a) Ana Brülörün Elektrik İle Doğrudan Ateşlenmesi**

Müsaade edilen en uzun ateşleme emniyet süresi; brülörün giriş anma ısı yüküne ve ateşlemedeki hava ve gaz debilerine dayanır ve Çizelge 1'de belirtilen şekilde olmalıdır.

**b) Ana Brülörün Pilot Brülör İle Ateşlenmesi**

Aynı bir pilot brülör tarafından ateşlenen ana brülör için en uzun ateşleme emniyet süresi 5 saniye olmalıdır.

**c) Pilot Brülörün Ateşlenmesi;**

Bir pilot brülörün gücü, ana brülörün gücünün % 10'unu aşmamalı ve izin verilen ateşleme emniyet süresi 5 saniye olmalıdır.

**ÇİZELGE 1 - Doğrudan Elektrik İle Ateşlenen Brülörler İçin En Uzun Ateşleme Emniyet Süreleri**

Giriş Anma Isı Yükü (kW)	Giriş Anma Isı Yükünde Ateşleme Süresi (s)	Giriş Anma Isı Yükünün En Fazla % 33'ünde ve Gerçek Gaz Debisine Karşılık Gelen Hava Debisinde Ateşleme Süresi (s)	Giriş Anma Isı Yükünün En Fazla % 33'ünde ve Anma Gaz Debisine Karşılık Gelen Hava Debisinde Ateşleme Süresi (s)
$Q_N \leq 70$	5	5	5
$70 < Q_N \leq 120$	3	3	5
$120 < Q_N$	müsaade edilmez	3	5

Bu emniyet süreleri mutlak en uzun sürelerdir, dolayısıyla pozitif toleransı yoktur.

**4.4.1.5.2 - Sönme Emniyet Süresi**

Sönme emniyet süresi mesela alevin kaybolması üzerine sönme emniyet süresi bütün durumlar için en fazla bir saniye olmalıdır.

**4.4.1.6 - Yeniden Ateşleme**

Giriş ısı yükü 120 kW'a kadar olan brülörlerde, ateşlemenin başarısız olması halinde;

a) tek bir yeniden ateşleme teşebbüsü, bunun da başarısız olması halinde kilitleme, veya

b) kilitleme

meydana gelmelidir.

Giriş ısı yükü 120 kW'tan büyük olan brülörlerde, ateşlemenin başarısız olması halinde kilitleme meydana gelmelidir.

**4.4.1.7 - Brülörün Devre Dışı Bırakılması**

Sıcaklık sınırlayıcısı veya diğer emniyet tertibatları, emniyetsiz çalışma durumu sinyali verdiği zaman; emniyet kapatma valfine derhal kapatma sinyali verilmelidir (Güvenlik sebebiyle devre dışı bırakma). Bu kapatma sinyali, tahrik enerjisinin kaybolması halinde de meydana gelmelidir.

**4.4.2 - İşletme Kuralları****4.4.2.1 - Gaz Taşıyan Bileşenlerin Basınca Dayanıklılığı**

Brülörün en son devre dışı bırakma tertibatına kadar, gaz taşıyan bütün bileşenleri, hangisi daha büyük ise imalatçısı tarafından beyan edilen en yüksek çalışma basıncının 1,5 katı basınca veya 40 mbar basınca dayanıklı olmalıdır.

Giriş ısı yükü 300 kW'a kadar olan (300 kW dahil) brülörlerde, standard referans şartlar altında sızıntı (kaçak) 25 mm<sup>3</sup>/s hava veya eşdeğer bir akışkan miktarını geçmemelidir.

Giriş ısı yükü 300 kW'ı geçen brülörlerde sızıntı 25 mm<sup>3</sup>/s hava veya eşdeğer bir akışkan miktarına 300 kW'ı aşan her 20 kW için 1 mm<sup>3</sup>/s ilavesiyle bulunan değeri geçmemelidir.

**4.4.2.2 - Aşırı Isıya Dayanıklılık**

Madde 5.3.2'de belirtilen şartlar altında, brülörün değişik bileşenlerinde yanma sebebiyle oluşan yüzeysel değişikliklerden başka bir bozulma olmamalıdır.

**4.4.2.3 - Kontrol ve Emniyet Tertibatlarının Sıcaklıkları**

Madde 5.3.2'de belirtilen şartlar altında; ayarlama, kontrol ve emniyet tertibatlarının sıcaklıkları, bu tertibatların imalatçıları tarafından belirtilen değeri geçmemeli ve cihazların çalışmaları tatminkar olmalıdır.

**4.4.2.4 - Ateşleme-Çapraz Aydınlanma -Alev Kararlılığı**

Madde 5.3.3'de belirtilen şartlar altında; ateşleme ve çapraz aydınlanma hızlı bir şekilde, darbesiz ve doğru olarak gerçekleşmelidir. Alevler kararlı olmalı ve rahatsız edici gürültü oluşturmamalıdır. Ateşleme esnasında alevde hafif bir yükselme eğilimine müsaade edilebilir, fakat bundan sonra alevler kararlı olmalıdır.

Çalışmayı başlatma gazı alevi ayrı bir ateşleme brülöründe oluşturuluyorsa, çalışma şartlarında alev dedektörü sadece ana alevi güvenilir ve düzgün bir şekilde ateşleyebilecek gaz debisinde başlama gazı alevi oluştuğu zaman; onu algılayıp, göstermelidir.

Çalışma aralığı ayar tertibatı bulunan brülörlerde, bu şartlar imalatçı tarafından beyan edilen giriş anma ısı yükünde ve en düşük giriş ısı yükünde kontrol edilmelidir.

**4.4.3 - Brülörün Giriş Isı Yükü Aralığı**

Giriş anma ısı yükü ve en küçük giriş ısı yükü, Madde 5.8'de belirtilen şartlar altında ölçülmelidir.

**4.4.4 - Çift Yakıtlı Brülör**

Çift yakıtlı brülörde, kullanılmamakta olan yakıtın durumu, diğer yakıt ile emniyetli çalışmayı sağlayacak şekilde olmalıdır.

**4.4.5 - Brülörün Çalışma Alanı Diyagramı**

İmalatçı tarafından beyan edilen çalışma alanı diyagramı (bk. Şekil 5) aşağıda tarif edilen teorik sınırlar içine yerleştirilmelidir:

- Madde 5.4 ve Madde 5.5'e uygun olarak çizilen eğriler arası mesafe % 10 olmalıdır,
- Alt kararlılık sınırı ile, brülörün en küçük giriş ısı yükü arasındaki emniyet aralığı en az  $0,1 \times Q_{Bmin}$  olmalıdır,
- Brülörün giriş ısı yükü aralığı içerisinde üst kararlılık sınırı, hangisi uygunsa;

$$0,91 \times Q_{Bmax} + 0,1 \text{ mbar veya}$$

$$0,91 \times Q_{Bmax} - 0,1 \text{ mbar}$$

olmalıdır.

Burada;

$Q_B$  = Giriş ısı yükü (kW olarak)

dür.

- Yanma ürünlerindeki CO sınırı;  $0,95 \times Q_B$  olmalıdır. ( $Q_B$ ; Madde 4.4.7'de tarif edilen, yanma ürünlerinde 100 mg/kWh CO seviyesine karşılık gelen giriş ısı yüküdür),
- Üst basınç sınırı  $0,91 \times p_1$  olmalı, fakat + 0,1 mbar'dan küçük olmamalıdır ( $p_1$ ; yanma odasındaki kritik üst basınç değeridir),
- Alt basınç sınırı  $0,91 \times p_2$  olmalı, fakat -0,1 mbar'dan küçük olmamalıdır ( $p_2$ ; yanma odasındaki kritik alt basınç değeridir).

**4.4.6 - Alev Kararlılığının ve Emniyetli Çalışma Aralığının Belirlenmesi**

Brülör, Madde 5.4'de belirtilen deney şartları altında doğru olarak ve emniyetli bir şekilde çalışmalıdır. Alevler; darbesiz ve kararlı olmalıdır.

**4.4.7 - Yanma Ürünleri İçin Sınırlayıcı Değerler**

Madde 5.6'da belirtilen deney şartları altında; kuru, havadan arındırılmış yanma ürünlerindeki CO ve NO<sub>x</sub> miktarı aşağıda belirtilen miktarları aşmamalıdır.

Karbon monoksit (CO):

- a) Brülörün tasarımı olduğu grup veya ailenin referans gazı ile deneye tabi tutulması halinde, 100 mg/kWh (93 ppm),  
b) Brülörün, (a)'da belirtilen şartlar altında tasarımı olduğu grup veya ailenin eksik yanma sınır gazı ile deneye tabi tutulması halinde, 2140 mg/kWh (2000 ppm),

Azot Oksitler (NO<sub>x</sub>)

Referans şartlar;

- Ortam sıcaklığı : 20°C  
- Bağıl nem : % 70

- a) Brülörün G20 referans gazı ile deneye tabi tutulması halinde 170 mg/kWh (97 ppm),  
b) Brülörün G30 referans gazı ile deneye tabi tutulması halinde 230 mg/kWh (131 ppm).

#### 4.4.8 - Çalışmayı Başlatma Özellikleri

Madde 5.7'de belirtilen deney şartları altında, aşırı basınç dalgalanmaları veya alevde darbe (pulsation) olmamalıdır. Ateşlemeden itibaren en çok 20 saniye içinde basınç dalgalanmaları normal çalışmadaki seviyeye inmelidir. Bu şartlar, gözlem yapılarak doğrulanmalıdır.

## 5 - DENEY METOTLARI

### 5.1 - GENEL

#### 5.1.1 - Vantilatörlü Brülörler İçin Deney Gazları

Gazlar, aileler ve gruplar halinde sınıflandırılır. Vantilatörlü brülörler için Ek C; Çizelge C.1'de verilen deney gazlarından yapılan seçime göre hangi özelliğin denenmesinde hangi gazın kullanılacağı Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Brülörün performansı, Çizelge 2'de belirtilen ilgili deney gazlarının kullanılması ile doğrulanır. Brülör giriş ısı yükünün 300 kW'a eşit veya daha büyük olması halinde G20 ve G25 gazları yerine, dağıtımı yapılan grup H veya grup L gazının kullanılmasına izin verilir.

#### ÇİZELGE 2 - Deney Gazlarının Seçimi

	1'inci Aile	2'nci Aile		3'üncü Aile
		Grup H	Grup L	
Çıkış Gücü	G 110	G 20	G 25	G 30 G 31
Kararlılık Aralığı	G 110	G 20	G 25	G 30
	G 112			G 31
Yanma Kalitesi	G 110	G 20	G 25	G 30
			G 26	G 31
Sınır Gazları <sup>1)</sup>	G 112	G 25	G 25	-
- Geri tepme		G 23	G 27	
- Alev kopması				
1) Ön karışımli brülörlerde				

#### 5.1.2 - Deney Basınçları

Çizelge 3'de verilen deney basınçları en düşük basınç değerleridir. Gaz dağıtım ağında elde edilmesi mümkün olmak kaydıyla, imalatçı tarafından Çizelge 3'de belirtilenlerden daha yüksek basınçlar beyan edilebilir.

**ÇİZELGE 3 - Deney Basınçları**

Gaz Tipi	Anma Basıncı (mbar)	En Düşük Basınç (mbar)	En Yüksek Basınç (mbar)
1'inci Aile	8	6	15
	8	7,5	15
2'nci Aile Grup H	18	15	23
	20	18	25
2'nci Aile Grup L	25	20	30
	20	18	25
3' üncü Aile	28	20	35
	30	25	35
	37	25	45
	50	42,5	57,5
	67	50	80
	112	60	140
	148	100	180

**5.1.3 - Genel Deney Şartları****5.1.3.1 - Deney Standı**

Deney standı, deney alev borularını (örnek için Şekil 2'ye bakınız) ihtiva eder. Her bir deney alev borusu; iç çapı ile (0,225 m; 0,300 m; 0,400 m; 0,500 m; 0,600 m; 0,800 m), derinliği ile ve karşılık gelen çıkış gücü ile tarif edilir (bk. Şekil 3).

Her bir alev borusu verilen çıkış gücüne göre  $\pm$  % 10'luk bir fark içinde çalıştırılabilir.

İmalatçı, deney süresince alev borusunun en düşük veya en yüksek çıkış gücünden hangisinde kullanılacağını kararlaştırır.

Alev borusunun derinliği aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmalıdır:

$$l_1 = 0,23 \times \sqrt{\frac{Q_B}{10}}$$

Burada;

$Q_B$  = giriş ısı yükü (kW olarak);

$l_1$  = alev borusunun derinliği (m olarak)

dir.

Alev borusunun derinliği, arkadaki duvarın, borunun içine doğru boylamasına kaydırılması suretiyle ayarlanır.

Alev borusu, yanma odası çıkışında değişik basınç düşüşleri oluşturabilmek için panjur (klape) tertibatına sahip olmalıdır. Bu tertibat ile yanma odasındaki hakim basınç ayarlanabilir.

Ön duvar hariç bütün duvarlar soğutulur.

Alev borusunda, oluşturulan alevin göz ile kontrolüne imkan vermek üzere sızdırmazlığı sağlanmış pencereler bulunmalıdır. Alev borusundaki basıncı ölçmek mümkün olmalıdır.

Alevin, soğutulmuş arka duvara çarpması kabul edilebilir.

NOT - İmalatçının, Şekil 2'de gösterilen ölçülerden oldukça farklı ölçülerde bir yanma odasına ihtiyaç gösteren bir brülör geliştirmesi halinde, deneyler tipik bir kazanda veya yeni standard deney alev borusunun oluşturulmasına yol açacak başka bir deney alev borusunda yapılır. Bu durumda, brülörün tanıma plakasında bu konudan özellikle bahsedilmelidir.



**5.1.3.2 - Soğutma Ortamı**

Deney alev borusunda soğutma ortamının sıcaklığı;

- çalışmaya başlarken (bk. Madde 5.7),
- alev kopması sınır gazları kullanılarak, alev kararlılığı ve emniyetli çalışma sınırları tesbit edilirken (bk. Madde 5.4),
- alev kararlılığı ve çapraz aydınlanma deneylerinde (bk. Madde 5.3.4)

15°C ile 60°C arasındaki aralıkta mümkün olduğu kadar düşük değerde tutulmalıdır.

- geri tepme sınır gazı kullanılarak yapılan alev kararlılığı ve emniyetli çalışma aralığı deneylerinde (bk. Madde 5.4),
- yanma özelliklerinin tayin edilmesinde (bk. Madde 5.6),
- giriş ısı yükü aralığının belirlenmesinde (bk. Madde 5.8).

Isıl denge sağlanmalı ve soğutma ortamının sıcaklığı 50°C ila 60°C arasında olmalıdır.

**5.1.3.3 - Deney Odası**

Brülör, tam olarak havalandırılan hava ceryanı olmayan, ortam sıcaklığı 20°C ± 5°C olan bir odaya tesis edilir.

**5.1.3.4 - Yanma Ürünlerinin Tahliyesi**

Deney alev borusu, Şekil 2'de belirtilen düşey bir bacaya bağlanır.

Yanma ürünlerinden, Şekil 6'da gösterildiği gibi numune alınır.

**5.1.3.5 - Elektrik Beslemesi**

Brülör, aksi belirtilmediği takdirde, anma geriliminde bir elektrik beslemesine bağlanır.

**5.1.3.6 - Brülörün Tesis Edilmesi**

İmalatçı, brülörün kendi talimatlarına göre tesis edilmesi için gerekli bütün donanımları bulunan bir brülörü deney laboratuvarına vermelidir.

Deneye tabi tutulacak brülör, Şekil 2'de belirtildiği gibi alev doğrultucu ile yanma odasının arka duvarı arasındaki mesafe  $l_1$  olacak şekilde, deney alev borusuna bağlanır.

Arka duvardaki panjur tertibatı ayarlanarak, yanma odası içinde üst basınç oluşturulur.

Alt basınçta çalışan brülörlerin deneye tabi tutulması için aspiratör (ölçme tertibatından sonra) gerekir veya istenen değerler el ile ayarlanan tertibatlarla ya da geri besleme sistemi ile temin edilir.

Belirli bir ısı üreticisinde veya başka bir deney alev borusunda deneye tabi tutulacak brülörler, imalatçısının talimatlarına uygun olarak tesis edilmelidir.

**5.1.3.7 - Ölçümlerin Doğruluğu****5.1.3.7.1 - Ölçü Aletlerinin Ölçme Toleransları**

İlgili kurallarla başka türlü belirtilmediği takdirde, ölçü aletleri aşağıda verilen doğruluklarda ölçme yapabilecek şekilde olmalıdır:

- ısı değeri	± % 0,5;
- yoğunluk	± % 0,5;
- gaz sıcaklığı	± 0,2 K;
- süre	± 0,1 s;
- gaz basıncı	± 0,1 mbar;
- atmosfer basıncı	± 0,5 mbar;
- yanma ürünleri içindeki zararlı maddeler (CO, No <sub>x</sub> )	± 5 ppm;
- kütle	± % 0,5;
- gaz basıncı	± % 0,5;
- yüzey sıcaklığı	± 2 K.

Karbon monoksit (CO) miktarı; 50 ppm ila 2000 ppm arasında karbon monoksit (CO) ölçebilen aletlerle ölçülür. Bu kullanım aralığı içinde, metot 50 ppm'e kadar seçilebilmeli ve doğruluğu 20 ppm olmalıdır.

Günümüzde bu şartları sağlayan ölçüm aletleri kızılötesi (infrared) tip aletlerdir. Ancak numunedeki CO<sub>2</sub>'den gelebilecek girişimleri önlemek için tedbirler alınmalıdır.

CO<sub>2</sub> miktarı % 5 doğruluğa sahip bir metot ile ölçülmelidir. Kızılötesi (infrared) ölçüm aletleri tavsiye edilir. Orsat tipi bir cihaz kullanılacak ise; yanma ürünleri numunesindeki CO<sub>2</sub> miktarı % 2 veya daha fazla olmalıdır.

#### 5.1.3.7.2 - Deney Süresince Ölçüm Belirsizlikleri:

- yanma odasının uzunluğu (l <sub>1</sub> )	± % 3;
- brülör girişinde hava sıcaklığı	± 2 K;
- çalışma esnasında yanma odasındaki basınç	± % 5;
- çalışmanın başlatılmasında yanma odasındaki basınç	± % 10;
- yakıt debisi	± % 2,5;
- CO <sub>2</sub> miktarı (hacim itibarıyla)	± % 0,3
- O <sub>2</sub> miktarı (hacim itibarıyla)	± 10 ppm
- CO miktarı	± 10 ppm
- NO <sub>x</sub> miktarı	± 10 ppm

#### 5.1.4 - Deney Tipleri

##### 5.1.4.1 - Genel

Her brülör büyüklüğü, ayrı bir ünite olarak deneye tabi tutulur.

Tam bir ünite, brülör ve donanımlarından meydana gelir; Şekil 1'de bu standarda uygun bir brülörde bulunması gereken en az donanım gösterilmiştir.

##### 5.1.4.2 - Tip Deneyi

Tip deneyi, imalatçı tarafından sağlanan bir deney standında veya tesisatta yapılan deneydir.

Deneyin gayesi, brülörün standartlara uygunluğunun tespit edilmesidir.

##### 5.1.4.3 - Tamamlayıcı Deney

Brülöre daha sonra ilave edilen veya değiştirilen bir bileşenin, brülörün standartlara uygunluğuna olan etkisini belirlemek üzere yapılan deneydir.

##### 5.1.4.4 - Yapısal Deney

Deneylerin tamamlanmasından sonra, brülörün yapısı ile teknik resim arasında yapılan bir karşılaştırmadır. Gerekirse bu amaç için brülör sökülür.

Bir gaz tipinden diğer bir gaz tipine dönüşüm amaçlanıyor ise, dönüşüm için gerekli bütün parçalar, brülör ile birlikte ve uygun deney gazları kullanılarak deneye tabi tutulur.

##### 5.1.4.5 - Tek Bir Brülörün Denenmesi ve Kontrolü

İmalatçı veya yetkili bir kuruluş, brülörün standartlara uygunluğunu kontrol etmek için tek bir brülörün deneye tabi tutulmasını isterse veya tek olarak üretilen bir gaz brülörü, yapılmayan tip deneyinin yerine, deneye tabi tutulmak istenirse; bu deney veya kontrol; uygun bir ısı üretici ile veya tüm tesisatın kontrolü çerçevesinde yapılır. Deney için; deneye tabi tutulacak brülör ile teçhiz edilmiş olan ısı üreticisi, deney tertibatı olarak kabul edilir.

Brülörün deneye tabi tutulması için istenen şartlar aşağıda verilmiştir:

- 1) Bu standard tarafından istenen donanımların mevcudiyetinin doğrulanması,
- 2) Bütün emniyet tertibatlarının fonksiyon deneylerinin yapılması,
- 3) Brülör kontrol sisteminin IEC 730-2-5'e göre deneye tabi tutulması. (TS 11042 prEN 298'e göre deneye tabi tutulmuş ve onaylanmış bileşenler için yukarıdaki deney gerekmez).

- 4) Brülörün en büyük ve en küçük giriş ısı yüklerinin doğrulanması.
- 5) Brülörün çalışmaya başlatılmasında, en büyük ve en küçük giriş ısı yüklerinde ve yanma odasındaki uygun basınca göre giriş ısı yükünün değiştirilmesi halinde alev kararlılığının doğrulanması. Deney sırasında, kabul edilemez basınç değişiklikleri olmamalıdır.
- 6) Bacada gereken havalandırmanın mevcudiyetinin doğrulanması ve emniyet sürelerinin gözlenmesi.
- 7) Yanma özelliklerinin, yani en küçük, ortalama ve en büyük giriş ısı yüklerinde CO<sub>2</sub> - ve mümkünse O<sub>2</sub> - miktarlarının belirlenmesi.

#### 5.1.4.6 - Teknik Resim Kontrolü

Önceki tasarıma göre brülörün yapısı değiştirilmiş veya genişletilmiş ise; imalatçı teknik resim kontrolü için müracaat edebilir.

Teknik resim kontrolü, verilen teknik resim ve teknik dokümanlara dayanılarak yapılır ve öngörülen değişikliğin standardın şartlarına uygunluğu etkileyip etkilemediğini kapsar. Bu kontrol; sadece Madde 5.2.4.2'ye uygun olarak tip deneyine tabi tutulmuş ve standarda uygunluğu onaylanmış brülörlere uygulanır.

Deneyleri yapan kuruluş, teknik resim kontrolünden sonra, duruma göre Madde 5.2.4.2'deki deneyin tekrarlanmasını da talep edebilir.

#### 5.1.5 - Deney Dokümanları

5.1.5.1 - İmalatçı veya deney için başvuranlar, deneyi yapacak kuruluşa, deneyden önce aşağıdaki dokümanlardan ikişer kopya vermelidir:

- a) Tarihli ve yetkililer tarafından imzalanmış imalat resimleri. Teknik resimlerde ilgili enine kesit görünüşleri de olmalı, brülör ve ana parçalarının yapısı hakkında açık bir resim elde edilebilmelidir. Ünitenin komple ana görünüş resmi de ayrıca verilmelidir.
- b) Brülörün bir tarifi, uygulanabiliyorsa kullanılan bileşenlerin detaylı tanıtımı, tasarım ve yapılışı, tesisi (montaj) ve bakımı ile ilgili bilgiler, giriş ısı yükü aralığı, bağlantıları ve brülör basınç aralığı.
- c) Elektrikli devre elemanlarının ve bunların montajının yürürlükteki elektrik kaidelerine uygun olduğunun imalatçı tarafından beyan edilmesi.
- d) Brülörün tip numarası veya sembolünün belirtilmesi,
- e) Kullanılan malzemeler ile ilgili bilgiler.
- f) Brülörün hangi tip gaz ile kullanılmak üzere yapıldığının belirtilmesi.
- g) Brülörün elektrik bağlantısı ile ilgili bilgiler.
- h) Brülörün tesisi (montajı), ayarlanması ve çalıştırılması ile ilgili talimatlara, kablo bağlantı ve fonksiyon şemaları.

5.1.5.2 - Tek bir brülörün denenmesi veya kontrolü için, deneyi yapacak olan kuruluşa, listede belirtilen deney dokümanlarına ilaveten, kablo bağlantı şeması ve tesisatın tarifi de verilmelidir.

#### 5.1.6 - Deney Raporu

Deney raporu, deneylerin tatminkar bir şekilde tamamlanmasından sonra derlenip, yazılır. Deney raporunda yapılan deneyin türü (mesela tip deneyi vb.) gösterilmelidir. Deney raporu, gerekli detayları ile brülörün tanımını ve deneylerin sonuçlarını da içermelidir. Deney raporunun sonunda, brülörün kullanımı ile ilgili esas veriler verilmelidir.

#### 5.2 - FONKSİYONEL ŞARTLAR

Brülör, imalatçısının talimatlarına ve Madde 4.2.1'e uygun olarak tesis edilir ve aksi beyan edilmediği takdirde, elektrik besleme gerilimi; beyan edilen gerilimin ( $V_N$ ) 0.85'ine ayarlanır.

Bu şartlar altında her bir bileşenin ve brülör bileşenlerinin doğru olarak çalıştığı tespit edilir.

## EK B

## YANMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

## (Bilgi İçin)

**B.1 - Karbon Monoksit ve Azot Oksitler**

Isı yükü ayarlanabilen brülörlerde deneyler giriş anma ısı yükünde ve imalatçı tarafından bildirilen en düşük giriş ısı yükünde yapılır.

Modülasyonlu brülörler; giriş anma ısı yükünde ve kontrol tertibatları tarafından verilen en düşük giriş ısı yükünde deneye tabi tutulur.

Brülör ısı dengeye ulaştıktan sonra, yanma ürünlerinden ortalama bir numune alınır.

Kuru, havadan arındırılmış yanma ürünlerindeki CO miktarı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$\% \text{CO} = \% (\text{CO}_2)_N \times \frac{(\text{CO})_M}{(\text{CO}_2)_M}$$

Burada;

- % CO : kuru, havadan arındırılmış yanma ürünlerindeki karbon monoksit miktarı,  
 % (CO<sub>2</sub>)<sub>N</sub> : kuru, havadan arındırılmış yanma ürünlerinde bulunabilmesi mümkün olabilen en yüksek karbon dioksit miktarı,  
 (CO)<sub>M</sub> : yanma deneyi sırasında alınan yanma ürünleri numunesinde ölçülen ve % ile ifade edilen karbon monoksit konsantrasyonu,  
 (CO<sub>2</sub>)<sub>M</sub> : yanma deneyi sırasında alınan yanma ürünleri numunesinde ölçülen ve % ile ifade edilen karbon dioksit konsantrasyonu

dur.

Kuru, havadan arındırılmış yanma ürünlerindeki azot oksit miktarı (NO<sub>x</sub>) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$(\text{NO}_x)_N = (\text{CO}_2)_N \times \frac{(\text{NO}_x)_M}{(\text{CO}_2)_M}$$

Burada;

- (NO<sub>x</sub>)<sub>N</sub> : kuru, havadan arındırılmış yanma ürünlerindeki azot oksit miktarı,  
 (CO<sub>2</sub>)<sub>N</sub> : kuru, havadan arındırılmış yanma ürünlerinin ihtiva edebileceği en yüksek karbon dioksit miktarı,  
 (NO<sub>x</sub>)<sub>M</sub> : yanma deneyi sırasında alınan yanma ürünleri numunesinde ölçülen ve ppm ile ifade edilen azot oksit konsantrasyonu,  
 (CO<sub>2</sub>)<sub>M</sub> : yanma deneyi sırasında alınan yanma ürünleri numunesinde ölçülen ve ppm ile ifade edilen karbon dioksit konsantrasyonu

dur.

Deney gazları için (CO<sub>2</sub>)<sub>N</sub> miktarları, aşağıda Çizelge B.1'de yüzde olarak verilmiştir.

**ÇİZELGE B.1 - Deney Gazları İçin (CO<sub>2</sub>)<sub>N</sub> Miktarları**

Gazın Gösterilişi	G 110	G 20	G 21	G 25	G 26	G 30	G 31
% (CO <sub>2</sub> ) <sub>N</sub>	7,6	11,7	12,2	11,5	11,8	14,0	13,7

Wobbe sayısında  $\pm$  % 2 bir farklılığı olan (bk. Madde 5.1.2) başka bir gazın kullanılması halinde, yeniden hesaplama yapmak gerekir.

Kuru, havadan arındırılmış yanma ürünlerindeki karbon monoksit miktar aşağıdaki eşitlik ile de hesaplanabilir:

$$\% \text{ CO} = \frac{21}{21 - (\text{O}_2)_M} \times (\text{CO})_M \text{ (numunedeki)}$$

Burada;

(O<sub>2</sub>)<sub>M</sub> : yanma deneyi sırasında alınan numunede ölçülen ve % olarak ifade edilen oksijen konsantrasyonu,

(CO)<sub>M</sub> : yanma deneyi sırasında alınan numunede ölçülen ve % olarak ifade edilen karbon monoksit konsantrasyonu

dur.

Bu eşitliğin, CO<sub>2</sub> miktarına dayanan eşitlikten daha hassas sonuç verdiği hallerde kullanılması tavsiye edilir.

EK-B: T<sub>gaz</sub> DEĞERLERİ YÜKSEK ÖLÇÜMLERSSK. ÖKMEYDANI HŞS.  
KAZAN DA. NO:2

Customer: İ. KADEME

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/300 \*  
\*\*\*\*\*Time : 16:21:05  
Date : 19.03.1998

Nat gas H blow 12.2%

TRoom	16.3	DEG.C
TGas	471.5	DEG.C
O2	0.0	%
CO	---	PPM
SO2	1505	PPM
	4302	ms/m3
	3684	ms/ 3%O2
NOX	47	PPM
	64	ms/m3
	54	ms/ 3%O2
ref. to NO2:		
	96	ms/m3
	82	ms/ 3%O2
CO2	12.2	%
LOSS	17.3	%
EFF	82.1	%
Ex.air	1.00	
Draft	- 0.60	hPa
Soot	---	---
Oiltest	negative	

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibeykoy  
İSTANBUL

MÖWENPICK OTEL

Customer: KAZAN NO:2

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/300 \*  
\*\*\*\*\*Time : 14:53:30  
Date : 20.04.1998

Nat gas L blow 11.7%

TRoom	20.5	DEG.C
TGas	236.1	DEG.C
O2	6.8	%
CO	113	PPM
	141	ms/m3
	170	ms/ 3%O2
SO2	11	PPM
	331	ms/m3
NOX	29	PPM
	70	ms/m3
	99	ms/ 3%O2
ref. to NO2:		
	117	ms/m3
	148	ms/ 3%O2
CO2	7.9	%
LOSS	14.6	%
EFF	85.4	%
Ex.air	1.48	
Draft	- 1.74	hPa
Soot	---	---
Oiltest	negative	

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibeykoy  
İSTANBULÖZ-ÜMIT SİTESİ  
B-BLOK KAZAN DAİRESİ

Customer: İ. KAZAN

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/300 \*  
\*\*\*\*\*Time : 17:08:29  
Date : 20.03.1998

Nat gas H blow 12.2%

TRoom	14.6	DEG.C
TGas	235.9	DEG.C
O2	6.5	%
CO	355	PPM
	443	ms/m3
	550	ms/ 3%O2
SO2	0	PPM
	0	ms/m3
	0	ms/ 3%O2
NOX	36	PPM
	49	ms/m3
	60	ms/ 3%O2
ref. to NO2:		
	73	ms/m3
	90	ms/ 3%O2
CO2	8.4	%
LOSS	11.7	%
EFF	88.3	%
Ex.air	1.45	
Draft	- 0.80	hPa
Soot	---	---
Oiltest	negative	

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibeykoy  
İSTANBUL

EK-C:  $\lambda$  (HFK) DEĞERLERİ YÜKSEK ÖLÇÜMLEREKİNCİLER HOLDİNG  
KAZAN DAİRESİ

Customer: KAZAN NO:2

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/3CD \*  
\*\*\*\*\*Time : 14:50:26  
Date : 30.03.1998

Nat gas H blow 12.2%

TRoom	14.4 DEG.C
TGas	185.0 DEG.C
O2	16.1 %
CO	533 PPM
	665 ms/m3
	2479 ms/ 3%O2
SO2	0 PPM
	0 ms/m3
	0 ms/ 3%O2
NOX	0 PPM
	0 ms/m3
	0 ms/ 3%O2
ref. to NO2:	0 ms/m3
	0 ms/ 3%O2
CO2	2.8 %
LOSS	24.0 %
EFF	76.0 %
Ex.air	4.35
Draft	- 0.86 hPa
Soot	- - - - -
Oiltest	negative

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibekoy  
ISTANBULNİŞANTAŞI IŞIK LİSESİ,  
İLKOKUL KAZAN DAİRESİ

Customer: KAZAN NO:1

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/3CD \*  
\*\*\*\*\*Time : 10:43:44  
Date : 31.03.1998

Nat gas H blow 12.2%

TRoom	17.5 DEG.C
TGas	140.7 DEG.C
O2	14.5 %
CO	2581 PPM
	3223 ms/m3
	9014 ms/ 3%O2
SO2	0 PPM
	0 ms/m3
	0 ms/ 3%O2
NOX	0 PPM
	0 ms/m3
	0 ms/ 3%O2
ref. to NO2:	0 ms/m3
	0 ms/ 3%O2
CO2	3.7 %
LOSS	13.4 %
EFF	86.6 %
Ex.air	3.29
Draft	- 0.45 hPa
Soot	- - - - -
Oiltest	negative

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibekoy  
ISTANBUL

## MUHSİN ERTUĞRUL

Customer: KAZAN NO:2

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/3CD \*  
\*\*\*\*\*Time : 09:50:03  
Date : 31.03.1998

Nat gas H blow 12.2%

TRoom	16.1 DEG.C
TGas	171.1 DEG.C
O2	16.0 %
CO	1982 PPM
	2475 ms/m3
	9041 ms/ 3%O2
SO2	0 PPM
	0 ms/m3
	0 ms/ 3%O2
NOX	0 PPM
	0 ms/m3
	0 ms/ 3%O2
ref. to NO2:	0 ms/m3
	0 ms/ 3%O2
CO2	2.9 %
LOSS	18.4 %
EFF	81.6 %
Ex.air	4.20
Draft	- 0.51 hPa
Soot	- - - - -
Oiltest	negative

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibekoy  
ISTANBUL

## KANAL D

Customer: KAZAN NO:1

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/3CD \*  
\*\*\*\*\*Time : 15:23:07  
Date : 01.04.1998

Nat gas H blow 12.2%

TRoom	21.1 DEG.C
TGas	143.1 DEG.C
O2	12.9 %
CO	219 PPM
	273 ms/m3
	510 ms/ 3%O2
SO2	0 PPM
	0 ms/m3
	0 ms/ 3%O2
NOX	3 PPM
	4 ms/m3
	8 ms/ 3%O2
ref. to NO2:	6 ms/m3
	13 ms/ 3%O2
CO2	4.7 %
LOSS	10.7 %
EFF	89.3 %
Ex.air	2.59
Draft	- 0.73 hPa
Soot	- - - - -
Oiltest	negative

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibekoy  
ISTANBUL

## EK-D: CO ve SO<sub>2</sub> DEĞERLERİ YÜKSEK ÖLÇÜMLER

### JANDARMA BÖLGE KOM. MERKEZ KAZAN DA.

Customer: **KAZAN NO:1**

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/3CD \*  
\*\*\*\*\*

Time : 15:41:55  
Date : 26.03.1998

Nat gas H blow 12.2%

TRoom 10.2 DEG.C  
TGas 245.4 DEG.C  
O2 0.2 %  
CO ---- PPM  
SO2 166 PPM  
474 mg/m3  
409 mg/ 3%O2  
NOX 41 PPM  
56 mg/m3  
48 mg/ 3%O2  
ref. to NO2:  
84 mg/m3  
72 mg/ 3%O2  
CO2 12.1 %  
LOSS 9.3 %  
EFF 90.7 %  
Ex.air 1.00  
Draft 1.15 hPa  
Soot - - - - -  
Oiltest negative

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibeykoy  
ISTANBUL

### FAHRI TEKSTİL

Customer: **TEK KAZAN**

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/3CD \*  
\*\*\*\*\*

Time : 10:03:16  
Date : 25.04.1998

Nat gas L blow 11.7%

TRoom 18.6 DEG.C  
TGas 177.2 DEG.C  
O2 3.2 %  
CO ---- PPM  
SO2 0 PPM  
0 mg/m3  
0 mg/ 3%O2  
NOX 37 PPM  
50 mg/m3  
50 mg/ 3%O2  
ref. to NO2:  
75 mg/m3  
75 mg/ 3%O2  
CO2 9.9 %  
LOSS 7.3 %  
EFF 92.7 %  
Ex.air 1.18  
Draft 0.00 hPa  
Soot - - - - -  
Oiltest negative

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibeykoy  
ISTANBUL

### FRANSIZ LAPE HAST. B BLOK

Customer: **KAZAN NO:1**

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/3CD \*  
\*\*\*\*\*

Time : 10:24:30  
Date : 29.04.1998

Nat gas L blow 11.7%

TRoom 19.9 DEG.C  
TGas 188.9 DEG.C  
O2 0.0 %  
CO ---- PPM  
SO2 54 PPM  
154 mg/m3  
131 mg/ 3%O2  
NOX 43 PPM  
53 mg/m3  
50 mg/ 3%O2  
ref. to NO2:  
80 mg/m3  
75 mg/ 3%O2  
CO2 11.7 %  
LOSS 6.8 %  
EFF 93.2 %  
Ex.air 1.00  
Draft 0.31 hPa  
Soot - - - - -  
Oiltest negative

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibeykoy  
ISTANBUL

### TÜRK TELEKOM SANTRAL

Customer: **KAZAN NO:1**

\*\*\*\*\*  
\* M R U 95/3CD \*  
\*\*\*\*\*

Time : 16:20:58  
Date : 27.03.1998

Nat gas H blow 12.2%

TRoom 15.2 DEG.C  
TGas 215.0 DEG.C  
O2 4.2 %  
CO ---- PPM  
SO2 8 PPM  
22 mg/m3  
23 mg/ 3%O2  
NOX 40 PPM  
55 mg/m3  
58 mg/ 3%O2  
ref. to NO2:  
82 mg/m3  
87 mg/ 3%O2  
CO2 9.7 %  
LOSS 9.4 %  
EFF 90.6 %  
Ex.air 1.25  
Draft 0.18 hPa  
Soot - - - - -  
Oiltest negative

IGDAS  
Kazim Karabekir C.  
Alibeykoy  
ISTANBUL



## ÖZGEÇMİŞ

Cihat AYDIN, 20.10.1973 tarihinde Ordu'nun Fatsa ilçesinde doğdu. İlköğrenimini ve orta öğreniminin ilk yılını köyünde okuduktan sonra, devlet parasız yatılı imtihanlarını kazandı. Sırasıyla Ordu Hamdullah Suphi Tanrıöver Ortaokulu ve Ordu Lisesi'ni bitirdi. 1990 yılında girdiği İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1995 yılında mezun oldu. Öğrenciliği sırasında Sakarya'da yayın yapan özel bir radyoda, Halkla İlişkiler Koordinatörü olarak bir yıl çalıştı. Mezun olduktan sonra İGDAŞ (İstanbul Gaz Dağıtım Sanayii ve Ticaret A.Ş.) Beyoğlu Bölge Müdürlüğü'nde mühendis olarak göreve başladı. Şubat 1996'da Sa.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği ana bilim dalında lisans üstü eğitimine başladı. "Toplam Kalite Yönetimi", "Temel Yönetim Teknikleri" ve "Doğalgaz Hatlarında Katodik Koruma Uygulamaları" konularında eğitim seminerlerine katıldı. Halen İGDAŞ Gaziosmanpaşa Şebeke Şefliği'nde mühendis olarak görevine devam etmektedir.