T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAMİTABAT KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALİNDE EMİSYON MİKTARLARININ TESPİTİ VE EMİSYONLARIN AZALTILMASI İÇİN KULLANILABİLECEK TEKNİKLER

Yakup KAHRAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: Yrd.Doç.Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU
EDİRNE - 2014

HAMİTABAT KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALİNDE EMİSYON MİKTARLARININ TESPİTİ VE EMİSYONLARIN AZALTILMASI İÇİN KULLANILABİLECEK TEKNİKLER

Yakup KAHRAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

2014

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof.Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof.Dr. Tamer TIMARCI
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri **İmza**

Yrd.Doç.Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU

Yrd.Doç.Dr. Berrin KARAÇAVUŞ

Yrd.Doç.Dr. Fikret İŞIK

Tarih:10/01/2014

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜH. A.B.D. YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim**.**

17/09/2013
Yakup KAHRAMAN

Yüksek Lisans Tezi

Hamitabat Kombine Çevrim Santralinde Emisyon Miktarlarının Tespiti ve Emisyonların Azaltılması için Kullanılabilecek Teknikler

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Müh. Anabilim Dalı

ÖZET

Son yıllarda, doğalgaz yakan gaz türbinlerinin boyut ve etkinliklerinde artma emisyonlar üzerinde sıkı çevre mevzuatı zemini oluşturdu. Gaz türbin tasarımcıları emisyonları korurken veya azaltırken çevrim verimini iyileştiren sürekli olarak araştırma yapmaktadırlar. Bunlar sık sık çatışan hedefler olduğu gerçeğinden dolayı araştırmalar daha zor gerçekleştirilir. Düşük kirletici madde emisyon oranları elde etmek için, çeşitli yanma öncesi ve yanma sonrası kontrol teknolojilerinden ya tek başına ya da kombinasyon halinde faydalanılmaktadır.

Bu çalışmada, Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde kullanılabilecek kontrol teknolojileri ve gaz türbinleri üzerindeki etkileri incelenmektedir. Avantajlar ve dezavantajlar emisyon kontrol teknolojilerinin problemleri ile birlikte detaylı olarak incelenmektedirler.

Yıl **:** 2014

Sayfa Sayısı **:** 64

Anahtar Kelimeler **:** Emisyon, gaz türbin, çevre, azot oksitler, karbon monoksit, yanma, kirletici maddeler

Master of Science Thesis

Determination of the Emissions in Hamitabat Combined Cycle Power Plant and Techniques That Can Be Used to Reduce Emissions

T.U. Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

SUMMARY

The increase, in recent years, in the size and efficiency of gas turbines burning natural gas has occurred against a background of tightening environmental legislation on the emissions. Gas turbine designers continually research to improve cycle efficiency while maintaining or reducing emissions. These researches are made more difficult by the fact that these are often conflicting goals. To achieve lower pollutant emission rates, a variety of pre-formation and post-formation control technologies have been utilized either individually or in combination.

In the study, the control technologies that will be used in Hamitabat Combined Cycle Power Plant and effect on gas turbine have discussed . Avantages and disadvantages have analysed with problems of emissions control techniques in details.

Year **:** 2014

Page Count **:** 64

Key Words **:** Emission, gas turbine, environment, nitrogen oxides, carbon monoxide, combustion, pollutants

TEŞEKKÜR

Seminer konusunun seçiminde bu çalışmanın gerçekleşmesinde yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini aktaran, değerli hocam Prof. Dr. Ahmet CİHAN başta olmak üzere, danışmanım Yrd.Doç.Dr.Oktay HACIHAFIZOĞLU'na çalışmam sırasında yaptığı yardımlar için eski ve yeni HEAŞ Genel Müdürlerimiz Abdurrezzak KATIRCIOĞLU ve İbrahim KAPUSUZ'a ve tezimin her aşamasında yapıcı fikirlerini ve deneyimlerini benimle paylaşan Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü hocalarına sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca, bana her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen sevgili eşime en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunmaktan kıvanç duyarım.

Faydalı olması dileğiyle…

Yakup KAHRAMAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	viii
BÖLÜM 1	
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
BÖLÜM 2	
2. GAZ TÜRBİN	3
BÖLÜM 3	
3.HAMİTABAT DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALİ	4
3.1. Kuruluş	4
3.2. Gaz Türbin ve Buhar Türbin Teknik Özellikleri	6
3.2.1. Gaz Türbin	6
3.2.2. Buhar Türbin	7
3.3. Santral Teknik Verileri	10
BÖLÜM 4	
4. GAZ YAKITLARIN YANMASI	17
BÖLÜM 5	
5. GAZ TÜRBİNLERİNDE EMİSYON	18
5.1. NO_x Oluşumu	21
5.2. CO ve UHC oluşumu	23
5.3. Sülfür Oksit Oluşumu	24
5.4. Partikül Oluşumu	25

İÇİNDEKİLER (Devam) **Sayfa**

5.5. Duman oluşumu 25

BÖLÜM 6

6. GAZ TÜRBİNLERİNDE NO_x OLUŞUMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER 26

6.1. Yakıcı Tasarımı 26

6.2. Türbin Çıkış Gücü 27

6.3. Yakıt Tipi 27

6.4. Ortam şartları 28

6.5. Çalışma Döngüsü 28

BÖLÜM 7

7. HAMİTABAT KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALİ EMİSYON MİKTARLARI 29

BÖLÜM 8

8. GAZ TÜRBİNLERİNDE NO_x EMİSYONU KONTROL TEKNOLOJİLERİ 46

8.1. Su/Buhar Enjeksiyonu 47

8.2. Fogging Sistemi 48

8.3. Dry Low NO_x Yakıcılar 49

8.4. Katalitik Yanma ve Yakıcılar 51

8.5. Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) 53

8.6. $SCONO_x$ Katalitik Emme Sistemi 55

8.7. RQL Yakıcılar 56

BÖLÜM 9

9. TARTIŞMA VE SONUÇ 58

KAYNAKLAR 60

ÖZGEÇMİŞ 64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Alstom 13DM Gaz Türbin 7
Şekil 3.2. Alstom Buhar Türbin 9
Şekil 3.3. Şematik Yerleşim Planı 9
Şekil 5.1. Alev Sıcaklığının Emisyonlara Etkisi 18
Şekil 5.2. Tipik Bir Yakıcıda NO_x Bölgesi 21
Şekil 5.3. NO-Yanma Sıcaklığı-Hava/Yakıt oranı İlişkisi 22
Şekil 5.4. NO Oluşum Mekanizması ile Yanma Sıcaklığı Arasındaki İlişki 23
Şekil 6.1. Konvansiyonel Gaz Türbin Yakıcısı 26
Şekil 7.1. HEAŞ Emisyon Tespit Sistemi 29
Şekil 7.2. HEAŞ Baca Gazı Yıllık Ortalamaları 30
Şekil 7.3. 2011 Ortalama Gaz Türbini NOx Emisyonu 30
Şekil 7.4. 2011 Ortalama Gaz Türbini CO Emisyonu 31
Şekil 7.5.2012 Ortalama Gaz Türbini NOx Emisyonu 31
Şekil 7.6. 2012 Ortalama Gaz Türbini CO Emisyonu 32
Şekil 7.7. Gaz Türbin C1-80MW Dizel Yakıt 32
Şekil 7.8. Gaz Türbin C1-80MW Doğalgaz 33
Şekil 7.9. A1 Gaz Türbini Aylara Göre Emisyonlar 33
Şekil 7.10. Gaz A1 Trip Sonrası Emisyon Değerleri 34
Şekil 8.1. Yıllara Göre Gaz Türbin NO_x Emisyonu Kontrolü 46
Şekil 8.2. Püskürtülen WFR Oranına Göre Emisyonlar 48
Şekil 8.3. Yakıt/Hava Oranının Alev Sıcaklığı ve NO_x Emisyonları Üzerinde Etkisi 49
Şekil 8.4. ABB EV Koni Brülör 50
Şekil 8.5. Katalitik Yakıcı 52
Şekil 8.6. Atık Isı Kazanlarında SCR Sistemi 54
Şekil 8.7. SCR ve CO Katalizörlerinin Birlikte Kullanımı 55
Şekil 8.8. RQL Yakıcı Şeması 57
Şekil 8.9. RQL Yakıcı 57

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Hamitabat Elektrik Üretim A.Ş. 2012 Yılı Santral İşletim Değerleri 10
Çizelge 3.2. Ünitelerde Yakılan Yakıt ve Isı Değerleri 11
Çizelge 3.3. 2012 Yılı Grupların Çalışma Durumları 12
Çizelge 3.4. 2012 Yılı Santral Bazında Üretim ve Çalışma Saatleri 13
Çizelge 3.5. 2012 Yılı Santral Verim Hesap Dataları(a) 14
Çizelge 3.6. 2012 Yılı Santral Verim Hesap Dataları(b) 15
Çizelge 3.7. Aylık Brüt Enerji Üretimi 16
Çizelge 5.1. Gaz Türbinlerinde Emisyon Sınır Değerleri 19
Çizelge 5.2. Konvansiyonel Yakıtlarda Gaz Türbini Egzoz Emisyonları 19
Çizelge 7.1. HEAŞ 2012 Yılı Ortalama Emisyon Miktarları 35
Çizelge 7.2. A1 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları 36
Çizelge 7.3. A2 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları 37
Çizelge 7.4. B1 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları 38
Çizelge 7.5. B2 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları 39
Çizelge 7.6. C1 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları 40
Çizelge 7.7. C2 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları 41
Çizelge 7.8. D1 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları 42
Çizelge 7.9. D2 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları 43
Çizelge 7.10. Gaz Türbin A1 Trip Emisyon Değerleri(a) 44
Çizelge 7.11. Gaz Türbin C1 Start Emisyon Değerleri 45

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Açıklama
AB	:Alçak Basınç
A.I.D.	:Alt Isı Değer
BT	:Buhar Türbin
DLN	:Kuru Düşük NO_x
EPA	:Çevre Koruma Ajansı
EV-Burner	:Çevresel Yakıcı
F	:Fahrenheit
G	:Generatör
GT	:Gaz Türbin
HCN	:Hidrosiyanik asit
HEAŞ	:Hamitabat Elektrik Üretim ve Ticaret Anonim Şirketi
K	:Kelvin
LAER	:En düşük ulaşılabilir emisyon oranı
MW	:Megawatt
NH_3	:Amonyak
NO_x	:Azot oksitler
SCR	:Seçici katalitik indirgeme
SKHKKY	:Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
T.E.K.	:Türkiye Elektrik Kurumu
UHC	:Yanmamış hidrokarbonlar
VBT	:Buhar Türbin İç Randımanı
VC	:Kombine Termik Randımanı
VG	:Santral Ortalama Generator Randımanı
VGT	:Gaz Türbini Genel Randımanı
VK	:Ortalama Kazan Randımanı
VOC	:Uçucu organik bileşikler
WFR	:Su/yakıt oranı
YB	:Yüksek Basınç

BÖLÜM 1

GİRİŞ ve AMAÇ

Tabii kaynakların sınırlılığıyla alakalı sıklıkla yaşanan enerji darboğazlarının ulusal ekonomilere verdiği zararlar ve yanma çıktılarının küresel iklimde neden olduğu değişiklikler, fosil kaynaklı yakıtların yaygın kullanımı için geliştirilmiş teknolojileri tartışılır hale getirmiştir. Enerji talebindeki hızlı artışın karşılanmasında güç üretim sistemlerinin etkin ve rasyonel biçimde kullanılması ön plana çıkmıştır. Diğer taraftan geleneksel enerji üretim yöntemleri bugün çevre kirliliğinin önemli nedenlerinden birisidir. Enerji üretim ve tüketiminin çevrede yarattığı olumsuz etkilerin önlenmesi bütün dünyada sorun haline gelmiştir. Fosil yakıtların bir süre sonra tükeneceği gerçeği ve enerji üretiminde çevreye verdiği olumsuz etkilerin en aza indirilmesi dünya gündeminin ilk sıralarında yer almaktadır. Bu durum, çevre dostu ileri enerji üretim ve tüketim, strateji ve teknolojilerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Çevreye verilen zararı en aza indirmeyi amaçlayan bu teknolojiler, aynı zamanda mevcut enerji kaynaklarının etkin ve daha verimli güç üretim santrallerinde kullanılmasını sağlarlar.

Türkiye' de 2011-2012 yılı itibariyle elektrik üretiminin yaklaşık 45% ini doğalgaz yakan gaz türbinlerinden sağlanmıştır. Bu durum, elektrik üretimindeki payı dünyada hızla artan gaz türbinlerinin emisyon değerlerinin önemine dikkat çekmiştir. Her ne kadar kömür, petrol gibi yakıtlar kadar zararlı emisyon üretmeyen temiz yakıt olarak isimlendirilen doğalgaz uluslar arası sıkı yasal düzenlemelere maruz kalmaya başlamıştır. Sıkı çevre mevzuatlarıyla karşı karşıya kalmaya başlayan gaz türbin tasarımcıları emisyon oranlarını azaltan kontrol teknolojiler üzerinde yoğunlaşmaya başlamışlardır. Bu teknolojiler gerek yakıcı tasarımlarını ve yanma odası tasarımlarını değiştirerek gerekse yanma sonrası egzoz gazlarına uygulanan yanma sonrası kontrol sistemleri ekleyerek istenilen emisyon seviyelerine ulaşmaya çalışmışlardır. Günümüze kadar özellikle gaz türbin verimliliğini arttırmaya çalışan tasarımcılar için emisyonları düşürme hedefi genelde birbiriyle çatışsa da, gelecekte temiz bir çevre için üzerinde çalışılmaya değer bir konudur.

Bu çalışmanın amacı, Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde gaz türbinleri tarafından üretilen çevreye zararlı emisyonların tespiti, özellikle NO_x, ve bu zararlı emisyonları kontrol altına almak için kullanılabilecek yöntemlerin incelenmesidir.

BÖLÜM 2

GAZ TÜRBİN

Yakıt olarak doğal gaz kullanan türbinler, diğer içten yanmalı makinelere göre kompleks, az yer kaplayan, yüksek yük termal verim, çabuk faaliyete geçirilebilme ve çabuk devreden çıkarılabilme, güvenilirlik, sessizlik ve modüler yapı gibi faktörlerden dolayı avantajlı olurken, düşük ısıl verim ve yüksek yakıt tüketimi gibi önemli dezavantajlarla da karşımıza çıkmaktadır. Yakın zamanda gaz türbinlerinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar bu dezavantajları ortadan kaldırma ve performans arttırmaya yöneliktir.. Gaz türbininin performansın doğrudan ilgilendiren parametreler basınç oranı, kompresör ve türbin verimleri, türbin ve kompresör giriş sıcaklıkları olarak sıralamak mümkündür. Gaz türbinleri teknolojisindeki geliştirme faaliyetlerine değinecek olarak performansı arttırmak için, kompresör basınç oranını arttırma, türbin giriş sıcaklığını arttırma ve donanımların verimlerini arttırmak konularında yoğunlaşmıştır.Gelişmekte olan ülkelerde, başta Türkiye olmak üzere, endüstriyel sanayileşmenin gelişmesi elektrik enerji ihtiyaçlarını artırmaktadır. Elektrik enerjisi konusunda ülkeler ihtiyacları karşılamak için gerekli önemleri almakta ve geliştirmektedirler. Bundan nedenle santral yapımı, kapasite arttırma, mevcut sistemlerin performansını daha iyi seviyelere çıkarmak gerekmektedir. Mevcut santrallerin performansını etkileyen önemli faktörler ortam havasının sıcaklığı ve nemi, katı yakıtlı santrallerde ise yakıt kalitesi ve santralin yaşıdır. Varolan sistemler içerisinde performans açısından çevre şartlarından en çok etkilenen ise gaz türbinidir. Gaz türbini ünitelerinde, çevre sıcaklığının artması hem sistemde dolaşan hava debisini azaltmakta hem de kompresör işini arttırmaktadır. Kompresör işi arttığı takdirde güç üretimi azalmaktadır ve termik verimin düşmesine neden olmaktadır. Özellikle sıcak ve nemli iklime sahip bölgelerde gaz türbinleri performansında önemli bir düşüş görülmektedir. Bu nedenle hem elektrik üretimi azalmakta hem de birim elektrik için harcanan yakıt miktarı artmaktadır. Türkiye ve diğer başka ülkelerde gaz türbinleri kombine çevrim santralleri ve kojenerasyon sistemlerinde kullanılmaktadır.

BÖLÜM 3

HAMİTABAT DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALİ

3.1. Kuruluş

Enerji, günümüzde gittikçe önemi anlaşılmış, toplumların sosyal refah ve kalkınma seviyesinin bir ölçüsü durumuna gelmiştir. Sanayileşmekte olan Ülkemizde de her geçen gün elektrik enerjisine olan ihtiyaç artmaktadır. İhtiyacımız olan bu enerjiyi kesintisiz olarak vermekte karşımıza ayrı bir sorun olarak çıkmaktadır. İşte bu sorunu çözebilmek için yeni santrallerine ihtiyaç duyulmuştur. Termik Santraller, Hidrolik Santrallere oranla yatırım maliyeti açısından daha düşüktür. Ayrıca işletmeye kısa zamanda alınabilmesi de tercih sebebi olmaktadır. Fakat, Termik Santrallerin çoğu kömür, fuel-oil veya motorinle çalışmaktadır. Bunlarla çalışan santrallerin ise sorunları her geçen gün biraz daha artmaktadır. Bunun sıkıntısını çeken ve devamlı yeni bir enerji kaynağı arayışı içinde olan insanoğlu, nihayet doğal gazı keşfetmiş ve bunu enerji girdisi olarak kullanmaya başlamıştı. Uzun yıllardan beri ülkemizde yapılan araştırmalar sonunda Lüleburgaz-Hamitabat civarında doğalgaz olduğu tespit edilmiş ve bunun süratle ekonomiye kazandırılması için çeşitli çalışmalar yapılmış ve Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nin burada kurulmasına karar verilmiştir. Tespit edilen bu doğalgaz miktarı tahmini 80 milyar m^3 olup, bunun 13 milyar m^3 görünür vaziyettedir. Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali, Lüleburgaz'a 13 km uzaklıkta, Lüleburgaz-Babaeski-Pınarhisar üçgeni içinde, Hamitabat köyü civarında bulunmaktadır.

T.E.K. tarafından üretilen enerji kalitesinin arttırılması, voltaj ve frekans salınımlarının düzeltilmesi ile ulusal enerji şebekesi stabilitesinin sağlanması, enerji nakil kayıplarının azaltılması, Trakya ve Marmara yörelerinde süratle artan aktif ve reaktif elektrik enerjisi talebinin karşılanması, yurt dışından ithal edilen elektrik enerjisine alternatif yaratılması ve Hamitabat Doğal Gaz'ının en yüksek verimle milli ekonomimize kazandırılması gerekçesiyle T.E.K. yatırım programına dahil edilmiştir. Başlangıçta 900 MW olarak planlanan bu santral Hamitabat gazının rezerv ve

üretim kapasitesinde duyulan tereddütler ve o tarihlerde ithal gazındaki belirsizlikler dikkate alınarak 600 MW kapasite ile sözleşmeye başlanmış. Daha sonra Türk-Sovyet hükümetleri arasında 1984 tarihinde imzalanan doğal gaz antlaşması doğrultusunda ithal gazın 3 milyar m3'lük miktarın kurumumuza tahsisini müteakip projenin 600MW'tan 1200 MW 'ta tevsii edilmesi karara bağlanmıştır. 14/12/1984 tarihinde T.E.K. - BBC - ENKA arasında imzalanan antlaşma ile ilk 6 X 100MW'lık A + B ünitelerinin inşaatına başlanmıştır. Daha sonra Rus gazının antlaşmasının müteakip ikinci tevsii ünitesinin 04/11/1986 tarihinde C+D ünitelerinin antlaşmaları yapılarak santral kurulu gücü 1200 MW'a çıkarılmıştır.

Santral her biri 100 MW olan 8 adet Gaz Türbini ile 4 adet Buhar Türbininden meydana gelmiştir. İki gaz türbini ile bir buhar türbini Kombine Çevrim Santralini oluşturmakta ve bu şekilde dört Kombine Çevrim Santralı (A + B + C + D) oluşmaktadır. Elektrik, gaz türbinlerinde doğal gaz yakılarak elde edilen ısı enerjisinin türbin kanatlarında elektrik enerjisine çevrilmesiyle oluşmakta, By-pass bacasının ve sızdırmazlık damperlerinin kullanılmasıyla %32 verimle basit çevrimle çalışabilmektedirler. Her bir çalışır gaz türbininden yaklaşık 500^0C sıcaklığındaki egzoz gazlarının atık ısı kazanlarından geçirilmesi ile de ilave yakıt kullanılmadan santral verimi % 48 değerine yükseltilmektedir. Ayrıca iki gaz türbini veya tek gaz türbini + bir buhar türbini olarak muhtelif yük seviyelerinde işletilebilmektedir. Aktif güç üretimi sırasında gaz türbini genaratörleri senkron kompansatör konumuna geçirilebilmektedirler. İlk üretimi 24.05.1985'te gerçekleşen santral şu anda tam kapasite ile hizmet vermektedir.

Sovyetler Birliği ile hükümetimiz arasında 07.12.1984 tarihinde yapılan anlaşmadan sonra BOTAŞ Genel Müdürlüğü ile HEAŞ arasında "prensip protokolü" imzalanmıştır. Bu protokole göre yılda 3 milyar m^3 doğalgaz TEK tarafından tahsis edilecek, Hamitabat gazı stratejik rezerv gaz olarak muhafaza edilecek ve santralde sadece ithal gaz kullanılacaktır. Santralin her bir gaz türbininde saatte yaklaşık olarak 25.000 m^3 gaz tüketmektedir. Toplam saatlik gaz tüketimi ~ 200.000 m^3'tür. A.I.D. 8060 - 8100 Kcal/m^3 arasında değişen doğalgazın çevreye herhangi bir zararlı etkisi olmadığı, gaz içinde kükürt bulunmamasından dolayı santralde kükürt korozyonunun olmayacağı dikkate alınarak atık ısı kazanların buhar hacmi dizayn verilerinin % 20 üstünde tutulmuştur.

3.2. Gaz Türbin ve Buhar Türbin Teknik Özellikleri

3.2.1. Gaz Türbin

İmalatçı Firma	: ALSTOM
Tipi	: GT 13 D2 - Reaksiyon Tip
Nominal Gücü (NET)	: Baz ; 91,612 MW
	: Pik ; 100,219 MW
Net Verimi	: Baz ; % 32,34
	: Pik ; % 32,80
Türbin Giriş Sıcaklığı	: Baz ; 1005 ^{o}C
	: Pik ; 1050 ^{o}C
Türbin Egzoz	: Baz ; 510 ^{o}C
	: Pik ; 534 ^{o}C
Isı Sarfiyatı	: Baz ; 2660 Kcal / kWh
	: Pik ; 2620 Kcal / kWh
Gazın Kalorisi	: 8060 Kcal / m3 (Ortalama)
Ham gaz Debisi	: 5,7 kg / Sn
Nominal Hız	: 3000 d / d
Koruma	: Elektrik ; Hidrolik ; Mekanik
Yanma Hücresi	: 1
Yakıcı Sayısı	: 1
Kademe Sayısı	: 5 Kademeli (İlk iki kademe hava soğutmalı)
Yol Verme Şekli	: Start Ekipmanı + Yanma (600 d / d
Soğutma Tipi	: Yağ - Hava
Rotor	: Tek Rotor (Kompresör + Türbin)

Kompresör Statoru + G.T. Stator

Muhafazası Ağırlığı	: 78 Ton
Yanma Odası Ağırlığı	: 25 Ton
Gaz Türbin Difüzeri	: 16,5 Ton
G.T. Stator Ağırlığı	: 10,450 Ton



Şekil 3.1. Alstom 13DM Gaz Türbin

3.2.2. Buhar Türbin

Tipi	:	KT / DKZİ - 2071 İki basınç kademeli, kondanserli
İmalatçı Firma	:	BBC - BADEN
Kademe Sayısı	:	YB Kısmı - 23 kd. Reaksiyon tip AB Kısmı çift taraflı 8 + 8 kademe
Buhar Akışı	:	YB Kısmından geçen buhar, AB Buhar kasasında AB Buharı ile birlikte iki egsoz çıkışıyla kondensere dökülür.
Kondenser	:	Doğrudan temaslı jet tipi
Türbin Devri	:	3000 d / d
Yataklar	:	2 - Radyal 1 - Eksenel yatak

Buharın Özellikleri

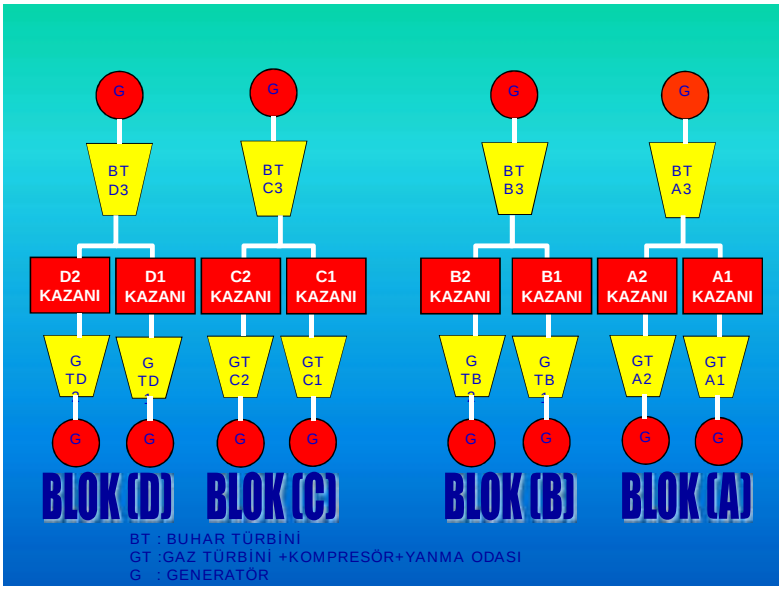
YB Buharı basıncı	baz	:	49,4 bar
	pik	:	55,7 bar
YB Buharı Sıcaklığı	baz	:	477 °C
	pik	:	492 °C
YB Buharı Akışı	baz	:	310,2 t / h
	pik	:	330,76 t / h
AB Buharı Basıncı	baz	:	4,94 bar
	pik	:	5,4 bar
AB Buharı Sıcaklığı	baz	:	197 °C
	pik	:	199 °C
AB Buharı Akışı	baz	:	73,52 t / h
	pik	:	72,28 t / h
Egzoz Buharı Basıncı	baz	:	0,08 bar
	pik	:	0,055 bar
Egzoz Buharı Sıcaklığı	baz	:	41,5 °C
	pik	:	34,6 °C
Türbin Gücü	baz	:	102,6 MW
	pik	:	118,0 MW

KONDENSER EJEKTÖRLERİ

Yol Verme Ejektörü Tipi	:	Buharlı
Yol Verme Ejektörü Sayısı	:	1 Adet
Ana Ejektör Tipi	:	Sulu
Ana Ejektör Sayısı	:	2 Adet



Şekil 3.2. Alstom Buhar Türbin



Şekil 3.2. Şematik Yerleşim Planı

3.3. Santral Teknik Verileri

Çizelge 3.1. Hamitabat Elektrik Üretim A.Ş. 2012 Yılı Santral İşletim Değerleri

		BİRİM	SEMBOL	SANTRAL
1	Toplam Brüt Üretim	kWh	Wbrüt (s)	6.383.920.000
2	Öngörülen Brüt Üretim	kWh	Wbrüt (o.g)	6.803.852.000
3	Kapasite Oranı (Nom. Ürt.Göre)	kWh	KO	8.101.248.000
4	İç Tüketim	kWh	_	125.690.710
5	İç Tüketim Yüzdesi	%	_	1,507
6	Net Üretim	kWh	Wnet (s)	6.260.830.020
7	Reaktif Üretim	Kvarh	_	157.486.000
8	Periyodik Süre	Saat	Tt (s)	105.408
9	Teorik Güç	MW	Pn (s)	1156
10	Teorik Üretim	kWh	Wn (s)	10.154.304.000
11	Çalışma Saati	Saat	Tu (s)	84.707
12	A. Grubu Kayıp Enerji	kWh	WA (s)	1.395.696.000
13	B. Grubu Kayıp Enerji	kWh	WB (s)	2.374.688.000
14	Devre Dışı Kalma Süresi (A.Grubu için)	Saat	TA (s)	12.779
15	Yük Düşme Süresi (A.Grubu için)	Saat	TA y (s)	3.689
16	Devre Dışı Kalma Süresi (B.Grubu için)	Saat	TB (s)	7.922
17	Yük Düşme Süresi (B.Grubu için)	Saat	TBy (s)	40.730
18	Ortalama Çalışma Gücü	MW	Port (s)	75
19	Yakıta göre brüt üretim maliyeti	TL / kWh	_	0,263046
20	Yakıta göre net üretim maliyeti	TL / kWh	_	0,268218
21	Emreamade Olma Süresi	Saat	Tea (s)	92629
22	Emreamade Enerji	kWh	Wea (s)	8.758.608.000
23	Kapasite Kullanma Faktörü	%	KF (W) (s)	62,87
24	Zaman Kullanma Faktörü	%	KF (T) (s)	80,36
25	Kapasite Oranı (Nom. Ürt.Göre)	%	KO	78,80
26	Emreamade Olma Faktörü (ZAMAN)	%	EAF (T) (s)	87,88
27	Emreamade Olma Faktörü (ÜRETİM)	%	EAF (W) (s)	86,26
28	Öngörülen Üretimin Gerçek . Faktörü	%	GF (Wö.g)	93,83

Çizelge 3.2. Ünitelerde Yakılan Yakıt ve Isı Değerleri

Ünitelerde Yakılan Yakıt ve Isı Değerleri			
	BİRİM	DOĞAL GAZ	MOTORİN
Yakılan Yakıt	SM^3 / Ton	1.488.220.529	2.453
A. I. D.	Kcal / SM^3 - Ton	8238	10300
Gaz Türbinlerine Verilen Isı	10^6 Kcal	12.260.665	27.839
Ortalama Isı Maliyeti	TL / 10^6 Kcal	136,963821	
Yakılan Toplam Yakıt	SM^3 / Ton	1.488.220.529	2.453
Yakılan Yakıtın A. I. D.	Kcal / SM^3 - Ton	8238	10.300
Yakılan Toplam Yakıt İle Gaz Türbinlerine Verilen Isı	10^6 Kcal	12.260.665	27.839
Ortalama Toplam Isı Maliyeti	TL / 10^6 Kcal	136,963821	

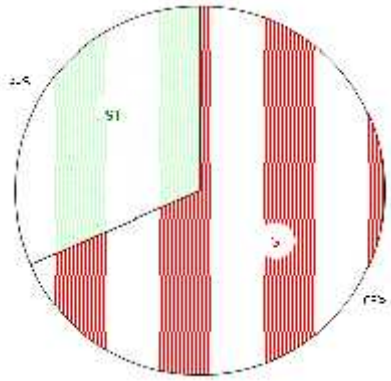
Çizelge 3.3. 2012 Yılı Grupların Çalışma Durumları

GRUP NO	BRÜT ENERJİ kWh	NET ENERJİ kWh	Birim	DAHİLİ ETKENLER (h)			HARİCİ ETKENLER (h)		TOPLAM		EMREAMADE SAAT (h) d+e+g
				NORMAL BAKIM (a)	REVİZYON DURUŞ (b)	ARIZA DURUŞU (c)	Y.D.M DURUŞU (d)	YAKIT DURUŞU (e)	ÇALIŞMAYAN SAAT (f) a+b+c+d+e	ÇALIŞILAN SAAT (g) j-f	
GTA1	582.818.000	576.474.410	h	874	0	0	755	0	1629	7155	7910
			%	9,95	0,00	0,00	8,60	0,00	18,55	81,45	90,05
GTA2	534.321.000	527.192.480	h	1294	0	3	685	84	2066	6718	7487
			%	14,73	0,00	0,03	7,80	0,96	23,52	76,48	85,23
STA3	501.787.000	478.486.620	h	550	0	2	314	0	866	7918	8232
			%	6,26	0,00	0,02	3,57	0,00	9,86	90,14	93,72
GTB1	577.075.000	573.752.710	h	690	0	18	808	0	1516	7268	8076
			%	7,86	0,00	0,20	9,20	0,00	17,26	82,74	91,94
GTB2	581.361.000	579.483.290	h	467	0	3	978	54	1502	7282	8314
			%	5,32	0,00	0,03	11,13	0,61	17,10	82,90	94,65
STB3	524.984.000	501.229.430	h	350	0	26	619	0	995	7789	8408
			%	3,98	0,00	0,30	7,05	0,00	11,33	88,67	95,72
GTC1	341.431.000	339.037.860	h	528	3223	42	285	76	4154	4630	4991
			%	6,01	36,69	0,48	3,24	0,87	47,29	52,71	56,82
GTC2	447.539.000	445.354.440	h	339	0	5	2347	28	2719	6065	8440
			%	3,86	0,00	0,06	26,72	0,32	30,95	69,05	96,08
STC3	396.115.000	378.641.580	h	344	2355	3	96	1	2799	5985	6082
			%	3,92	26,81	0,03	1,09	0,01	31,86	68,14	69,24
GTD1	658.862.000	654.658.390	h	528	0	4	344	0	876	7908	8252
			%	6,01	0,00	0,05	3,92	0,00	9,97	90,03	93,94
GTD2	652.403.000	648.482.550	h	543	0	10	374	0	927	7857	8231
			%	6,18	0,00	0,11	4,26	0,00	10,55	89,45	93,70
STD3	585.224.000	558.036.260	h	577	0	1	74	0	652	8132	8206
			%	6,57	0,00	0,01	0,84	0,00	7,42	92,58	93,42

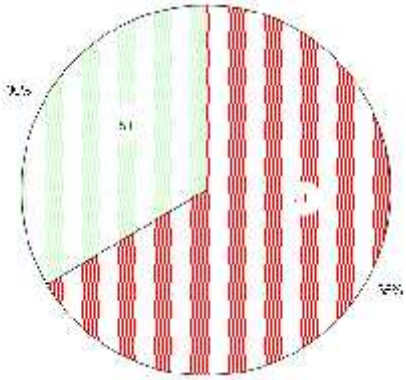
Çizelge 3.4. 2012 Yılı Santral Bazında Üretim ve Çalışma Saatleri

	GAZ TÜRBİNİ ÜRETİMİ	%	BUHAR TÜRBİNİ ÜRETİMİ	%	TOPLAM	%
BRÜT ÜRETİM kWh	4.375.810.000	68,54	2.008.110.000	31,46	6.383.920.000	100
ÇALIŞMA SAATLERİ h	54883	64,79	29824	35,21	84707	100

ÜRETİME GÖRE



ÇALIŞMA SAATLERİNE GÖRE



Çizelge 3.5. 2012 Yılı Santral Verim Hesap Dataları (a)

HESAPLANAN DEĞERLER			KOMBİNE A	KOMBİNE B	KOMBİNE C	KOMBİNE D
YAKIT OLARAK G.T. VERİLEN ISI	1	Kcal	5.248.887.137	5.309.067.070	3.761.187.960	5.502.733.975
EGSOZ GAZI OLARAK KAZAN. VER. ISI	2	Kcal	3.608.007.137	3.643.247.070	2.602.767.955	3.758.653.975
G.T. BRÜT ÜRETİM ISI DEĞERLERİ	3	Kcal	1.640.880.000	1.665.820.000	1.163.420.000	1.744.080.000
KAZANLARA A.B.EBS. SUYU. VER.ISI	4	Kcal	163.395.085	168.104.251	120.294.949	167.645.312
A.B. TAZE BUHAR KAZAN ÇIKIŞ ISISI	5	Kcal	516.243.446	473.546.841	385.593.846	691.027.486
Y.B. TAZE BUHAR KAZAN ÇIKIŞ ISISI	6	Kcal	2.199.053.751	2.159.886.181	1.590.257.550	2.279.864.841
S.T. BRÜT ÜRETİM ISI DEĞERİ	7	Kcal	779.160.000	771.860.000	571.900.000	796.360.000
BUHAR TURBİNLERİNE VERİLEN ISI	8	Kcal	2.505.297.195	2.633.433.022	2.076.051.398	2.970.961.131
BUHAR TÜRBİNLERİ ÇIKIŞ ISISI	9	Kcal	1.859.807.000	1.753.157.000	1.129.917.000	2.056.522.000

ÖLCÜLEN DEĞERLER			GAZ TÜRBİNLERİ	BUHAR TÜRBİNLERİ	T O P L A M
SANTRAL BRÜT ÜRETİMİ		kWh	4.375.810.000	2.008.110.000	6.383.920.000
YAKILAN YAKIT MIKTARI		Sm^3	1.488.220.529	-	1.488.220.529
ORTALAMA A.I.D.		$kcal/sm^3$	8238		

VERİM DEĞERLERİ			
GAZ TÜRBİNİ GENEL RANDIMANI	VGT	%	30,69
SANT. ORTALAMA GEN. RANDIMANI	VG	%	44,70

VERİM DEĞERLERİ			KOMBİNE A	KOMBİNE B	KOMBİNE C	KOMBİNE D
ORTALAMA KAZAN RANDIMANI	VK	%	70,73	67,69	75,06	73,81
BUHAR TÜRBİNİ İÇ RANDIMANI	VBT	%	84,10	88,02	87,93	87,14
KOMBİNE TERMİK RANDIMANI	VC	%	46,09	45,96	45,83	46,14

Çizelge 3.6. 2012 Yılı Santral Verim Hesap Dataları (b)

	KOMBİNE A			KOMBİNE B			KOMBİNE C			KOMBİNE D		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OCAK	68,25	86,79	46,17	66,30	89,67	46,56	71,51	88,36	45,33	72,09	90,68	46,53
ŞUBAT	52,26	87,30	46,08	67,68	75,88	46,33	72,75	93,13	46,91	72,58	88,00	47,22
MART	73,59	83,01	47,60	67,78	87,26	47,17	72,45	88,31	45,64	73,79	85,91	47,04
NİSAN	69,97	84,12	46,76	65,33	89,49	46,57	0,00	0,00	0,00	73,15	87,63	46,74
MAYIS	75,93	81,08	46,35	67,22	90,96	46,27	0,00	0,00	0,00	74,79	86,78	46,13
HAZİRAN	78,93	82,66	46,07	70,69	92,19	45,88	75,52	82,23	44,81	73,56	85,61	45,45
TEMMUZ	77,76	81,32	45,47	70,85	88,74	45,46	78,79	85,91	45,84	77,77	86,66	45,71
AĞUSTOS	73,15	86,82	45,63	70,91	88,56	45,46	78,89	90,28	46,05	78,27	83,55	45,70
EYLÜL	75,96	81,89	45,65	69,05	90,74	45,62	78,08	89,28	46,29	76,62	86,49	45,73
EKİM	68,87	85,75	45,62	66,14	88,73	45,18	75,58	89,37	45,05	67,07	87,16	45,54
KASIM	68,76	87,10	46,03	66,31	91,28	45,63	74,60	92,43	46,17	74,04	85,37	46,01
ARALIK	65,28	81,31	45,63	64,00	82,77	45,42	72,45	79,97	46,18	72,31	91,79	45,91
TOPLAM	848,71	1009,15	553,06	812,26	1056,27	551,55	750,62	879,27	458,27	886,04	1045,63	553,71
ORTALAMA	70,73	84,10	46,09	67,69	88,02	45,96	75,06	87,93	45,83	73,84	87,14	46,14

1-Ortalama Kazan Randımanı 2-Buhar Türbini İç Randımanı 3-Kombine Termik Randımanı

Çizelge 3.7. Aylık Brüt Enerji Üretimi

		ÜNİTE NO											
AY	Birim	GTA1	GTA2	STA3	GTB1	GTB2	STB3	GTC1	GTC2	STC3	GTD1	GTD2	STD3
OCAK	MWh	35.217.000	35.024.000	29.760.000	55.386.000	49.264.000	48.351.000	55.410.000	54.989.000	56.334.000	63.740.000	63.752.000	58.234.000
ŞUBAT	MWh	58.245.000	11.468.000	30.725.000	56.874.000	57.258.000	53.171.000	21.138.000	53.558.000	37.454.000	46.374.000	54.654.000	45.677.000
MART	MWh	57.825.000	60.647.000	55.286.000	41.777.000	48.921.000	42.526.000	0	28.272.000	14.020.000	62.915.000	46.364.000	49.854.000
NİSAN	MWh	27.628.000	27.552.000	24.231.000	16.792.000	16.677.000	14.117.000	0	5.063.000	0	54.663.000	54.577.000	50.603.000
MAYIS	MWh	30.916.000	49.606.000	36.160.000	52.004.000	39.957.000	43.206.000	0	0	0	60.745.000	61.265.000	55.942.000
HAZİRAN	MWh	52.979.000	54.110.000	50.359.000	50.246.000	49.647.000	46.408.000	0	15.410.000	6.978.000	49.792.000	46.613.000	42.673.000
TEMMUZ	MWh	59.388.000	47.893.000	48.339.000	52.959.000	58.479.000	50.369.000	46.684.000	53.050.000	50.213.000	61.594.000	61.363.000	54.550.000
AĞUSTOS	MWh	43.558.000	44.145.000	38.044.000	58.480.000	52.870.000	49.689.000	44.839.000	53.368.000	49.847.000	57.375.000	37.272.000	29.905.000
EYLÜL	MWh	58.549.000	56.158.000	51.403.000	44.113.000	56.936.000	44.954.000	44.563.000	52.158.000	49.135.000	59.753.000	59.461.000	48.664.000
EKİM	MWh	59.609.000	45.132.000	46.957.000	53.060.000	48.337.000	44.943.000	36.447.000	36.706.000	35.441.000	54.971.000	60.591.000	52.119.000
KASIM	MWh	49.818.000	50.348.000	45.428.000	42.443.000	43.119.000	38.819.000	39.146.000	39.784.000	40.642.000	45.505.000	45.441.000	41.109.000
ARALIK	MWh	49.086.000	52.238.000	45.095.000	52.941.000	59.896.000	48.431.000	53.204.000	55.181.000	56.051.000	61.435.000	61.050.000	55.894.000
TOPLAM	MWh	582.818.000	534.321.000	501.787.000	577.075.000	581.361.000	524.984.000	341.431.000	447.539.000	396.115.000	658.862.000	652.403.000	585.224.000

BÖLÜM 4

GAZ YAKITLARIN YANMASI

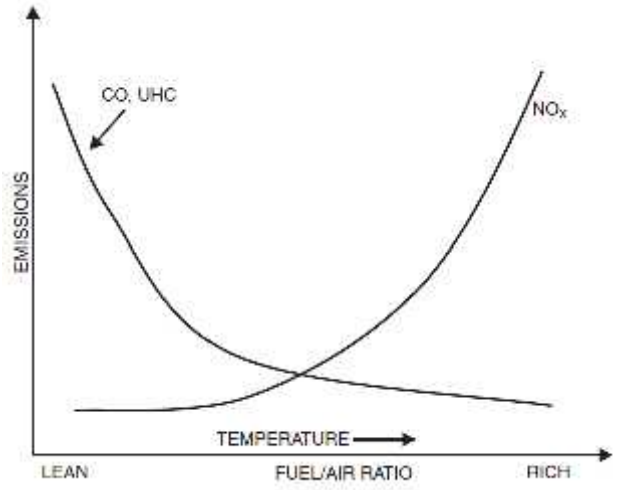
Temiz enerji olarak tanımlanan doğalgazın yanmasında bazı kirletici emisyonlar meydana gelebilir. Örneğin kötü karışma, yetersiz hava gibi uygun olmayan işletme koşulları, büyük miktarlarda is, karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonlarının nedenidir. Ancak doğalgazın yanmasında asıl kirletici emisyon azot oksitlerdir ve bunların miktarı yanma odasının sıcaklığı ve yanma ürünlerinin soğuma hızı ile değişir. Emisyon düzeyi ise yakma ünitesi büyüklüğüne ve işletme koşullarına bağlıdır. [1]

Kimi büyük ölçekli yakma sistemlerinde NO_x kontrolü için bir kısım işletme değişikliklerine gidilir. Örneğin stokiyometrik olmayan yakma ve iki kademeli yanma ile emisyon oranları % 5-50 oranına 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 gerçekleştirildiğinden NO_x oluşumu azalmaktadır. Az hava fazlası ile yakma ve atık gaz geri dolanımı da bir başka NO_x azaltma yöntemleridir. 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_x emisyonları % 5-35 oranında düşürülür. İkincisinde ise; birincil yanma bölgesinde atık gazların dolanımı ile bu gazların görece soğuk olmaları ve oksijen içermeleri nedeniyle NO_x oluşumu dolaştırılan gaz miktarına bağlı olarak düşürülmektedir. Sıralanan tüm bu yöntemlerin bir ya da birkaçının birlikte uygulanması ile doğalgaz yakan sistemlerde NO_x oluşumu % 70-90 oranında aşağı çekilir. [1]

BÖLÜM 5

GAZ TÜRBİNLERİNDE EMİSYON

Gaz türbinlerinde birinci derecede çevre kirliliğine yol açan maddeler azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO) ve az ölçüde yanmamış hidrokarbonlardır (UHC). Partikül maddeler sıvı yakıtlar kullanıldığında birincil kirletici etken olmaktadır. NO_x oluşumu yakıcı içinde gelişen yüksek sıcaklıkla güçlü bir şekilde ilgilidir. CO, UHC ve tehlikeli hava kirleticileri (HAP) ve partikül maddeler öncelikle eksik yanmanın sonucudur. Yakıt içindeki kül ve metalik katkı maddeleri egzoz içindeki partikül madde oluşumuna katkıda bulunabilir. Sülfür oksitler türbinlerde sadece ağır yakıtlar yandığında önemli miktarda görünebilir. Sülfür bileşiklerinin emisyonu, başlıca SO_2, yakıtın sülfür içeriği ile doğrudan alakalıdır. Şekil 4.1.de alev sıcaklığının, yakıt-hava karışımına göre emisyonlar üzerinde etkisi grafiksel gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Alev Sıcaklığının Emisyonlara Etkisi [2]

Çevre ve Orman Bakanlığının, Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliği'ne göre gaz türbinlerinde mg/Nm^3 olarak baca gazında % 15 hacimsel oksijen (O_2) esas alınarak Tablo 5.1.deki emisyon sınır değerleri aşılamaz.

Çizelge 5.1. Gaz Türbinlerinde Emisyon Sınır Değerleri [3]

Yakıt türü	**Emisyon Sınır Değerleri (mg/Nm^3)**	
	NO_x (NO ve NO_2)	**CO**
Doğal gaz	75	100
Gaz yakıtlar (doğal gaz hariç)	120	
Sıvı yakıtlar	120	
07/10/2004 ten önce faaliyete geçenler	300	

Aşağıda, gaz türbinlerinde yakılan konvansiyonel yakıtlardan kaynaklanan egzoz gazı emisyonları ve kaynakları Çizelge 5.2.de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Konvansiyonel Yakıtlarda Gaz Türbini Egzoz Emisyonları [4]

Major Species	Typical Concentration (% Volume)	Source
Nitrogen (N_2)	66 - 72	Inlet Air
Oxygen (O_2)	12 - 18	Inlet Air
Carbon Dioxide (CO_2)	1 - 5	Oxidation of Fuel Carbon
Water Vapor (H_2O)	1 - 5	Oxidation of Fuel Hydrogen
Minor Species Pollutants	**Typical Concentration (PPMV)**	**Source**
Nitric Oxide (NO)	20 - 220	Oxidation of Atmosphere Nitrogen
Nitrogen Dioxide (NO_2)	2 - 20	Oxidation of Fuel-Bound Organic Nitrogen
Carbon Monoxide (CO)	5 - 330	Incomplete Oxidation of Fuel Carbon
Sulfur Dioxide (SO_2)	Trace - 100	Oxidation of Fuel-Bound Organic Sulfur
Sulfur Trioxide (SO_3)	Trace - 4	Oxidation of Fuel-Bound Organic Sulfur
Unburned Hydrocarbons (UHC)	5 - 300	Incomplete Oxidation of Fuel or Intermediates
Particulate Matter Smoke	Trace - 25	Inlet Ingestion, Fuel Ash, Hot-Gas-Path Attrition, Incomplete Oxidation of Fuel or Intermediates

Mevcut emisyon verileri, türbinin çalışma yüklerinin emisyon seviyeleri üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Gaz türbinleri maksimum ısıl verimi ve tepe alev sıcaklığını elde etmek için tipik olarak yüksek yüklerde (80% eşit veya daha fazla) işletilmektedirler. Düşük yüklerde (80%'den daha düşük) ya da sık yük değişim dönemleri sırasında, yakıcı bölgesi alev sıcaklıkları yüksek yük sıcaklıklarında daha düşük olması beklenir. Bu da daha düşük ısıl verim ve daha fazla eksik yanma demektir. Gaz türbinleri damıtılmış petrol ürünleri yaktığında yakıtın metal içeriğini çevreye yayabilir. Yakıt analizi yapılmazsa, yakıt külünün metal içeriği baca gazı emisyon değerleri beklenenden farklı çıkabilir.

Atık ısı kazanında ilave yakıt yanmıyorsa, basit çevrim için özel emisyon faktörleri kojenerasyon veya kombine çevrim sisteminde de uygulanacaktır. Fakat atık ısı kazanında ekstra yanma olayı meydana geliyorsa, bu yanmadan kaynaklanan emisyonlar toplam baca gazı emisyon miktarına dahil edilmelidir.

NOx' in atmosferdeki bulunuşu yaklaşık olarak yarı yarıya taşıt egzosu ve sabit yakma tesislerinden dolayıdır. Bu gazlar atmosferde doğal gaz çevrimine girerek, nitrik asit (HNO3) oluşumuyla sonuçlanan zincirleme reaksiyonları tamamlarlar. Atmosferdeki HNO3 oluşumu ise asit yağışının oluşmasını etkiler. Son yıllarda Danimarka' da yapılan bir araştırmayla amonyak buharlaşmasının güneş radyasyonuna maruz kaldığında atmosferdeki nitrik asit oluşumuna katkısının ihmal edilemeyecek boyutta olduğu belirlenmiştir. Yağmurun amonyum içeriği toprakta, su havzalarında ve göllerde nitrifikasyon yapan bakteriler ve oksijen sayesinde amonyum nitrit asite dönüştüğünde yağmurun asiditesini ayrıca 4 kat artırmaktadır. Sağlıklı insanların çok yüksek NO2 konsantrasyonlarına kısa süre dahi maruz kalmaları şiddetli akciğer tahribatlarına yol açabilir. Kronik akciğer rahatsızlığı olan kişilerin ise bu konsantrasyonlara maruz kalmaları akciğerde kısa vadede fonksiyon bozukluklarına yol açabilir. NO2 konsantrasyonlarına uzun süre maruz kalınması durumunda ise buna bağlı olarak solunum yolu rahatsızlıklarının ciddi oranda arttığı gözlenmektedir.

Sera Gazları CO_2 ve N_2O emisyonları tamamen gaz türbinlerinde doğalgaz ve damıtılmış petrolün yanması sırasında oluşur. Yaklaşık yakıttaki tüm karbon yanma işlemi sırasında CO_2'ye dönüştürülür. Bu dönüştürme nispeten yanma biçiminden bağımsızdır. Metan (CH_4) egzoz gazında da mevcuttur ve doğalgaz halinde yanmamış yakıt ya da damıtılmış petrol yakıtının yanma ürünü olarak düşünülür.

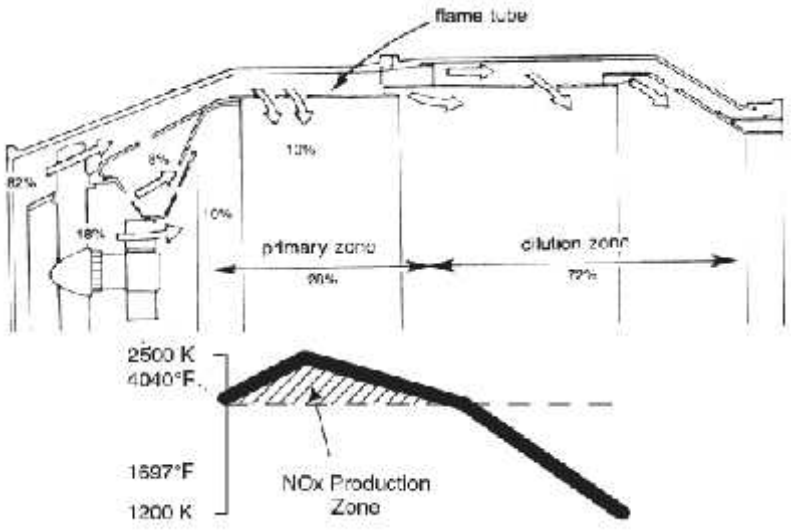
CO oluşumu CO_2 emisyonunu azaltmada rol oynamasına rağmen, üretilen CO miktarı üretilen CO_2 miktarıyla karşılaştırıldığında önemsizdir. CO_2' ye dönüştürülmeyen yakıt karbonunun çoğunluğu eksik yanmadan kaynaklanmaktadır.

Yanma işlemi sırasında N_2O oluşumu karmaşık seri reaksiyonlar tarafından kontrol edilir ve oluşumu bazı etkenlere bağlıdır. Buna karşın, N_2O oluşumu yanma sıcaklıkları 800^0C üzerinde tutulduğunda minimumdur ve aşırı hava oluşumunu minimumda tutar.

Görüldüğü gibi, günümüzde gaz türbinleri için en önemli emisyon problemi NO_x oluşumudur. Bu nedenle NO_x dışındaki emisyonları azaltma yöntemlerine NO_x emisyonun azaltma tekniklerini değerlendirirken değinilecek ve fazla detaya girilmeyecektir.

5.1. NO_x Oluşumu

Gaz türbinlerinde iki çeşit NO_x oluşum mekanizması görülür. Bunlardan biri yanma havasında bulunan atmosferik azotun oksidasyonu (ısıl NO_x ve hızlı NO_x), diğeri ise yakıta kimyasal bağlı bulunan azotun dönüşümüdür (yakıt NO_x). Şekil 5.1. de yakıcıda NO_x oluşum bölgesinin sıcaklık değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 5.2. Tipik Bir Yakıcıda NO_x Bölgesi [2]

Fosil yakıtların yakılması sırasında, gerek yakıta bağlı bulunan azot ve gerekse yakma havasındaki azot tepkime koşullarında oksijen ile birleşerek N_2O, NO, N_2O_3, N_2O_5, ve O_3 gazlarını meydana getirir. Ancak bunlardan N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5 ve NO_3

kararsız yapıda oldukları için NO ve NO_2 verecek şekilde bozunurlar. Bu nedenle yanma gazlarında bulunan azot oksitleri NO ve NO_2 seklinde olup toplam oksit miktarı $NO + NO_2 \rightarrow NO_x$ şeklinde ifade edilir.

Yüksek sıcaklıkta yanma işleminde azot oksitlerin oluşum tepkimeleri üç ana baslık altında toplanmaktadır: Isıl-NO, hızlı (ani)-NO ve Yakıt-NO.

Isıl-NO: Azot bileşikleri içermeyen yakıtların yanması sırasında yakıcı gazdaki atmosfer azotunun ortamda yeteri kadar oksijen bulunması halinde "ısıl" mekanizma ile oksitlenmesi sonucu oluşmakta ve sıcaklığın üstel bir fonksiyonu olarak gelişmektedir. Zeldovich mekanizması uyarınca;

$$N_2 + O \rightarrow NO + N$$

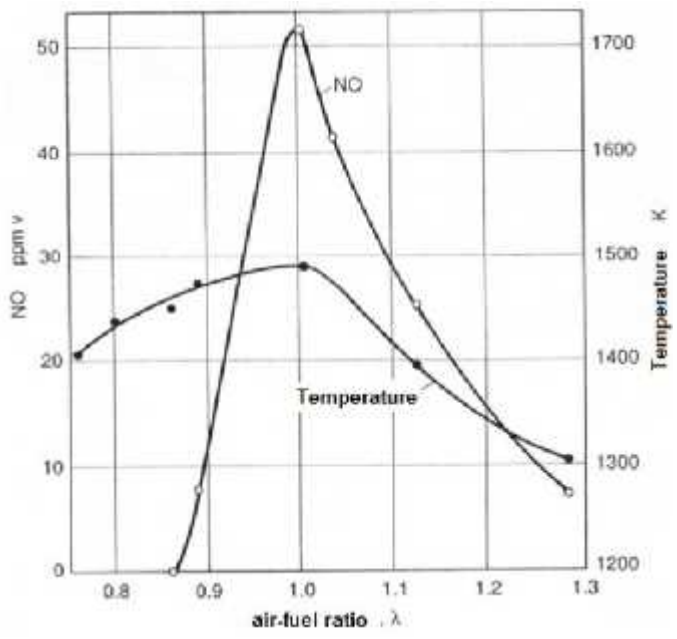
$$N + O_2 \rightarrow NO + O$$

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$$

tepkimeleri ile azot oksidin meydana gelişi, yüksek aktivasyon enerjilerinden dolayı 1300°-1400°C üzerinde önem kazanmakta, bu sıcaklığın altında yakıtça zengin karışımlarda ise azot oksit indirgenmektedir. Oksijenin az miktarda bulunduğu alev bölgesinde ayrıca;

$$N + OH \rightarrow NO + H$$

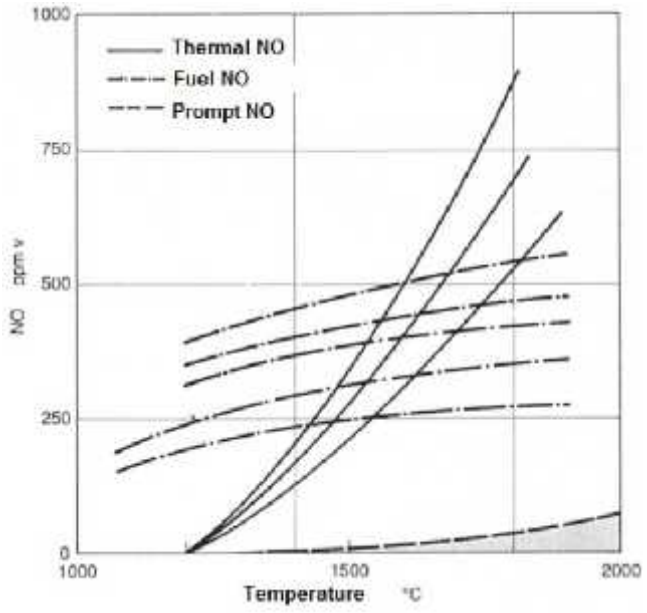
tepkimesi de meydana gelmekte, yakıtın oksitlenme tepkimelerinde önemli rol oynayan OH ve H radikallerinin NO oluşumunda da belirleyici olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3. NO-Yanma Sıcaklığı-Hava/Yakıt oranı İlişkisi [5]

Hızlı(Ani)-NO: Hidrokarbon yakıtların yanmasında azot oksitlerin oluşum hızları, özellikle zengin karışım bölgesinde Isıl-NO mekanizmasında tanımlanan azotun oksitlenme hızını aşmakta ve çok hızlı bir şekilde, ani-NO oluşumu gerçekleşmektedir. Bu oluşumda özellikle (CH, CH2) gibi hidrokarbon radikallerinin önemli rol oynadığı, bunların moleküler azotla hızlı bir tepkimeye girerek ürünler üzerinden zincirleme reaksiyon ile NO oluşumuna neden olduğu belirtilmektedir.

Yakıt-NO: Yanma sonucu oluşan azotoksitler için bir başka kaynak la yakıtın bünyesinde bağlı azottur. Bu azotun azotokside dönüşümü, büyük ölçüde sıcaklık ve stokiyometri gibi yanma bölgesinin yerel özelliklerine ve yakıt/hava karışımındaki azotun başlangıç derişimine bağlıdır. Yakıt-NO oluşumunda reaksiyon zincirinin, yakıttaki azot bileşiklerinin çok hızlı bir şekilde HCN ve NH3'e dönüşümleri ile başladığı bilinmektedir.



Şekil 5.4. NO Oluşum Mekanizması ile Yanma Sıcaklığı Arasındaki İlişki [5]

5.2. CO ve UHC oluşumu

CO ve UHC emisyonları eksik yanmadan kaynaklanır. CO, yüksek sıcaklıkta yetersiz kalma süresi ya da eksik karıştırma sonucu meydana gelir. Gaz türbin sıcaklıklarında CO'nun CO_2'ye oksitlenmesi çoğu hidrokarbon oksitlenme reaksiyonlarıyla karşılaştırıldığında yavaş bir reaksiyondur. CO emisyonları gaz türbini yüküne bağımlıdır. Örneğin, gaz türbinini tam yük altında çalıştırırsak CO oluşumunu azaltan daha fazla yakıt verimi sağlayacaktır. Tam tersi de doğrudur, gaz türbinlerini

hafif veya orta yüklerde çalıştırdığımızda eksik yanmadan kaynaklı yakıt verimi düşecek ve CO oluşumu artacaktır.

Yanmamış hidrokarbonlar olarak sınıflandırılan kirletici maddeler yakıtın tam yanmaması veya kısmı olarak yanmasından meydana gelirler. Doğalgaz da, bazı organikler reaksiyona girmeden taşınırlar, diğerleri ağır hidrokarbon bileşenlerinin sıcaklık tesiriyle erimeyle oluşabilir, sıvı yakıtlar da ise soğutma bölgesine taşınan büyük damlacıklar reaksiyona girilmeden veya kısmen girilerek yanmamış hidrokarbon emisyonunu arttırabilirler. CO emisyonlarına benzer olarak, yanmamış hidrokarbon emisyonları da gaz türbini çalışma yükü şartlarından etkilenirler. Yanmamış hidrokarbon emisyonları gaz türbinlerinin düşük çalışma yüklerinde, yüksek çalışma yükleriyle karşılaştırıldığında çok daha fazla olduğu görülmüştür.

CO ve UHC oluşumlarını azaltacak yöntemler, NO_x oluşumunu azaltma yöntemleri içinde bahsedilecektir (Katalitik modüller ve yakıcı tasarımları gibi). Ayrıca bir konu olarak açılmayacaktır.

5.3. Sülfür Oksit Oluşumu

Gaz türbinlerinde genelde sülfür emisyonu söz konusu değildir. Gaz türbinlerinde sülfür emisyonuna yakıtın, havanın, püskürtülen su ve buharın içinde bulunan sülfür neden olmaktadır. Buna karşın, ortam havası, püskürtülen su ve buhar içinde ya hiç sülfür yoktur ya da önemsenmeyecek kadar az miktardadır. Gaz türbinlerini sülfür içeren yakıtlar etkilemektedir. Örneğin, Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde bulunan 4 adet gaz türbinine ikinci yakıt sistemi olarak dizel yakma sistemi kurulmuştur. Doğalgaz kesintilerinde gereken elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla gaz türbinlerinde dizel yakarak elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu da sülfür emisyonuna neden olmaktadır. Son yıllarda gelişen gaz türbin ekipmanlarını koruyan kaplama teknolojisiyle bu yakıtlar gaz türbinine zarar vermeden yakılabilmektedirler. Araştırmalar, yakıtın içindeki sülfürün tamamen sülfür oksit oluşumuna neden olduğunu göstermiştir. Sülfür oksit emisyonları SO_2 ve SO_3 formundadır. Ölçümlerde SO_3/SO_2 oranı değişiklik göstermektedir. Emisyon raporlarına göre, türbinde sülfürün 95%'i egzozda SO_2 molekülüne dönüştürülmektedir. Artakalan sülfür ise SO_3 molekülüne dönüştürülür. SO_3 su buharı ile birleşerek egzozda sülfürik

asit formunu oluşturur. Baca egzoz sıcaklığını asit çiy sıcaklığına düşürebilen çoğu ısı geri kazanım uygulamalarını ilgilendirir.

Güncel hiçbir gaz türbini uygulaması sülfür oksit oluşumunu engelleyen veya kontrol eden bir yapıya sahip değildir. Sülfür oksit emisyonunu kontrol etmek istiyorsak gaz türbinlerinde yaktığımız yakıtın içinde bulunan sülfür miktarını sınırlandırmamız veya sülfür oranı az veya sülfür bulunmayan yakıtları tercih etmeliyiz.

5.4. Partikül Oluşumu

Gaz türbini egzoz partikül emisyon oranı yanma sistemi tasarımı, yakıt özellikleri ve yakıcı çalışma şartlarından etkilenmektedir. Partiküllerin temel bileşenleri duman, kül, yanmayan moleküller ve sistem metallerinin korozyon ürünleridir. Bunlara ek olarak, yerel bazı bölgelerde oluşan sülfürik asit formları ve yanmamış hidrokarbonlarda partikül emisyonuna neden olur.

5.5. Duman oluşumu

Genelde duman oluşumu küçük, lokal zengin yakıt bölgelerinden oluşur. Dumanı yok etmek için genel yaklaşım yakıt-hava oranının 0,9 ile 1,5 arasında olduğu birincil yakıt bölgesini yakıt bakımından daha da yalınlaştırmaya çalışmaktır. Dumanı yok etmek için başka bir yöntem ise, lokal zengin yakıt bölgelerinin üstüne nispete küçük miktarlarda hava ile desteklemektir. Karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbonlar sadece eksik yanmadan kaynaklanan atıl durumlarda üretilirler. Bu atıl verimi düzeltmek, sıvı yakıtların daha küçük atomlara ayrılması sağlanarak püskürtülmesiyle ve daha yüksek lokal sıcaklıklar oluşturulmasıyla muhtemeldir.

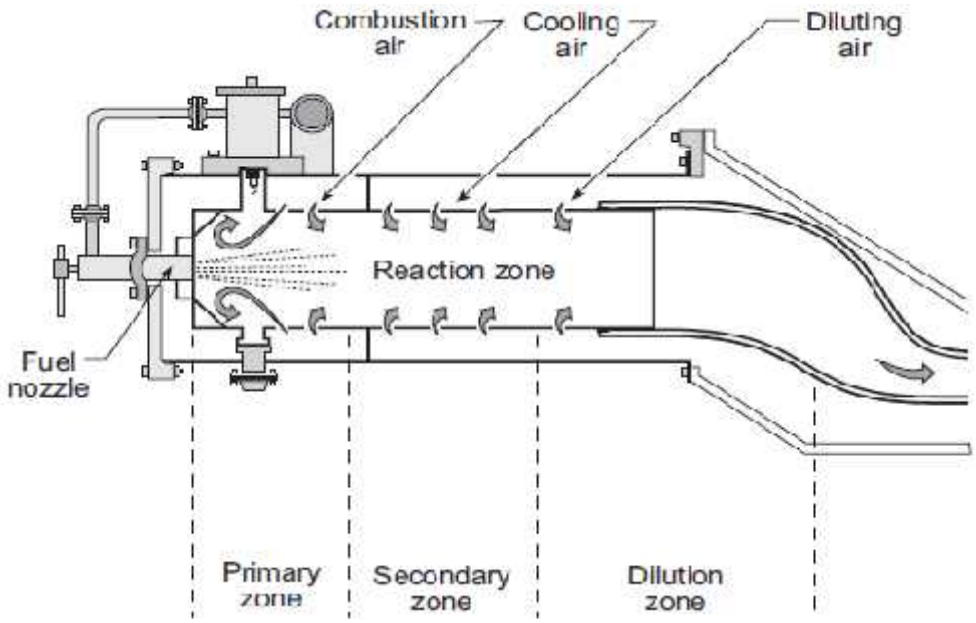
BÖLÜM 6

GAZ TÜRBİNLERİNDE NO_x OLUŞUMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Gaz türbinlerinde NO_x oluşum seviyesi her bir gaz türbini ve işletim şartları için kendine özgüdür. NO_x emisyon miktarını oluşturan başlıca faktörler yakıcı tasarımı, yakıt tipi, ortam koşulları, çalışma döngüsü ve türbin çıkış gücüdür.

6.1. Yakıcı Tasarımı

Yakıcı tasarımı NO_x oluşumuna etki eden en önemli faktördür. Hava yakıt karışımını kontrol etme, ön yanma karışımı, işletme yükü, soğutma havasının girişi, alev sıcaklığı ve ikame süresi NO_x oluşumuna etkiden yakıcı tasarımıyla ilişkili dizayn parametreleridir. Şekil 6.1.de günümüzde gaz türbinlerinde kullanılan konvansiyonel bir yakıcı bölümleriyle birlikte gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Konvansiyonel Gaz Türbin Yakıcısı [2]

Termal NO_x üretimi ve yakıcı çalışma şartları arasındaki ilişkiye kısaca değinecek olursak:

- NO_x, yakıt/hava oranı ve yanma sıcaklığıyla fazlasıyla artar.
- NO_x, yakıcı giriş havası sıcaklığıyla katlanarak artar.
- NO_x, yakıcı giriş basıncının kareköküyle artar.
- NO_x, alev bölgesinde kalma süresinin uzamasıyla artar.
- NO_x, artan su ve buhar enjeksiyonu ya da artan özgül nem ile katlanarak azalır.

6.2. Türbin Çıkış Gücü

Bir gaz türbininin güç çıkışı, alev sıcaklığı ve ısıl NO_x oluşum oranı ile direk ilişkili olan yanma sıcaklığı ile doğrudan bağlantılıdır. Konvansiyonel yakıcılarda, DLN yakıcıları içeren 50% yükten daha az işletimlerde, yakıt yakıcının tabanı içine enjekte edilir. Hava hem yanmayı sağlamak hem de yakıcı egzoz gazını türbin kanatlarına ulaşmadan soğutmak için yakıcı uzunluğu boyunca püskürtülür. Yakıt bakımından zengin bir ortam yakıt enjektörlerinin hemen etrafında korunur. Yakıt yanma odası içine püskürtüldüğünde yanma gerçekleşir. Düşük yüklerde reaksiyon kinetiği nispeten zengin yakıt karışımında ilerler ve yanma ürünleri çabuk soğur. Yüksek yüklerde alev boyutu ve uzunluğu maksimuma yaklaşır. Ayrıca yakıcıda daha fazla türbülans vardır. NO_x emisyonları büyük yüklerde daha fazladır.

6.3. Yakıt Tipi

NO_x emisyonları yakıt tipine bağlı olarak değişir. Gaz yakıtlar için, gazdaki bileşenler NO_x emisyon seviyelerini önemli derecede etkileyebilir. Metana göre daha yüksek miktarda hidrokarbon içeren gaz yakıt karışımları (propan, bütan gibi) yüksek alev sıcaklıklarında yanar ve metan için NO_x seviyesinin 50% daha fazla NO_x emisyonunu arttırabilir. Rafineri gazları ve bazı işlenmemiş saha gazları önemli seviyede yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbonlar içerir. Diğer taraftan, önemli soy gazlar içeren gaz yakıtlar, CO_2 gibi, daha düşük seviyelerde NO_x emisyonu üretir. Bu soy gazlar yanma sırasında ısıyı emer, dolayısıyla daha düşük alev sıcaklığı ve emisyon oluşturur. Hidrojenin yanması yüksek alev sıcaklıkları üretir ve hidrojen içeriği yüksek gazlar nispeten yüksek NO_x emisyonları meydana getirir. Damıtılmış petrol

doğalgazdan yaklaşık olarak 65°C daha fazla alev sıcaklığında yanar ve daha NO_x emisyonu üretir.

6.4. Ortam şartları

NO_x emisyonuna etki eden ortam koşulları nem, sıcaklık ve basınçtır. Nem en büyük etkiye sahiptir çünkü su buharı yanma sıcaklığını söndürürek ısıl NO_x oluşumunu azaltır. Düşük nem seviyelerinde, çevre sıcaklığının artmasıyla birlikte NO_x emisyonları artar. Yüksek nem seviyelerinde çevre sıcaklığı değişimleri NO_x oluşumu üzerinde çeşitli etkilere sahiptir. Yüksek nem seviyelerinde ve düşük çevre sıcaklıklarında NO_x emisyonları sıcaklık artışıyla artar. Tersine, yüksek nem seviyelerinde ve 10^0C üstü çevrem sıcaklıklarında NO_x emisyonları sıcaklık artışıyla azalır. Yüksek çevre basıncı yakıcıda NO_x oluşumunu teşvik eden yüksek çevre sıcaklığına neden olur.

6.5. Çalışma Döngüsü

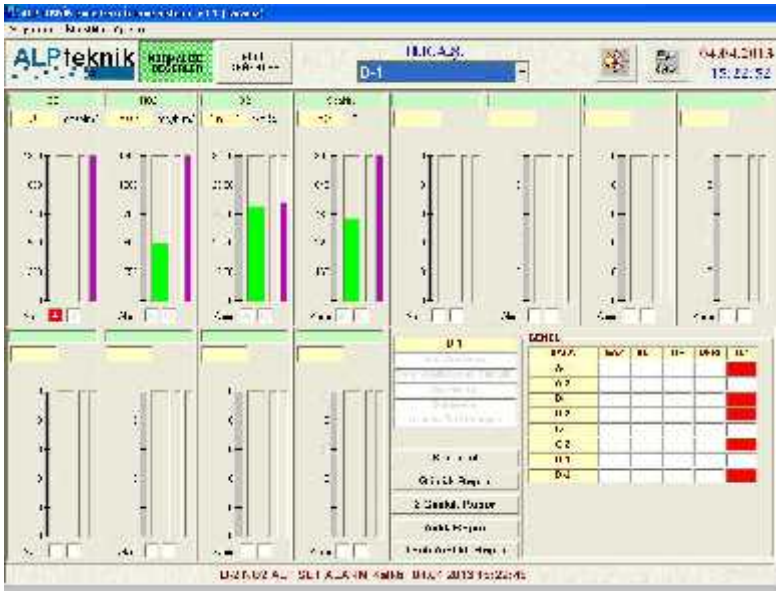
Basit çevrim, kombine çevrim ve kojenerasyon çevrim kullanılan özdeş gaz türbinlerindeki NO_x emisyonları esasen denktir ve egzoz gazı sıcaklık azalmalarından bağımsızdır. Tipik olarak atık ısı kazanlarına akan egzoz gazının sıcaklığını arttırmak için monte edilen kanal brülörleri kombine çevrim ve kojenerasyonda kullanılır. Kanal brülör emisyonları SCR ve düşük NO_x kanal brülörleri gibi düşük emisyon seviyelerini garanti eden yanma sonrası kontrol sistemleri tarafından kontrol edilir. 1993 EPA'nın yayınladığı belgede dahil kanal brülörleri test sonuçları bazı durumlarda NO_x emisyonlarının kanal brülörü boyunca azaldığını göstermektedir. Bu NO_x azalışının nedeni bilinmemektedir. Fakat gaz türbin egzozu içerisinde zaten bulunan NO_x 'in kanal brülörü ile etkileşiminden oluşan ara yanma ürünlerinin tekrar yanması sonucu oluştuğuna inanılmaktadır.

BÖLÜM 7

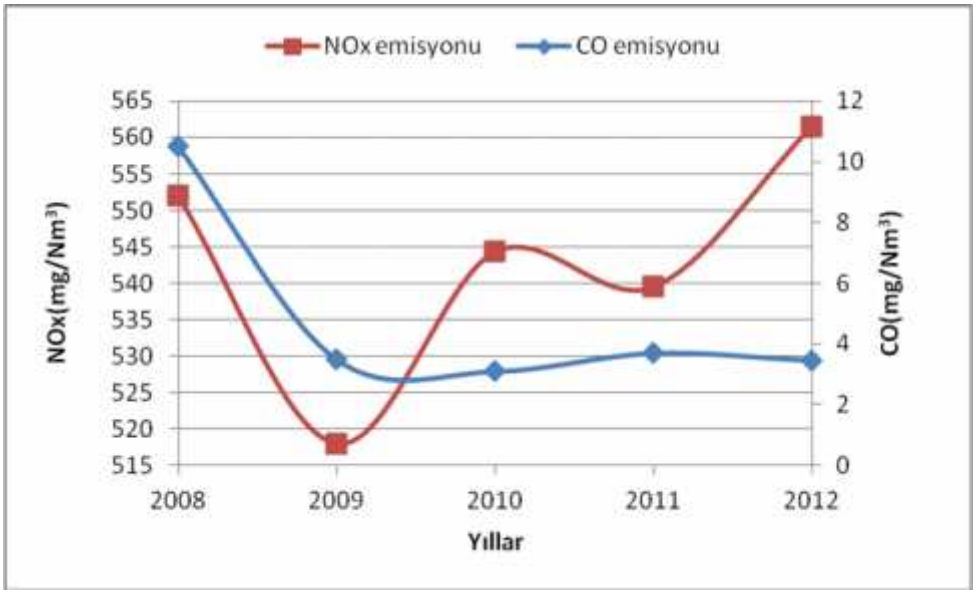
HAMİTABAT KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALİ EMİSYON MİKTARLARI

Hamitabat Kombine Çevrim Santrali'nde sürekli emisyon ölçüm sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem dakikada bir emisyon miktar tespiti yapmaktadır. Bu sistem EÜAŞ tarafından da izlenebilmektedir. Ayrıca Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yeni çıkardığı emisyon yönetmeliklerine göre sistem revize edilmesi için ihale çalışmalarına başlanmış fakat Özelleştirme Yüksek Kurulu tarafından özelleştirilmesi onaylandığı için ihaleden vazgeçilmiştir. Ayrıca Mart 2013'te ihaleye çıkılıp 105 milyon dolara Limak Doğalgaz Elektrik Üretim A.Ş. santrali Ağustos ayı itibariyle devralmıştır. Bu nedenle emisyon kontrol teknolojileri pratik olarak uygulanamamıştır. Ayrıca uygulanması düşünülen emisyon azaltma teknolojilerinin maliyeti çok yüksek olduğundan dolayı bu tezde sadece mütalaa olarak değerlendirilecektir.

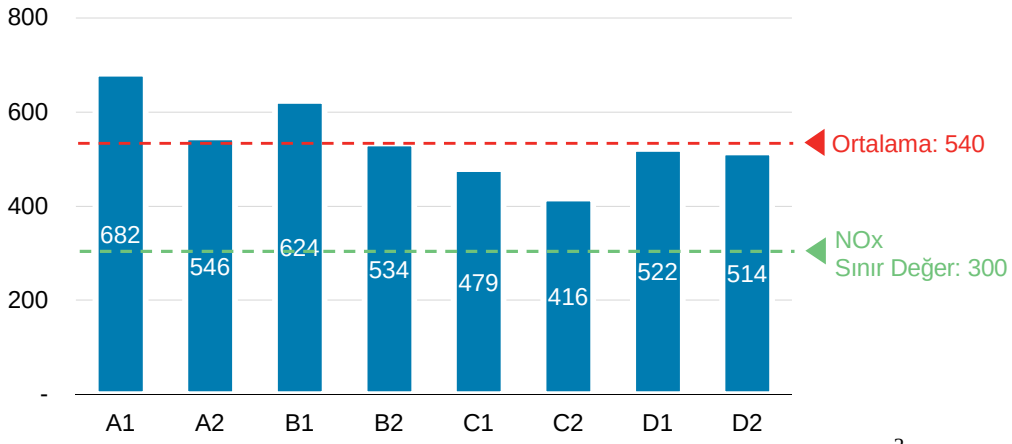
Aşağıda Şekil 7.1.de Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nin kullandığı emisyon tespit programı görülmektedir.



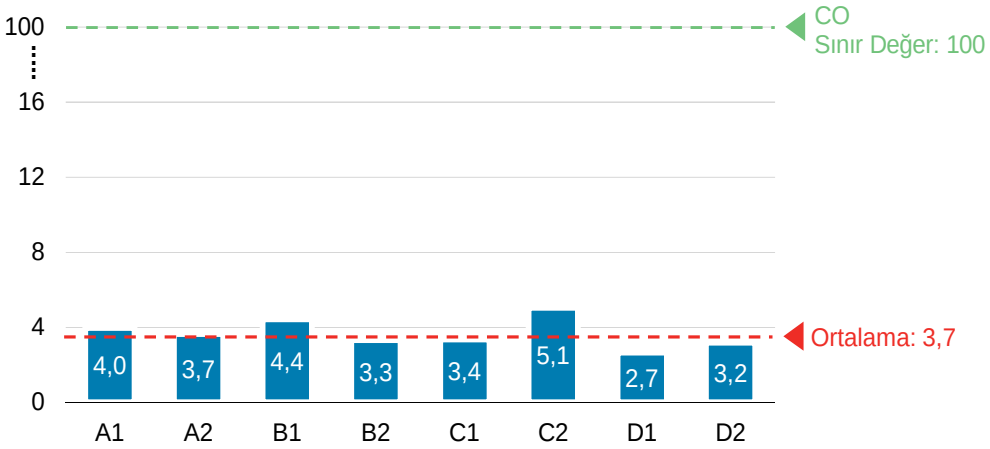
Şekil 7.1. HEAŞ Emisyon Tespit Sistemi



Şekil 7.2. HEAŞ Baca Gazı Yıllık Ortalamaları

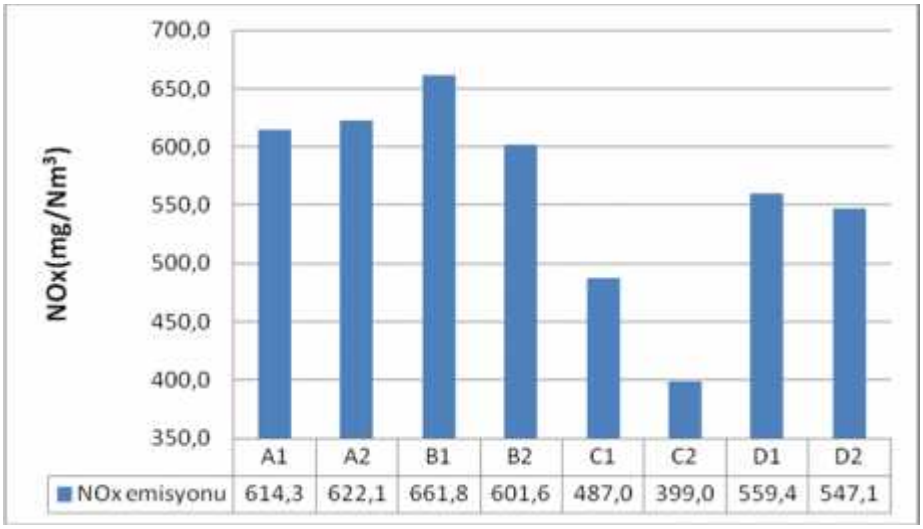


Şekil 7.3. 2011 Ortalama Gaz Türbini NOx Emisyonu (mg/Nm^3)

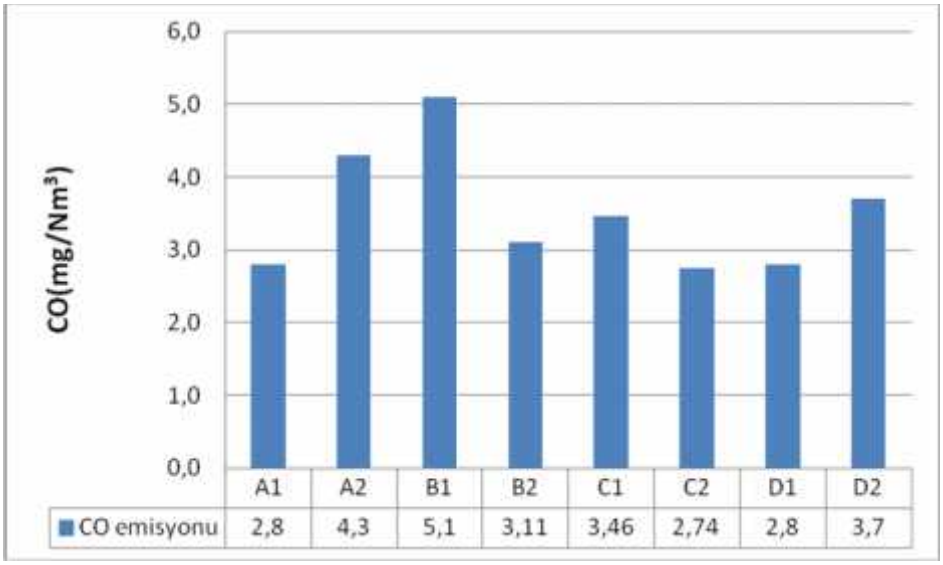


Şekil 7.4. 2011 Ortalama Gaz Türbini CO Emisyonu (mg/Nm3)

Grafiklerden anladığımız kadarıyla santralin emisyon değerleri Çevre ve Orman Bakanlığının Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliğine göre sınır değerler olan 2004 yılı öncesi inşa edilen santrallerde NOx emisyonu için 300 mg/Nm^3 çok üzerindedir. Acil olarak bu snınır değerin altına inilmesi için çalışmalar yapılmalıdır. CO emisyonu için santralde emisyon konusunda bir sıkıntı yoktur. Sınır değer olan 100 mg/Nm^3 değerinin oldukça altında olup herhangi bir çalışmaya gerek yoktur.

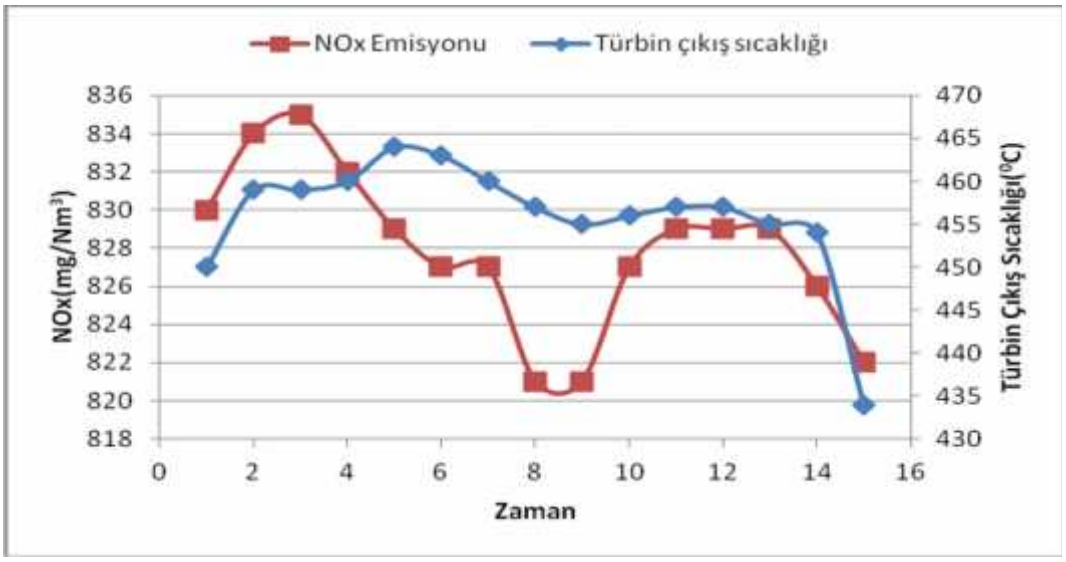


Şekil 7.5. 2012 Ortalama Gaz Türbini NOx Emisyonu (mg/Nm3)

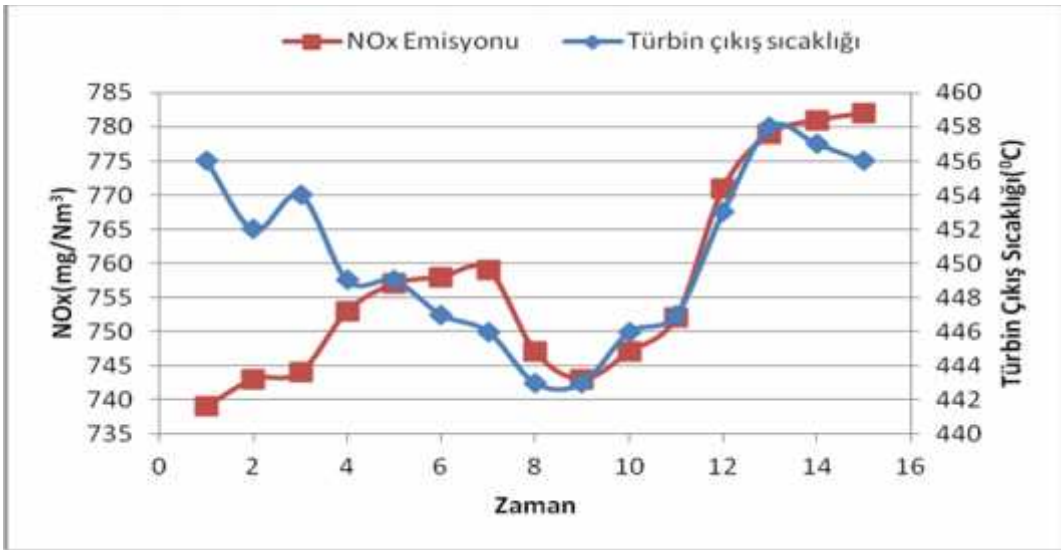


Şekil 7.6. 2012 Ortalama Gaz Türbini CO Emisyonu (mg/Nm3)

Aynı MW değerinde C1 gaz türbininin hem doğalgaz hemde eurodizel yakıt kullanarak oluşturuduğu emisyon değerleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

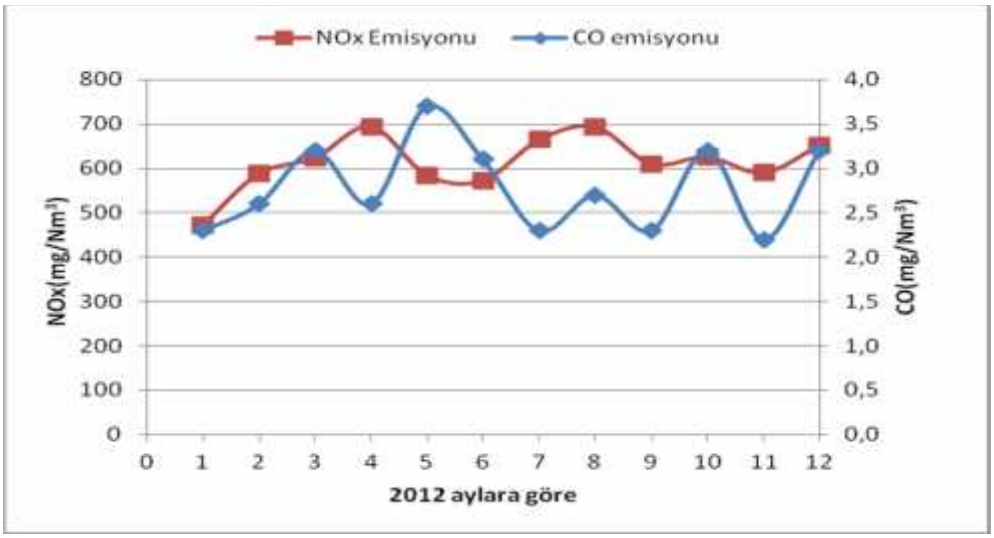


Şekil 7.7. Gaz Türbin C1-80MW Dizel Yakıt



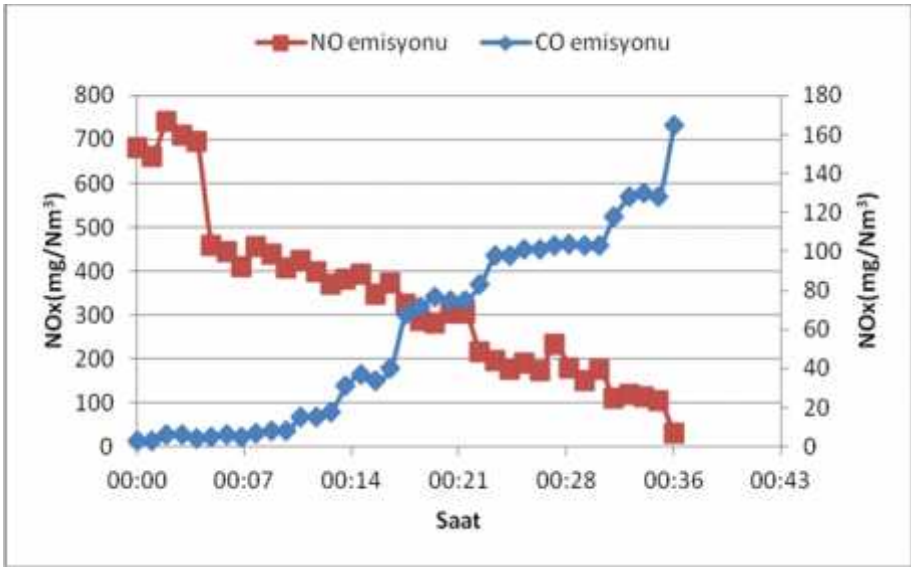
Şekil 7.8. Gaz Türbin C1-80MW Doğalgaz

İlk göze çarpan gaz türbinlerinde eurodizel yakıt kullanımı, doğalgaz kullanımından daha yüksek NOx emisyonu ve türbin çıkış sıcaklığı meydana getirmiştir. Bu durum NOx oluşumuna etki eden faktörlerden yakıt kullanımına değindiğimiz kısımda belirttiğimiz "Damıtılmış petrol doğalgazdan yaklaşık olarak 65^0C daha fazla alev sıcaklığında yanar ve daha NO_x emisyonu üretir" kısmıyla birebir örtüşmektedir. Ayrıca damıtılmış petrol SOx emisyonuna neden olur.



Şekil 7.9. A1 Gaz Türbini Aylara Göre Emisyonlar

Gaz türbin A1 devre dışı kalmaya başlaması sırası ve sonrasındaki değerler aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Grafiği dikkatli incelediğimizde A1 gaz türbini trip sırasındaki NOx emisyonları 700 ppm civarlarındayken türbinin devre dışı kalmasıyla birlikte düşen sıcaklığın etkisiyle NOx emisyonları giderek azalmaktadır. Tersine, CO emisyonları düşen sıcaklığın etkisiyle artmaktadır. Bu durum alev sıcaklığının NOx ve CO emisyonlarına etkisini gösteren şekildeki durumu doğrulamaktadır.



Şekil 7.10. Gaz A1 Trip Sonrası Emisyon Değerleri

Aşağıda Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinde tüm yıl boyunca aylara göre çevreye yayılan tek tek her bir gaz türbininin değerleri tabloda tek tek gösterilmiştir. Daha öncedende belirttiğimiz gibi Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Sürekli Emisyon Ölçüm Tebliğine uygun bir emisyon ölçüm programı yoktur. Gaz türbini çalışmadığı zamanlarda gerçekleşen emisyonları ortalama değerin içine katmaktadır. Fakat çalışsada çalışmasada dakikada bir emisyon değeri almaktadır. Bu durum aylık, yıllık ve günlük emisyon ortalamalarını düşürsede o andaki değeri doğru ölçmektedir.

Çizelge 7.1. HEAŞ 2012 Yılı Ortalama Emisyon Miktarları

	GTA1			GTA2			GTB1			GTB2			GTC1			GTC2			GTD1			GTD2		
	CO	NOx	O2	CO	NOx	O2	CO	NOx	O2	CO	NOx	O2	CO	NOx	O2	CO	NOx	O2	CO	NOx	O2	CO	NOx	O2
OCAK	2,3	472,2	15,50	3,8	459,8	16,90	4,0	611,2	16,70	2,9	544,8	16,50	3,9	457,9	16,70	3,4	441,4	16,60	3,0	533,0	16,60	2,6	464,8	16,20
ŞUBAT	2,6	588,1	16,3	1,3	525,0	16,0	4,0	653,0	16,5	3,0	523,9	16,2	3,5	390,8	17,0	2,0	370,0	16,2	3,3	568,3	16,7	4,3	448,3	16,4
MART	3,2	624,0	16,40	4,4	545,2	16,30	4,7	655,7	16,80	2,8	515,8	16,30	0,0	0,0	0,00	2,8	369,2	16,30	3,0	595,0	16,60	4,8	487,9	16,50
NİSAN	2,6	694,2	16,40	3,3	605,4	16,70	5,3	720,3	16,40	3,4	588,0	16,20	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	3,1	541,6	16,80	4,3	511,9	16,20
MAYIS	3,7	584,4	16,50	4,7	656,0	16,40	5,4	521,2	17,00	3,1	565,9	16,20	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	2,3	575,1	16,50	4,3	577,7	16,10
HAZİRAN	3,1	573,0	16,30	4,9	668,6	16,50	6,9	683,1	16,70	3,2	608,0	16,10	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	2,7	546,0	16,50	4,4	524,6	16,10
TEMMUZ	2,3	664,2	16,30	4,4	625,0	16,50	7,8	717,4	16,60	3,0	548,4	16,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	2,6	570,3	16,40	4,3	491,3	16,10
AĞUSTOS	2,7	693,4	16,30	5,6	710,0	16,50	5,6	730,5	16,50	3,2	678,0	16,10	3,0	458,4	16,50	2,8	354,2	16,00	2,8	569,0	16,20	3,0	548,8	16,10
EYLÜL	2,3	610,1	16,3	4,8	697,6	16,4	4,8	724,4	16,4	2,9	725,7	16,1	3,6	541,4	16,5	2,3	397,6	16,0	2,5	566,4	16,3	3,1	590,2	16,1
EKİM	3,2	625,4	16,30	5,0	653,2	16,40	4,2	638,9	16,50	2,8	691,8	16,40	3,5	533,8	16,60	2,8	416,5	16,30	2,1	554,6	16,40	3,6	670,4	16,20
KASIM	2,2	590,2	16,20	4,5	667,2	16,50	4,1	625,2	16,70	0,0	0,0	0,00	3,0	489,9	16,60	2,6	388,5	16,30	2,7	560,3	16,60	3,1	649,0	16,40
ARALIK	3,2	651,9	16,6	4,7	652,6	16,5	4,1	660,8	16,9	3,9	628,1	16,0	3,7	536,6	16,6	3,2	454,3	16,2	2,9	533,5	16,6	2,7	600,6	16,4
Ortalama	2,8	624,3	16,3	4,3	622,2	16,5	5,1	661,8	16,6	3,1	601,6	16,2	3,5	487,0	16,6	2,7	399,0	16,2	2,8	589,4	16,5	3,7	547,2	16,2

Özel bir kuruluşa 2011 yılında yaptırılan 2011/789 rapor numaralı emisyon ölçümüne göre Gaz Türbin verileri aşağıdaki gibidir. Debi değerleri SKHKKY EK-6.2'de belirtildiği şekilde kuru bazda ve ıslak bazda verilmiş olup, konsantrasyon değerleri kuru bazda verilmiştir.

Çizelge 7.2. A1 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları

Markası	**Üretim Yılı**	**Seri No**	**Kazan Tipi**
			BRÜLÖRLÜ
Yakıt Tipi	**Yakıt Alt Isıl**	**Yakma Isıl Gücü**	**Yakıt Sarfiyatı**
DOĞALGAZ	8250	92.000	9.590,30

ÜNİTE HAKKINDA BİLGİ

Tesisin elektrik enerjisi üretilmektedir. Tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Çatı Özelliği	EĞİK				**SINIR DEĞER**
Baca Yüksekliği (Yerden)	35				10[1]
Baca Yüksekliği (Çatıdan)	8				3[1]
	1.ÖLÇÜM	**2.ÖLÇÜM**	**3.ÖLÇÜM**	**ORTALAMA**	
Ölçüm Tarihi	26.07.2011	26.07.2011	26.07.2011		
Atmosfer Basıncı (mbar)	987,5	987,5	987,5		
Yanma Verimi (%)	78,4	80,6	81,3	80,1	
Gaz Sıcaklığı (^oC)	115,0	116,0	113,0	114,7	
Gaz Hızı (m/sn)	18,4	19,7	18,5	18,9	4[2]
Baca Kesiti (m^2)	18,086	18,086	18,086		
Gaz Debisi (m^3/saat)	1198694	1285292	1203252	1229079	
Gaz Debisi (Nm^3/saat)	728452	779070	735010	747510	
İslilik	0	0	0	0	3[3]
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,000	0,000	0,000	0,000	91[4]
CO Emisyonu (kg/saat)	0,00	0,00	0,00	0,00	5[7]
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,000	0,000	0,000	0,000	54,6[5]
SO_2 Emisyonu (kg/saat)	163,39	179,46	184,82	175,89	60[7]
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	51,60	317,64	325,20	231,48	
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	119,024	139,815	135,846	131,562	
NO Emisyonu (kg/saat)	262,86	289,55	297,77	283,39	20[7]
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	83,01	512,48	523,93	373,14	
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	191,479	225,582	218,862	211,974	273[6]
NO_2 Emisyonu (kg/saat)	191,479	225,582	218,862	211,974	
O_2 Konsantrasyonu (%)	2,00	17,61	17,59	12,40	
CO_2 Konsantrasyonu (%)	1,66	1,87	1,88	1,80	

SKHKKY EK-5.A.8. gereğince kojenerasyon verimi % 75'in üzerinde olan gaz türbinleri için sınır değer belirlenirken mekanik ve ısı geri kazanım toplam verimi kullanılmaktadır. Tesisin mekanik ve ısı geri kazanım toplam verimi% 75'in altında olduğundan sınır değerler hesaplanırken bu verim dikkate alınmamıştır.

Çizelge 7.3. A2 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları

Markası	**Üretim Yılı**	**Seri No**	**Kazan Tipi**
			BRÜLÖRLÜ
Yakıt Tipi	**Yakıt Alt Isıl**	**Yakma Isıl Gücü**	**Yakıt Sarfiyatı**
DOĞALGAZ	8250	92.000	9.590,30

ÜNİTE HAKKINDA BİLGİ

Tesisin elektrik enerjisi üretilmektedir. Tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Çatı Özelliği	EĞİK				**SINIR DEĞER**
Baca Yüksekliği (Yerden)	35				10[1]
Baca Yüksekliği (Çatıdan)	8				3[1]
	1.ÖLÇÜM	**2.ÖLÇÜM**	**3.ÖLÇÜM**	**ORTALAMA**	
Ölçüm Tarihi	21.10.2011	21.10.2011	21.10.2011		
Atmosfer Basıncı (mbar)	1024,6	1024,6	1024,6		
Yanma Verimi (%)	87,5	87,8	87,9	87,7	
Gaz Sıcaklığı (^oC)	107,0	107,0	108,0	107,3	
Gaz Hızı (m/sn)	11,0	13,0	11,0	11,7	4[2]
Baca Kesiti (m^2)	18,086	18,086	18,086		
Gaz Debisi (m^3/saat)	716221	846444	716221	759629	
Gaz Debisi (Nm^3/saat)	452263	534493	451076	479277	
İslilik	0	0	0	0	3[3]
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	3,75	0,00	1,25	
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	4,70	0,00	1,57	91[4]
CO Emisyonu (kg/saat)	0,000	2,004	0,000	0,668	5[7]
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	11,43	5,71	0,00	5,71	
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	3,61	7,16	0,00	3,59	54,6[5]
SO_2 Emisyonu (kg/saat)	5,169	3,054	0,000	2,741	60[7]
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	312,05	333,48	211,61	285,71	
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	98,54	417,72	259,11	258,46	
NO Emisyonu (kg/saat)	141,130	178,244	95,451	138,275	20[7]
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	503,13	538,04	558,57	533,24	
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	158,88	673,95	683,97	505,60	273[6]
NO_2 Emisyonu (kg/saat)	227,545	287,576	251,958	255,693	
O_2 Konsantrasyonu (%)	2,00	16,21	16,10	11,44	
CO_2 Konsantrasyonu (%)	2,59	2,62	2,71	2,64	

Çizelge 7.4. B1 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları

Markası	Üretim Yılı	Seri No	Kazan Tipi
			BRÜLÖRLÜ
Yakıt Tipi	**Yakıt Alt Isıl**	**Yakma Isıl Gücü**	**Yakıt Sarfiyatı**
DOĞALGAZ	8250	92.000	9.590,30

ÜNİTE HAKKINDA BİLGİ

Tesisin elektrik enerjisi üretilmektedir. Tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Çatı Özelliği	EĞİK				**SINIR DEĞER**
Baca Yüksekliği (Yerden)	35				10[1]
Baca Yüksekliği (Çatıdan)	8				3[1]
	1.ÖLÇÜM	**2.ÖLÇÜM**	**3.ÖLÇÜM**	**ORTALAMA**	
Ölçüm Tarihi	26.07.2011	26.07.2011	26.07.2011		
Atmosfer Basıncı (mbar)	988,1	988,1	988,1		
Yanma Verimi (%)	81,4	82,4	84,5	82,76	
Gaz Sıcaklığı (^oC)	114,00	114,00	115,00	114,33	
Gaz Hızı (m/sn)	19,8	20,6	21,6	20,7	4[2]
Baca Kesiti (m^2)	18,086	18,086	18,086		
Gaz Debisi (m^3/saat)	1288547	1343241	1403143	1344977	
Gaz Debisi (Nm^3/saat)	781123	815203	848399	814908	
İslilik	0	0	0	0	3[3]
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	91[4]
CO Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	5[7]
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	54,6[5]
SO_2 Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	60[7]
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	174,11	186,16	207,59	189,29	
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	54,98	302,70	292,38	216,69	
NO Emisyonu (kg/saat)	135,999	151,759	176,119	154,625	20[7]
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	281,34	299,82	334,73	305,30	
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	88,84	487,51	471,45	349,27	273[6]
NO_2 Emisyonu (kg/saat)	219,761	244,415	283,986	249,387	
O_2 Konsantrasyonu (%)	2,00	17,31	16,74	12,02	
CO_2 Konsantrasyonu (%)	1,92	2,03	2,35	2,10	

Çizelge 7.5. B2 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları

Markası	Üretim Yılı	Seri No	Kazan Tipi
			BRÜLÖRLÜ
Yakıt Tipi	**Yakıt Alt Isıl Değeri (kcal/kg)**	**Yakma Isıl Gücü (W)**	**Yakıt Sarfiyatı (m^3/h)**
DOĞALGAZ	8250	92.000	9.590,30
ÜNİTE HAKKINDA BİLGİ			
Tesisin elektrik enerjisi üretilmektedir. Tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.			

Çatı Özelliği	EĞİK				**SINIR DEĞER**
Baca Yüksekliği (Yerden)	35				10[1]
Baca Yüksekliği (Çatıdan)	8				3[1]
	1.ÖLÇÜM	**2.ÖLÇÜM**	**3.ÖLÇÜM**	**ORTALAMA**	
Ölçüm Tarihi	26.07.2011	26.07.2011	26.07.2011		
Atmosfer Basıncı (mbar)	988,1	988,1	988,1		
Yanma Verimi (%)	84,7	85,3	84	84,66	
Gaz Sıcaklığı (^oC)	119,00	119,00	123,00	120,33	
Gaz Hızı (m/sn)	18,7	20,3	20,8	19,9	4[2]
Baca Kesiti (m^2)	18,086	18,086	18,086		
Gaz Debisi (m^3/saat)	1214972	1318499	1356914	1296795	
Gaz Debisi (Nm^3/saat)	725476	787293	802048	771606	
İslilik	0	0	0	0	3[3]
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	91[4]
CO Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	5[7]
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	54,6[5]
SO_2 Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	60[7]
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	219,64	231,70	231,70	227,68	
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	69,36	295,78	309,62	224,92	
NO Emisyonu (kg/saat)	159,346	182,413	185,832	175,863	20[7]
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	355,27	373,75	373,75	367,59	
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	112,19	477,13	499,44	362,92	273[6]
NO_2 Emisyonu (kg/saat)	257,738	294,251	299,765	283,918	
O_2 Konsantrasyonu (%)	2,00	16,30	16,51	11,60	
CO_2 Konsantrasyonu (%)	2,49	2,60	2,48	2,52	

Çizelge 7.6. C1 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları

Markası	Üretim Yılı	Seri No	Kazan Tipi
			BRÜLÖRLÜ
Yakıt Tipi	**Yakıt Alt Isıl**	**Yakma Isıl Gücü**	**Yakıt Sarfiyatı**
DOĞALGAZ	8250	92.000	9.590,30

ÜNİTE HAKKINDA BİLGİ

Tesisin elektrik enerjisi üretilmektedir. Tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Çatı Özelliği	EĞİK				**SINIR DEĞER**
Baca Yüksekliği (Yerden)	35				10[1]
Baca Yüksekliği (Çatıdan)	8				3[1]
	1.ÖLÇÜM	**2.ÖLÇÜM**	**3.ÖLÇÜM**	**ORTALAMA**	
Ölçüm Tarihi	26.07.2011	26.07.2011	26.07.2011		
Atmosfer Basıncı (mbar)	988	988	988		
Yanma Verimi (%)	83,9	84,3	84,5	84,23	
Gaz Sıcaklığı (^oC)	126,00	125,00	126,00	125,67	
Gaz Hızı (m/sn)	18,6	18,6	19,7	19,0	4[2]
Baca Kesiti (m^2)	18,086	18,086	18,086		
Gaz Debisi (m^3/saat)	1209763	1212368	1280083	1234071	
Gaz Debisi (Nm^3/saat)	709621	712936	750869	724475	
İslilik	0	0	0	0	3[3]
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	91[4]
CO Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	5[7]
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	54,6[5]
SO_2 Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	60[7]
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	187,50	198,21	199,55	195,09	
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	59,21	251,97	254,21	188,46	
NO Emisyonu (kg/saat)	133,054	141,314	149,839	141,402	20[7]
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	301,88	320,36	322,41	314,88	
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	95,33	407,23	410,71	304,43	273[6]
NO_2 Emisyonu (kg/saat)	214,217	228,394	242,088	228,233	
O_2 Konsantrasyonu (%)	2,00	16,28	16,29	11,52	
CO_2 Konsantrasyonu (%)	2,57	2,61	2,60	2,59	

Çizelge 7.7. C2 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları

Markası	Üretim Yılı	Seri No	Kazan Tipi
			BRÜLÖRLÜ
Yakıt Tipi	**Yakıt Alt Isıl**	**Yakma Isıl Gücü**	**Yakıt Sarfiyatı**
DOĞALGAZ	8250	92.000	9.590,30

ÜNİTE HAKKINDA BİLGİ

Tesisin elektrik enerjisi üretilmektedir. Tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Çatı Özelliği	EĞİK				**SINIR DEĞER**
Baca Yüksekliği (Yerden)	35				10[1]
Baca Yüksekliği (Çatıdan)	8				3[1]
	1.ÖLÇÜM	**2.ÖLÇÜM**	**3.ÖLÇÜM**	**ORTALAMA**	
Ölçüm Tarihi	26.07.2011	26.07.2011	26.07.2011		
Atmosfer Basıncı (mbar)	988	988	988		
Yanma Verimi (%)	85,5	85,5	85,4	85,46	
Gaz Sıcaklığı (^oC)	122,00	115,00	115,00	117,33	
Gaz Hızı (m/sn)	18,0	19,0	18,6	18,5	4[2]
Baca Kesiti (m^2)	18,086	18,086	18,086		
Gaz Debisi (m^3/saat)	1170696	1237761	1213670	1207376	
Gaz Debisi (Nm^3/saat)	695238	749176	737926	727446	
İslilik	0	0	0	0	3[3]
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	91[4]
CO Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	5[7]
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	54,6[5]
SO_2 Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	60[7]
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	178,13	199,55	194,20	190,63	
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	56,25	261,42	742,15	353,28	
NO Emisyonu (kg/saat)	123,839	149,501	143,303	138,881	20[7]
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	287,50	303,93	314,20	301,88	
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	90,79	398,16	1200,75	563,23	273[6]
NO_2 Emisyonu (kg/saat)	199,881	227,696	231,854	219,810	
O_2 Konsantrasyonu (%)	2,00	16,42	19,43	12,62	
CO_2 Konsantrasyonu (%)	2,47	2,53	2,52	2,51	

Çizelge 7.8. D1 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları

Markası	Üretim Yılı	Seri No	Kazan Tipi
			BRÜLÖRLÜ
Yakıt Tipi	**Yakıt Alt Isıl**	**Yakma Isıl Gücü**	**Yakıt Sarfiyatı**
DOĞALGAZ	8250	92.000	9.590,30

ÜNİTE HAKKINDA BİLGİ

Tesisin elektrik enerjisi üretilmektedir. Tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Çatı Özelliği	EĞİK				**SINIR DEĞER**
Baca Yüksekliği (Yerden)	35				10[1]
Baca Yüksekliği (Çatıdan)	8				3[1]
	1.ÖLÇÜM	**2.ÖLÇÜM**	**3.ÖLÇÜM**	**ORTALAMA**	
Ölçüm Tarihi	26.07.2011	26.07.2011	26.07.2011		
Atmosfer Basıncı (mbar)	988	988	988		
Yanma Verimi (%)	84,5	84,5	85,2	84,73	
Gaz Sıcaklığı (^oC)	122,00	123,00	121,00	122,00	
Gaz Hızı (m/sn)	18,0	19,0	18,6	18,5	3[2]
Baca Kesiti (m^2)	18,086	18,086	18,086		
Gaz Debisi (m^3/saat)	1170696	1237761	1213670	1207376	
Gaz Debisi (Nm^3/saat)	695238	749176	737926	727446	
İslilik	0	0	0	0	4[3]
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	91[4]
CO Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	5[7]
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	54,6[5]
SO_2 Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	60[7]
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	214,29	225,00	231,70	223,66	
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	67,67	290,32	292,05	216,68	
NO Emisyonu (kg/saat)	150,974	158,742	162,774	157,496	20[7]
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	345,00	363,48	373,75	360,74	
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	108,95	469,01	471,11	349,69	273[6]
NO_2 Emisyonu (kg/saat)	243,067	256,443	262,570	254,027	
O_2 Konsantrasyonu (%)	2,00	16,35	16,24	11,53	
CO_2 Konsantrasyonu (%)	2,53	2,57	2,63	2,58	

Çizelge 7.9. D2 Bacası Özelliği ve Ölçüm Sonuçları

Markası	Üretim Yılı	Seri No	Kazan Tipi
			BRÜLÖRLÜ
Yakıt Tipi	**Yakıt Alt Isıl**	**Yakma Isıl Gücü**	**Yakıt Sarfiyatı**
DOĞALGAZ	8250	92.000	9.590,30

ÜNİTE HAKKINDA BİLGİ

Tesisin elektrik enerjisi üretilmektedir. Tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Çatı Özelliği	EĞİK				**SINIR DEĞER**
Baca Yüksekliği (Yerden)	35				10[1]
Baca Yüksekliği (Çatıdan)	8				3[1]
	1.ÖLÇÜM	**2.ÖLÇÜM**	**3.ÖLÇÜM**	**ORTALAMA**	
Ölçüm Tarihi	26.07.2011	26.07.2011	26.07.2011		
Atmosfer Basıncı (mbar)	988	988	988		
Yanma Verimi (%)	85,5	86	86	85,83	
Gaz Sıcaklığı (^oC)	115,00	115,00	115,00	115,00	
Gaz Hızı (m/sn)	18,9	16,2	18,8	18,0	4[2]
Baca Kesiti (m^2)	18,086	18,086	18,086		
Gaz Debisi (m^3/saat)	1229296	1053497	1223436	1168743	
Gaz Debisi (Nm^3/saat)	741522	632586	733789	702632	
İslilik	0	0	0	0	3[3]
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	91[4]
CO Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	5[7]
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	0,00	0,00	0,00	0,00	54,6[5]
SO_2 Emisyonu (kg/saat)	0,000	0,000	0,000	0,000	60[7]
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	206,25	227,68	231,70	221,88	
NO Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	65,13	292,52	297,05	218,23	
NO Emisyonu (kg/saat)	152,939	144,026	170,016	155,660	20[7]
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	332,68	367,59	373,75	358,01	
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3 %15	105,06	472,28	479,17	352,17	273[6]
NO_2 Emisyonu (kg/saat)	246,688	232,532	274,254	251,158	
O_2 Konsantrasyonu (%)	2,00	16,33	16,32	11,55	
CO_2 Konsantrasyonu (%)	2,49	2,58	2,59	2,55	

Hamitabat Santralinde gaz türbini trip ettiği zaman oluşan emisyonlar Tablo 7.10.da gösterilmiştir.

Çizelge 7.10. Gaz Türbin A1 Trip Emisyon Değerleri(a)

Tarih	Saat	CO mg/Nm3	NO2 mg/Nm3	O2 Vol%	Sıcaklık °C	Ktgr(Gaz)	Ktgr(Toz)
20.03.2013	00:00	3	680	16.61	448	1	1
20.03.2013	00:01	3	662	16.68	438	1	1
20.03.2013	00:02	6	740	16.87	433	1	1
20.03.2013	00:03	6	709	16.88	430	1	1
20.03.2013	00:04	4	695	16.92	427	1	1
20.03.2013	00:05	5	459	17,11	416	2	2
20.03.2013	00:06	6	443	17.21	408	2	2
20.03.2013	00:07	5	409	17.23	404	2	2
20.03.2013	00:08	7	456	17.23	404	2	2
20.03.2013	00:09	8	438	17.21	395	2	2
20.03.2013	00:10	8	406	17.40	379	2	2
20.03.2013	00:11	15	425	17.64	374	2	2
20.03.2013	00:12	15	399	17.67	368	2	2
20.03.2013	00:13	18	370	17.75	354	2	2
20.03.2013	00:14	31	382	18,02	346	2	2
20.03.2013	00:15	37	393	18,07	343	2	2
20.03.2013	00:16	34	348	18,06	341	2	2
20.03.2013	00:17	40	374	18,09	327	2	2
20.03.2013	00:18	68	325	18.49	316	2	2
20.03.2013	00:19	72	287	18.57	310	2	2
20.03.2013	00:20	77	282	18.60	308	2	2
20.03.2013	00:21	75	303	18.58	306	2	2
20.03.2013	00:22	75	304	18.58	303	2	2
20.03.2013	00:23	83	217	18.69	293	2	2
20.03.2013	00:24	98	195	18.89	287	2	2
20.03.2013	00:25	98	175	18.90	285	2	2
20.03.2013	00:26	101	190	18.88	284	2	2
20.03.2013	00:27	101	174	18.89	282	2	2
20.03.2013	00:28	103	232	18.90	280	2	2
20.03.2013	00:29	104	180	18.93	279	2	2
20.03.2013	00:30	103	150	18.93	279	2	2
20.03.2013	00:31	103	175	18.91	274	2	2
20.03.2013	00:32	118	111	19.15	263	2	2
20.03.2013	00:33	128	118	19.29	258	2	2
20.03.2013	00:34	130	114	19.30	256	2	2
20.03.2013	00:35	128	105	19.28	250	2	2
20.03.2013	00:36	165	29	19.55	226	2	2
20.03.2013	00:37	20	71	20.79	216	2	2

Gaz türbin A1 devre dışı kalmaya başlaması sırası ve sonrasındaki değerler tablodaki gibidir. Tabloyu dikkatli incelediğimizde A1 gaz türbini trip sırasındaki NOx emisyonları 700 ppm civarlarındayken türbinin devre dışı kalmasıyla birlikte düşen sıcaklığın etkisiyle NOx emisyonları giderek azalmaktadır. Tersine, CO emisyonları düşen sıcaklığın etkisiyle artmaktadır. Bu durum alev sıcaklığının NOx ve CO emisyonlarına etkisini gösteren şekildeki durumu doğrulamaktadır.

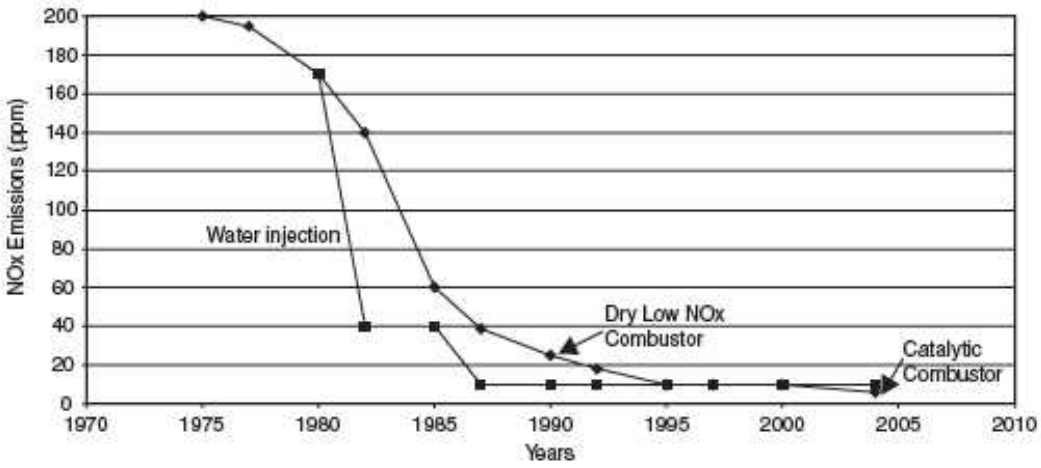
Çizelge 7.11. Gaz Türbin C1 Start Emisyon Değerleri

Tarih	Saat	CO	NO2	O2	Sıcaklık	Ktgr(Gaz)	Ktgr(Toz)
		mg/Nm3	mg/Nm3	Vol%	°C		
12.03.2013	14:37	2	50	21.15	19	2	2
12.03.2013	14:38	3	47	21.16	18	2	2
12.03.2013	14:39	10	50	21.17	21	2	2
12.03.2013	14:40	136	122	16.69	61	1	1
12.03.2013	14:41	215	60	17.43	140	2	2
12.03.2013	14:42	210	74	17.97	205	2	2
12.03.2013	14:43	166	76	17.98	247	2	2
12.03.2013	14:44	128	121	18.82	251	2	2
12.03.2013	14:46	119	138	19.37	230	2	2
12.03.2013	14:47	97	182	19.38	236	2	2
12.03.2013	14:49	76	233	18.82	257	2	2
12.03.2013	14:51	60	282	18.64	278	2	2
12.03.2013	14:54	57	293	18.64	293	2	2
12.03.2013	14:56	30	309	18.16	308	2	2
12.03.2013	14:59	23	324	18.00	331	2	2
12.03.2013	15:03	14	335	17.76	352	2	2
12.03.2013	15:07	9	362	17.53	371	2	2
12.03.2013	15:12	8	365	17.53	385	2	2
12.03.2013	15:16	3	393	17.29	416	2	2
12.03.2013	15:30	2	630	16.29	491	1	1

BÖLÜM 8

GAZ TÜRBİNLERİNDE NO_x EMİSYONU KONTROL TEKNOLOJİLERİ

Gaz türbin tasarımcıları, çevrim verimini iyileştirecek çalışmalar yaparken yasalarla konulan emisyon seviyelerini ve özellikle NO_x emisyonunu azaltacak birçok çalışmayı da göz önünde bulundurmuşlardır. Düşük emisyon oranları elde etmek için yapılan bu çalışmalar, oluşum öncesi ve oluşum sonrası kontrol teknolojilerinden tek başına veya kombine ederek faydalanmışlardır.



Şekil 8.1. Yıllara Göre Gaz Türbin NO_x Emisyonu Kontrolü [2]

Sıkı emisyon yaptırımlarının uygulanmaya başladığı 1970 yılından bu yana özellikle NO_x emisyonu kontrol teknolojilerinde hızlı gelişmeler yaşanmıştır. Aşağıda Şekil 8.1'de verilen bir kısım uygulamanın yıllara göre gelişimini göstermektedir. Günümüzde kullanılan NO_x kontrol mekanizmalarını detaylı olarak inceleyelim.

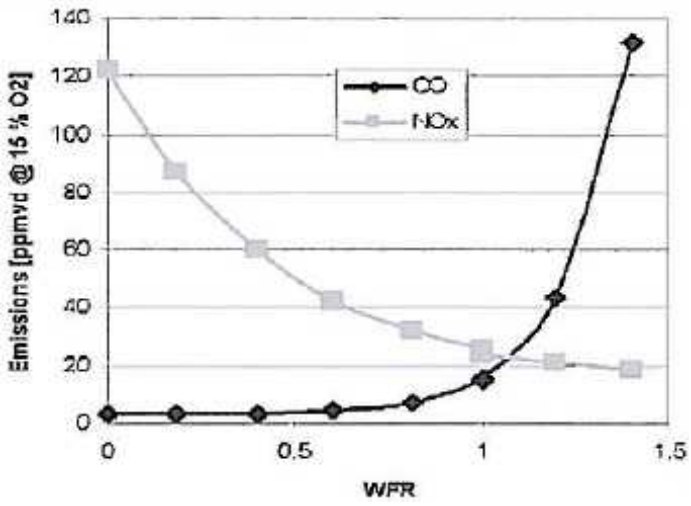
8.1. Su/Buhar Enjeksiyonu

Su ya da buhar enjeksiyonu 1970 yılından bu yana gaz türbinlerinde NO_x emisyonunu kontrol etmek için kullanılan olgun bir teknolojidir. Yakıt ve havanın eş zamanlı karışımı ve sonraki yanma yakıt bakımından zengin lokalize bölgelerde yüksek alev sıcaklığıyla sonuçlanır. Yakıcının alev bölgesi üzerine püskürtülen su ya da buhar buharlaşma gizli ısısını alev bölgesinden emerek alev sıcaklığını düşüren ve ısıl NO_x oluşumunu azaltan bir soğutucu ortam sağlar. Su yakıt oranı NO_x emisyon değerini direk etkilemektedir ve genelde türbin giriş sıcaklığı ve çevre sıcaklığı tarafından kontrol edilir. Eksik yanma ürünleri, CO ve UHC en yüksek alev sıcaklığını düşürmek için eklenen daha fazla su veya buhar nedeniyle artar. Güneş türbinleri tecrübelerine dayanarak su yakıt oranı 0,6-0,8 arasında seyrettiğinde genelde CO ve UHC çok az artar veya hiç artış yoktur. Fakat 0,8 üzeri su yakıt karışımlarında CO ve UHC emisyonları üstel olarak artmaya başlar. Su ya da buhar tipik olarak su yakıt oranı birden küçük oranda püskürtülür.

Yakıcı kılıfı üzerine su çarpması maksimum elverişli su enjeksiyon değerini sınırlar, çünkü direk su çarpması hızlı kılıf aşınması ile sonuçlanır. Çarpma buhar enjeksiyonlu türbinlerde bir sorun değildir. Bunun anlamı önemli derecede yüksek buhar kütlesi akışı buhar enjeksiyonlu türbinlerde elverişlidir.

Başlangıç NO_x seviyelerine bağlı olarak çeşitli oranlar su veya buhar püskürtme 60% ya da daha fazla miktarlarda NOx oluşumunu azaltabilir. Su ya da buhar enjeksiyonuna 2-3% oranında verim kaybına neden olmasına karşın 5-6% güç çıkışı artışı sağlamaktadır. Artan güç çıkışı üretici sınırlarında korunan türbin giriş sıcaklığında artan kütle akışından kaynaklanır. Su ya da buhar enjeksiyonuyla başarılan en düşük objektif NOx seviyesi doğalgaz yakıldığında 25 ppm'dir.

Büyük miktarlarda saf su ve buhar üretmenin maliyeti, su çarpması ve karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonu nedeniyle bu yöntemin kullanımı azalmıştır. Aşağıdaki şekil 8.2.de püskürtülen su oranına göre CO ve NO_x emisyonlarındaki değişim grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 8.2. Püskürtülen WFR Oranına Göre Emisyonlar [6]

Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde bu sistemin uygulanabilmesi için yanma odasında değişiklikler yapılması buna uygun olarak yanma odasına buhar veya su püskürtmek için maliyeti yüksek uygulanabilirliği kısıtlı teçhizatlar yapılması gerekmektedir. Ayrıca su veya buhar püskürtmenin türbin kanatları üzerinde olumsuz etkileri düşünüldüğünde uygulanabilirliği tartışılır bir teknolojidir. Bunun yerine Türbin giriş havasının soğutulması üzerine teknolojiler kullanılabilir.

8.2. Fogging Sistemi

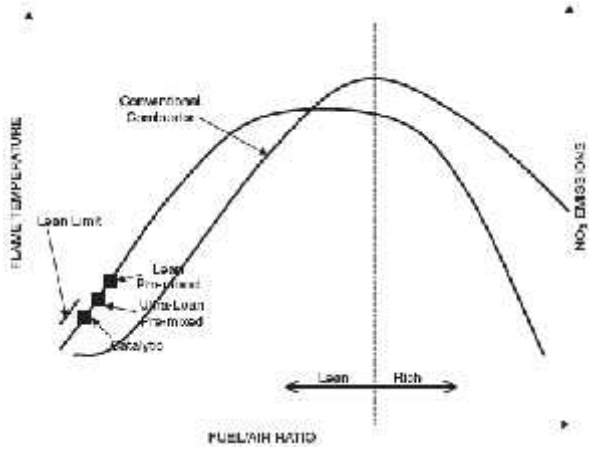
Sisleme, evaporatif soğutma teknolojisinin bir diğer formudur ve çok küçük su damlacıklarının spreylenerek giriş havasına eklenmesi şeklinde çalışır. Bu sistemler istenilen evaporasyon zamanı ve ortam sıcaklığına bağlı olarak farklı büyüklüklerde damlacık üretebilecek şekilde dizayn edilebilirler. Su damlacıklarının büyüklükleri genellikle 40 mikrondan daha küçük, çoğunlukla 20 mikrondur. Bu sistemde kullanılan suyun deminarelize edilmesi gerekir. Bu sistemde, Kuru Termometre ve Yaş Termometre sıcaklık farkının %95-98'i kadar yaş termometre sıcaklığına yaklaşılabilmektedir. Bu nedenle fogging yöntemi evaporatif-ıslak soğutma sisteminden biraz daha verimlidir. Türbin giriş havası soğutma uygulaması sayesinde düşük giriş havası sıcaklığı elde edilmesi yanma gazı sıcaklığını düşürerek NOx emisyon miktarını düşürür ve bu sayede NOx kontrolü için su/buhar püskürtme ihtiyacı ortadan kalkar. Türbin giriş havası soğutma sistemi ayrıca CO emisyonu artışına yol açan çeşitli

türbin/jeneratör kapasite artırma tedbirlerine de ihtiyaç bırakmaz ayrıca kontrol kolaydır ve karmaşık kontrol sistemlerinden bizi korur.

Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde bu sistem asıl amaç olarak yazın aşırı sıcaklıklardan dolayı düşen gaz türbin kapasitesini arttırmak için uygulanmaktadır. Bununla birlikte santralin yüksek emisyon miktarlarını düşürmede katkılar sağlaması yönüyle gaz türbin emisyonu azaltım yöntemi olarak düşünülebilir.

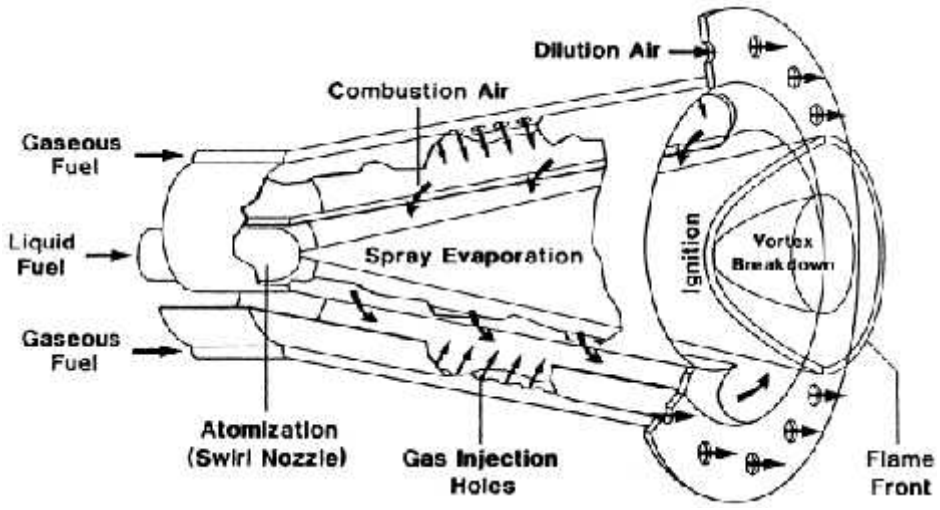
8.3. Dry Low NO_x Yakıcılar

DLN yakıcı teknolojisi hava ve fakir yakıt karışımının ön karışımını sağlayarak alev sıcaklığını ve ısıl NO_x oluşumunu önemli derecede azaltır. Konvansiyonel yakıcılar yakıt ve havanın ayrı olarak püskürtüldüğü difüzyon kontrollüdür. Yanma bölgesel olarak yüksek NO_x seviyeleri üreten sıcak noktalar ile sonuçlanan stokiyometrik ara birimler meydana gelir. Buna karşılık DLN yakıcılar genelde hava ve yakıtın yakıcıya girmeden önce karıştığı bir ön karışım metodunda çalışır. Temel prensip yanma bölgesine tamamen homojen, fakir yakıt ve hava karışımı sağlamaktır. DLN yakıcı teknolojisi hibrid yanma, kombine difüzyon alevi (düşük yükler için) bir de DLN yakıcı alev teknolojisinden (yüksek yükler için) meydana gelmektedir. DLN yakıcının alev kararsızlık limitlerinden dolayı nominal yükün yaklaşık 50% altında olduğu durumlarda, yük yaklaşık 50% olana kadar türbin tipik olarak konvansiyonel difüzyon alevi modunda çalıştırılır. Sonuç olarak düşük yük çalışma şartlarında NO_x seviyeleri artar. Belirli bir türbin için karakteristik olarak DLN yakıcı hacmi konvansiyonel yakıcının iki katıdır. Şekil 8.3. yakıt hava oranına göre alev sıcaklığı ve NO_x emisyonlarının değişimi gözlemlenmiştir.



Şekil 8.3. Yakıt/Hava Oranının Alev Sıcaklığı ve NO_x Emisyonları Üzerinde Etkisi [2]

DLN ile donatılmış türbinlerin maliyetleri tahmin edilenden kayda değer oranda yüksek olabilir. Çünkü rotor ve stator kanatlarının yenilenmesi, yatakların yeniden tasarlanması, kaldırma pompaları ve yakıcı hassasiyetlerinin değişmesi gibi faktörler maliyeti önemli ölçüde arttırabilir. Modern türbinlerdeki yüksek işletme sıcaklıkları birinci kademe rotor kanatlarında sık sık kontrol ve rotor kanadı değiştirmeyi gerektiren sürünme hasarına yani plastik deformasyona neden olabilir. DLN yakıcılarıyla alakalı başka bir problem flashback diye adlandırılan geriye dönüştür. Bu problem genelde alevin birinci yanma bölgesinde değil de geriye hareket edip yeniden sirkülasyon bölgesinde bulunduğunda meydana gelir. Tekrar sirkülasyon bölgesi gazın yanması ve alevin varlığı sonucu oluşan yüksek sıcaklıklara karşı dirençli olarak tasarlanmamıştır. Aynı zamanda Flashback düzensiz yanma dinamiğinden kaynaklanan yanma titreşimlerine neden olur. Bu da gürültü titreşim ve DLN yakıcı kılıflarında hasarlara neden olur. Flashback' ten korunmak için bu yakıcılardaki yakıt sıvı hidrokarbonlardan tamamen arındırılmış olmalıdır. Bunun anlamı, türbinlere giren yakıtın her aşamada kuru olması sağlanmalıdır. Yakıt kaynağının içindeki sıvılar, özellikle sıvı hidrokarbonlar yakıcı yönünde problemlere öncülük edebilir. Türbin rotor ve stator kanatçık ağzı üzerindeki sıvı hidrokarbon çarpmaları türbin tabakasında kabarma ve pullanmalara neden olan sıcak noktalar meydana getirir. Bundan dolayı tüm ticari işletmelerdeki DLN yakıcıları gaz yakıtlar için tasarlanmıştır. Bazı üreticiler şu an hem gaz hem de dizel yakan DLN yakıcılar üzerinde çalışmaktadır. Şekil 8.4.'te ABB firmasının ürettiği DLN yakıcı kısımlarıyla birlikte gösterilmiştir



Şekil 8.4. ABB EV Koni Brülör [7]

DLN yanma özellikle gaz yakıtlar kullanıldığında esasen karbon oluşumundan bağımsızdır. Karbonun yokluğu sadece kurum emisyonlarını düşürmez aynı zamanda Yakıcı duvarlarından ışıma yoluyla transfer edilen ısı miktarını ve yakıcı duvarını soğutmak için gereken hava miktarını önemli ölçüde azaltır. Daha fazla hava yanma bölgesinin sıcaklığını düşürme ve yakıcıda akış modelini iyileştirmek için kullanılır.

Çok fakir ön karışım şartlarında NO_x oluşumu hemen hemen kalma süresinden bağımsızdır, bunun anlama bu şartlar altında DLN sistemleri etkili azaltma için yakıcıda uzun kalma süresi gerektiren CO ve UHC düşük seviyelerde tutulabilir.

ABB tarafından geliştirilen GT24 (166MW) ve GT26 (241MW) güç üretim türbin sıralı yanma DLN teknolojisi buna bir istisnadır. Yanma birinci DLN yakıcıda gerçekleşir, yakıt eklemeyi takip eden ikinci yanma odasında türbin kanatlarının birinci sırasının arkasına yerleştirilmiştir. Bu DLN teknoloji 1997 yılında ticarileştirildi ve birçok türbin yük yelpazesinde DLN yöntemi olarak kullanılmasına izin verildi.

GE Güç Sistemleri, Siemens ve ABB gibi büyük firmalar kendi DLN geliştirmeleri için 50 MW üzeri türbinlere yoğunlaşmaktadırlar. Büyük olasılıkla DLN gelişmeleri er ya da geç küçük türbinler için de elverişli olacaktır.

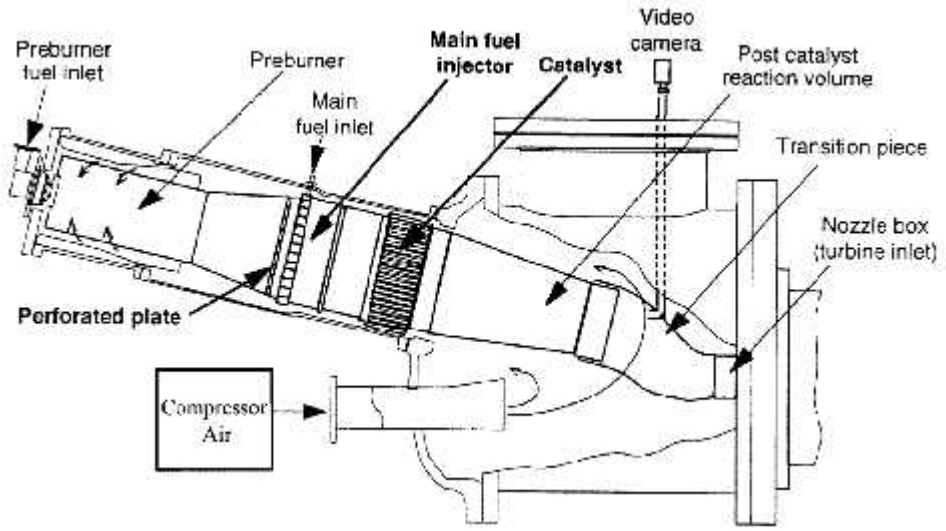
Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde 1970-1980 model modifikasyonlu harici silo tipi yanma odalı eski gaz türbinleri Alstom 13D2 ve Alstom 13DM kullanılmaktadır. Bu türbinleri çevresel yakıcılı gaz türbinlerine çevrilmesi eski sistem yerinden demontaj edilmeden imkansızdır. Ayrıca yerine konulacak gaz türbininin alım maliyeti düşünüldüğünde şu an devlet eliyle gerçekleştirilmesi zordur. Fakat İsviçreli Alstom firması yanma odasını kısaltıp yerine Mid-NOx yakıcı denilen 24-30 tane EV-Burner koyarak emisyon miktarlarını 2004 öncesi inşa edilen santraller için sınır olan 300 ppm değerinin altına düşürebilecek bir model önermiştir. Fakat santral özelleşmesi onaylanıp devir aşamasına gelindiği için herhangi bir işlem başlatılamamıştır.

8.4. Katalitik Yanma ve Yakıcılar

Katalitik yanma, yanıcı bileşik ve oksijenin katalizör yüzeyinde tepkimeye girerek bileşiği oksitlemesi işlemidir. Bu işlem alev olmadan diğer konvansiyonel yakıcılara göre düşük sıcaklıkta meydana gelir. Kısmen düşük işletim sıcaklıklarından dolayı katalitik yanma konvansiyonel yanmaya göre daha düşük NO_x emisyonu üretir.

Çünkü NO_x oluşumu ile alev sıcaklığı arasında güçlü bir bağlantı vardır. Katalitik yanma günümüzde yaygın olarak çevre kirliliğini azaltma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Katalitik yanma konvansiyonel yakıcılardan daha düşük yaklaşık 980^0C sıcaklıkta meydana gelen oldukça fakir yakıt/hava karışımının oksidasyonuna izin veren alevsiz bir süreçtir. Katalitik yakıcılar NO_x emisyonunu 3ppm altına düşürmek için geliştirilmişlerdir. Başlangıç test verileri katalitik yanmanın DLN yakıcı ile donatılmış aynı türbine göre ölçülen değerlerde 1-10 dan 1-100 seviyelerine kadar daha düşük vibrasyon ve akustik ses sunduğunu göstermektedir.

Katalitik yanma sisteminde ön yakıcı, ana yakıt enjektörü ve katalitik reaktör gibi birkaç önemli mekanizma bulunmaktadır.



Şekil 8.5. Katalitik Yakıcı [2]

Ön yakıcı katalitik çalışma reaktöründeki şartlara göre çalışma noktalarını yüke göre ayarlar. Çoğunlukla bunlar katalizörün gerekli minimum gaz çıkış sıcaklığını üretmesi için türbin çalışmasına gereken yakıt yetersiz olduğu düşük yüklerdir. Türbin yükü arttığında, devamlı olarak daha fazla yakıt ana enjektörden yönlendirilir ve daha az yakıt ön yakıcıya gider. En sonunda, ön yakıcı sadece katalizörün minimum giriş sıcaklığını sürdürmesi için yetecek miktarda yakıt alır. Ana yakıt enjektörü katalizöre gönderilen yakıt hava karışımının aynı kompozisyonda, sıcaklıkta ve hızda olmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Bir çoklu-delik boru yakıt enjeksiyon sistemi GE tarafından özellikle bu amaç için geliştirilmiştir. Her birinin boğazında dört yakıt

enjeksiyon ağzı bulunan 93 delik boru akış yönü boyunca sıralanmıştır. Katalitik reaktörün görevi katalizörden geçerken hızlı homojen yanma başlatmak için gerekli yüksek gaz sıcaklığını elde etmek için giren yakıtı yeteri kadar yakmaktır.

Katalitik yakıcılarla ilgili bir problem katalizörün yakıtı ters yönde otomatik ateşlemesidir. Hava-yakıt oranının fakir yanıcılık sınırından oldukça aşağıda olmasında karşın, teori otomatik ateşleme için elverişli değildir. Zengin yakıt karışımı yerel cepleri, yakıcı enjektörlerinin yakınında oluşabilir ve tutuşabilir. Karıştırma, zengin yakıt ceplerinin oluşmasını önlemek için çabucak gerçekleştirilmelidir. Optimum katalizör performansı giriş hava ve yakıt karışımı tamamen aynı sıcaklık, hız ve bileşimde olmasını da gerektirmektedir. Çünkü bu durum tüm katalizör alanının verimli kullanımını sağlar ve yüksek yerel gaz sıcaklıklarından kaynaklanan alt tabaka hasarlarını önler.

Katalitik yakıcılarla ilgili başlıca bilinmeyen katalizörün dayanıklılığıdır. Araştırmacılar yüksek sıcaklıklarda sürdürülen çalışmalar esnasında katalizörün bozulacağını öne sürmektedirler. Isıl bozulma yüzey alanı kaybına ve 1100^0C üzerinde oksitlenen platin gibi aktif metallerin uçması ile sonuçlanır.

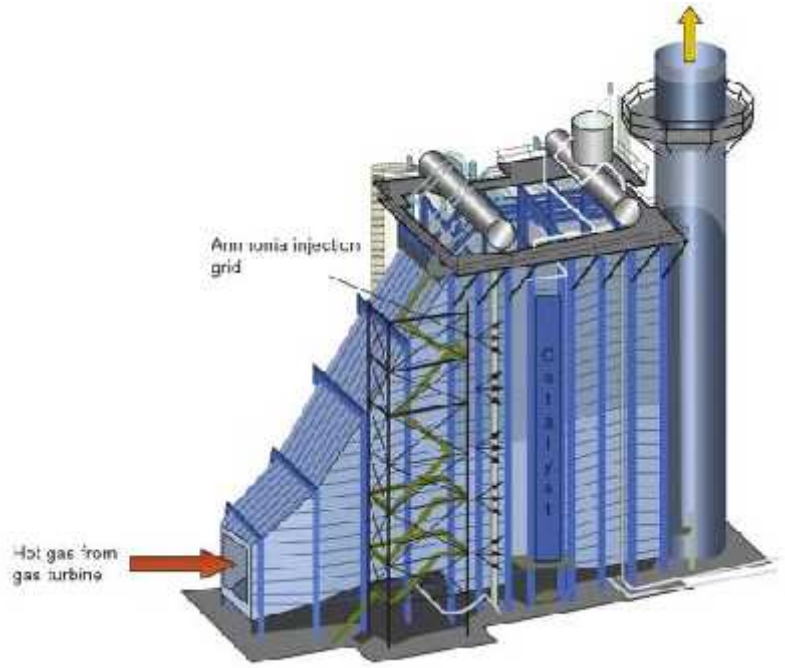
NO_x emisyonları yakıcı fakir flameout sınırına en yakın olduğu anda en düşüktür. Flameout gaz türbinlerinde alevin istemeden sönmesi durumudur. Düşük yakıt/hava oranlarında fakir flameout sınırını uzatmak için ise yakıcı içinde katalizörü arttıran bir yanma içeren bir yöntem kullanılmaktır.

Dry Low NOx yakıcılar için geçerli olan eski sistemin sökülüp yeni model gaz türbinlerinin montajı, maliyet vb durumlar bu tip yakıcılar içinde geçerlidir. Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santraline uygulanabilmesi söz konusu değildir.

8.5. Seçici Katalitik İndirgeme (SCR)

SCR işlemi katalizör yatağına amonyak püskürtmeden meydana gelir. NO_x amonyak ile birleşir ve katalizör varlığında moleküler azot azalır. SCR 65-90% arasında NO_x azaltma yeteneğine sahiptir ve DLN veya su/hava enjeksiyonu ile kombine edilirse doğalgaz yandığında 15% O_2 şartlarında 5ppm veya daha az NO_x çıkış konsantrasyonu başarılabilir. Titanyum oksit çoğunlukla SCR katalizör malzemesi olarak kullanılır, buna karşın vanadyum pentoksit, soy metaller ve zeolitler de kullanılabilir. Azot oksitler, amonyak ve oksijen katalizör yüzeyinde tepkimeye girerek N_2 ve H_2O formuna

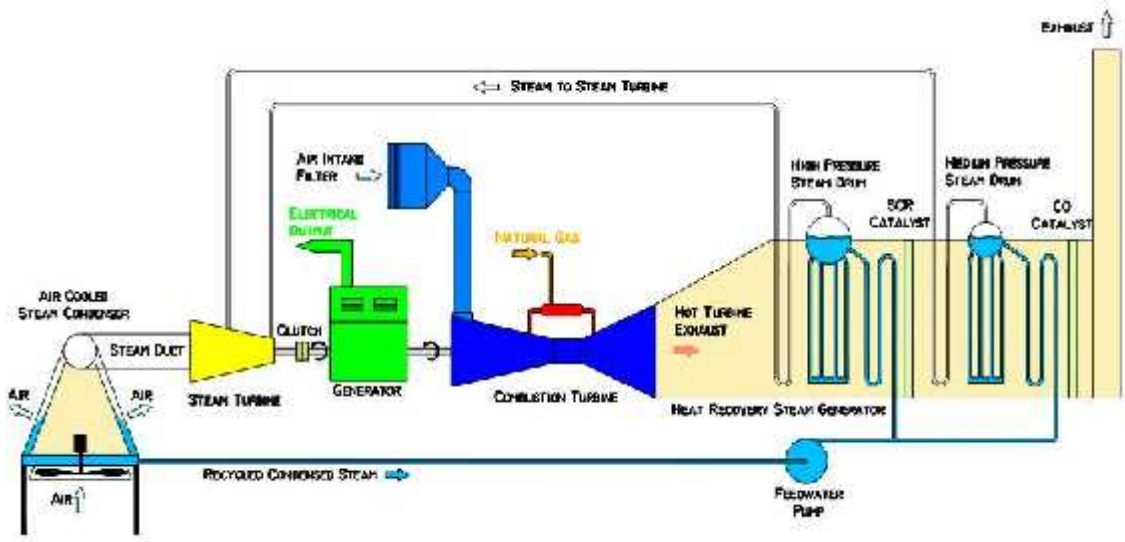
dönüşür. Konvansiyonel katalizörler için, katalizör reaktörü normalde gaz sıcaklığının 250^0C -450^0C olduğu atık ısı kazanı içine yerleştirilmiş bir makara parçası üzerine montaj edilir.



Şekil 8.6. Atık Isı Kazanlarında SCR Sistemi [8]

Belirli bir miktar amonyak tepkimeye girmeden kaçabilir. Yerel yönetmelikler genelde 15% O_2 de 10-20 ppm amonyak konsantrasyonunu sınırlandırmaktadır. Egzoz sıcaklığının 450^0C sıcaklıktan daha fazla olduğu durumlarda amonyak SCR katalizörünü pas geçerek ve atmosfer tarafından emilerek havada nitrat ve sülfat ile amonyum nitrat veya amonyum bisülfat gibi ikincil partikül formu oluşturabilir. Amonyum bisülfat formu yüksek sülfür içeren dizel gibi yakıtlar yandığında atık ısı kazanı borularında kirlenmeye neden olabilir. İşletme verileri atık ısı kazanı borularında kirlenmeyi önlemek için sülfür limitinin 0.05% olması gerektiğini göstermektedir.

SCR sisteminde kullanılan katalizörler çok büyük ve yoğun olmalıdır. Çünkü egzoz gazı hızının yüksek olması ve NO_x, O_2, ve NH_3 moleküllerinin tepkimeye girmesi için gereken süre uzun olduğundan katalizörün yüzeyi alanı bulunduğu hacimde yüksek olmalıdır. Bu nedenle katalizörler çoğunlukla paralel tabakalar halinde, bal peteği gibi, tasarlanırlar. Bazı SCR kurulumlarında eş zamanlı CO/ NO_x kontrolü için CO katalitik oksidasyon modülleri NO_x katalizörleriyle birleştirilirler.



Şekil 8.7. SCR ve CO Katalizörlerinin Birlikte Kullanımı [9]

Kuzey Kaliforniya Kombine Güç Çevrim Santralinde bulunan 45 MW gücündeki GE Frame 6 gaz türbini buhar enjeksiyonu ve SCR sistemiyle müsaade edilen 3ppm NO_x limitini başarmaktadır. Bu emisyon seviyesini yüksek oranda amonyak enjeksiyonu ile başarırken havaya kaçan amonyak 25ppm olmuştur. Brooklyn Donanma tersanesinde 1996 da işletmeye alınan kombine güç çevrim santralinde bulunan 106 MW Siemens V84.2 SCR ile donanımlandırılan su püskürtmeli gaz türbini 3.5 ppm izin verilen NO_x limitini başarmaktadır.

Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'ne uygulanabilecek fazla yatırım maliyeti gerektirmeyen yöntemlerden biriside SCR yöntemidir. Fakat katalizör yatağına amonyak püskürtmenin olumsuz etkilerini saptamak zordur. Katalizörün uygun malzeme ve uygun aralıklarda seçilmemesi kazan boruları ve sistem üzerindeki olumsuz etkileri düşünüldüğünde bu sistemi uygulamak risk teşkil edeceğinden kamuya ait bir santralde uygulanmasının sorumluluğu bir hayli yüksektir.

8.6. $SCONO_x$ Katalitik Emme Sistemi

Gaz türbinleri için yeni katalitik azaltma teknolojileri her geçen gün geliştiriliyor ve ticarileştiriliyor. 1998 yılında Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı yenilikçi katalitik NO_x azaltma teknolojisini, $SCONO_x$, gaz türbinleri için 5ppm ve daha aşağı NO_x azaltma LAER (en düşük ulaşılabilir emisyon oranı) teknoloji seviyesi olarak onayladı. $SCONO_x$ sistemi yakıt olarak doğal gaz kullanan gaz türbinlerinde CO ve

NO_x moleküllerini azaltmak için tasarlanmıştır. $SCONO_x$ değerli bir metal katalizörü ve CO ve NO_x moleküllerini CO_2, H_2O ve N_2 ye çeviren bir NO_x emme ve yeniden oluşma işlemi kullanmaktadır. CO ve NO katalitik olarak CO_2 ve NO_2 ye oksitlenir. NO_x $SCONO_x$ katalizörü yüzeyindeki potasyum karbonat tabakası ile birleşir. Yeniden oluşma buhar ile seyreltilmiş hidrojen enjeksiyonuyla sağlanır. Yenilenen gazın hidrojen konsantrasyonu 5% civarındadır. Hidrojen $SCONO_x$ yüzeyinde emilen NO_x ile tepkimeye girerek N_2 ve H_2O formuna dönüşür ve böylece yüzeyde yeniden oluşan potasyum karbonat formu sonraki emme çevrimleri için hazır hale gelir. $SCONO_x$ teknolojisinin SCR teknolojisine göre esas avantajı amonyak emisyonlarını elemine etmesi ve eş zamanlı olarak CO, NO_x ve VOC moleküllerini azaltmasıdır.

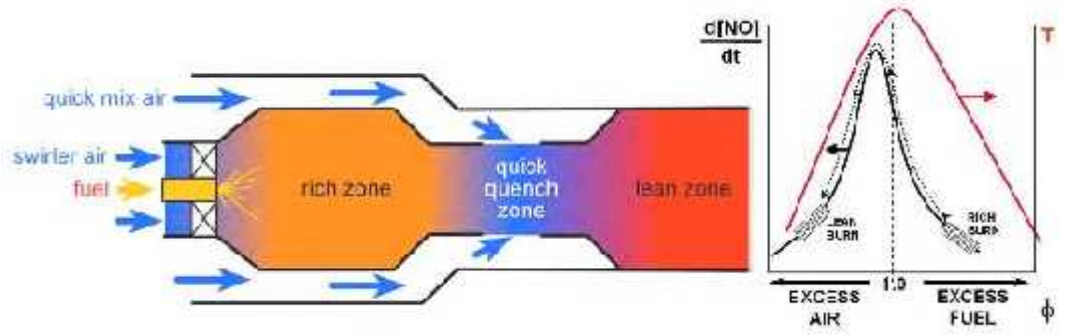
Los Angeles 'ta bulunan Federal Kojenerasyon Tesisinde kullanılan 32 MW gücünde GE LM5000 türbinine $SCONO_x$ katalitik NO_x azaltma sistemi 1996 yılında uyarlandı. Bu kurulum ilk altı aylık periyot içerisinde NO_x emisyonu 2.5 ppm gösterdi. Sonraki zamanlarda istikrarlı olarak 2 ppm ve daha aşağısı NO_x emisyonu başarıldı.

Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde uygulanabilecek riski nispeten diğerlerine göre çok daha az bir yöntemdir. Uygun sıcaklık aralıklarında uygun malzemeye göre seçilecek katalizör emisyon miktarlarını istenen seviyelerin altına düşürebilir. Atık ısı kazanı sistemi içine uygun yerlere katılacak katalizörler zamanında değiştirilip uygulandığı sürece emisyon miktarlarında herhangi bir problem olmayacağı düşünülmektedir.

8.7. RQL Yakıcılar

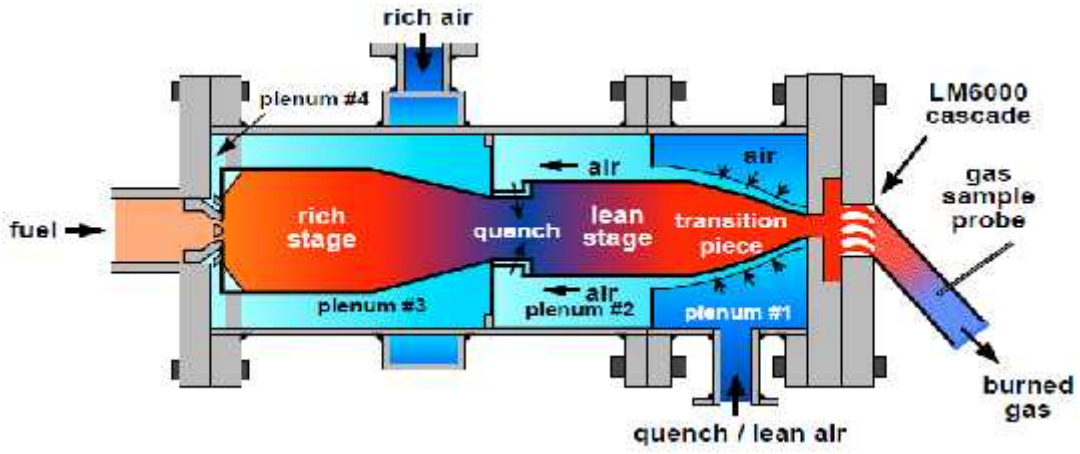
Zengin-Soğutma-Fakir (Rich-Quench-Lean) yakıcılar yanma işlemini iki bölgede gerçekleştirmek için tasarlanmışlardır. Yakıtça zengin birinci bölgedeki amaç oksijeni mümkün olduğunca yakarak azaltmaktır. Bu hızlı gerçekleşen hidrokarbon reaksiyonu NO_x oluşumunu engeller. Yüksek yakıt/hava oranı aşırı duman ve is oluşumuna göre sınırlandırılır. Yakıtça zengin yanma ürünleri birinci bölgeden diğer bölgeye doğru akar. Hava jetleri gaz sıcaklığını NO_x oluşumunun minimum olduğu seviyelere azaltır. Zengin bölgeden fakir bölgeye geçiş NO_x oluşumunu önlemek için çok hızlı olmalıdır. Hızlı soğutma bölgesindeki bu ani karışmayı başarma yeteneği RQL kavramının başarısının anahtarıdır. Fakir yanma bölgesindeki sıcaklığın kontrolü önemli

bir tasarım parametresidir. Sıcaklık artan CO ve UHC moleküllerini yok edecek kadar yüksek, buna karşına ısıl NO_x oluşumuna neden olmayacak şekilde sınırlandırılmalıdır.



Şekil 8.8. RQL Yakıcı Şeması [10]

RQL yakıt ölçümünü kolaylaştıran sadece bir kademe yakıt enjeksiyonu gerektirir. Fakat soğutma bölgesinin tasarımı için daha ileri seviye çalışmalar yapılmalıdır. Çünkü homojen karışmama, kararsız devridaim şablonu ve uzun kalma süresi emisyon seviyelerinin istenilen değerlerde olmamasına neden olabilir. Ayrıca birinci bölgede yüksek miktarda kurum oluşumu ve egzoz dumanı başka bir problemdir.



Şekil 8.9. RQL Yakıcı [11]

Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinde uygulanabilecek yöntemlerden biri olmasına karşın DLN ve Katalitik yakıcılarda olduğu gibi dizayn değişikliği sistem ekipmanlarının değişimi göz önüne alındığında maliyet açısından mantıklı bir tercih olarak görünmemektedir.

BÖLÜM 9

TARTIŞMA VE SONUÇ

Çevreye olan duyarlılığın giderek arttığı günümüzde, pek çok ülkede yanma gazlarının neden olduğu kirliliğe karşı sıkı yaptırımlar uygulamaya sokulmuştur. Bu nedenle artık her ölçekte enerji üretiminde, çevresel etkiler dikkate alınarak yakıtların yanma sonucu en düşük kirletici emisyonu verecek teknolojiler seçilmektedir. Temiz yakıt olarak bilinen doğalgazın yanmasında bile kendine özgü kirleticilerin, özellikle NO_x, emisyonunu azaltmak için günümüze kadar birçok yöntem geliştirilmiştir.

Su/Buhar Enjeksiyonu büyük miktarlarda saf su ve buhar üretmenin maliyeti, su çarpması ve karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonu nedeniyle bu yöntemin kullanımı azalmıştır. Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde bu sistemin uygulanabilmesi için yanma odasında değişiklikler yapılması buna uygun olarak yanma odasına buhar veya su püskürtmek için maliyeti yüksek uygulanabilirliği kısıtlı teçhizatlar yapılması gerekmektedir. Ayrıca su veya buhar püskürtmenin türbin kanatları üzerinde olumsuz etkileri düşünüldüğünde uygulanabilirliği tartışılır bir teknolojidir. Bunun yerine türbin giriş havasının soğutulması üzerine teknolojiler kullanılabilir. Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde 1970-1980 model modifikasyonlu harici silo tipi yanma odalı eski gaz türbinleri Alstom 13D2 ve Alstom 13DM kullanılmaktadır. Bu türbinleri çevresel yakıcılı gaz türbinlerine çevrilmesi (DLN burner) eski sistem yerinden demontaj edilmeden imkansızdır. Ayrıca yerine konulacak gaz türbininin alım maliyeti düşünüldüğünde şu an devlet eliyle gerçekleştirilmesi zordur. Fakat İsviçreli Alstom firması yanma odasını kısaltıp yerine Mid-NOx yakıcı denilen 24-30 tane EV-Burner koyarak emisyon miktarlarını 2004 öncesi inşa edilen santraller için sınır olan 300 ppm değerinin altına düşürebilecek bir model önermiştir. Fakat santral özelleşmesi onaylanıp devir aşamasına gelindiği için herhangi bir işlem başlatılamamıştır. Ayrıca DLN yakıcılar için bildirdiğimiz görüşler katlitik yakıcılar için de geçerlidir.

Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'ne uygulanabilecek fazla yatırım maliyeti gerektirmeyen yöntemlerden biriside SCR yöntemidir. Fakat katalizör yatağına amonyak püskürtmenin olumsuz etkilerini saptamak zordur. Katalizörün uygun malzeme ve uygun aralıklarda seçilmemesi kazan boruları ve sistem üzerindeki olumsuz etkileri düşünüldüğünde bu sistemi uygulamak risk teşkil edeceğinden kamuya ait bir santralde uygulanmasının sorumluluğu bir hayli yüksektir. SCONO$_x$ Katalitik Emme Sistemi riski nispeten diğerlerine göre çok daha az bir yöntemdir. Uygun sıcaklık aralıklarında uygun malzemeye göre seçilecek katalizör emisyon miktarlarını istenen seviyelerin altına düşürebilir. Atık ısı kazanı sistemi içine uygun yerlere katılacak katalizörler zamanında değiştirilip uygulandığı sürece emisyon miktarlarında herhangi bir problem olmayacağı düşünülmektedir.

DLN ve Katalitik yakıcılarda olduğu gibi RQL yakıcılar, dizayn değişikliği sistem ekipmanlarının değişimi göz önüne alındığında maliyet açısından mantıklı bir tercih olarak görünmemektedir.

Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın çevre koruma ajansları ve uluslararası kuruluşlar emisyon değerleri için yasaları sıkılaştırmaya devam etmektedirler. Şu an Türkiye'deki emisyon sınırları Avrupa'ya göre daha yumuşak olsa da, 2017 yılından sonra emisyon uyumluluk yasaları çerçevesinde ülkemizde bu emisyon azaltma teknolojilerini daha sık görmeye başlayacağız. Emisyonları azaltmak için kullanılan yanma öncesi ve yanma sonrası teknolojiler birlikte kullanılsa bile, gün gelecek insan yaşamının devamı için daha ileri seviye teknolojiler geliştirilmek zorunda kalacaktır.

KAYNAKLAR

[1] S. Arayıcı, “Doğalgaz Yanmalarında NOx Oluşumu ”
http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f0aab058ce179e4_ek.pdf?dergi=171

[2] M. P. Boyce “ Gas Turbine Engineering Handbook 2^{nd} and 4^{th} Edition” USA, 2002-2012.

[3] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliği” 8/6/2010 tarihli ve 27605 sayılı Resmi Gazete.

[4] GE Power Systems, Gas Turbine Emissions and control,
http://site.ge-energy.com/prod_serv/products/tech_docs/en/downloads/ger4211.pdf

[5] F. Popescu, I. Ionel, Anthropogenic Air pollution Sources,
http://www.intechopen.com/books/air-quality/anthropogenic-air-pollution-sources

[6] P. Egil Rokke, J. E. Hustad, N. A. Rokke, O. B. Svendsgaard, “ Technology Update on Gas Turbine Dual Fuel, Dry Low Combustion Emission System ”, Atlanta, 2003.

[7] M. J. Moore, “No_x emission control in gas turbines for combined cycle gas turbine plant ”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, February 1997.

[8] Horizon HRSG Boiler,
http://www.victoryenergy.com/heat-recovery-steam-generator

[9] Moxie Liberty Generation Plant,
http://www.moxieenergy.com/Liberty_Technology.html

[10] M. K. el Hossaini, Review of the New Combustion Technologies in Modern Gas Turbines,
http://www.intechopen.com/books/progress-in-gas-turbine-performance/review-of-the-new-combustion-technologies-in-modern-gas-turbines

[11] A. S. Feitelberg, M. A. Lacey, "Design and Performance of a Low Btu Fuel Rich-Quench-Lean Gas Turbine Combustor", New York, July 1998.

[12] Alternative Control Techniques (ACT) Document - NOx Emissions from Stationary Gas Turbines, U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, EPA-453/R-93-007, January 1993.

[13] L.B. Davis and S.H. Black, "Dry Low NOx Combustion Systems for GE Heavy-Duty Gas Turbines," GER-3568G: GE Power Systems, October 2000.

[14] Schorr, M.M.; "NOx Emission Control for Gas Turbines: A 1995 Update on Regulations and Technology," CIBO NOx Control Conference, March 1995.

[15] Zeldovich, Ya. B. The oxidation of nitrogen in combustion and explosions. Acta Physicochimica USSR, 1946, 21, 77– 628.

[16] A. Jones, L. Witherspoon, and L. Cowell, Solar Turbines, Inc., Meeting Regulatory Challenges Through Advances in Gas Turbine Emission Control, 2004.

[17] ASME Codes and Standards Committee B133, Subcommittee 2, Environmental Standards for Gas Turbines, Report 9855-3, Low NOx Measurement: Gas Turbine Plants, Dec. 4, 1998.

[18] California Environmental Protection Agency, Air Resources Board, Report to the Legislature, Gas-Fired Power Plant NOx Emission Controls and Related Environmental Impacts, May 2004.

[19] Toon, I. Dry low emissions technology for industrial aeroderivative gas turbines. In IMechE Seminar on Best technology for NOx Emission Control, London, 27 September 1995.

[20] N.H.Hydari, A.A. Yousuf, H.M. Ellis "Comparison of the Most Recent BACT/LAER Determinations for Combustion Turbines by State Air Pollution Control Agencies, June 2002.

[21] Hellat, J. NOx control in CCGT plant. In IMechE Seminar on Best Technology for NOx Emission Control, London, 27 September 1995.

[22] Bassily A.M., ''Performance improvements of the intercooled reheat recuperated gas-turbine cycle using absorption inlet-cooling and evaporative after-cooling'', Applied Energy, Vol. 77, 2004, pp: 249-272, 2006.

[23] O. Bolland, ''A compartive evaluation of advanced combined cycle alternative'', ASME J. Eng. Gas Turbines Power, 113, pp. 190-197, 1991.

[24] U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy, NETL, Turbine Program, "Enabling Near-Zero Emission Coal-Based Power Generation," October 2005.

[25] Emission Factor Documentation of AP-42 Section 3.1, Stationary Combustion Turbines, EPA Contract No. 68-D7-0070, Alpha-Gamma Technologies Inc., Raleigh, North Carolina, April 2000.

[26] Alstom Power, Sequential Combustion, http://www.power.alstom.com/home/equipment_systems/turbine/gas_turbines/GT24 and GT26 188MW and 281MW.html

[27] R. Eldrid, L. Kaufman, and P. Marks, "The 7FB: The Next Evolution of the Gas Turbine," GER-4194: GE Power Systems April 2001.

[28] İ. Bedii Özdemir, “Alevsiz Yanma Teknolojisinin Yanma Sistemlerinde Ortaya Çıkan NOx Emisyonlarının Azaltılmasında Bir Yöntem Olarak Kullanılması” Mühendis Makine, IH TMMOB Makine Mühendisleri Odası Aylık Yayın Organı, Haziran, 2000.

[29] S. Toprak, A. Cihan, Ş.E. Okan, O. Hacıhafızoğlu, “ Gaz Türbin Kanatlarının Soğutulmasının Önemi ve Soğutma Yöntemlerinin İncelenmesi ”, Edirne, 2007.

[30] N. Şahin, H. Acül, “Türbin Giriş Havası Soğutmasının Enerji Verimliliğine Etkisi” 13. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı, İstanbul, 2007.

[31] D. Özkan “Gaz Türbini Çalışma Donanımlarının İncelenmesi Axstream Programıyla Eksenel Akışlı Kompresör ve Tünrbin Dizaynı Analizi” Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Yakup KAHRAMAN, 1984 yılında Adana'da doğdu. 2009 yılında Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Aynı yıl Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinde makine mühendisi olarak göreve başladı ve Ayşegül KAHRAMAN ile evlendi. 2010 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Yaklaşık 3.5 yıl HEAŞ'ta çalıştıktan sonra 2013 yılında BOTAŞ Petrol İşletmeleri Bölge Müdürlüğünde işletme mühendisi olarak göreve başladı.