

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**DÜŞÜK NO_x EMİSYONLU KOMBİLERİN PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ VE
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enis GÜRİSOY

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Üner ÇOLAK

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**DÜŞÜK NO_x EMİSYONLU KOMBİLERİN PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ VE
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Enis GÜRSOY
(301161013)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Üner ÇOLAK

HAZİRAN 2019

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301161013 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Enis GÜRSOY, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DÜŞÜK NOX EMİSYONLU KOMBİLERİN PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ VE OPTİMİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Üner ÇOLAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nilgün YAVUZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Barış YILMAZ
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **02 Mayıs 2019**
Savunma Tarihi : **11 Haziran 2019**



Eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında bilgilerini ve desteğini esirgemeyen danışmanım ve değerli hocam Prof. Dr. Üner Çolak'a, yüksek lisans öğrenimim boyunca destek olan ve bu çalışmaya katkı sunan Daikin'deki yöneticilerime ve iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman her konuda destek olan babama, anneme, abilerim Ekrem ve Emre Gürsoy'a, son olarak çalışmalarım sırasında sabır, anlayış ve sevgisiyle her zaman yanımda olan eşime, sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Enis Gürsoy
Makine Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu ve Amaç.....	1
1.2 Literatür İncelemesi.....	1
2. KOMBİ SİSTEMLERİ.....	5
2.1 Kombi Çalışma Prensibi.....	5
2.2 Kombi Çeşitleri	5
2.2.1 Bacalı kombiler	6
2.2.2 Hermetik kombiler	7
2.2.3 Yarı hermetik kombiler	10
2.2.4 Yoğuşmalı kombiler.....	10
2.2.5 Yarı yoğuşmalı kombiler	11
2.2.5.1 Gaz Valfi	12
2.2.5.2 Fan grubu	13
2.2.5.3 Presostat (basınç anahtarı).....	14
2.2.5.4 Brülör	14
2.2.5.5 Ateşleme ve iyonizasyon elektrotu	14
2.2.5.6 Ana eşanjör.....	15
2.2.5.7 Reküperatör	16
2.2.5.8 Sirkülasyon pompası	16
2.2.5.9 Genleşme tankı.....	17
2.2.5.10 Plakalı eşanjör	18
2.2.5.11 Üç yollu vana motoru.....	18
2.2.5.12 Hidrolik grup.....	19
2.2.5.13 Su basınç sensörü	21
2.2.5.14 Emniyet ventili	21
2.2.5.15 NTC sensör	22
2.2.5.16 Limit termostat	22
2.2.5.17 Elektronik kart.....	23
2.2.6 Hibrit kombiler.....	23
2.3 Kombi Sistemlerinde Yanma	25
2.3.1 Yanma tipleri.....	26
2.3.2 Yanma stokiyometrisi	27

2.4 Kombi Sistemlerinde Kullanılan Brülör Tipleri.....	28
2.5 Azot Bileşikleri (NO _x) Emisyonları	31
2.5.1 NO _x oluşum ve yıkım mekanizması	32
2.5.2 NO _x azaltma yöntemleri	34
2.5.2.1 Yanma öncesi düşük azotlu yakıtlar.....	34
2.5.2.2 Yanma sonrası yakıt-gaz kontrol yöntemleri	34
2.5.2.3 Yanma modifikasyonları	35
2.6 Karbon Monoksit (CO) Emisyonu	35
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
3.1 Materyal.....	37
3.2 Test Ünitesi.....	39
3.3 Deney Gazları	39
3.4 Ölçüm Ekipmanları	41
3.4.1 Ekstraktif sürekli proses gaz analizörü.....	41
3.5 Yanma Testleri ve Uygulama Metotları	42
3.5.1 Çok noktalı emisyon ölçüm testi	43
3.5.2 Eksik yanma testi	44
3.5.3 Alev kopması testi	44
3.5.4 Baca kapama (blokaj) testi	44
3.5.5 İyonizasyon ölçüm testi.....	45
3.5.6 Basınç farkı ölçüm testi.....	46
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	47
4.1 Çok Noktalı Emisyon Ölçümü Yöntemiyle Yanma Odası Tasarımı ve Brülör Seçimi	47
4.1.1 Testlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların yorumlanması	47
4.2 Yanma Odası Açık Tasarımla Yapılan Testler.....	54
4.2.1 Sonuç ve yorumlar	58
4.3 Yanma Odası Kapalı Tasarımla Yapılan Testler.....	58
4.3.1 Sonuçlar ve yorumlar	76
5. SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	83

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım (Alternative Current)
IAQ	: İç Hava Kalitesi (Indoor Air Quality)
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas)
NTC	: Negatif Sıcaklık Kontrolü (Negative Temperature Control)
OHSA	: Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (Occupational Safety and Health Administration)
QKB	: En Küçük Debide Isı Girdisi





SEMBOLLER

d	: Bağıl Yoğunluk
H_i	: Net Isı Değeri
H_{o,n}	: Üst Isı Değeri
H_s	: Brüt Isı Değeri
H_{u,n}	: Alt Isı Değeri
P_{atm}	: Atmosferik Basınç
Δp	: Basınç Farkı
Q	: Anlık Isı Girdisi
RH	: Yanma Havasındaki Nem
T_{amb}	: Ortam Sıcaklığı
T_{baca}	: Baca Gazı Sıcaklığı
T_g	: Test Gazı Sıcaklığı
ΔT	: Dönüş Suyu Sıcaklığı ve Akış Sıcaklığı Arasındaki Fark
W_i	: Net Wobbe İndeksi
W_s	: Brüt Wobbe İndeksi
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı
Φ	: Eşdeğerlik Oranı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Doğalgaz içeriği ve wobbe indeksi.	27
Çizelge 3.1 : 15 °C ve 1013,25 mbar'da kuru deney gazının karakteristikleri.....	40
Çizelge 3.2 : % cinsinden, yanma ürünlerinin (CO ₂) _N konsantrasyonu.	43
Çizelge 4.1 : Çok noktalı emisyon 1. test koşulları	48
Çizelge 4.2 : Çok noktalı emisyon 1. test baca gazı ölçüm sonuçları	48
Çizelge 4.3 : Çok noktalı emisyon 1. test ana eşanjör üzerinden emisyon değerleri.	49
Çizelge 4.4 : Çok noktalı emisyon 2. test koşulları.	50
Çizelge 4.5 : Çok noktalı emisyon 2. test baca gazı ölçüm sonuçları.	50
Çizelge 4.6 : Çok noktalı emisyon 2. test ana eşanjör üzerinden emisyon değerleri.	50
Çizelge 4.7 : Çok noktalı emisyon 3. test koşulları.	51
Çizelge 4.8 : Çok noktalı emisyon 3. test baca gazı ölçüm sonuçları.	51
Çizelge 4.9 : Çok noktalı emisyon 3. test ana eşanjör üzerinden emisyon değerleri.	52
Çizelge 4.10 : Çok noktalı emisyon 4. test koşulları.	53
Çizelge 4.11 : Çok noktalı emisyon 4. test baca gazı ölçüm sonuçları.	53
Çizelge 4.12 : Çok noktalı emisyon 4. test ana eşanjör üzerinden emisyon değerleri.	53
Çizelge 4.13 : Yanma odası açık tasarım eksik yanma testi sırasında ortam koşulları.	55
Çizelge 4.14 : Yanma odası açık tasarım eksik yanma test koşulları.	55
Çizelge 4.15 : Yanma odası açık tasarım eksik yanma testi emisyon değerleri.	56
Çizelge 4.16 : Yanma odası açık tasarım alev kopması testi sırasında ortam koşulları.	56
Çizelge 4.17 : Yanma odası açık tasarım alev kopması test koşulları.	57
Çizelge 4.18 : Yanma odası açık tasarım alev kopması testi emisyon değerleri.	57
Çizelge 4.19 : Yanma odası kapalı tasarım eksik yanma testi sırasında ortam şartları.	59
Çizelge 4.20 : Yanma odası kapalı tasarım eksik yanma test koşulları.	59
Çizelge 4.21 : Yanma odası kapalı tasarım eksik yanma testi emisyon değerleri.	60
Çizelge 4.22 : Yanma odası kapalı tasarım alev kopması test koşulları.	61
Çizelge 4.23 : Yanma odası kapalı tasarım alev kopması emisyon değerleri.	61
Çizelge 4.24 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme Sonrasında alev kopması test koşulları.	62
Çizelge 4.25 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme Sonrasında alev kopması testi emisyon değerleri.	62
Çizelge 4.26 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme Sonrasında eksik yanma testi test koşulları.	63
Çizelge 4.27 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme Sonrasında eksik yanma testi emisyon değerleri.	64
Çizelge 4.28 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme Sonrasında alev kopma testi sırasında ortam şartları.	64

Çizelge 4.29 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme Sonrasında G31 gazıyla alev kopması test koşulları.	64
Çizelge 4.30 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme Sonrasında G31 gazıyla alev kopması testi emisyon değerleri.	65
Çizelge 4.31 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme Sonrasında iyonizasyon akımı ölçümleri.....	66
Çizelge 4.32 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme ve Presostat kullanımı sonrası baca kapama (bloka) test koşulları.	67
Çizelge 4.33 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme ve Presostat kullanımı sonrası baca kapama (bloka) testi emisyon ve basınç farkı Değerleri.	68
Çizelge 4.34 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme ve Presostat kullanımı sonrası basınç farkı ölçüm testleri.	70
Çizelge 4.35 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme, İyonizasyon elektrodu sabitleme ve presostat kullanımı sonrası baca kapama (bloka) test koşulları.....	72
Çizelge 4.36 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme, İyonizasyon elektrodu sabitleme ve presostat kullanımı sonrası baca kapama (bloka) testi emisyon değerleri ve Δp değerleri.	72
Çizelge 4.37 : NO _x sınıfları.....	73
Çizelge 4.38 : Kombi NO _x sınıfı belirleme test sonuçları.	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Bacalı tip kombi bileşenleri ve çalışma prensibi.....	7
Şekil 2.2 : Hermetik tip baca.....	8
Şekil 2.3 : C12 baca bağlantısı.....	8
Şekil 2.4 : C32 baca bağlantısı.....	9
Şekil 2.5 : C42 baca bağlantısı.....	9
Şekil 2.6 : C52 baca bağlantısı.....	10
Şekil 2.7 : Yoğuşmalı kombi çalışma prensibi.....	11
Şekil 2.8 : Kombinın yapısı ve teknik bileşenleri.....	12
Şekil 2.9 : Gaz valfi.....	13
Şekil 2.10 : Fan grubu.....	13
Şekil 2.11 : Presostat, prob ve fan grubu.....	14
Şekil 2.12 : Ateşleme ve iyonizasyon elektrotu.....	15
Şekil 2.13 : Ana eşanjör.....	15
Şekil 2.14 : Reküperatör.....	16
Şekil 2.15 : Sirkülasyon pompası.....	17
Şekil 2.16 : Genleşme tankı.....	17
Şekil 2.17 : Plakalı eşanjör.....	18
Şekil 2.18 : Üç yollu vana motoru ve parçaları.....	19
Şekil 2.19 : Kullanım suyu çalışma modu.....	20
Şekil 2.20 : Kalorifer hattı çalışma modu.....	20
Şekil 2.21 : Su basınç sensörü.....	21
Şekil 2.22 : Emniyet ventili.....	21
Şekil 2.23 : NTC sensörler.....	22
Şekil 2.24 : Limit termostat.....	23
Şekil 2.25 : Elektronik kart.....	23
Şekil 2.26 : Hibrit kombi üniteleri.....	24
Şekil 2.27 : Hibrit kombi sistemi şeması.....	25
Şekil 2.28 : Ön karışımli brülörde yanma.....	29
Şekil 2.29 : Ön karışımli brülörde yanma.....	29
Şekil 2.30 : Kombilerde cebri fanlı, ön karışımli yanma sistemi.....	30
Şekil 2.31 : Kombilerde atmosferik tip brülör ile yanma.....	31
Şekil 2.32 : NO formasyonunun gösterimi.....	33
Şekil 3.1 : Su soğutmalı atmosferik brülör.....	37
Şekil 3.2 : Brülör enjektörü ve özellikleri.....	38
Şekil 3.3 : Yanma odası bileşenleri.....	38
Şekil 3.4 : Test ünitesi.....	39
Şekil 3.5 : Ekstraktif sürekli proses gaz analizörü.....	42
Şekil 4.1 : Ana eşanjör üzerinde belirlenen ölçüm noktaları.....	48
Şekil 4.2 : Çok noktalı emisyon 1. test ana eşanjör üzerinde CO emisyon dağılımı.....	49
Şekil 4.3 : Çok noktalı emisyon 2. test ana eşanjör üzerinde CO emisyon dağılımı.....	51
Şekil 4.4 : Çok noktalı emisyon 3. test ana eşanjör üzerinde CO emisyon dağılımı.....	52
Şekil 4.5 : Çok noktalı emisyon 4. test ana eşanjör üzerinde CO emisyon dağılımı.....	54
Şekil 4.6 : Yanma odası açık tasarım.....	55

Şekil 4.7 : Yanma odası açık tasarım alev kopması testi ısı girdisine göre CO ve CO ₂ oranları.....	57
Şekil 4.8 : Yanma odası kapalı tasarım.....	58
Şekil 4.9 : Yanma odası ve brülör arasındaki birincil hava boşluğu.	59
Şekil 4.10 : Yanma odası kapalı tasarım eksik yanma testi ısı girdisine göre CO ve CO ₂ emisyonlarının değişimleri.	60
Şekil 4.11 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında alev kopma testi ısı girdisine göre CO ve CO ₂ emisyonlarının değişimleri..	63
Şekil 4.12 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında G31 gazıyla alev kopması testi ısı girdisine göre CO ve CO ₂ emisyonlarının değişimleri.	65
Şekil 4.13 : İyonizasyon elektrotu konumları ve ölçüm noktaları.	66
Şekil 4.14 : İyonizasyon elektrotu.	66
Şekil 4.15 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme ve presostat kullanımı sonrası baca kapama (blokaj) testi ısı girdisine göre CO ve CO ₂ emisyonlarının değişimleri.	68
Şekil 4.16 : Yanma odası iyonizasyon elektrotu konumlandırması.....	69
Şekil 4.17 : İyonizasyon elektrotu konumlandırma ölçümleri.	69
Şekil 4.18 : Isı girdisine göre fan frekansı değişimi.	70
Şekil 4.19 : Fan frekansına göre Δp değişimi.	71
Şekil 4.20 : Isı girdisine göre CO ve CO ₂ emisyon değerleri.....	71
Şekil 4.21 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme, iyonizasyon elektrodu sabitleme ve presostat kullanımı sonrası baca kapama (blokaj) testi ısı girdisine göre CO ve CO ₂ emisyon değerleri. .	73
Şekil 4.22 : Isı girdisine göre CO ve NO _x emisyon değerleri.....	73

DÜŞÜK NO_x EMİSYONLU KOMBİLERİN PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ VE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Toplam yıllık enerji tüketimimizin %20'si gibi azımsanmayacak miktarının ısıtma ihtiyacımız için karşılandığı ülkemizde, verimli ve çevreye en az etkiyi oluşturacak ısıtma ürünlerinin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu ürünlerin sayısının artmasında en büyük etkenler arasında, ülkemizde ve dünyada sayısı gittikçe artmakta olan enerji ve çevre regülasyonları gösterilebilir.

Isıtma ihtiyacının sağlanmasında kombi olarak tabir edilen gaz yakan kazanlar, ülkemizde sıklıkla kullanılan ürünler arasındadır. Bu nedenle kombilerde de enerjinin verimli kullanılması ve yanma sonucu oluşan emisyonlarla birlikte çevreye verilen zararın azaltılması önemlidir. Bu bağlamda konvansiyonel düşük verimli ve yüksek emisyonlu kombilerin üretiminin ülkemizde kontrol altına alınmasıyla ilgili çalışmalar başlatılmıştır. Bu tip düşük verimli konvansiyonel kombilerin yerini, yarı yoğuşmalı ve tam yoğuşmalı kombi modelleri almaktadır.

Çalışmamızda yarı yoğuşmalı kombinin, regülasyonlarda belirtilen NO_x emisyon değerlerini sağlamaya çalışırken, CO ve CO₂ gibi emisyonların da düşük seviyelerde tutulması için yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Kombin performans ölçümleri gerçekleştirilerek, çıkan sonuçlara göre, yanma odası grubunun tasarımı oluşturulmuştur. İlk aşamada çok noktalı emisyon ölçüm testleri su soğutmalı, kısmi ön karışimli atmosferik brülör kullanılarak gerçekleştirilmiş ve yanmanın eşanjör üzerinde ve yanma odası içerisinde nasıl dağılım gösterdiği, emisyon değerlerinin hangi durumlarda arttığı hakkında bilgiler toplanmıştır. Bu bilgiler ışığında, yanma odasının ilk tasarımı oluşturulmuş ve TS EN 15502-1 standardında belirtilen yanma testlerine geçilmiştir.

Yanma testleri sırasında, kombi test koşullarına göre ayarlanıp, test metodunda belirtildiği gibi ayrı bir üniteye çalıştırılmış, test sonucunda elde edilen emisyonlar, ısı verim, baca gazı sıcaklığı gibi değerler kayıt altına alınmıştır. Test sonuçları elde edilen değerlere göre yorumlanarak tasarıma yön verilmiştir.

Yapılan çalışmalarda iki temel yanma odası tasarımı oluşturulmuştur. Çok noktalı emisyon testleri neticesinde belirlenen ilk yanma odası tasarımında, yanma odası ön sacı ile brülör arasında boşluk bırakılmıştır. Bu boşluk brülöre yanma havası sağlayan ikincil havanın temel kaynağıdır. İkincil havanın etkisini görmek için yapılan eksik yanma testlerinde, CO emisyon değerleri yüksek çıktığı için bu tasarımdan vazgeçilmiştir.

İkincil havanın yanma üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiyi azaltabilmek için literatürdeki çalışmalar da incelenerek, yanma odasının üst kısmının kapatılmasına karar verilmiştir. Böylece ikincil havanın etkisi azaltılarak, daha homojen yanma gerçekleştirilip emisyon değerlerinde iyileşme sağlanması beklenmiştir. İkincil havanın etkisini azaltmakla birlikte, yanma odasının alt kısmında yer alan ve birincil

havanın temel kaynağı olan kısımda boşluk oluşturularak, birincil havanın brülörde yanma üzerindeki etkisi daha da arttırılmıştır.

Bu değişikliklerden sonra emisyon değerlerinde iyileşme sağlanmıştır. Kombinin doğrulama testlerinden biri olan, alev kopması testi sırasında alev kopması yaşanmasından ötürü, elektronik kart yazılımında değişikliğe gidilmiştir. Bu değişiklikle, ilk olarak fan devir sayısı ayarlanmış daha sonraki testlerde de elektronik kartın iyonizasyon akım set değeri, güvenlik faktörünü daha da yükseltebilmek için arttırılmıştır. Elektronik kart yazılımındaki değişikliklerden sonra testler olumlu sonuçlanmıştır. Basınç farkı ölçüm testleriyle kombideki ısı girdisi değerlerine göre fan frekansları belirlenerek elektronik kart yazılımına işlenmiştir.

Tez çalışmasının son aşmasında kombinin NO_x sınıfı belirlenmiştir. Kombi, 6 numaralı NO_x sınıfı içerisinde yer alarak, düşük NO_x kombiler arasına katılmıştır. NO_x sınıfı belirleme testleri sırasında farklı ısı girdilerine göre, akış ve dönüş suyu sıcaklıkları ve farkları, suya verilen ısı güç, diğer emisyon değerleri de belirlenerek çalışma sonuçlandırılmıştır.



PERFORMANCE MEASUREMENTS AND OPTIMIZATION OF LOW NO_x EMISSION COMBI BOILERS

SUMMARY

In our country, almost 20% of our total annual energy consumption is met for our heating needs. The number of heating products which are efficient and will have the least effect on the environment is increasing day by day. Among the biggest factors in increasing the number of these products, energy and environmental regulations in our country and in the world can be shown.

Gas-burning boilers, called combi boilers, are among the products that are frequently used in our country in order to provide heating. For this reason, it is important to use energy efficiently in combi boilers and to reduce the damage to the environment with the emissions resulting from combustion. In this context, studies have been initiated to control and to restrict the production of conventional low efficiency and high emission combi boilers. This type of low-efficiency conventional combi boilers are replaced by semi condensing and full condensing combi boiler and hybrid system combi boiler models which combine the condensing technology and heat pump technology.

In our study, while the semi condensing combi boiler is trying to satisfy the NO_x emission criteria which are stated in the regulations, at the same time the studies to keep the emissions such as CO and CO₂ at low levels are explained. In order to reduce NO_x values, it is investigated how changes in the combustion chamber part of the boiler effect other emissions. Performance measurements of the boiler were realized and the design of the combustion chamber group was formed according to the results. In the first stage, multi-point emission measurement tests were carried out with using a water-cooled, partially pre-mixed atmospheric burner, and data was collected about how combustion is distributed on the heat exchanger and in the combustion chamber. In the light of this information, the first design of the combustion chamber has been formed and the combustion tests mentioned in the TS EN 15502-1 standard have been introduced. We can list these tests as flame lift, incomplete combustion, discharge blockage test, pressure difference measurement test and ionization current measurement. Flame lift test realized under the test condition which is stated in TS EN standard as boiler is adjusted to a heat input equal to 0,95 times the minimum heat input. It is checked that CO concentration should not exceed %0,20 after reference gas replaced by the flame lift limit gas under this test conditions. Incomplete combustion test was done according to TS EN standard. Combi boiler was adjusted to 1,05 times the nominal heat input. The reference gas was then changed with the incomplete combustion limit gas and under these test conditions checked that whether CO concentration was exceed %0,20 or not. Discharge blockage test was done to check at a reduced flow rate of air and combustion products, the CO concentration should not exceed specific values. Progressive blockage of air inlet and progressive blockage of combustion products evacuation chimney was done to comply with TS EN standard.

Pressure difference measurement test was done to check, usage of pressure switch instead of tachometer for fan control in combi boiler. Pressure switch controls the combi boiler in case of any blockage of air inlet or chimney to work in safety conditions. With the ionization current measurement test, ionization electrode location in the combustion room was determined according to ionization current values. Flame occurrence in the combustion room is controlled with ionization electrode. Combi boiler adjusted to a minimum heat input and ionization current was measured.

During the combustion tests, the boiler was adjusted according to the test conditions and operated in a separate unit as specified in the test method, the conclusion obtained from the test result and parameters were recorded such as emissions (CO, CO₂, NO_x), temperature regime, heat efficiency, flue gas temperature, ionization current, fan frequency, pressure difference. The test results were interpreted according to the obtained values and the design was directed.

In the studies, two different combustion chamber designs have been developed. Initial combustion chamber designed according to multi-point emission test results. In this design there is a gap between the combustion chamber front plate and the burner. This gap is the main source of secondary air providing combustion air to the burner. Then, incomplete combustion and flame lift tests were performed to see the effect of the secondary air open type combustion chamber design. According to test results, flame lift test was successful, but CO emission values were measured high in the incomplete combustion tests to see the effect of secondary air. This design was modified to provide lower CO emission in incomplete combustion tests.

In order to reduce the negative effect of secondary air on combustion, studies in the literature were examined and it was decided to close the upper part of the combustion chamber. Thus, the effect of secondary air is reduced and more homogenous combustion is expected to be achieved and emission values will be improved. The effect of primary air on the burner is further increased by creating a gap at the bottom of the combustion chamber, which is the main source of primary air, while reducing the effect of secondary air.

After these changes, the emission values for the incomplete combustion test were improved. However, due to the flame lift during the flame lift test, which is one of the verification tests of the boiler, process parameter of the boiler and related to that electronic card software has been changed. With this change, firstly the fan speed was set and tested to see the results. After the test results were appropriate, ionization current measurement tests were started. The ionization current measurement test was performed to determine the most proper ionization electrode position in the combustion chamber. According to the test results, ionization current set level increased in the electronic card software to increase the safety factor of the combi boiler. Flame occurrence in the combustion chamber detected by ionization electrode without any problem. After the changes in the electronic card software, flame lift and incomplete combustion tests were appropriate. Besides these, with the pressure difference measurement tests were performed, fan frequencies are determined according to the heat input values in the boiler and processed to the electronic card software.

In the final phase of the thesis, the NO_x class of the boiler was determined. After all design changes and improvements in the combi boiler, NO_x emission was checked. During NO_x class determination tests, flow and return water temperatures and differences, thermal power given to water and other emission values were determined

according to different heat inputs. The combi boiler NO_x class determined as 6 which is the low NO_x combi boiler class.





1. GİRİŞ

1.1 Konu ve Amaç

Enerjinin önemi gün geçtikçe artmaktadır ve vazgeçilmez bir ihtiyaç olarak hayatımızın her aşamasında yer almaktadır. Bu ihtiyacın karşılanmasında, enerjinin verimli ve doğru kullanımı, doğaya olan etkisinin minimuma indirilmesi büyük önem arz etmektedir. Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan emisyonların azaltılması ve kontrol altında tutulması, enerjinin kullanımı ve üretimi sırasında doğaya olan etkinin minimuma düşürülmesinde önemli bir yer tutmaktadır. NO_x , CO gibi emisyonlar, ozona zarar vermekte, asit yağmurlarının oluşmasına neden olmakta, küresel ısınma ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen durumlar ortaya çıkarmaktadır. Bu tür emisyonların etkilerini azaltmak için dünya genelinde protokoller imzalanmakta ve çeşitli regülasyonlar oluşturulmaktadır.

Bu çalışmada ısıtma ve sıcak kullanım suyu sağlama amaçlı kullanılan kombilerde, NO_x emisyonlarının düşürülmesi incelenmiştir. NO_x emisyonlarıyla birlikte CO ve CO_2 gibi emisyonların da belirli seviyelerde tutulması hedeflenmiştir.

1.2 Literatür İncelemesi

Yanma sonucu oluşan emisyonların kontrolü, çevresel etki ve insan sağlığı için çok önemlidir. Bu durumla alakalı olarak özellikle son dönemde uygulanmaya başlanan regülasyonlarla birlikte, atık gazlardaki emisyonların azaltılması konusu pek çok gaz yakan cihazda olduğu gibi kombilerde de yasal zorunluluk haline getirilmiştir. Bu bağlamda özellikle düşük NO_x emisyonlu kombilerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Kombilerde NO_x emisyonunun yanı sıra CO ve CO_2 emisyonlarının kontrolü de önemlidir. Yanma sistemlerinin emisyon kontrolüyle ilgili olarak, literatürde pek çok deneysel, teorik ve nümerik çalışma yapılmıştır.

Sugiyama ve arkadaşları, NO_x emisyonu azaltma için ön ısıtma yapılmış hava kullanımını inceleyerek, ön ısıtma yapılmış hava ile brülördeki yakıt tasarrufuyla alakalı teorik ve nümerik analizler yapmışlardır [1].

Jones ve Leng, farklı yakıt debileri ve bileşimlerini kullanarak, CO ve NO_x emisyonlarını incelemek üzere, doğal gaz yakmak üzere tasarlanmış, ön karışimsız darbeli yanma odası ısıtıcısı ile çalışmalar gerçekleştirmiştir. Sadece metan yandığı durumda, yakıt debisi arttıkça NO_x emisyonlarının arttığını tespit etmişlerdir. Yüksek hava fazlalık katsayısı (düşük sıcaklık) durumunda NO₂ oluşumunu, düşük hava fazlalık katsayısı (yüksek sıcaklık) durumunda ise NO oluşumu gözlemlemişlerdir. Yakıtta az miktarda hidrojen eklenmesinin hava fazlalık katsayısını düşürerek, NO_x emisyonlarını arttırdığını görmüşlerdir. Yakıttaki hidrojen oranının %20'yi aşması durumunda, brülörün yanma performansında kötüye gidiş tespit edilmiş ve ani CO emisyonu yükselmeleri ve sıcaklıktaki azalma nedeniyle NO_x emisyonlarında düşüş görüldüğü belirtilmiştir. Propan ilavesi durumunda, yanma odası içerisindeki yüksek hava fazlalık katsayısını azaltarak, yanma odası sıcaklığını ve buna bağlı olarak NO_x emisyonlarını arttırdığı tespit edilmiştir. Adyabatik alev sıcaklığının, yanmanın tamamen tamamlanmış olması koşuluyla, NO_x emisyonlarının miktarının ve niteliğinin bir göstergesi olduğunu ifade etmişlerdir [2].

Chen ve arkadaşları, flamelet konseptine dayanarak, NO_x ve CO emisyonlarının laminer alevlerden hızlı bir şekilde öngörülebilmesi için sayısal bir model geliştirilmiştir. Bu model, yakıtça zengin metan Bunsen alevlerinin ikinci ön karışimsız alev bölgesindeki NO formasyonunu çalışmak için oluşturulmuştur. Hesaplamalar, yakıt fazlalık katsayısıyla birlikte NO_x emisyonlarında da düşüş eğilimi gözlenmiş fakat CO emisyon indeksinde artış tespit edilmiştir. NO_x ve CO arasındaki bu durum incelendiğinde, en düşük kombine emisyonun elde edilebilmesi için ideal eş değerlik oranı 1,4 olarak bulunmuştur [3].

İlbaş ve arkadaşları, farklı ısı güçleri ve farklı hava fazlalıkları için, ön-karışimsız ve ön-karışimli metan alevlerinin yanma ürünleri sıcaklık ve emisyon değerlerini deneysel olarak araştırmışlardır. 5 kW, 10 kW, 15 kW ve 20 kW'lık ısı güçlerinde ve $\lambda=1,2$, $\lambda=1,5$ ve $\lambda=1,7$ hava fazlalık katsayıları için deneysel çalışma gerçekleştirilmiş ve ön-karışimli metan alevinin yanma ürünleri sıcaklık ve CO emisyonları bakımından daha iyi durumda olduğu belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, ısı güç arttırıldıkça, yanma ürünlerinin sıcaklık ve NO_x emisyonlarının arttığı, buna karşın, hava fazlalık katsayısı artması neticesinde, yanma ürünlerinin sıcaklıkları ve NO_x değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir [4].

Yanma prosesinin kimyasal analizlerini CHEMKIN programında modelleyip, yanma odası baca gazı akış dinamiklerini de FLUENT yazılımı kullanarak modelleyen Zajemska ve arkadaşları, yaptıkları nümerik hesaplama ve ölçümlerden; sıcak hava kullanımının emisyonları arttırdığını ve özellikle NO_x emisyonunu etkilediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca ikincil havayı sağlayan, hava giriş borusunun uygun konumlandırılmasının, NO_x emisyonlarını azalttığını belirtmişlerdir [5].

Seo ve arkadaşları, katalitik ısı eşanjöründeki katalitik yanma performansının, karışımın giriş hızından, denklik oranından ve giriş sıcaklığından önemli ölçüde etkilendiğini, yapmış oldukları deneysel sonuçlarına göre tespit etmişlerdir. Bunlara ek olarak FLUENT programı ile yapılan nümerik analizler neticesinde, katalitik yüzey alanının, karışımın tam dönüşümünü elde etmek için kritik bir parametre olduğunu belirlemişlerdir [6].

Vignali, İtalya'da iki farklı doğal gaz ile çalışan kombinin, üç farklı iklim bölgesi ve iki farklı enerji sınıfına sahip konut üzerinden, yaşam döngüsünü incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre, yoğuşmalı kombilerin, konvansiyonel kombilere oranla %23 daha düşük çevresel etkiye sahip olduğunu tespit etmiştir. Bunun nedenini, yoğuşmalı kombilerin çevreye daha düşük CO ve NO_x yayması buna ek olarak daha düşük yakıt tüketimi gerçekleştirmeleri şeklinde ifade etmiştir [7].

Rasic ve arkadaşları, atmosferik brülörün çalışması sırasında, ikincil havaya olan erişimin etkilerini incelemişlerdir. Ana tasarım görevini, verimli bir brülör işletimi için, brülöre uygun miktarda birincil ve ikincil hava sağlamak olduğunu belirlemişlerdir. Birincil ve ikincil havanın kontrol edilebildiği deney düzeneği kurarak, yanma performansını gözlemlemişlerdir. Çalışma neticesinde; sabit birincil aşırı hava oranı için, ikincil hava mevcudiyetinin CO emisyon değerlerini önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişlerdir. Buna bağlı olarak ikincil havanın, brülörün ısı veriminin düşmesi yanında brülörün genel performansını da düşürdüğünü tespit etmişlerdir. İkincil havanın mevcudiyetinin brülör işletimi için önemli bir girdi olduğunu belirlemişler, baca çekişi ve birincil havanın sürüklenmesinde etki sahibi olduğunu vurgulamışlardır [8].



2. KOMBİ SİSTEMLERİ

2.1 Kombi Çalışma Prensibi

Kombi'nin geçmişi 1890'lı yıllara kadar uzanmaktadır. İlk zamanlarda su ısıtma amaçlı olarak piyasaya sürülen kombi, daha sonraları hem sıcak su hem de konut ısıtma amaçlı olarak kullanılmıştır.

Kombi; doğal gaz veya LPG yakan, konutun hem ısıtma hem de kullanım sıcak suyu ihtiyacını karşılayan, İngilizce "Gas-Fired Combination Boiler" (Gaz Yakan Birleşik Kazan) ifadesinden türetilmiş bir kelimedir. Bazı yönetmeliklerde "Duvar Tipi Gaz Yakan Cihaz" olarak da ifade edilmesine karşılık, bu çalışmada kombi olarak ifade edilecektir.

Kombiler tek başına kullanılabildikleri gibi kaskad sistemi (çoklu kombi bağlantısı) ile birkaç kombi seri şekilde bağlanarak daha fazla ısı enerjisinin gerektiği merkezi ısıtma sistemi gibi yerlerde de kullanılabilir. Ancak kaskad sistemlerinin uygulanması, işletme ve ilk yatırım yönünden, daha büyük kazanlara oranla daha pahalıdır [9].

2.2 Kombi Çeşitleri

Kombiler uygulama alanı, özellik, donanım ve kullanıcı taleplerine göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir [14].

1) Atık ısı geri kazanım ve teknoloji bakımından

- i. Bacalı Kombiler
- ii. Hermetik Kombiler
- iii. Yarı Hermetik Kombiler
- iv. Yoğuşmalı Kombiler
- v. Yarı yoğuşmalı Kombiler
- vi. Hibrit Kombiler

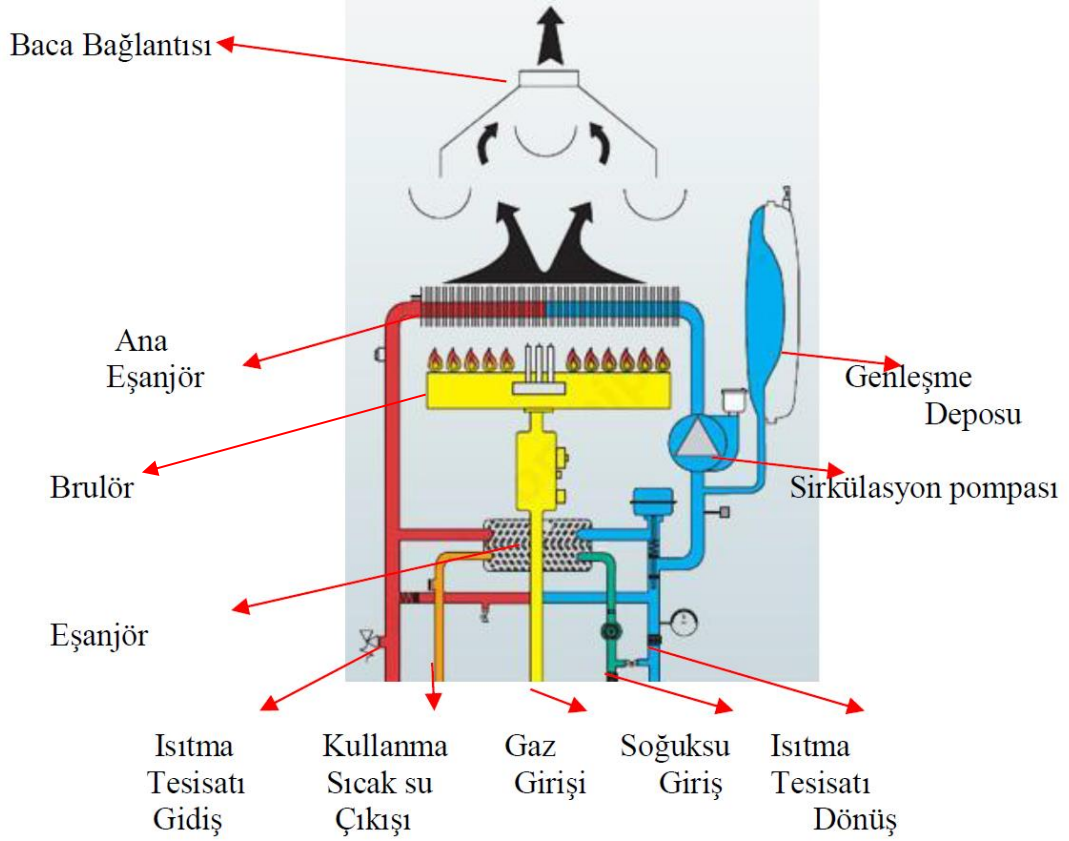
2) Eşanjör tipine göre

- i. Monotermik
 - ii. Bitermik
 - iii. Alüminyum
- 3) Brülör tipine göre
- i. Premix
 - ii. Atmosferik
 - iii. Modülasyonlu
- 4) Yakıt tipine göre
- i. Doğalgaz
 - ii. LPG
- 5) Ateşleme şekline göre
- i. Pilot alevli
 - ii. Elektronik ateşlemeli
- 6) Kapasiteye göre
- i. 18kW
 - ii. 24kW
 - iii. 30kW
- 7) NO_x emisyonuna göre
- i. Düşük NO_x emisyonlu
 - ii. Normal NO_x emisyonlu

2.2.1 Bacalı kombiler

Atmosferik tipte brülörü olup yanma odası da dış ortama açık olan, bacaya bağlanarak kullanılan kombilerdir. Yanma için gerekli olan oksijeni ortam havasından alırlar. Yanma sonrası oluşan atık gazları baca vasıtasıyla herhangi bir elektronik fan sistemi olmadan dışarı atarlar. Atık gazın tehlike oluşturmaması adına, baca müstakil ve çekişi kuvvetli olmalı, herhangi bir sızıntıya mahal vermemelidir. Baca ve kombi temizliği periyodik olarak yapılmalıdır. Kombin bulduğu alan havalandırma açısından

uygun olmalıdır. Bu tip kombilerin, hacmi 9 m³'ten küçük alanlara veya banyolara konularak kullanılması uygun değildir. Eski teknolojiye sahip olan bacalı tip kombilerin üretimi ülkemizde yasaklanmıştır. Şekil 2.1'de bacalı tip kombinin temel parçaları ve çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Bacalı tip kombi bileşenleri ve çalışma prensibi [10].

2.2.2 Hermetik kombiler

Hermetik kelimesi, Fransızca "hermetique" kelimesinden dilimize geçmiş yalıtımlı anlamına gelen bir sözcüktür. Yanma odası dış ortamdan yalıtıldığından, yanma için gerekli olan hava, baca vasıtasıyla dış ortamdan alınır ve yanma sonucu oluşan gazlar da yine aynı baca ile dışarıya verilir. Bu prensipte dış ortamdan yalıtılarak çalışan kombilere hermetik kombi denir.

Yanma sonucu oluşan atık gazlar, cebri olarak fan yardımıyla dışarı atıldığından kombinin çalıştığı ortam atık gaz bakımından temiz kalır. Hermetik kombilerde kullanılan baca hem atık gazı dışarı atmak hem de temiz havayı içeri alabilmek için, iç içe geçmiş iki borudan oluşur (Şekil 2.2). Hermetik baca, yoğuşmalı olmayan kombilerde dışarı ve aşağı doğru %3 eğimle montaj edilmelidir. Yoğuşmalı kombi

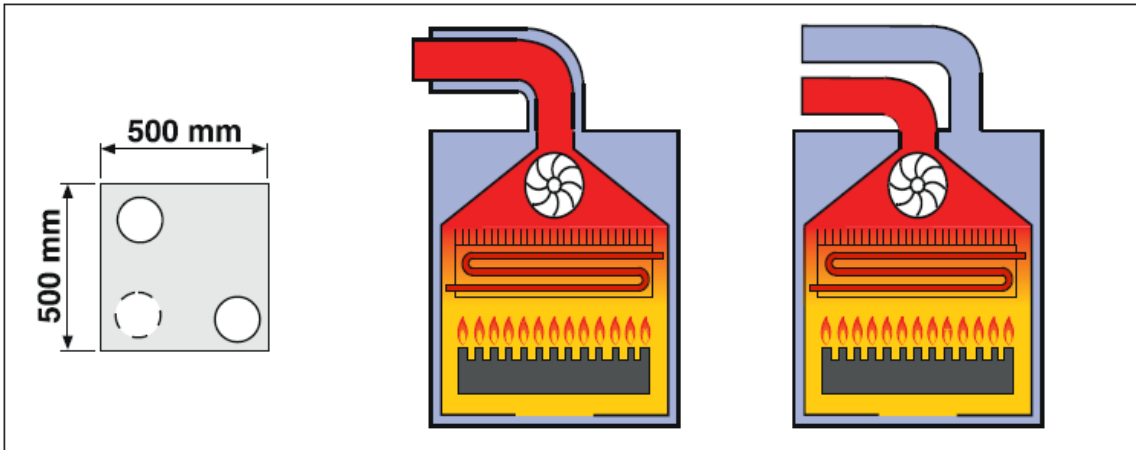
modellerinde ise yoğuşma suyunun, yoğuşma haznesinde toplanması için %3 eğimle yukarı doğru montajlanmalıdır.



Şekil 2.2 : Hermetik tip baca [11].

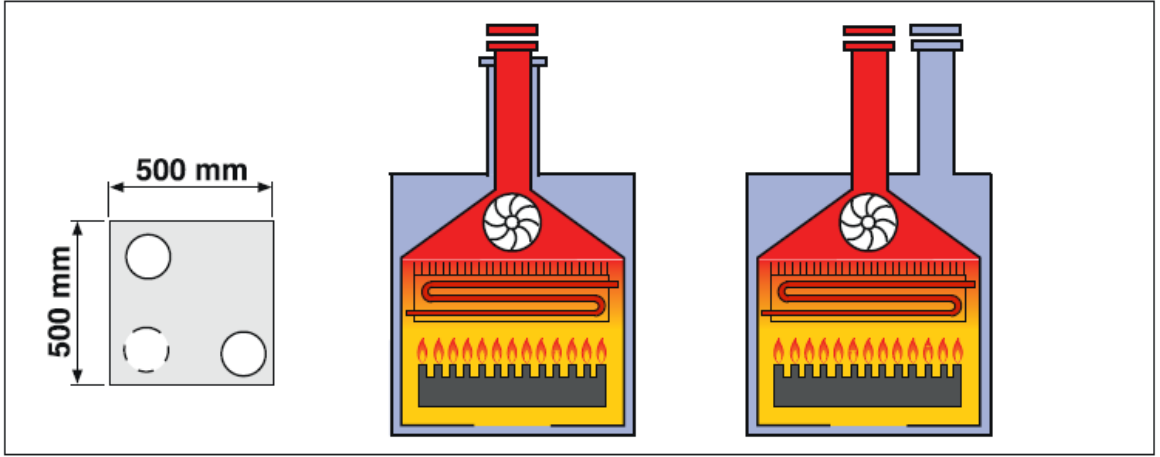
C12, C32, C42 ve C52 olarak tanımlanan dört farklı tip baca bağlantısı için bağlantıların nasıl yapıldığı aşağıda şekillerle açıklanmıştır.

C12: Yatay baca gazı ve yakma havası hatlarının eş eksenli baca borusu veya 2 paralel boru kullanarak, doğrudan atmosfere bağlanması için kullanılan bağlantı şekli (belirli gaz yakıtlı kombiler) (Şekil 2.3).



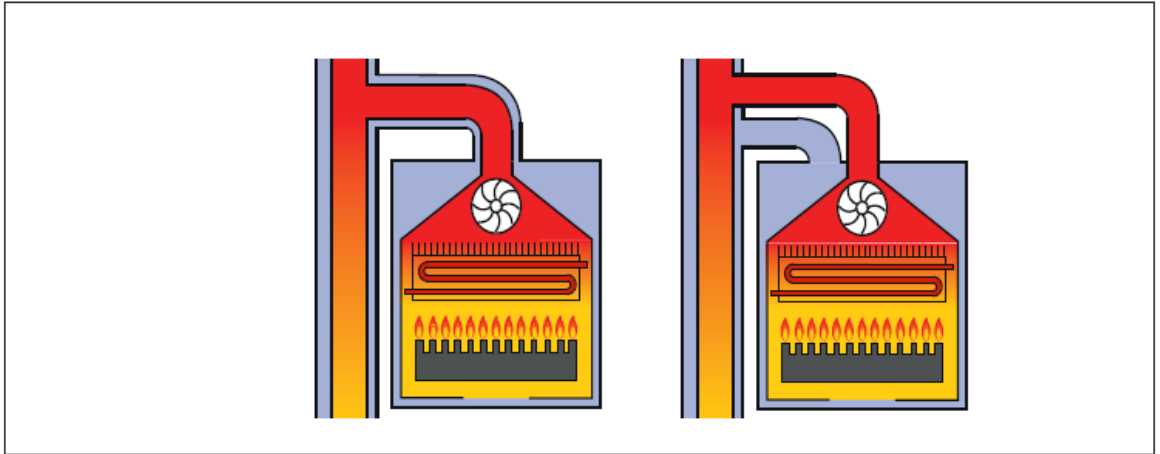
Şekil 2.3 : C12 baca bağlantısı [12].

C32 Düşey baca gazı ve yakma havası hatlarının eş eksenli baca borusu veya 2 paralel boru kullanarak, doğrudan atmosfere bağlanması için kullanılan baca bağlantı tipi (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : C32 baca bağlantısı [12].

C42 Belirli gaz yakıtlı kombilerin, biri yakma havası emişi için kullanılan ve diğeri de baca gazlarının dışarı atılması için 2 boru ile birlikte (eş eksenli bir baca borusu veya 2 paralel boru) aynı bacaya bağlanması için kullanılan baca bağlantı tipi Şekil 2.5’de sunulmuştur.

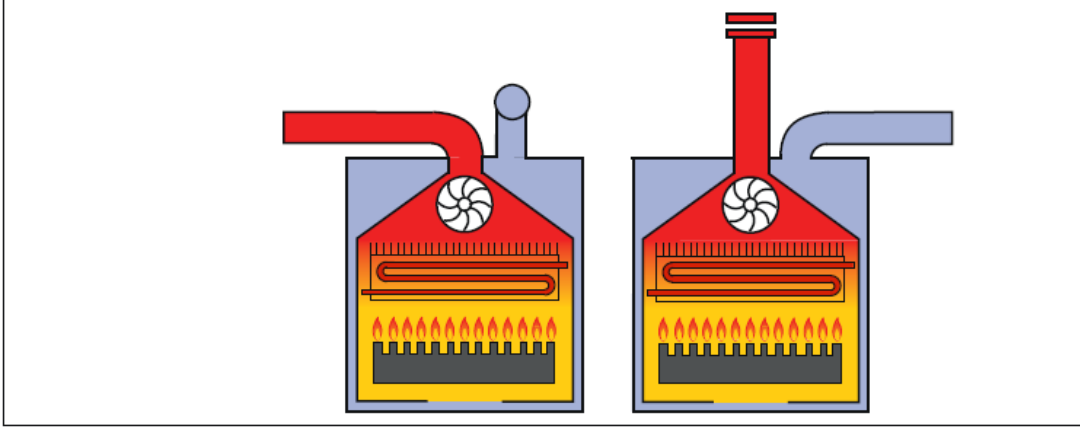


Şekil 2.5 : C42 baca bağlantısı [12].

C52 Yakma havası hava girişi ve baca gazı çıkışı ayrı ayrı olan gaz yakıtlı kombiler için kullanılan baca bağlantı tipi Şekil 2.6’da gösterilmiştir.

Bu tipteki baca boruları farklı basınçtaki bölgelere çıkış için uygundur. Bu şekilde olan 2 ayrı baca borusu karşılıklı iki duvara döşenmemelidir.

Kombi, baca terminalinin dışarıdan temiz havayı alacağı şekilde kurulmalıdır. Baca terminali kurulumunda, diğ er odalara veya ek binalara atık gazı atmayacağından emin olunmalıdır. [12].



Şekil 2.6 : C52 baca bağlantısı [12].

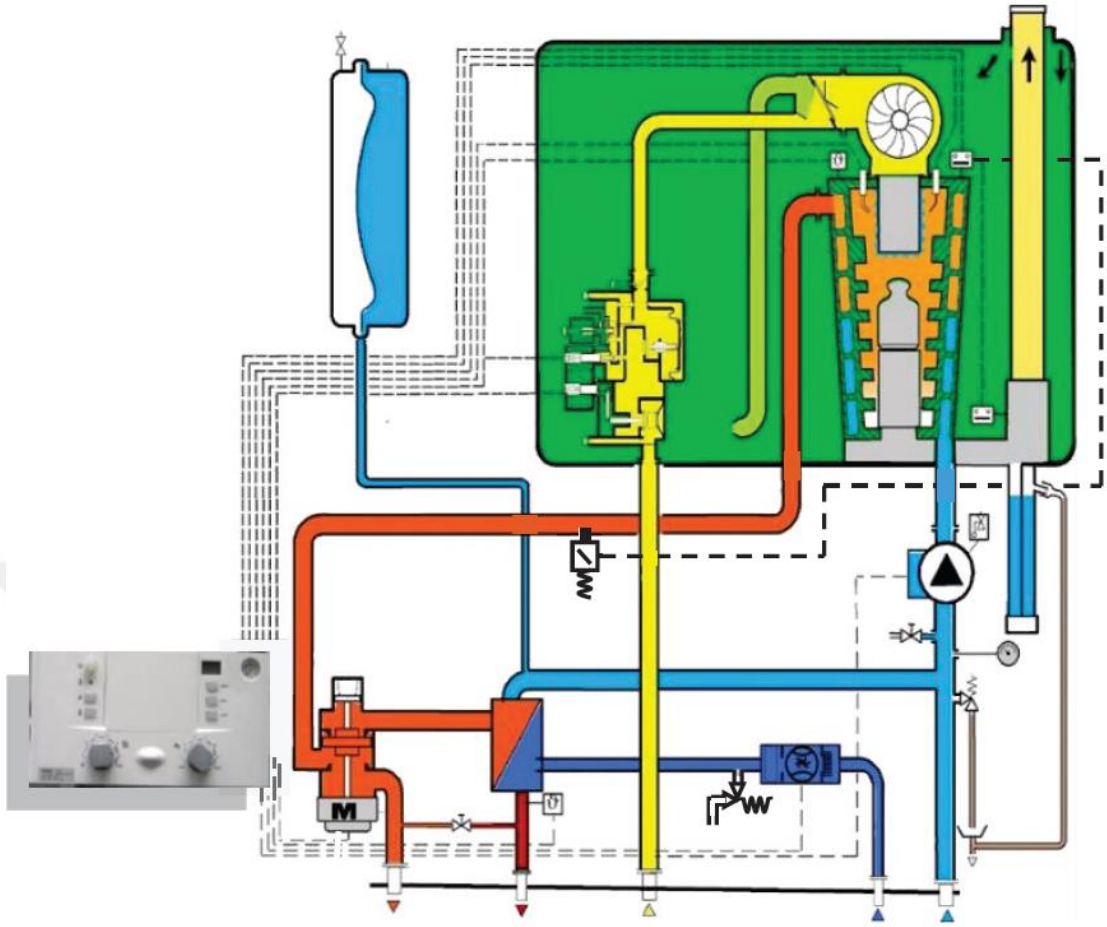
2.2.3 Yarı hermetik kombiler

Yanma için gerekli olan havayı, buldukları ortamdan alan yarı hermetik kombileri, bacalı tip kombilerden ayıran tek farklılık; yanma sonrası oluşan atık gazların cebri fan yardımıyla dış ortama atılmasıdır. Bacalı kombilerde olduğu gibi bu tip kombilerin kapalı ortamlarda kullanması sakıncalıdır.

2.2.4 Yoğuşmalı kombiler

Yoğuşmalı kombiler; bacadan atılan atık gazın sıcaklığının, yoğuşma sıcaklığına düşürülmesi ile baca gazı içindeki su buharının gizli ısının kullanılması ve yoğuşmayan yanma gazlarının duyulur ısısının kullanılması ile termal verimi daha yüksek olan kombilerdir. Yoğuşmalı kombinin şematik gösterimi Şekil 2.7’de sunulmuştur.

Doğalgaz yakıtlı kazandan çıkan baca gazı, su buharı ve gazlardan meydana gelir. Baca gazı çığlenme sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa kadar soğutulduğunda ise baca gazı içerisindeki su buharı yoğuşacaktır. Yalnız buradaki yoğuşma saf bir su buharının yoğuşması olayı değildir. Yoğuşan su buharının yanında yoğuşmayan gazlar da bulunur ve bu yoğuşmayan gazlar buradaki ısı transferinde etkilidirler. Baca gazını çığlenme noktası altına kadar soğutmak için yoğuşmalı ekonomizer denilen ısı değiştiricileri kullanılır. Baca gazının yoğuşmalı bir ekonomizerde yoğuşması olayı, gövde içinde yatay borularının dışında yoğuşmayan gazların varlığında buharın film yoğuşmasıdır. Baca gazı yoğuşabilen su buharı ile yoğuşmayan gazlardan oluşur. Bu nedenle buradaki ısı transferi olayı incelenirken sadece su buharı değil yoğuşmayan gazların varlığı da dikkate alınmak zorundadır [13].



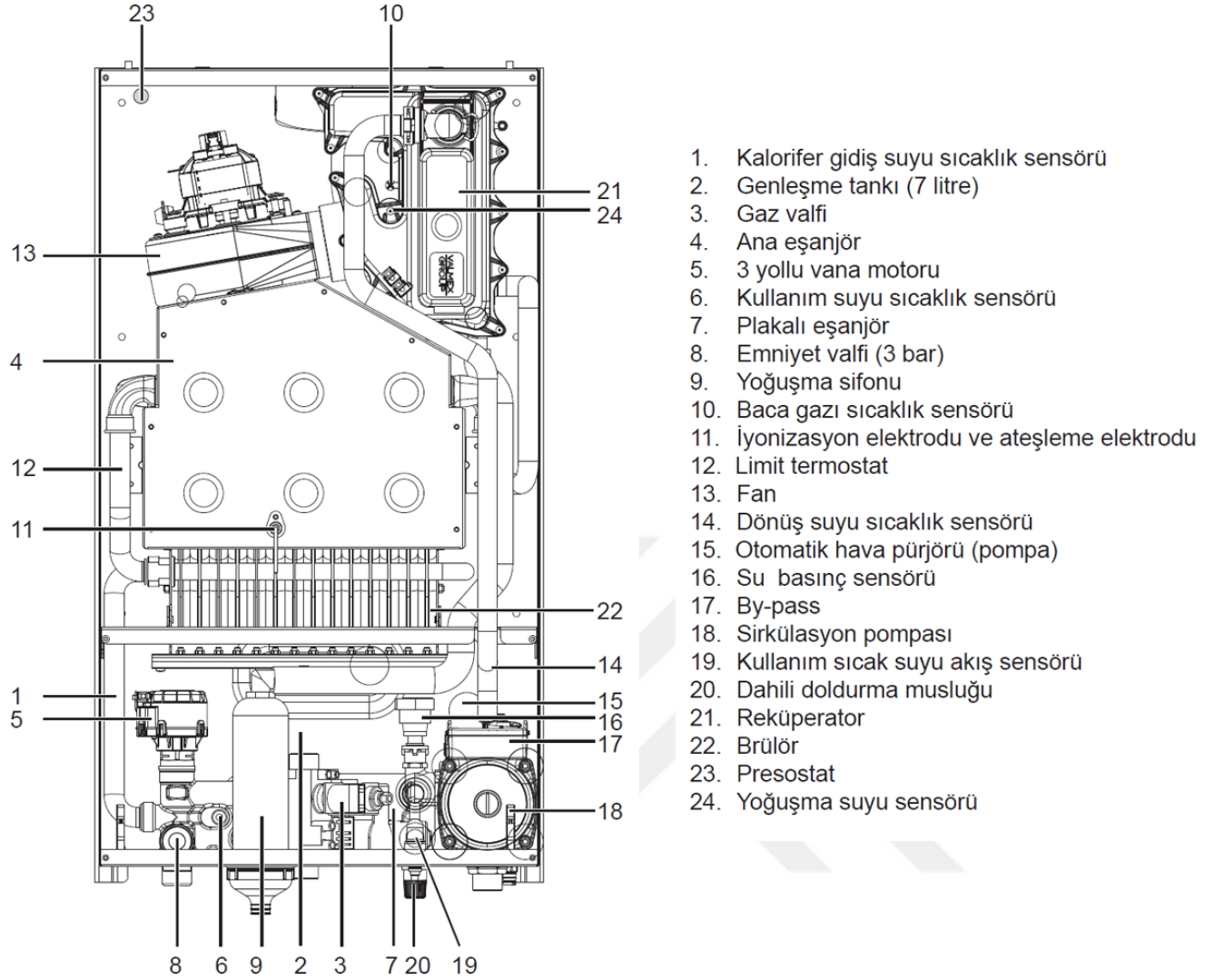
Şekil 2.7 : Yoğuşmalı kombi çalışma prensibi [14].

2.2.5 Yarı yoğuşmalı kombiler

Yarı yoğuşmalı kombilerin verimleri, tam yoğuşmalı kombilere göre %7 ile %9 oranında daha düşüktür.

Genel çalışma prensibi yoğuşmalı kombiler gibi olmasına karşılık, yarı yoğuşmalı kombilerde reküperatör olarak ifade edilen ilave ısı değıştirciler kullanılmaktadır. Bu ısı değıştirciler, baca gazı atık ısısından geri kazanım yoluyla enerji sağlayarak, kullanım suyunun ön ısıtma işlemini gerçekleştirmektedir. Böylelikle yarı yoğuşmalı kombiler, konvansiyonel kombilere göre daha yüksek verimde çalışarak, enerji tasarrufu sağlamaktadır.

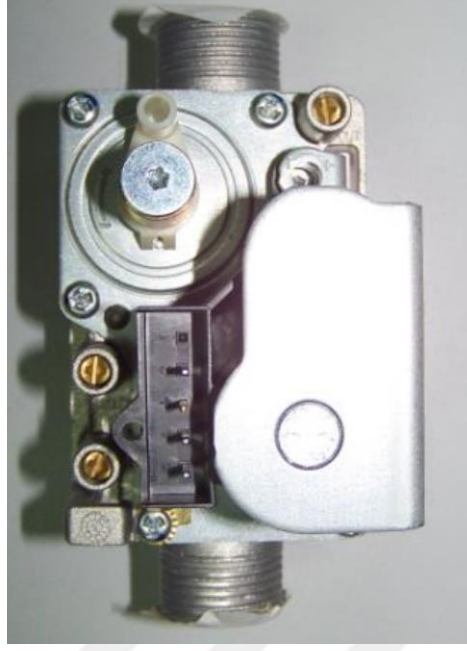
Bu çalışmada incelenecek olan kombi yarı yoğuşmalı kombi olduğundan kombinin temel parçaları ayrıca incelenecektir. Şekil 2.8'de kombinin yapısı ve teknik bileşenleri görülmektedir.



Şekil 2.8 : Kombinın yapısı ve teknik bileşenleri [15].

2.2.5.1 Gaz Valfi

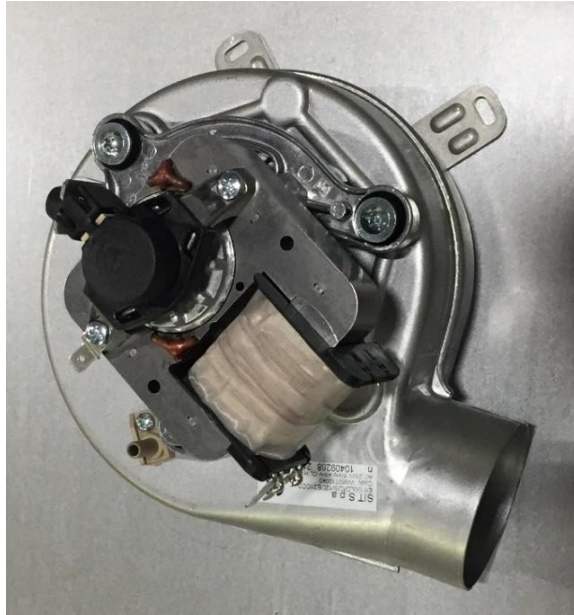
Brülöre kontrollü gaz akışını sağlamak için iki adet valfe sahip olan gaz valfi 230V AC elektrikle çalışmaktadır. Gaz valfi ile ilgili görsel Şekil 2.9’da sunulmuştur. Gaz valfi, NTC (negative temperature control) sensörler tarafından kombi elektronik kartına iletilen sinyale göre; gaz çıkış basıncını, valf açma ve kapama durumunu ayarlar. Kombi modeline ve seçilen diğer yanma grubu ekipmanlarına göre değişmekle birlikte çalışabileceği maksimum giriş basıncı 60mbar’dır [16]. Ön karışimli yanma uygulanan kombilerde fan devir hızı ve gaz valfi açma kapama değerleri ayarlanarak optimum düzeyde gaz hava karışımı brülöre gönderilir.



Şekil 2.9 : Gaz valfi.

2.2.5.2 Fan grubu

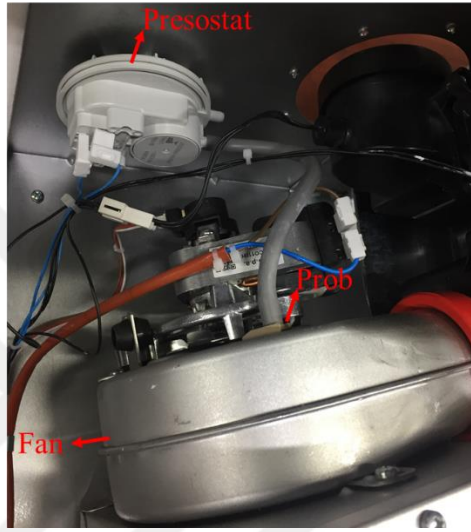
Yanma odasının üst kısmında bulunan fan, yanma sonrası oluşan atık gazların hermetik baca vasıtasıyla dışarı atılmasını ve yine aynı baca ile dış ortamdan yanma için gerekli olan taze havanın yanma odasına beslenmesini sağlamaktadır (Şekil 2.10). Fan içerisinde bulunan ventüri yapısı sayesinde presostat (basınç anahtarı) parçası ile atık gaz yolunun açık veya tıkanık olduğu durumlar kontrol edilmektedir.



Şekil 2.10 : Fan grubu.

2.2.5.3 Presostat (basınç anahtarı)

Presostat hermetik ve yarı yoğuşmalı kombilerde fanın çalışma durumunu ve yanmış gazların tahliyesini kontrol eden emniyet parçasıdır (şekil 2.11). Fan motorunda bulunan ventüriye bağlanarak, ventüri üzerinde oluşan basıncın etkisi ile kontakları kapatır. Bu şekilde kombi elektronik kartına, fanın çalıştığını ve atık gaz yolunun açık olduğu sinyalinin verir. Fan kontrolünün takometre yerine presostat ile sağlanması için sonraki bölümlerde anlatılacak olan testler gerçekleştirilmiştir.



şekil 2.11 : Presostat, prob ve fan grubu.

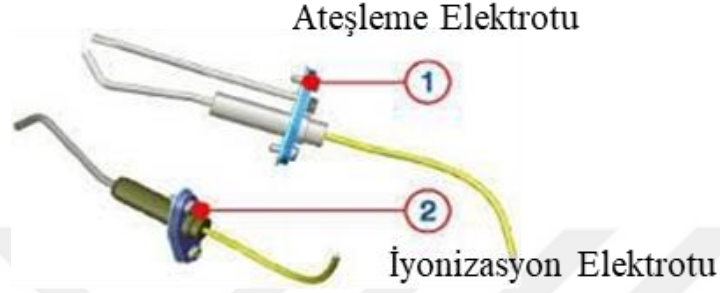
2.2.5.4 Brülör

Yakıt hava karışımının ateşleme elektrotu vasıtasıyla ateşlenmesiyle yanmanın gerçekleştiği, bu çalışmada incelenecek olan yarı-yoğuşmalı kombi modelinde atmosferik brülör olarak kullanılan parçadır. Yoğuşmalı kombi modellerinde genellikle, yakıt hava karışımının yanma öncesinde karıştırıldığı ön karışımlı brülör modelleri kullanılmaktadır. Üçüncü bölümde mevcut kullanılan düşük NO_x emisyonlu brülör detaylı olarak anlatılmıştır.

2.2.5.5 Ateşleme ve iyonizasyon elektrotu

Yanma odası içerisinde brülör yüzeyine yakın noktada konumlandırılmış olan ateşleme ve iyonizasyon elektrotları (şekil 2.12), iç kısmı özel alaşım metalden yapılmış, dış kısmı ise seramik elektriksel izolasyon sağlayan malzemeye kaplanmıştır.

İlk çalışma anında ateşleme elektrotu, kıvılcım ile ateşleme yaparak brülör yüzeyinde alev oluşmasını sağlar. Alev oluşuktan sonra, iyonizasyon elektrotu yanma sonucu oluşan iyon akımlarını, kombi elektronik kartına iletir ve elektronik kart yanmanın gerçekleştiğini ve devam ettiğini kontrol eder. Ateşleme elektrotu ve iyonizasyon elektrotlarının yanma odası içerisinde uygun şekilde konumlandırılmış olması, kombinin doğru çalışması açısından önemlidir [16].



Şekil 2.12 : Ateşleme ve iyonizasyon elektrotu.

2.2.5.6 Ana eşanjör

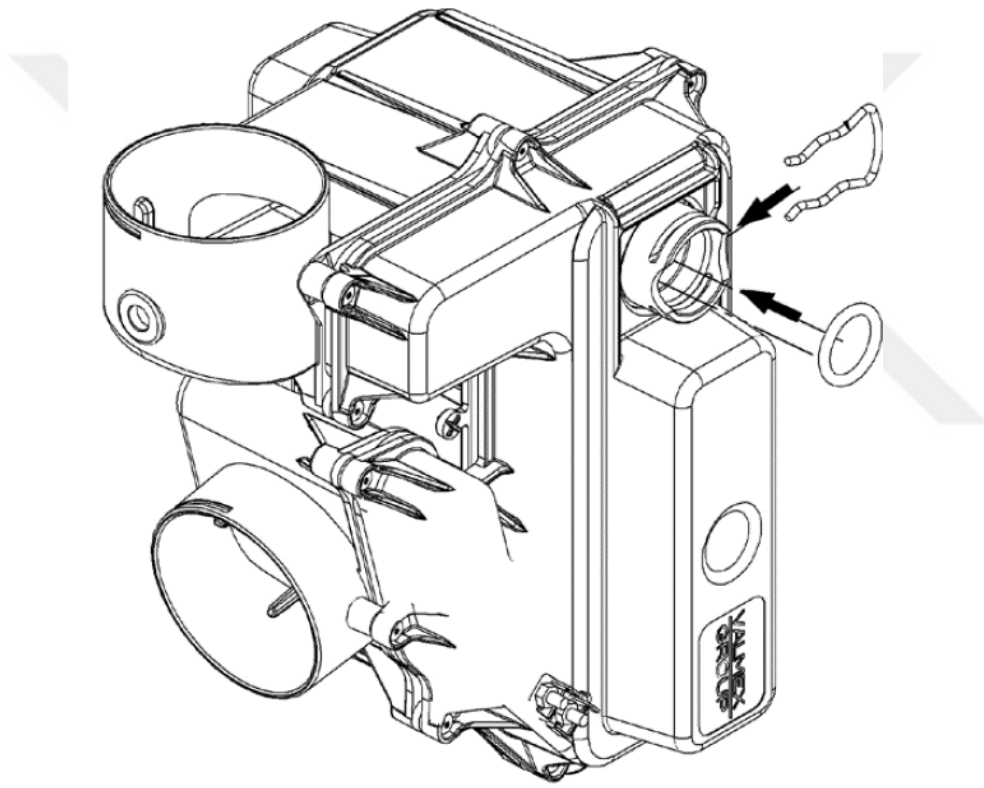
Yanma odası içerisinde yer alan, bakır malzemeden üretilmiş, monotermik (tek geçişli) ana eşanjör, oval kesitli iki borulu bir serpantinden oluşmaktadır (Şekil 2.13). Isı transfer yüzeyini arttırmak için, borular üzerine lameller yerleştirilmiştir. Yanma sonucu oluşan ısı, eşanjör yüzeyindeki lameller arasından geçerek, eşanjör içerisindeki suyun ısınmasını sağlamaktadır. Eşanjör yüzeyi aşırı ısı ve korozyona karşı, silisyum alüminyum esaslı bir boya ile kaplanmaktadır.



Şekil 2.13 : Ana eşanjör [17].

2.2.5.7 Reküperatör

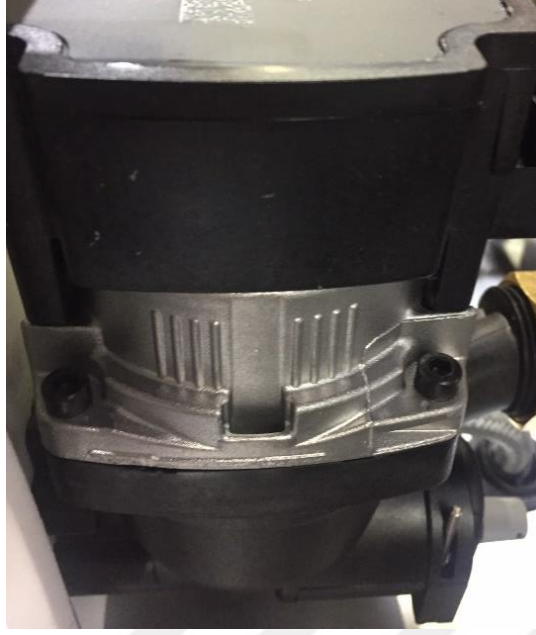
Reküperatör baca atık gazının ısısı ile, kullanım suyunun ön ısıtılmasını gerçekleştirerek kombi ısı verimini %4 ile %5 oranında arttırmaktadır (Şekil 2.14). Reküperatör içerisinde bulunan su geçiş plakalarının ısı transfer yüzey alanları arasından geçen atık baca gazı hem yoğuşma hem de taşınım ile kullanım suyuna ısı aktarımı sağlayarak ön ısıtma işlemini gerçekleştirir. Reküperatörün kasası ısıya, korozyona ve yoğuşma suyunun asidik yapısına dayanıklı cam elyaf katkılı polipropilen malzemeden üretilmiştir. İç kısımda yer alan eşanjör ise özel alüminyum alaşım malzemeden üretilmiştir.



Şekil 2.14 : Reküperatör [18].

2.2.5.8 Sirkülasyon pompası

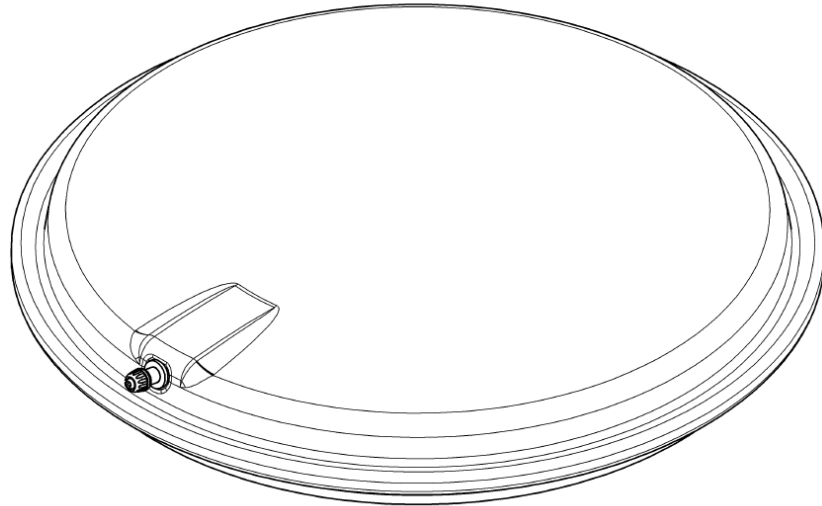
Sirkülasyon pompası (Şekil 2.15), kalorifer devresi dönüş hattına monte edilmiş olup, ısıtma ve kullanım suyu temini sırasında, kapalı sistemde bulunan suyun çevrimini sağlamaktadır. Pompa ihtiyaç duyulan konfor şartlarına göre, kombi elektronik kartı ile haberleşerek frekans kontrollü olarak çalışmaktadır. Sirkülasyon pompası gövdesinde bulunan otomatik hava pürjörü, oluşan fazla havanın dışarı atılmasını sağlar.



Şekil 2.15 : Sirkülasyon pompası.

2.2.5.9 Genleşme tankı

Genleşme tankı, kalorifer tesisatındaki suyun ısınması sonucu, ortaya çıkan hacim artışını kauçuk membranlı yapısı sayesinde sönümleyerek, sistem basıncının sürekli sabit kalmasını sağlayan parçadır (Şekil 2.16). Genleşme tankının, nominal çalışma basıncı 3 bar, maksimum çalışma basıncı 4 bardır. Kauçuk membran diyafram kısmında 1 bar ön basınç ile basınçlandırılmış azot gazı bulunmaktadır.



Şekil 2.16 : Genleşme tankı.

2.2.5.10 Plakalı eşanjör

Kullanım suyunun, ana eşanjörden gelen sıcak suyla ısıtılmasını sağlayarak, sıcak kullanım suyu ihtiyacını karşılayan parçadır. Plakalı eşanjör, hidroblok parçasına sağ ve soldan vidalı bağlantıyla monte edilmiş olup, paslanmaz çelik plakalardan imal edilmiştir (Şekil 2.17). Azami ısı transferi sağlanabilmesi için, plakalı eşanjör içerisinde, kalorifer ve kullanım suyu ters yönlerde geçiş yapmaktadır. Maksimum çalışma basıncı 15 bardır. Kombi modellerine göre farklı plaka sayılarında plakalı eşanjör kullanılmakla birlikte, bu çalışmada incelenen kombide 12 plakalı model kullanılmıştır.



Şekil 2.17 : Plakalı eşanjör.

2.2.5.11 Üç yollu vana motoru

Kalorifer gidiş hattı üzerinde, sol hidrobloka monte edilmiştir. Üç yollu vana motoru, kullanım suyu ihtiyacı olduğunda ana eşanjörden çıkan kalorifer suyunu kullanım suyu plakalı eşanjörüne yönlendirir. Her 24 saat beklemeden sonra üç yollu vana bir çevrim yapmaktadır, bu sistem sayesinde üç yollu vananın sıkışması önlenmektedir. Üç yollu vana motorunun parçaları parça üzerinden alınmış kesit görüntü ile Şekil 2.18’de gösterilmiştir.

Üç yollu vana motoru, kalorifer konumunda çalışırken plakalı eşanjöre giden hat kapalı durumda, kalorifere giden hat ise açık durumdadır. Bu esnada ana eşanjörden gelen sıcak su doğrudan kalorifere gider. Üç yollu vana motoru içindeki demir mil bu konumda iken aşağıya doğrudur. Kombi kış konumunda veya yaz konumunda çalışırken sıcak su musluğu açıldığında akış sensöründen elektronik karta sinyal

iletir ve üç yollu vana kullanım suyu konumuna geçer. Bu konumda, kalorifere giden hat kapalı, plakalı eşanjöre giden hat ise açık konumdadır. Böylece ana eşanjör üzerinden gelen sıcak su doğrudan plakalı eşanjör gidiş kanalına yönlendirilmiş olunur. Üç yollu vana motoru içindeki demir mil bu konumda iken içeriye doğrudur.

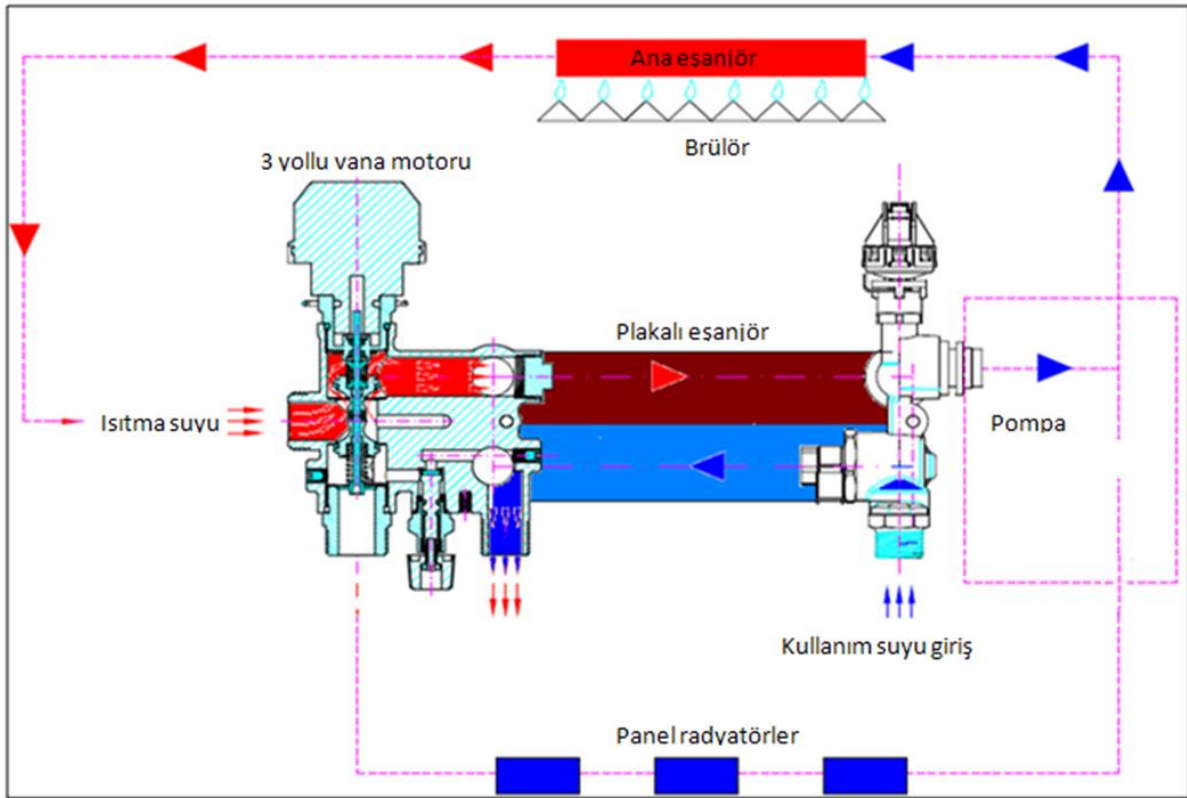


Şekil 2.18 : Üç yollu vana motoru ve parçaları [16].

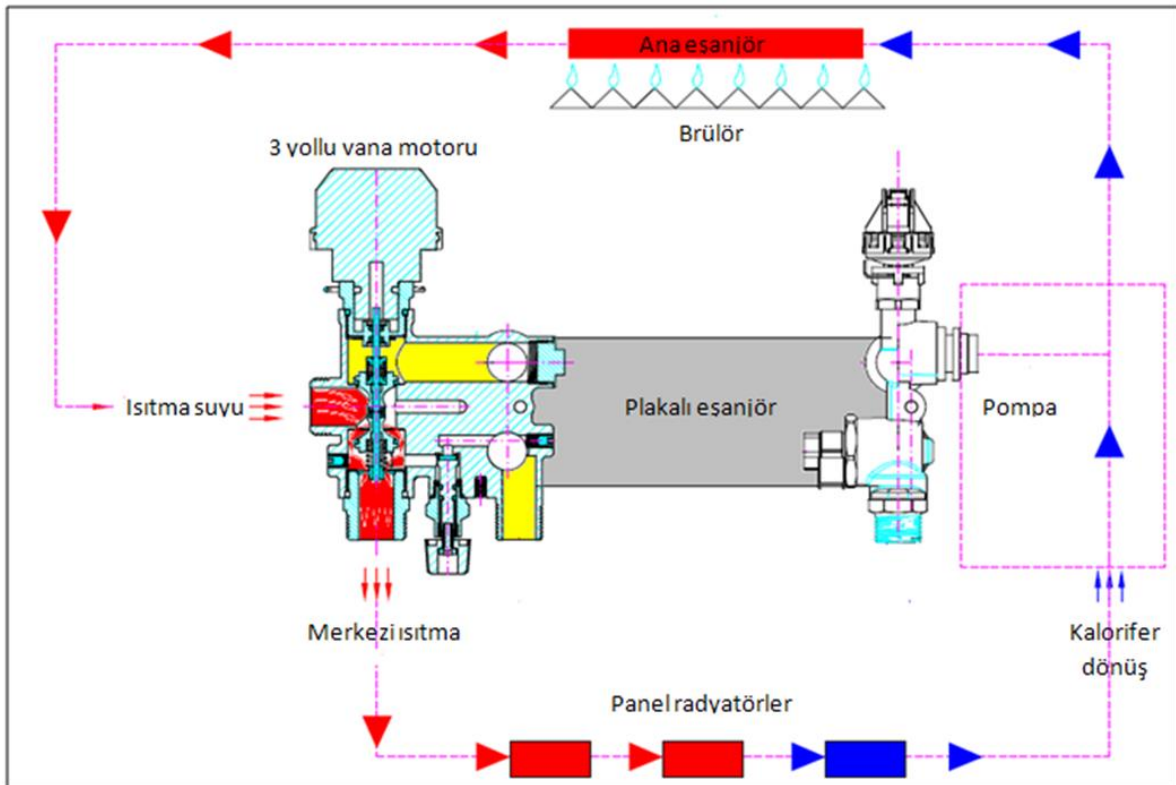
2.2.5.12 Hidrolik grup

Hidrolik grup yapısında sirkülasyon pompası, plakalı eşanjör, basınç sensörü, NTC sensörler, doldurma musluğu, emniyet ventili, hidroblok gibi parçaları bulunduran, kombinin kullanım suyu ve kalorifer tesisatının kontrol edildiği bölümdür.

Monotermik eşanjöre sahip kombilerdeki kullanım suyu konumu çalışma prensibi Şekil 2.19’da kalorifer konumu çalışma prensibi Şekil 2.20’de verilmiştir.



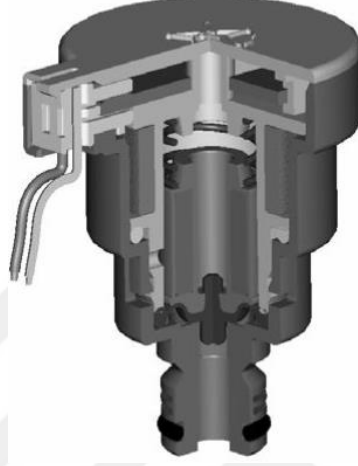
Şekil 2.19 : Kullanım suyu çalışma modu [16].



Şekil 2.20 : Kaldırıcı hattı çalışma modu [16].

2.2.5.13 Su basınç sensörü

Su basınç sensörü, içerisindeki diyafram yapı sayesinde, açma-kapama yaparak kombinin susuz çalışmasını engelleyen parçadır (Şekil 2.21). Primer kapalı devre basıncı 0,5 barın altına düşerse kombi elektronik kartına sinyal göndererek kombinin arıza moduna geçmesini sağlar. Kombi doldurma vanasından, kapalı devreye tekrar su doldurulması sağlanarak kombinin arıza modundan çıkması sağlanır.



Şekil 2.21 : Su basınç sensörü [16].

2.2.5.14 Emniyet ventili

Emniyet ventili (Şekil 2.22), kombi ve kalorifer tesisatını, suyun basıncındaki olası yükselmelerden korur. Kalorifer tesisatındaki su basıncı 3 barı aşarsa, emniyet ventili içerisindeki yay klapeyi iterek otomatik olarak açar ve tesisat basıncının düşmesini sağlar.



Şekil 2.22 : Emniyet ventili.

2.2.5.15 NTC sensör

NTC sensör (negative temperature control, negatif sıcaklık kontrolü) sıcaklığın artmasıyla direnci düşen bir çeşit termistördür. Kullanım suyu veya kalorifer devresi ısı ayar potansiyometresinin veya tuşlarının ayarlı olduğu direnç değerini esas alır. Ayarlanmış değer ile NTC sensörünün üzerinden geçen besleme akımına dayanarak okuduğu değerler arasındaki karşılaştırma sonrasında kombi elektronik kartına bilgi gelir. Elektronik kart bu bilgiye göre modülasyonu sağlayan gaz valfi bobininin gerilim değerini değiştirir.

Su sıcaklığında bir artış olduğunda gaz valfi bobininin akım değeri azalır ve gaz valfi modülasyon yaparak brülördeki gaz basıncını azaltır. NTC sensörlerin, kalorifer NTC sensör, kullanım suyu NTC sensör ve baca gazı NTC sensör gibi kombinin farklı bölümlerinde kullanılan farklı tipleri mevcuttur (Şekil 2.23).



Kalorifer hattı
NTC sensör



Daldırma tipi
NTC sensör



Baca gazı
NTC sensör

Şekil 2.23 : NTC sensörler.

2.2.5.16 Limit termostat

Aşırı su ısınması durumunda, kombiyi koruma amaçlı olarak devreye giren limit termostat (Şekil 2.24), kalorifer gidiş borusu üzerine monte edilmiştir. Ana eşanjör çıkışında su sıcaklığı, 90 °C ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) sıcaklığına ulaştığında limit termostat kombiyi kapatır.



Şekil 2.24 : Limit termostat.

2.2.5.17 Elektronik kart

Kombinin fonksiyonel tüm işlemleri elektronik kart aracılığıyla kontrol edilmektedir. Elektronik kart (Şekil 2.25), daha konforlu ve tasarruflu kullanım için oransal (kademersiz) modülasyon ile kombinin gücünü ayarlayarak gereksinim duyulan sıcaklığı sağlamaktadır. Elektronik kart kombinin tüm çalışmasını sürekli kontrol etmekte ve herhangi bir tehlike ve arıza durumunda kullanıcıyı uarmaktadır.



Şekil 2.25 : Elektronik kart.

2.2.6 Hibrit kombiler

Hibrit kombi sistemlerinde, premix tam yoğuşmalı kombi ile entegre çalışan, genellikle hava kaynaklı ısı pompası kullanılır. Hibrit kombi sistemine, istendiği durumlarda iç ünite de eklenerek, ısıtma ve soğutma aynı sistem üzerinden gerçekleştirilebilir. Bu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri fazla olmasına rağmen, yüksek enerji verimi ve tasarruf olanağı sağlamasından ötürü Avrupa ülkelerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Isı pompası kaynağı su ve toprak kaynaklı olarak da seçilebilir.

Bu tip sistemlerde, tüm yıl boyunca, alan ısıtma için gerekli enerjinin yüzde 70'ine kadar bir bölümü ısı pompası tarafından tek başına karşılanabilir. Havadan suya ısı pompası, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanırken, çok soğuk havalarda ise ısı pompası devreden çıkarılarak doğal gaz ile çalışan kombi devreye

girer. Şekil 2.26’da Daikin marka hibrit kombilerin ana bileşenleri, Şekil 2.27’de hibrit kombi sisteminin şeması sunulmuştur.

Otomatik kontrol devresi ile değişen hava koşullarında doğalgaz kazanı veya hibrit çalışma arasında her zaman en uygun mod seçiliyor. Gerektiğinde bunları birlikte kullanarak (hibrit çalışma), daha ucuz, daha yeşil bir enerji kullanımı olanağı sağlamaktadır. Her iki teknolojinin avantajlarını birleştiren bu tip sistemler ile enerji maliyetleri en yeni teknolojiye sahip yoğunmalı kombilere oranla dahi yüzde 25’e kadar düşerken, karbon emisyonlarından yılda 1.5 tona kadar tasarruf sağlanır [19].

Hibrit kombilerin çalışma prensibi genel olarak şu şekilde açıklanabilir;

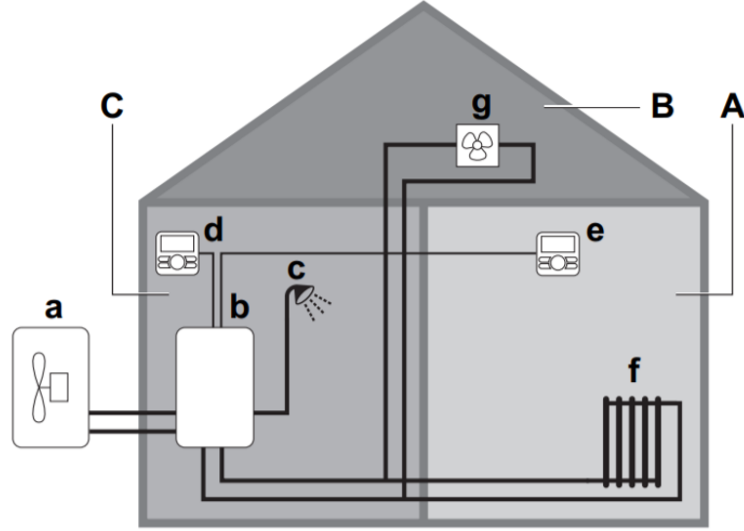
Isı pompası çalışması: Performans katsayısı (COP) değeri 5’e kadar çıkabilen hava kaynaklı ısı pompası ile orta düzeydeki dış ortam sıcaklıklarında işletme maliyetlerinin optimuma getirilmesi için ısı pompası tek başına çalışır.

Hibrit çalışma: Yüksek bir ısı yükü gerektiğinde veya belirli koşullarda en yüksek verimliliğin sağlanması için hem doğalgaz kazanı hem de ısı pompası aynı anda devreye girer. Isı pompası modundan hibrit moduna geçiş evin özelliklerine, enerji fiyatlarına, ısı dağıtım sisteminizin talep ettiği sıcaklığa, dış ortam sıcaklığına ve ısı pompasının o andaki verimliliğine dayalı olarak değişir.

Doğalgazla çalışma: Dış ortam sıcaklıkları büyük ölçüde düşer ve neticesinde su akış sıcaklığı artarsa hibrit modunda çalışma artık verimli olmaktan çıkacaktır. Ünite bu durumda otomatik olarak doğalgaz moduna geçer [19].



Şekil 2.26 : Hibrit kombi üniteleri [19].

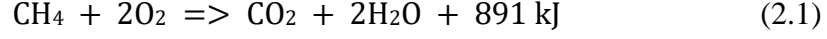


- A: Ana bölge. Örnek: Oturma odası
 B: İlave bölge. Örnek: Yatak odası
 C: Teknik oda, işletme odası
 a: Dış ünite ısı pompası
 b: İç ünite hibrit kombi
 c: Kullanım suyu veya sıcak su tankı
 d: İç ünite kullanıcı arabirimi
 e: Ana bölge kullanıcı arabirimi
 f: Radyatör
 g: Isı pompası dönüştürücüsü veya fan coil ünitesi

Şekil 2.27 : Hibrit kombi sistemi şeması [19].

2.3 Kombi Sistemlerinde Yanma

Yanma; yakıtların oksijenle hızlı ekzotermik reaksiyonu sonucu, enerji olarak ısının ve ayrıca yanma ürünlerinin ortaya çıktığı kimyasal reaksiyondur. Fosil yakıtlar temel olarak karbon, oksijen ve hidrojenle oluşur. Kombilerde yakıt olarak, doğalgaz (G20) veya LPG (G30-G31) kullanılır. Doğalgazın kimyasal içeriğini incelediğimizde büyük oranda hidrokarbonlardan (C_xH_y) oluştuğu görülür. Doğalgazın büyük bölümü (%70-90), Metan gazı CH_4 bileşiğinden oluşur. Diğer bileşenleri; etan C_2H_6 (%5-9), propan C_3H_8 (%1-3), bütan C_4H_{10} (%0,5-1) gazlarıdır. İçeriğinde karbondioksit CO_2 (%1-3), azot N_2 (%5-7), helyum He ve diğer hidrokarbonlar da bulunur. Doğalgazda metan gazı CH_4 oranı çok yüksek olduğundan, genel bir ifade ile yanma reaksiyonu metanın yanma reaksiyonu olarak alınabilir. Yanma sonucu karbondioksit ve su buharı elde edildiği görülür.



2.3.1 Yanma tipleri

Yanma, yakıt ile oksijenin karışma durumuna göre 3 başlıkta sınıflandırılabilir. Bunlar; ön karışimsız (non-premixed) yanma, kısmi ön karışimli yanma ve ön karışimli (premix) yanmadır.

Ön karışimsız yanma; yakıt ile oksijenin ayrı olduğu ve yanmaya başlamadan önce karışmadığı tipteki yanma çeşididir. Bu çeşit yanmada, alev ön karışimsız veya difüzyon alev olarak adlandırılır. Alevin boyu uzundur ayrıca daha düşük sıcak bölge sıcaklığına sahiptir.

Kısmi ön karışimli yanma; yakıtın bir kısmının oksijen ile karışarak yanmanın gerçekleştiği durumdur. Bu tip kısmi yanmada, alev boyu ön karışimsız ve ön karışimli yanma arasındaki bir değerdedir.

Ön karışimli yanma; yakıtın ve oksijenin yanmadan önce karıştığı durumdur. Ön karışimli yanmada alev, ön karışimsız ve kısmi karışimli yanmaya göre daha etkilidir.

Wobbe Sayısı veya Wobbe İndeksi (W); Aynı ölçüm ve yanma koşullarındaki gazların yakılmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisinin karşılaştırılması için oluşturulan bir katsayıdır. Gaz cihazlarının ısı yükleri bakımından gazların birbirlerinin yerlerine ikame edebilmeleri için kullanılır. Üst veya alt ısı değere bağlı olarak yine üst ($W_{o,n}$) ve alt ($W_{u,n}$) Wobbe sayısı ayırt edilmektedir [20].

$$W_{o,n} = \frac{H_{o,n}}{\sqrt{d}} \text{ veya } W_{u,n} = \frac{H_{u,n}}{\sqrt{d}} \text{ kWh/m}^3 \text{ veya MJ/m}^3 \quad (2.2)$$

Üst ısı değeri ($H_{o,n}$); Belirli bir sıcaklık derecesinde bulunan 1 m³ gaz, tam yanma için gerekli asgari hava ile karıştırılarak herhangi bir ısı kaybı olmadan yakıldığında ve yanma ürünleri başlangıç derecesine kadar soğutulup karışımındaki su buharı yoğunlaştırıldığında açığa çıkan ısı miktarı (kcal/m³).

Alt ısı değeri ($H_{u,n}$); Belirli bir sıcaklık derecesinde bulunan 1 m³ gaz, belirli oranda hava ile karıştırılarak, herhangi bir ısı kaybı olmadan yakıldığında ve yanma ürünleri, karışımındaki su buharı yoğunlaştırılmadan başlangıç sıcaklığına kadar soğutulduğunda açığa çıkan ısı miktarı (kcal/m³).

Bağıl yoğunluk (d); Aynı sıcaklık ve basınçtaki gaz ile havanın yoğunluklarının birbirine oranıdır. Bir maddenin bağıl yoğunluğu birimsiz bir büyüklüktür.

$$d = \frac{\rho_h}{\rho_g} \quad (2.3)$$

Wobbe İndeksi aynı olan gazlar, aynı gaz ailesi içerisinde bulunurlar. Doğalgazın içerisinde bulunan hidrokarbonların ve diğer bileşenlerin oranı Wobbe İndeksini etkiler (Çizelge 2.1).

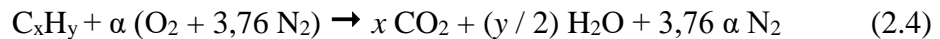
Çizelge 2.1 : Doğalgaz içeriği ve wobbe indeksi [21].

Wobbe Index [MJ/m ³]	Metan (CH ₄) [%]	Etan (C ₂ H ₆) [%]	Propan (C ₃ H ₈) [%]	Nitrojen (N ₂) [%]
46	93,02	0	0	6,98
50,72	100	0	0	0
53	92,65	0	7,37	0
53	85,6	14,4	0	0
54	89,33	0	10,67	0
54	79,1	20,9	0	0

2.3.2 Yanma stokiyometrisi

Stokiyometrik oksitleyici (hava) miktarı, bir yakıtın tamamen yanması için gerekli olan oksitleyici miktardır. Eğer stokiyometrik miktardan fazla oksitleyici sağlanmışsa, karışım yakıt bakımından fakir veya fakir karışım olarak adlandırılır. Stokiyometrik miktardan daha az oksitleyici sağlanmışsa, karışım yakıt bakımından zengin veya zengin karışım olarak adlandırılır.

Stokiyometrik hava-yakıt miktarı; yakıtın ideal yanma sonrası ürünler oluşturduğunu varsayıp, basit atom dengesi yazılarak hesaplanabilir. C_xH_y olarak ifade edilmiş hidrokarbon yakıt için stokiyometrik ifade aşağıdaki gibidir [22].



$$\alpha = x + y / 4 \quad (2.5)$$

Burada, havanın yüzde 21 oranında O₂ ve yüzde 79 oranında N₂ içerdiği kabul edilmiştir.

$$\left(\frac{Hava}{Yakit}\right)_{stokiyometrik} = \left(\frac{m_{hava}}{m_{yakit}}\right)_{stokiyometrik} = \frac{4,76\alpha}{1} \frac{MW_{hava}}{MW_{yakit}} \quad (2.6)$$

MW_{hava} ve MW_{yakit} hava ve yakıtın moleküler ağırlığıdır. Eşdeğerlik oranı Φ , hava-yakıt karışımının yakıt bakımından, zengin, fakir veya stokiyometrik karışımlardan hangisi olduğunu belirtmek için kullanılır.

$$\Phi = \frac{\left(\frac{Hava}{Yakit}\right)_{stokiyometrik}}{\left(\frac{Hava}{Yakit}\right)_{gercek}} = \frac{\left(\frac{Yakit}{Hava}\right)_{gercek}}{\left(\frac{Yakit}{Hava}\right)_{stokiyometrik}} \quad (2.7)$$

Burada $\Phi > 1$ olursa yakıtça zengin karışım, $\Phi < 1$ olursa yakıtça fakir karışım, $\Phi = 1$ olursa stokiyometrik karışım olur. Eşdeğerlik oranı Φ , pek çok yanma uygulamasında, sistemin performansını belirlemek için kullanılan bir orandır.

Eşdeğerlik oranı haricinde, Lambda λ hava fazlalık katsayısı da yanma sistemlerinde kullanılan diğer parametrelerdendir. Lambda λ , gerçek hava-yakıt oranının, stokiyometrik hava-yakıt oranına, oranıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\lambda = \frac{\left(\frac{Hava}{Yakit}\right)_{gercek}}{\left(\frac{Hava}{Yakit}\right)_{stokiyometrik}} = \frac{1}{\Phi} \quad (2.8)$$

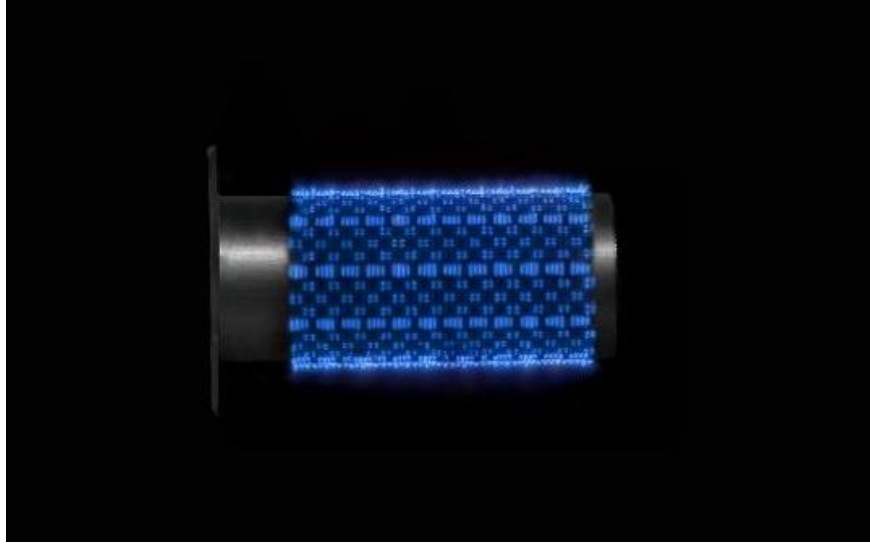
Burada $\lambda > 1$ olursa yakıtça fakir karışım, $\lambda < 1$ olursa yakıtça zengin karışım, $\lambda = 1$ olursa stokiyometrik karışım olur.

2.4 Kombi Sistemlerinde Kullanılan Brülör Tipleri

Kombilerde brülör sistemleri; hava-yakıt karışma durumuna göre, yanma havasına ve modülasyonu olma durumuna göre sınıflandırılabilir.

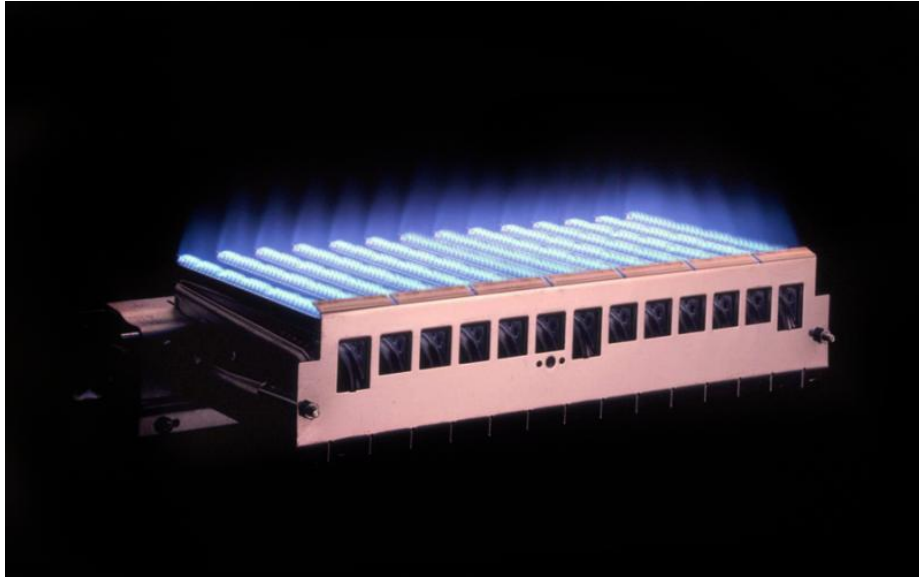
Hava yakıt karışma durumuna göre; ön karışimli, ön karışimsız ve kısmi ön karışimli olarak üç başlıkta incelenebilir.

Ön karışimli brülörler (Şekil 2.28); hava ve yakıt (LPG veya doğalgaz) karışımının önceden karıştırılarak yanmanın gerçekleştiği brülörlerdir. Genellikle tam yoğuşmalı olan kombilerin brülörleri ön karışimli tiptedir. Ön karışım gaz valfinden gelen yakıt ile fandan gelen havanın mikser olarak ifade edilen ayrı bir parçada istenen oranlarda karıştırılması ile sağlanmaktadır. Gaz valfi yakıt debisini, fan da hava debisini elektronik kart vasıtasıyla ayarlayarak istenen oranda karışım elde edilmektedir.



Şekil 2.28 : Ön karışımli brülörde yanma [23].

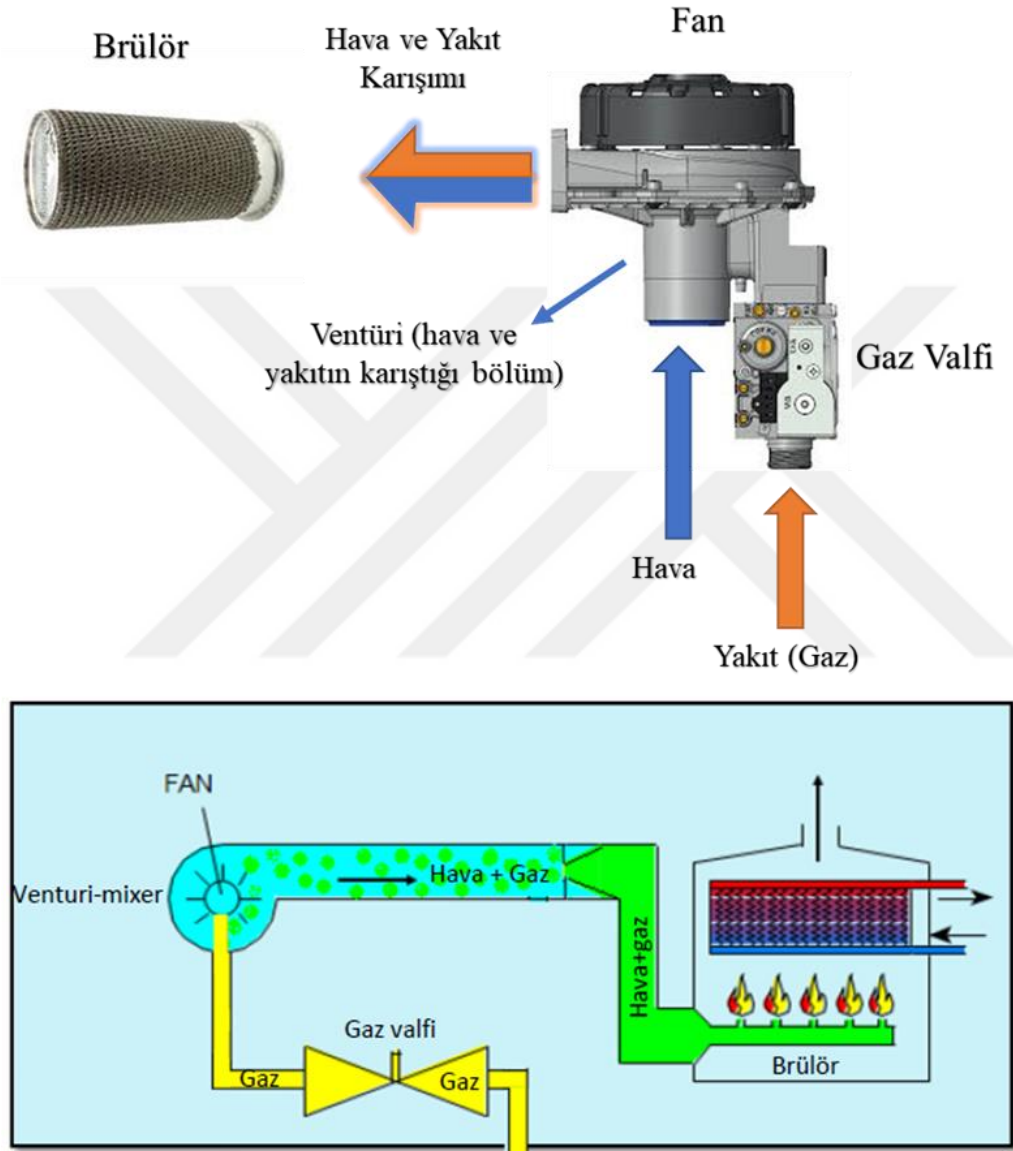
Ön karışimsız brülörler (Şekil 2.29); hava ve yakıtın ayrı olduğu ve yanmanın hemen öncesinde karıştığı tipteki brülörlerdir. Genellikle bıçaklı tip olarak adlandırılan brülörler bu kategoriye girer. Konvansiyonel ve yarı yoğuşmalı kombi modellerinde tercih edilir. Kısmi ön karışımli brülörlerin, ön karışimsız brülörlerden farkı, özellikle enjektör gaz girişinde yakıtın hava ile belirli oranda kontrolsüz bir şekilde karışmasıdır.



Şekil 2.29 : Ön karışimsız brülörde yanma [24].

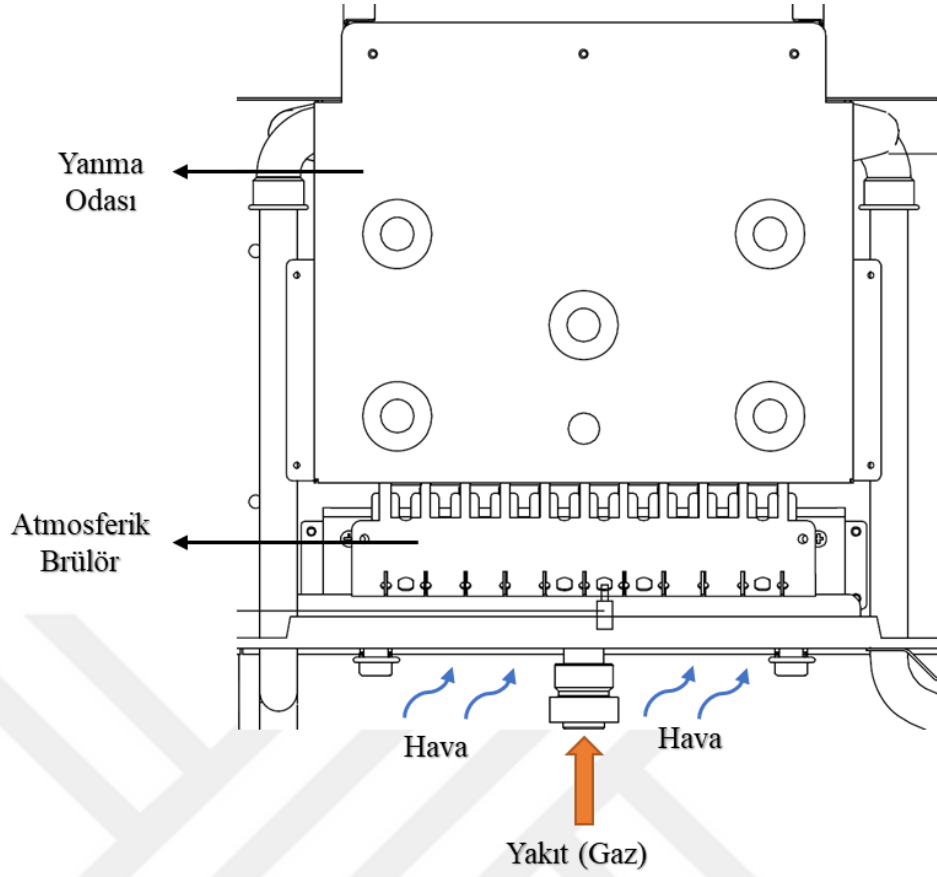
Yanma havasına göre kombi brülörlerini, atmosferik ve cebri fanlı olarak iki grupta inceleyebiliriz.

Cebri fanlı sistemlerde yakıt gaz valfi ile istenen oranda yakıt ve havanın karıştığı ventüri kısmına gönderilir. Fan devri de yine istenen yanma parametrelerine göre ayarlandığından bu tür sistemler atmosferik sistemlere göre daha verimlidir. Benzer şekilde hava yakıt oranı istenen şekilde ayarlandığından, yanma sonrası emisyon değerleri de daha kolay kontrol edilebilmektedir (Şekil 2.30).



Şekil 2.30 : Kombilerde cebri fanlı, ön karışımli yanma sistemi [16].

Atmosferik tip brülörlerde yanmadan önce gaz ile yakıt ayırılır ve yanmadan hemen önce karışır. Hava ve yakıt herhangi cebri olarak değil, doğal şartlarda karışmış olur (Şekil 2.31).



Şekil 2.31 : Kombilerde atmosferik tip brülör ile yanma.

2.5 Azot Bileşikleri (NO_x) Emisyonları

Azot bileşiklerinin insan sağlığına zararlı yönde etki ettiği; çevresel açıdan asit yağmurlarına, ozon üretimine ve küresel ısınmaya neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle azot salınımının çeşitli regülasyonlarla kontrol altında tutulması hedeflenmektedir. Ülkemizde, Avrupa Birliği mevzuatına uyum çerçevesinde, 28 Mart 2018 tarihli 30374 sayılı resmî gazetede yayınlanan; “su ısıtıcılarının ve sıcak su depolama tanklarının piyasaya arz edilmesi ve/veya hizmete sunulması ile ilgili çevreye duyarlı tasarım gereklerini” belirten tebliğ ile azot oksit (NO_x) emisyonlarının sınır değerleri kombiler için belirlenmiştir. İlgili tebliğe göre;

“26/9/2019 tarihinden itibaren su ısıtıcıların azot dioksit olarak ifade edilen azot oksit emisyonları aşağıdaki değerleri geçemez:

- Gaz yakıt kullanan konvansiyonel su ısıtıcıları: GCV bakımından 56 mg/kWh yakıt girişi.”

Brüt kalorifik değer (GCV): Birim miktarda yakıttan oksijen ile tamamen yandığında ve yanma ürünleri ortam sıcaklığına döndüğünde çıkan toplam enerji miktarıdır. Bu miktar yakıt içinde olan herhangi bir miktardaki su buharının ve yakıt içindeki hidrojenin yanmasıyla oluşan su buharının yoğunlaşma ısısını da içerir [25].

Aynı regülasyon Avrupa Birliği ülkelerinde 26 Eylül 2018 tarihinden itibaren “Commission Regulation (Eu) No 813/2013 Annex 2” isimli yönetmelikle uygulanmaya başlanmıştır.

Azot monoksit ve azot dioksit 50 ppm üzeri yüksek derişimlerde zehirleyici ve öldürücü etki gösterir.

2.5.1 NO_x oluşum mekanizması

Azot oksit bileşiklerinin oluşum ve yıkım mekanizmaları dört başlık altında toplanabilir. Bunlar; Isıl NO mekanizması (Thermal NO) olarak isimlendirilen Zeldovich mekanizması, Azot Protoksit mekanizması (Nitrous oxide), Ani NO mekanizması (Prompt NO) ve Yakıt NO mekanizmasıdır (Fuel NO).

Isıl NO Mekanizması; yüksek sıcaklıklardaki yanma gazlarının içinde bulunan oksijen ve azotun reaksiyona girmesiyle oluşur. Isıl NO mekanizmasında NO oluşumu, azot bileşikleri içermeyen, sıvı veya gaz halindeki yakıtların yakılması sonucu, atmosferdeki havanın içinde bulunan azotun oksidasyonu sonucu oluşur ve Zeldovich mekanizması olarak da bilinir. Bu tür yakıtlarda yüksek miktarda NO_x emisyonu oluşumuna neden olan mekanizma Isıl NO mekanizmasıdır. Bu mekanizma temel olarak sıcaklık ve oksijen konsantrasyonuna bağlı olarak gerçekleşir [26].

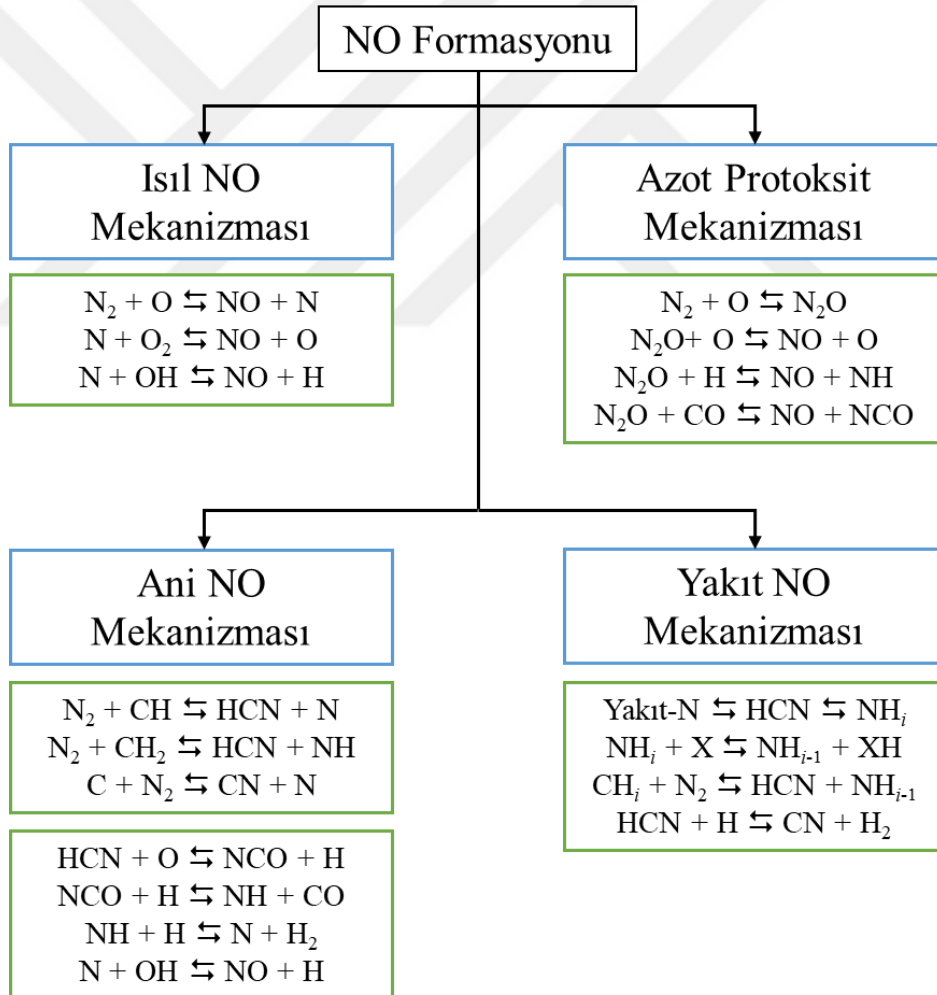
Isıl NO, Zeldovic mekanizmasındaki reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.



Ani NO Mekanizması; genellikle yakıt bakımından zengin yanma sırasında, Zeldovic mekanizmasına göre daha düşük sıcaklıklarda, alev bölgesinde hızlı bir şekilde gerçekleşen ani yükselmeler şeklinde oluşur. Bu nedenle Fenimore tarafından Ani NO (Prompt NO) mekanizması olarak adlandırılmıştır. Bu mekanizmada özgür karbon

içeren radikallerin, moleküler nitrojen ile reaksiyona girmesi sonucu amin (NH) ve siyanid (HCN) oluşur. Oluşan siyanid (HCN) ve amin (NH) bileşikleri ara bileşenlere dönüşerek NO oluşumuna sebep olurlar [26].

Yakıt NO Mekanizması; Yakıtta bulunan azotun, yanma havasındaki oksijenle reaksiyona girmesi sonucu oluşmaktadır. Azot bakımından zengin sıvı ve katı fosil yakıtların yakılması sırasında ortaya çıkan toplam NO_x emisyonlarının yarısından fazlası Yakıt NO mekanizması ile oluşur. Doğalgaz gibi çok az miktarda azot içerebilen gaz fazındaki yakıtlarda bu mekanizmayla oluşan NO_x emisyonlarına genellikle rastlanmamaktadır. Azot Protoksit (N₂O) yani Nitröz Oksit mekanizmasının önemli reaksiyonları ve diğer mekanizmaların reaksiyonları Şekil 2.32’te belirtilmiştir.



Şekil 2.32 : NO formasyonunun gösterimi [22].

2.5.2 NO_x azaltma yöntemleri

Yanma sistemlerinde NO_x azaltma ve kontrolü üç başlıkta değerlendirilebilir. Bunlar; yanma öncesi düşük azotlu yakıtların kullanılması, yanma sonrası yakıt-gaz kontrol yöntemleri ve yanma modifikasyonu yani yanma sırasında yapılan düzenlemelerdir.

NO_x emisyonu azaltmaya yönelik teknolojilerin geliştirilmesinde azot dioksitin kimyasal yapısının derinlemesine incelenmesi önemli bir rol oynamıştır.

2.5.2.1 Yanma öncesi düşük azotlu yakıtlar

Bu uygulamada yakıtın ihtiva ettiği NO bileşiklerinin yanma öncesinde kimyasal olarak azaltılması amaçlanmaktadır. Yüksek oranda NO içeren sıvı ve katı yakıtlar yerine, NO içermeyen veya çok az miktarda NO içeren gaz yakıtların kullanılması yanma öncesinde NO_x emisyonu azaltmaya katkı sağlamaktadır.

2.5.2.2 Yanma sonrası yakıt-gaz kontrol yöntemleri

Yanma sonrası NO_x kontrol yöntemleri; seçici katalitik indirgeme ve seçici katalitik olmayan indirgeme olarak iki başlıkta incelenir.

Seçici katalitik indirgeme yönteminde (selective catalytic reduction - scr); yanma sonrası atık gaz karışımına gaz veya sıvı halde amonyak püskürtülür. Amonyak, yaklaşık 300-450 °C katalitik indirgeme sıcaklığında, demir oksit, zeolit ve bazik metal oksit gibi katalizörlerin yüzeyinde absorbe edilir. Amonyak bu şekilde NO_x ile reaksiyona girmesi sonucu su ve azot gazı meydana gelir. Bu yöntemle NO_x emisyonları %95'lere varan oranda azaltılabilmektedir. En etkili NO_x indirgeme yöntemi olarak kabul edilen bu yöntem, büyük yakma tesislerinde NO_x emisyonlarını azaltmak için sıklıkla kullanılmaktadır [27].

Seçici katalitik olmayan indirgeme yönteminde (selective non catalytic reduction); katalizör kullanılmadan, 800-1100 °C sıcaklık aralığında, baca gazına indirgen olarak amonyak veya üre (karbamid) püskürtülmesiyle NO_x emisyonlarının azaltılması sağlanır. Bu yöntemde iyi sonuç elde edebilmek için, amonyak veya ürenin, yanma sonrası atık gazlarla çok iyi karışmış olması gerekmektedir. İyi karışımın sağlanması yanında sıcaklığın doğru ayarlanması da önemlidir. Düşük sıcaklıklarda reaksiyonlar yavaş gerçekleşmekte, yüksek sıcaklıklarda ise istenmeyen oksidasyon reaksiyonları oluşmaktadır [27].

2.5.2.3 Yanma modifikasyonları

Bu yöntemle yanmanın gerçekleşme şeklini farklı metotlarla kontrol altında tutup, NO_x emisyonunun azaltılması amaçlanmaktadır. Temel olarak yanma modifikasyonları; oksijenin azaltılması, yanma sırasında sıcaklığın düşürülmesi ve kalma süresinin azaltılması olarak sınıflandırılabilir.

Oksijenin azaltılması; düşük hava fazlalık katsayısı ile sağlanır. Hava fazlalık katsayısının yüksek olması (%40 ve üzeri), yanma gazları içindeki fazla miktardaki N₂ ve O₂ birleşerek ısı NO mekanizmasını tetiklenmesine neden olur. Böylece NO_x emisyonları artış gösterir. Hava fazlalık katsayısının kontrolü ile NO_x emisyonları azaltılmış olur.

Oksijenin azaltılmasının bir başka yöntemi de hava kademeli yanma yöntemidir. Bu yöntemde yanma havası kazan içerisinde iki ayrı bölümde farklı oksijen miktarlarında oluşturulur. Daha az oksijenin bulunduğu birincil yanma bölümünde yakıt içindeki azotun NO_x emisyonlarına dönüşmesi engellenmiş olur. Yanma sıcaklığı da düşük olduğundan Isıl NO mekanizmasının etkisi de belirli oranda azaltılmış olur.

Yanma modifikasyonlarından diğer bir yöntem yanma sıcaklığının düşürülmesidir. Yanma sıcaklığı; baca gazı resirkülasyonu, su-buhar püskürtme gibi işlemlerle azaltılabilir.

Baca gazı resirkülasyonu, fan vasıtası ile cebri olarak veya kademeli yanma odası ile doğal yollardan sağlanabilir. Bu yöntemde bacadan atılan daha düşük sıcaklıktaki gazların yanma havası ile karışması sonucu alev sıcaklığının düşürülmesi sağlanarak hem ısı NO etkisi hem de yakıt NO etkisi azaltılmış olur. Alev sıcaklığının düşmesi yanma gazlarındaki oksijen miktarının da düşmesini sağlar.

2.6 Karbon Monoksit (CO) Emisyonu

Renksiz, kokusuz, tatsız ve suda az çözünebilir bir gaz olan karbon monoksit gazı, insan sağlığı için oldukça tehlikeli bir gazdır. OSHA (Occupational Safety and Health Administration) tarafından çalışma ortamları için belirlenmiş karbon monoksit limit değeri 35 ppm yani %0,0035'dir. Bu sınır değer 8 saatlik çalışma süresi için belirlenmiş bir değerdir. Indoor Air Quality (IAQ) standartlarına göre bu değer 9 ppm olarak belirlenmiştir.

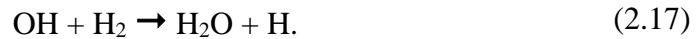
Karbon monoksitin yoğunluğu havadan daha düşük orandadır. İnsan vücudunda kanda oksijen taşıyan hemoglobin ile birleşerek karboksihemoglobin oluşumuna neden olur. Kısa sürede oksijenin yerini alır ve hücrelere oksijen taşınmaz (hipoksi).

Hidrokarbonların yanması basitçe iki aşamada incelenebilir; birinci aşama yakıtın karbon monoksite parçalanması, ikinci aşama ise karbon monoksitin son oksidasyonu ile karbondioksite dönüşmesidir.

Suyun birincil hidrojen içeren tür olduğu varsayılırsa, aşağıdaki dört adım CO oksidasyonunu tarif eder:



Yanma sırasında karbon monoksit derişimi, hava fazlalığına ve sıcaklığa bağlıdır. Eğer su yerine hidrojen katalizör ise aşağıdaki adımlar yer alır:



Alevin yakıtça zengin bölgelerinde CO seviyeleri zorunlu olarak fazladır çünkü burada tam yanma için yeterli miktarda oksijen yoktur. Sadece yeterli miktarda havanın, yüksek sıcaklıkta benzer gazlarla tam karışması halinde CO oksitlenebilir [28].

CO oluşumu yetersiz yanmanın bir göstergesidir. Yeterli miktarda hava yakıt karışımı olmadığında ve yeterli miktarda oksijen sağlanmadığında oluşumu gözlenir.

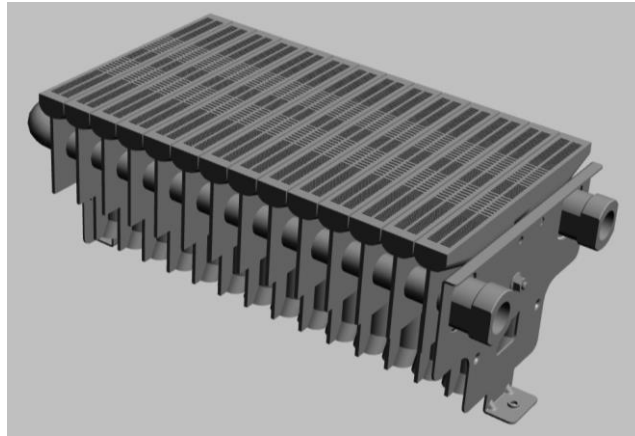
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde kombi tasarımı sırasında düşük NO_x seviyelerine ulaşabilmek ve EN 15502-1 standardında belirtilen gereksinimlere göre tasarım doğrulama süreci için yapılan testler anlatılacaktır.

Atmosferik tip brülörün çalışma prensibi nedeniyle, hava yakıt oranının ayarlanması ön-karışımli brülör modellerine göre daha zordur. Hedeflenen CO , CO_2 ve NO_x emisyonları seviyelerine ulaşabilmek için farklı tip yanma odası tasarımları Daikin A.Ş ısıtma arge laboratuvarında test edilmiş ve düşük emisyon, yüksek performans ve verim, düşük maliyet üzerinden ideal tasarım belirlenmeye çalışılmıştır.

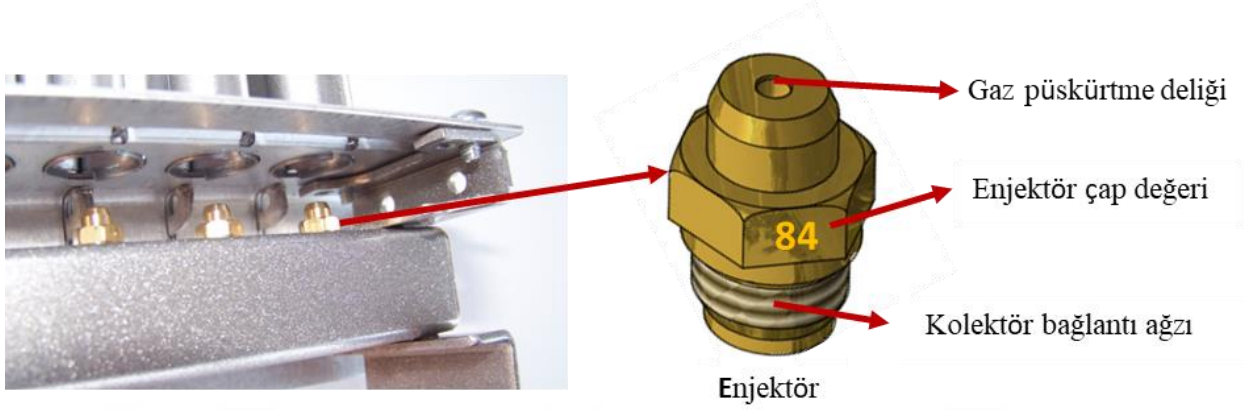
3.1 Materyal

Çalışmada brülör olarak, 14 sıralı, nozul çapı 0,84 mm olan su soğutmalı atmosferik brülör kullanılmıştır (Şekil 3.1). Brülör seçimi, ilk tasarım aşaması olan ve dördüncü bölümde anlatılan çok noktali emisyon ölçüm değerlerine göre yapılmıştır. Brülör tipi atmosferik olmasından dolayı, ön karışımli brülörlere göre emisyon ve ısı verim değerlerinin ayarlanması ve kontrol edilmesi daha zordur. Brülörün su soğutmalı yapısı sayesinde, brülör yüzey sıcaklıkları düşük seviyelerde tutulmakta böylelikle düşük NO_x emisyonu değerleri elde edilmektedir. Ana eşanjörden brülöre gelen su, daha sonra brülörden kalorifer hattı hidroblok kısmına gönderilir.



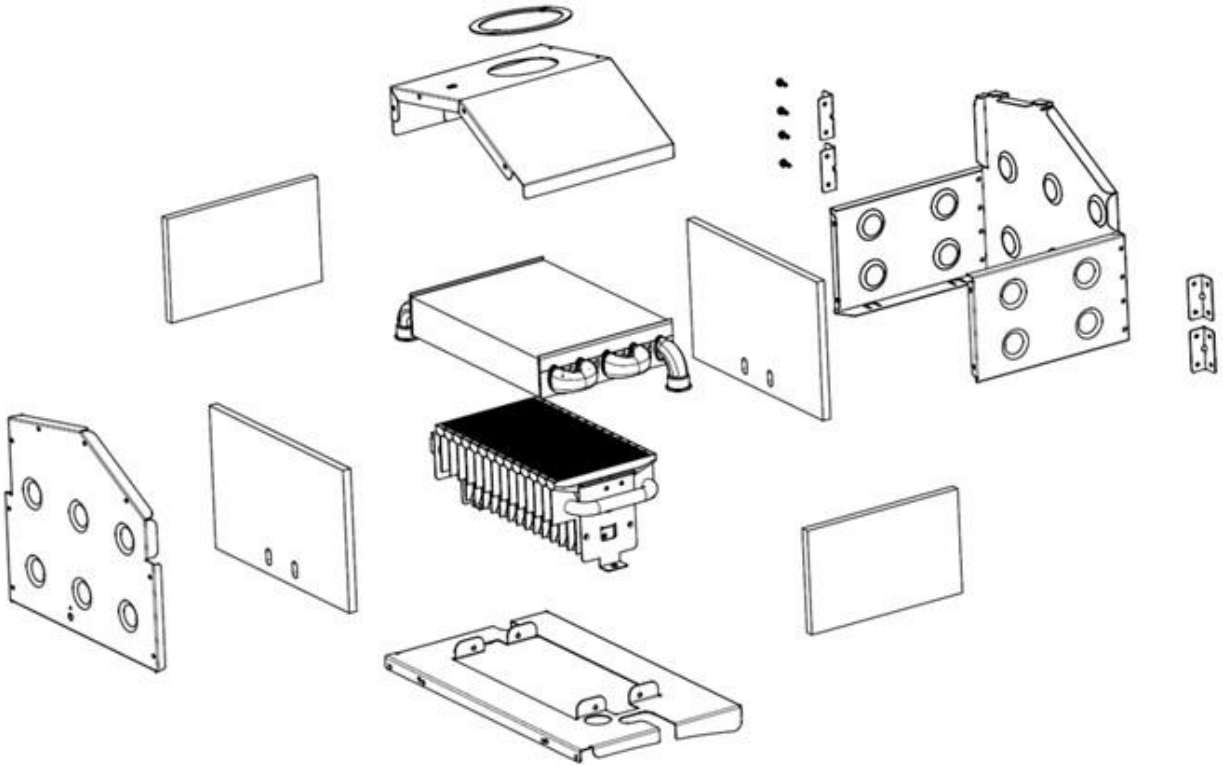
Şekil 3.1 : Su soğutmalı atmosferik brülör [29].

Brülör üzerinde gaz çıkışını sağlayan manifold üzerinde, çift sıralı bir tarafında 14 diğer tarafında da 14 olacak şekilde toplamda 28 tane enjektör bulunmaktadır. Enjektörlerin çap numarası 84, gaz püskürtme delik çapı 0,84 mm'dir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Brülör enjektörü ve özellikleri.

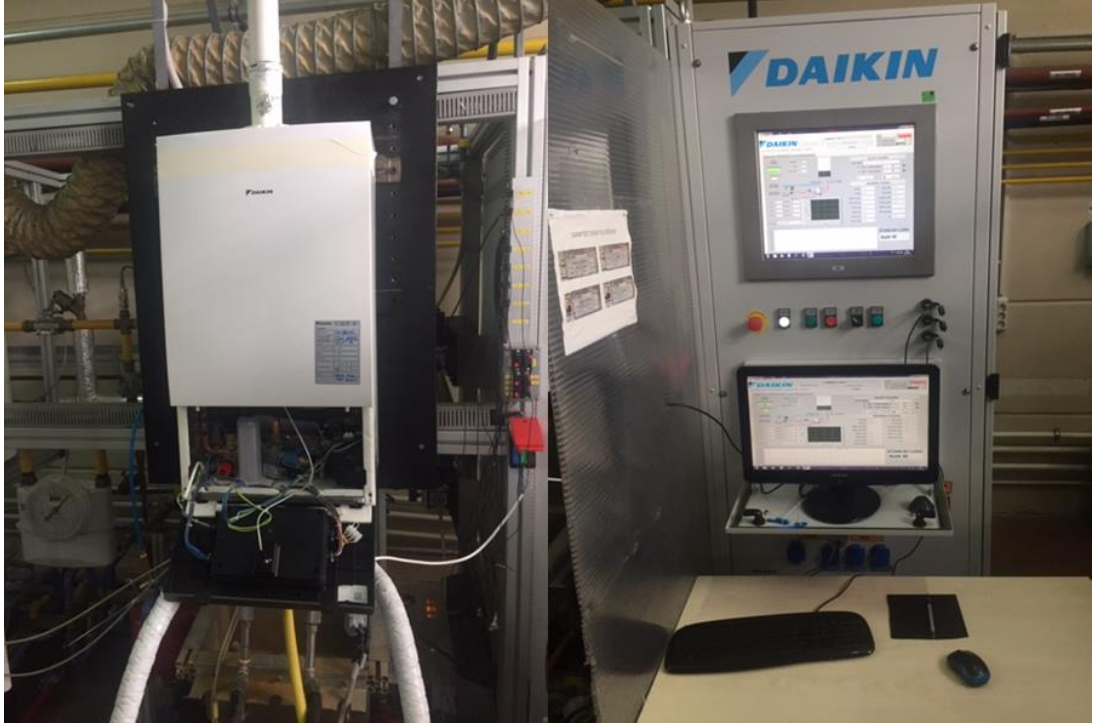
Çalışmalar sırasında tasarımı geliştirilen kapama sacları, hava yönlendiriciler, brülör ve ana eşanjör parçalarını içeren yanma odasının patlatılmış görünümü Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Yanma odası bileşenleri [29].

3.2 Test Ünitesi

Yapılan çalışma sırasında gerçekleştirilen testler Daikin A.Ş ısıtma arge laboratuvarında bulunan test ünitelerinde gerçekleştirilmiştir. Test ünitesi ile ilgili görsel Şekil 3.4’de sunulmuştur. Test ünitesi bünyesinde, ilgili performans testlerini gerçekleştirmek ve test analizlerini yapmak üzere ihtiyaç duyulan ekipmanlar bulunmaktadır. Testler sırasında, test ünitesini kontrol etmek ve çıkan sonuçları kaydetmek için test ünitesiyle entegre bilgisayar kullanılmıştır. Test ünitesi basınç, gaz sıcaklığı ve çevre sıcaklığı ölçümü, kullanım sıcak su devresi performans ölçümleri, ısı girişinin hesaplanması ve ayarlanması, yararlı verimin hesaplanması, yanma testi (nominal ısı girişinde ve kısmi yükte), ağırlıklı NO_x değerinin hesaplanması gibi ölçüm ve işlemleri, kombine ekipmanlarla birlikte gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 3.4 : Test ünitesi.

3.3 Deney Gazları

Testler sırasında kullanılan gazlar, TS EN 437 Deney Gazları – Deney Basınçları – Cihaz Kategorileri isimli standarda göre hazırlanmış ve testler tatbik edilmiştir.

Deney gazları olarak nitelendirilen gazlar, kombinin çalışma özelliklerinin doğrulanmasında kullanılan ve “standart gazlar” ve “sınır gazlar” olmak üzere iki

kısımda incelenen gazlardır. Standart gazlar; normal basınç değerinde beslendiğinde, kombinin anma şartlarında çalıştığı deney gazlarıdır. Sınır gazları ise; kombinin tasarlanmış olduğu gaz karakteristiklerindeki uç değişimleri temsil eden gazlardır.

Testler sırasında kullanılan deney gazlarının özellikleri, H_s : Brüt ısı değerleri, H_i : Net ısı değerleri, W_s : Brüt Wobbe indeksleri, W_i : Net Wobbe indeksleri, d : Bağlı yoğunlukları, hacimce bileşimleri Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 : 15 °C ve 1013,25 mbar’da kuru deney gazının karakteristikleri [30].

Gaz Ailesi ve Grubu	Deney Gazları	Sembolü	Hacimce Bileşim [%]	W_i [MJ/m ³]	H_i [MJ/m ³]	W_s [MJ/m ³]	H_s [MJ/m ³]	d
İkinci aile gazları - Grup H	Referans gaz	G20	CH ₄ = 100	45,67	34,02	50,72	37,78	0,56
İkinci aile gazları - Grup H	Eksik yanan ve sarı uç oluşturan sınır gazı	G21	CH ₄ = 87 C ₃ H ₈ = 13	49,6	41,01	54,76	45,28	0,68
İkinci aile gazları - Grup H	Alevi kopan sınır gazı	G23	CH ₄ = 92,5 N ₂ = 7,5	41,11	31,46	45,66	34,95	0,59
İkinci aile gazları - Grup E	Alevi kopan sınır gazı	G231	CH ₄ = 85 N ₂ = 15	36,82	28,91	40,9	32,11	0,62
Üçüncü aile gazları - Grup P	Referans gaz, eksik yanan, sarı uç alev oluşturan ve alevi kopan sınır gazı	G31	C ₃ H ₈ = 100	70,69	88	76,84	95,65	1,55

“Isı değeri: 1013,25 mbar’a eşit basınç altında gazın bir birim hacminin veya birim kütesinin tamamen yanması sonucu ortaya çıkan ısı miktarı. Isı değeri, brüt ısı değeri ve net ısı değeri olmak üzere ikiye ayrılır.

H_s , Brüt ısı değeri : Yanma sonucu ortaya çıkan suyun yoğuştuğu kabul edilir.

H_i , Net ısı değeri : Yanma sonucu ortaya çıkan suyun buhar fazında olduğu kabul edilir [30].”

Testler sırasında hat gazı olarak ifade edilen gazlar, doğal gaz dağıtım şirketleri tarafından dağıtımı yapılan evlerde de kullandığımız, doğal gaz şebekesinden beslenen gazlardır.

3.4 Ölçüm Ekipmanları

Multimetre: Akım ve voltaj ölçümlerinde Fluke 87 marka 0,1 μ A ve 0,1 mV hassasiyetle ölçüm yapabilen multimetre kullanılmıştır. Dördüncü bölümde bahsedilen iyonizasyon akımı ölçüm testlerinde, anahtarla iyonizasyon elektrotu ve elektronik karta seri olarak bağlanıp, testler sırasında oluşan akım değerlerinin okunmasını sağlamıştır.

Manometre: Basınç farkı ölçüm testlerinde, Testo 511 marka manometre kullanılmıştır. Minimum 300 mbar maksimum 1200 mbar ölçüm yapabilen manometre 1 Pa hassasiyetle çalışmaktadır. Manometre fan probuna, presostat ile birlikte bağlanarak, fan frekansı ve ısı girdisine göre basınç farkları kayıt edilmiştir.

Termokupl: Baca gazı sıcaklığı ölçümlerinde, NTC sensör doğrulamalarında multimetre cihazıyla birlikte kullanılmıştır.

Telemetri: İyonizasyon testlerinde kullanılan telemetri cihazı, elektronik karttaki bilgilerin okunmasını sağlamaktadır. 0,1 μ A hassasiyetle çalışmakta olup 3,5 μ A değerine kadar işlem yapabilmektedir.

3.4.1 Ekstraktif sürekli proses gaz analizörü

Yapılan testler sırasında gaz emisyon ölçümleri için Siemens Ultramat 23 ekstraktif sürekli proses gaz analizörü kullanılmıştır (Şekil 3.5).

Cihazda aynı anda ve sürekli olarak dört adede kadar gaz bileşeni çoklu komponent özelliği sayesinde ölçülebilmektedir. Analizör; CO, CO₂, CH₄, NO, SO₂, R22 (CHCIF₂) gibi infrarede duyarlı gazlar için infrared sensör ile ölçüm yapmaktadır. O₂ ve H₂S gazları için ölçümler, cihazda bulunan elektrokimyasal sensörler ile yapılmıştır. Otomatik kalibrasyon fonksiyonu ile cihaz ortam havasından otomatik olarak kalibrasyon gerçekleştirmektedir. Test gazı ile kalibrasyon yılda bir kez yapılmaktadır. CO ve NO ölçümleri ppm olarak CO₂ ve O₂ ölçümleri % olarak alınmıştır [31].



Şekil 3.5 : Ekstraktif sürekli proses gaz analizörü [31].

3.5 Yanma Testleri ve Uygulama Metotları

Düşük seviyelerde NO_x ve CO emisyonlarının elde edilebilmesi için ilk aşama, yanma grubu tasarımının oluşturulması ve uygun brülörün seçilmesi olarak belirlenmiş ve çok noktalı emisyon testi ile tasarım oluşturulmuştur.

Kombi yanma grubunun doğrulanması TS EN 15502-1 Gaz yakan ısıtma kazanları standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yanma testlerinde; eksik yanma, alev kopması, baca kapama (blokaj), iyonizasyon ölçüm ve basınç farkı ölçüm testleri yapılmıştır. Her bir test için uygulama metodu, test kuralları ve şartları ayrıca belirtilmiştir.

Testler sırasında CO konsantrasyonu için doğrulama değerleri, TS EN 15502-1 bölüm 8.12.1’de belirtildiği üzere belirlenmiştir.

$$CO = (CO)_M \cdot \frac{(CO_2)_N}{(CO_2)_M} \quad (3.1)$$

CO : % cinsinden, kuru, havasız yanma ürünlerinin karbonmonoksit konsantrasyonu,

(CO₂)_N : % cinsinden, kuru, havasız yanma ürünlerinin en yüksek karbondioksit konsantrasyonu,

(CO)_M : % cinsinden, yanma deneyleri sırasında alınan numunelerde ölçülen konsantrasyonları,

(CO₂)_M : % cinsinden, yanma deneyleri sırasında alınan numunelerde ölçülen konsantrasyonları göstermektedir [32]. Deney gazları için, % cinsinden, (CO₂)_N konsantrasyonları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : % cinsinden, yanma ürünlerinin (CO₂)_N konsantrasyonu [32].

Gaz Tipi	(CO ₂) _N	Gaz Tipi	(CO ₂) _N	Gaz Tipi	(CO ₂) _N	Gaz Tipi	(CO ₂) _N
G20	11,7	G26	11,9	G110	7,6	G141	7,9
G21	12,2	G27	11,5	G120	835	G150	11,7
G23	11,6	G30	14	G130	13,7	G231	11,5
G25	11,5	G31	13,7	G140	7,8	G271	11,2

% cinsinden, kuru, havasız yanma ürünlerinin CO konsantrasyonu, aşağıdaki formül kullanılarak da hesaplanabilir.

$$CO = (CO)_M \cdot \frac{21}{21 - (O_2)_M} \quad (3.2)$$

Burada; (O₂)_M ve (CO)_M her ikisi için de % cinsinden olacak şekilde, yanma deneyleri sırasında alınan numunelerdeki oksijen ve karbonmonoksitin ölçülen konsantrasyonlarıdır.

CO₂ konsantrasyonu %2'den daha az olduğunda, bu formülün kullanılması standartta tavsiye edilmiştir.

3.5.1 Çok noktalı emisyon ölçüm testi

Yanma odası içerisinde emisyonların nasıl dağılım gösterdiğini belirleyerek, gerekli tasarım girdilerini oluşturma amaçlı çok noktalı emisyon testleri yapılmaktadır.

Yanmanın nasıl gerçekleştiği ile ilgili ilk bilgiler bu test sonucunda tespit edilerek, yanma odası tasarımı şekillenmektedir. CO ve CO₂ emisyonlarının yanma odası içerisinde hangi noktalarda yüksek olduğu yanmanın oluşumu ile ilgili de bilgi vermektedir.

Çok noktalı emisyon ölçüm testlerine, yanma odası üzerinde ana eşanjörde belirlenen noktalardan ölçüm yapabilmek için delik açılması işlemi yapılarak başlanır. Daha sonra ana eşanjör üzerinde belirlenen noktalarda emisyon ölçümleri gerçekleştirilir. Yapılan testlerde dokuz farklı nokta belirlenerek emisyon ölçümlerinin bu noktalardan gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Prob vasıtasıyla yanma odasında açılan delikten, probun eşanjör üzerinde belirlenen bölgeye getirilmesi sağlanarak ölçümler yapılır. Gerekli durumlarda yine aynı noktalardan sıcaklık ölçümleri de gerçekleştirilebilir.

3.5.2 Eksik yanma testi

TS EN 15502-1 standardı bölüm 8.12.3.1’de belirtildiği üzere; “Regülatörlü kazanlar veya sadece bir gaz tesisatı üzerine kurulması amaçlanan ayarlanmış sayacı bulunan kazanlar, anma ısı girdisinin 1,05 katına ayarlanır [32].”

“Bu deney şartı altında, CO konsantrasyonu, %0,20’yi aşmamalıdır” kuralına göre testler gerçekleştirilmiştir. CO sınır değeri aştığı durumlarda, ayrıca konsantrasyon değeri belirtilmemiş olup, sınır değeri aştığı bilgisi verilmiştir.

3.5.3 Alev kopması testi

Alev kopması testi, TS EN 15502-1 standardının 8.12.3.3 numaralı bölümünde tarif edildiği gibi yapılmıştır.

Testlerin gerçekleştirildiği kombide basınç regülatörü bulunduğundan, kombi en düşük ısı girdisinin 0,95 katına eşit bir ısı girdisine ayarlanarak testler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra referans gaz, alev kopması sınır gazıyla değiştirilip CO konsantrasyonun, %0,20’yi aşmaması beklenmiştir [32].

3.5.4 Baca kapama (bloka) testi

Baca kapama (bloka) testlerinde kombide yanma hava debisi veya yanma ürünleri debisinin azalması durumunda, CO konsantrasyonunun belirli değerleri aşmaması beklenmektedir. İlgili testler TS EN 15502-2-1’de 8.11.101.3.2 numaralı bölümde belirtilen kural ve deney şartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde debinin azaltılmasıyla ilgili olarak şunlar belirtilmiştir.

- a) Hava girişinin kademeli olarak kapatılması,
- b) Yanma ürünleri tahliye kanallarının kademeli olarak kapatılması,
- c) Dahili bir devirdaim olduğunda, ilave bir deney, fan hızının kademeli olarak düşürülmesi ile (örneğin, fan geriliminin düşürülmesi ile) yapılmalıdır.

“Hava kontrolü için, başlangıç denetlemesi veya sürekli denetlemeden oluşan alternatif iki denetleme stratejisi vardır. Denetleme stratejisine bağlı olarak, kazan, azaltılan debide aşağıda belirtilen iki kuraldan birini karşılamalıdır [32].”

- d) Sürekli denetleme: CO konsantrasyonu (kuru, havasız) aşağıda belirtilen değerleri aşmadan önce kapatma:

- 1) Montaj talimatlarında belirtilen ayar aralığının % 0,20 üzerinde veya
- 2) Ayar aralığının en küçük debinin $CO_{ölç} \times Q / QKB \leq \% 0,20$ altında.

Burada belirtilmiş olan; Q : Anlık ısı girdisi (kW), QKB : En küçük debide ısı girdisi (kW), $CO_{ölç}$: Ölçülen CO konsantrasyonu (kuru, havasız).

e) Başlangıç denetlemesi:

CO konsantrasyonu % 0,1'i aşarsa çalışmaya başlatmama [32]. Aynı bölümde deney şartları aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

- “Deney; kazan, ısı dengede ve anma ısı girdisinde iken veya ayarlanabilen (modulating) kazanlarda, en yüksek ve en düşük ısı girdisinde yapılır.
- Birden fazla değer sağlandığında, bu değerlerin her biri için ilave deneylere ihtiyaç duyulur.
- CO ve CO_2 konsantrasyonları, sürekli olarak ölçülür.
- Debinin azaltılmasını sağlamak için kapatmanın gerçekleştirilmesiyle ilgili vasıtalar, yanma ürünlerinin yeniden devirdaimine sebep olmamalıdır.
- Debi azaltılması ile ilgili 3 yöntemin her biri için, alternatif denetleme stratejilerinden en az birinin kuralının karşılandığı kontrol edilir [32].”

Yapılan testlerde normal durum (blokaj olmayan), yanma hava debisi azaltıldığı durum (hava girişi kapalı) ve yanma ürünleri debisi azaltıldığı durum (baca çıkışı kapalı) için elde edilen emisyon değerleri ayrı ayrı belirtilmiştir.

3.5.5 İyonizasyon ölçüm testi

İyonizasyon ölçüm testinde, iyonizasyon elektrotunun brülör yüzeyinden uzaklığının, iyonizasyon akımı üzerine etkisi ve buna bağlı olarak iyonizasyon elektrotunun yanma odasında uygun şekilde konumlandırılması, baca kapama (blokaj) testi ile kontrol edilmektedir. Kombinin çalışması sırasında yanmanın gerçekleşip, gerçekleşmediği ve yanma başladıktan sonra yanmanın devam edip etmediği; kombide bulunan elektronik kart vasıtasıyla iyonizasyon ölçümü gerçekleştirilerek sağlanır.

İyonizasyon ölçüm testine, yanma odasında iyonizasyon elektrotunun referans noktada konumlandırılması ile başlanıp, iyonizasyon elektrotunun kombi elektronik kartı ve akım ölçümü için multimetre ölçüm cihazıyla bağlantısı sağlanarak devam edilir. Kombi minimum kapasitede çalıştırılarak, akım değerleri ölçülür. Daha sonra baca

kapama (blokaj) testi TS EN 15502-2-1'de 8.11.101.3.2 numaralı bölümde gibi gerçekleştirilir. Çıkan emisyon değerleri ve alev kaybı olup olmama durumuna göre iyonizasyon elektrotunun konumu, elektronik kart yazılımı set değerleri ve kombi proses parametreleri ayarlanır. İyonizasyon akım değerinin istenen seviyede, sürekli olarak tutulması kombide yanmanın gerçekleşip gerçekleşmediği ve sürekliliğinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolü açısından önemlidir. Test farklı ısı girdisi değerlerinde gerçekleştirilerek, her durumda iyonizasyon akım değerlerinin garanti altına alınması amaçlanmaktadır.

3.5.6 Basınç farkı ölçüm testi

Kombide fan kontrolü için, takometre yerine basınç sensörü kullanılması durumunda, her bir ısı girdisine göre basınç değişimi basınç fark ölçüm testi ile belirlenmiştir.

Fan probu ile hava basınç sensör probunun bağlantısı yapıldıktan sonra basınç farkı ölçümü için manamotre probuna bağlantı yapılır. Daha sonra hermetik kabin kapağı kapatılarak manamotre ölçüm için sıfırlanır. Isı girdisi değerlerine göre basınç farkları kayıt edilir.

Kombide herhangi bir blokaj olması durumunda kombinin otomatik olarak durdurulmasını sağlayacak basınç farkı değerleri belirlenerek, bu değerlere göre presostat seçimi gerçekleştirilir ve kombi elektronik kartına parametre değerleri işlenir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

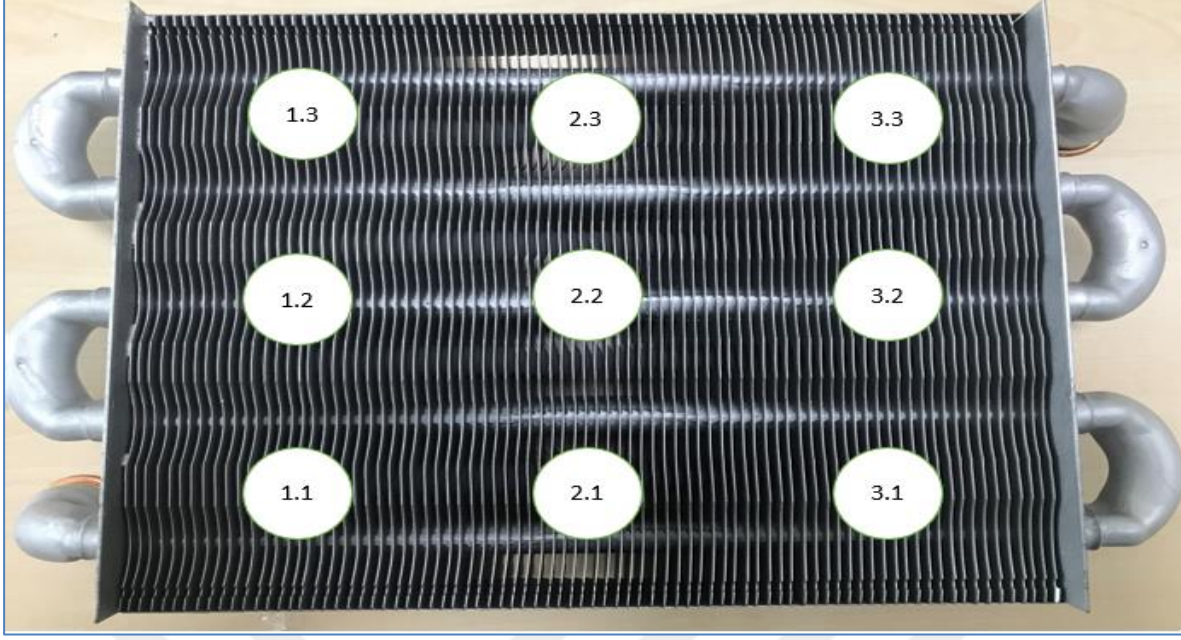
Yanma odasının tasarımı, atmosferik tipte brülör kullanılmış olan kombide hava yakıt oranının ayarlanması ve buna bağlı olarak sınır emisyon değerlerinin aşılması açısından önemlidir. Hava-yakıt karışımının, ön karışimli tipte brülörlere kıyasla ayarlanmasındaki ve kontrol edilmesindeki zorluk, yapılan çalışma sırasında da yanma odası ve kombi içerisindeki diğer parçaların tasarımına yön vermiştir.

4.1 Çok Noktalı Emisyon Ölçümü Yöntemiyle Yanma Odası Tasarımı ve Brülör Seçimi

Çok noktalı emisyon ölçümüyle, eşanjör yüzeyinde belirli noktalar belirleyerek, bu noktalardaki emisyon ölçümlerini gerçekleştirip, eşanjör yüzeyinde emisyon dağılımının bulunması amaçlanmaktadır. Bu dağılım sayesinde, yanmanın hangi bölgelerde daha iyi gerçekleştiği, hangi bölgeler referans alınarak hava yönlendirmesinin yapılacağı ve bununla bağlantılı olarak yanma odası tasarımının nasıl gerçekleştirileceği hakkında bilgi toplanmış olur. Atmosferik tip brülörlerin en büyük dezavantajlarından biri olan, hava yakıt karışım oranının kontrol zorluğu, çok noktalı emisyon ölçüm metodu ile aşılmaya çalışılmıştır. Hava fazlalık katsayısının ilk aşamada belirlenmesinde de bu yöntem kullanılacaktır.

4.1.1 Testlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların yorumlanması

Yanma odası içerisinde, eşanjör yüzeyinden ölçüm alınacak noktalar belirlenir. Bu çalışmada dokuz noktadan ölçüm alınmış ve kayıt edilmiştir. Şekil 4.1'de eşanjör üzerinden emisyon ölçümü alınan noktalar görülebilir. Noktalar ana eşanjör üzerinde yatay ve dikey eksenleri üç eşit parçaya bölecek şekilde konumlandırılmıştır. Emisyon ölçüm sensörlerinin yerleştirilmesinin ardından kombi test standına bağlanarak, test edilmiştir. Testler en zor durumu test edebilmek için 80-60 sıcaklık rejiminde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 : Ana eşanjör üzerinde belirlenen ölçüm noktaları.

Emisyon ölçümleri ile ilgili birinci testte, yanma odası ön ve arka konumlarından açık olarak testler gerçekleştirilmiştir. Emisyon ölçüm test koşulları Çizelge 4.1, baca gazından ölçülen emisyon değerleri Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 : Çok noktalı emisyon 1. test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	22,9	80-60	20	1

Çizelge 4.2 : Çok noktalı emisyon 1. test baca gazı ölçüm sonuçları.

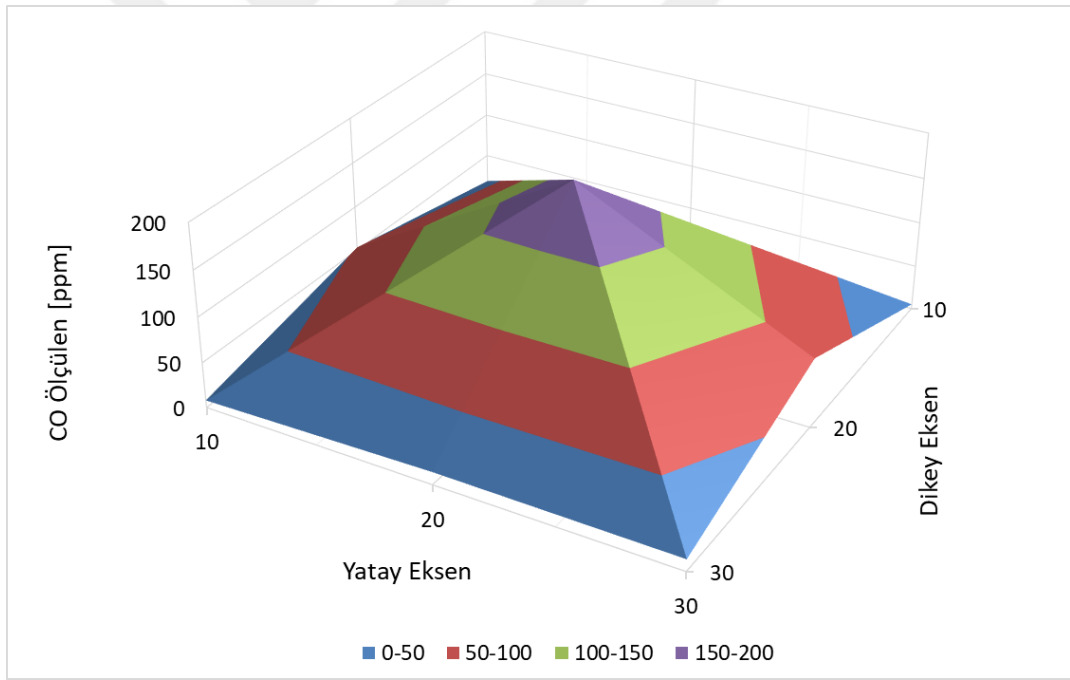
Gaz Tipi	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulan [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]
Hat	152	236,8	7,51	7,66	70

Ana eşanjör üzerinde belirlenen toplam dokuz farklı noktadan yapılan CO ve CO₂ emisyon ölçüm sonuçları Çizelge 4.3’te sunulmuştur. Emisyon ölçümleri kombi çalışırken eşanjör üzerinde belirlenen noktalardan ölçüm çubukları vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.3 : Çok noktalı emisyon 1. test ana eşanjör üzerinden emisyon değerleri.

Emisyon Ölçümü Alınan Noktalar	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulan [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
1.1	18	48,08	4,38	13,65
1.2	53	63,53	9,76	3,85
1.3	8	30,19	3,1	15,95
2.1	5	27,73	2,11	17,48
2.2	196	218,40	10,5	2,4
2.3	14	45,50	3,6	14,98
3.1	5	17,73	3,3	15,54
3.2	76	89,37	9,95	3,35
3.3	13	41,11	3,7	14,8

Testler sonucunda eşanjör üzerinde belirlenen konumlarda oluşan CO emisyon dağılımı Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Çok noktalı emisyon 1. test ana eşanjör üzerinde CO emisyon dağılımı.

Çok noktalı emisyon ölçüm testlerinin ikincisinde yanma odası ön ve arka konumları kapalı durum incelenmiş olup, 2. Test ile alakalı test koşulları Çizelge 4.4’de, kombi baca atık gaz gazlarından ölçülen emisyon değerleri Çizelge 4.5’de sunulmuştur.

Çizelge 4.4 : Çok noktalı emisyon 2. test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	22,9	80-60	20	1

Çizelge 4.5 : Çok noktalı emisyon 2. test baca gazı ölçüm sonuçları.

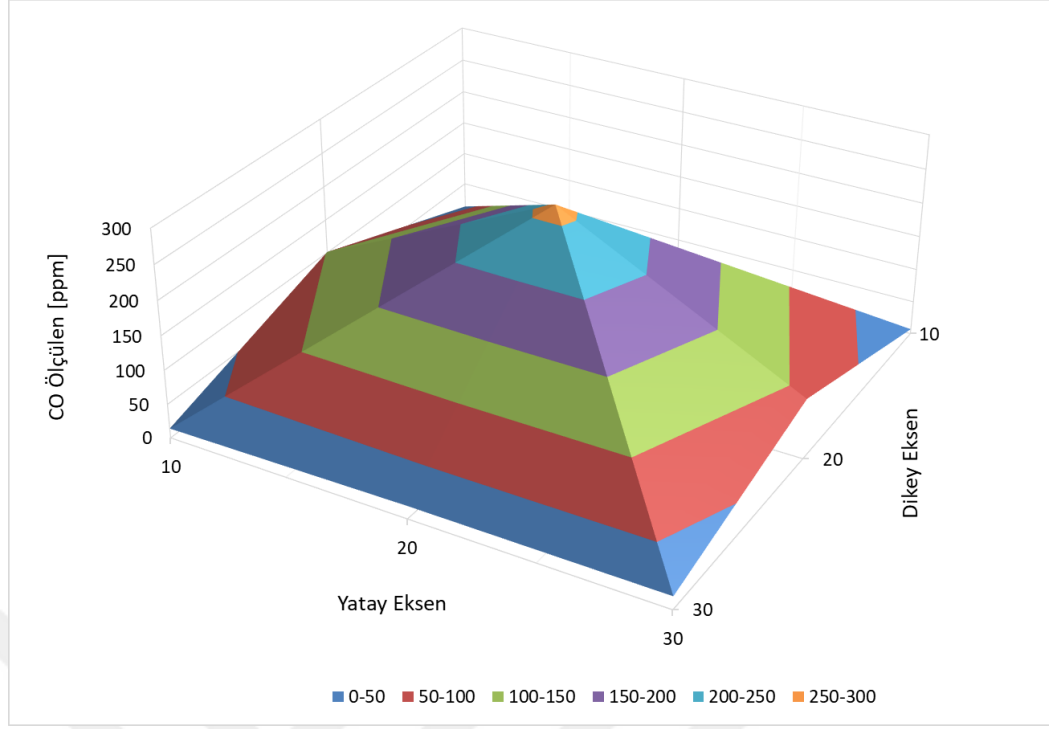
Gaz Tipi	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulananan [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]
Hat	75	121	7,25	8,25	73

Eşanjör üzerinden alınan ölçümlerle ilgili emisyon değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Birinci testte olduğu gibi fan gücü, baca uzunluğu gibi koşullarda değişiklik yapılmamış olup, tek farklılık olarak yanma odası tasarımında değişiklik yapılmıştır.

Çizelge 4.6 : Çok noktalı emisyon 2. test ana eşanjör üzerinden emisyon değerleri.

Emisyon Ölçümü Alınan Noktalar	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulananan [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
1.1	12	30,46	4,61	13,2
1.2	101	114,51	10,32	3,04
1.3	14	38,72	4,23	14,12
2.1	6	25,71	2,73	16,58
2.2	265	286,02	10,84	2,11
2.3	19	51,46	4,32	13,98
3.1	7	23,40	3,5	15,3
3.2	88	100,84	10,21	3,2
3.3	19	46,90	4,74	12,6

CO emisyonlarının eşanjör üzerinde belirlenen noktalardaki dağılımları Şekil 4.3’de verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere birinci testte olduğu gibi en yüksek CO emisyon değeri, 2.2 ölçüm noktası olarak belirlenmiş olan eşanjörün orta kısmından ölçülmüştür. Bu bölgedeki emisyon değerinden başka 1.2 bölgesindeki emisyon değeri ikinci en yüksek emisyon değerinin tespit edildiği noktadır. Bu test sırasında birinci testte uygulandığı gibi, bir metre uzunluğunda baca kullanılmış ve sıcaklık rejimi 80-60 bandında tutulmuştur.



Şekil 4.3 : Çok noktalı emisyon 2. test ana eşanjör üzerinde CO emisyon dağılımı.

Çok noktalı emisyon ölçülerinin üçüncü testinde, yanma odası ön kısmı açık alt kısmı kapalı tipte tasarım kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. 3. test ile alakalı test koşulları Çizelge 4.7’de, kombi baca atık gaz gazlarından ölçülen emisyon değerleri Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Çizelge 4.7 : Çok noktalı emisyon 3. test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	22,9	80-60	20	1

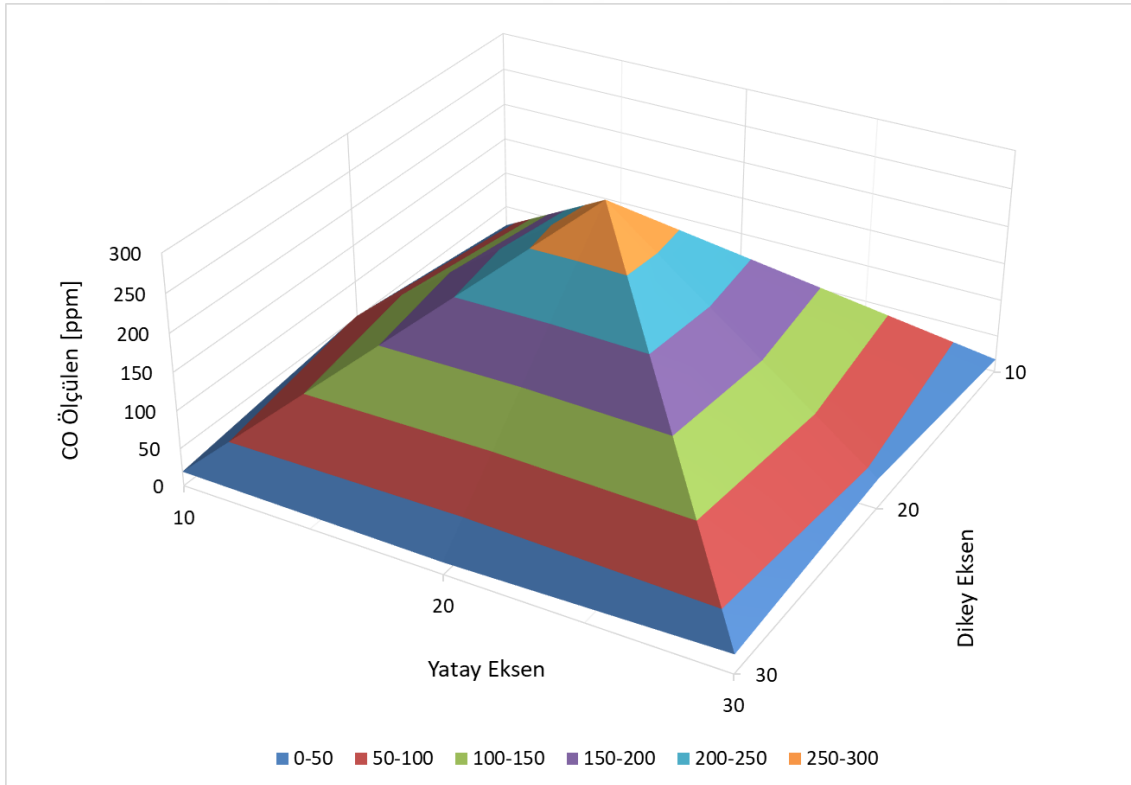
Çizelge 4.8 : Çok noktalı emisyon 3. test baca gazı ölçüm sonuçları.

Gaz Tipi	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulanın [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]
Hat	47	75,8	7,25	8,27	73

3. test sırasında ana eşanjör üzerinden alınan ölçümlerle ilgili emisyon değerleri Çizelge 4.9’da ve CO emisyonlarının eşanjör üzerinde dağılımları Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Çok noktalı emisyon 3. test ana eşanjör üzerinden emisyon değerleri.

Emisyon Ölçümü Alınan Noktalar	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulanana [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
1.1	22	51,48	5	12,2
1.2	52	62,59	9,72	4,05
1.3	19	49,40	4,5	13,65
2.1	11	42,90	3	16,2
2.2	300	319,96	10,99	1,98
2.3	16	41,60	4,5	13,2
3.1	17	45,20	4,4	13,7
3.2	40	49,58	9,44	4,6
3.3	25	63,59	4,6	13,5



Şekil 4.4 : Çok noktalı emisyon 3. test ana eşanjör üzerinde CO emisyon dağılımı.

Çok noktalı emisyon ölçümü testlerinin sonuncu varyasyonu olan 4. testte, yanma odası ön kısmı kapalı alt kısmı açık olacak şekilde tasarım belirlenerek testler tamamlanmıştır. 4. test ile alakalı test koşulları Çizelge 4.10'de, kombi baca atık gazlarından ölçülen emisyon değerleri Çizelge 4.11'de sunulmuştur. Çok noktalı emisyon ölçüm testleri 4. test ile sonlandırılmıştır. Bu testte de diğer testlerde uygulandığı gibi baca uzunluğu, sıcaklık rejimi ve gaz besleme basınçları aynı tutulmuş ve sonuçların diğer testlerle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Çizelge 4.10 : Çok noktalı emisyon 4. test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	22,9	80-60	20	1

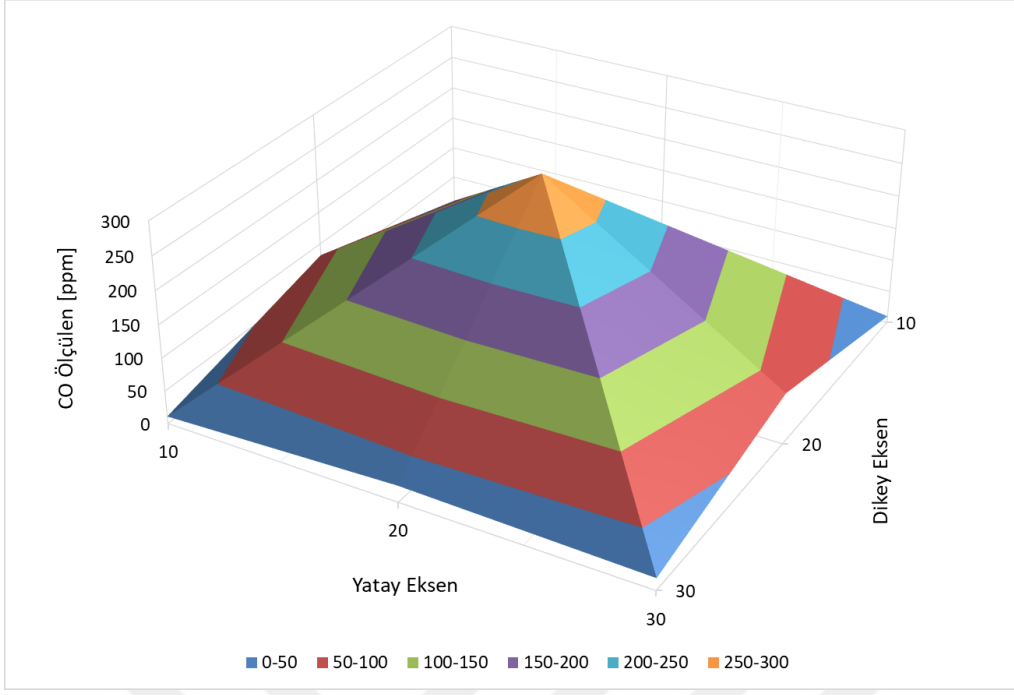
Çizelge 4.11 : Çok noktalı emisyon 4. test baca gazı ölçüm sonuçları.

Gaz Tipi	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulanana [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]
Hat	75	121	7,25	8,25	73

Eşanjör üzerinde belirlenmiş olan dokuz farklı noktadan alınan ölçümlerle ilgili CO ve CO₂ emisyon değerleri Çizelge 4.12’de sunulmuştur. CO emisyonlarının eşanjör üzerindeki noktalarda dağılımları Şekil 4.5’de verilmiştir. Emisyon dağılımında 2.2 numaralı bölge 300 ppm CO emisyon değeri ile en yüksek emisyonun tespit edildiği noktadır. Bu bölgeden sonra 82 ppm ile 1.2 numaralı bölge en yüksek emisyon değerinin tespit edildiği ikinci bölgedir. Yapılan dördüncü test sonucunda baca gazı sıcaklığı 73 °C olarak tespit edilmiştir. Baca gazındaki CO emisyon değeri de 121 ppm olarak kayda geçmiş ve 3. testteki emisyon değerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12 : Çok noktalı emisyon 4. test ana eşanjör üzerinden emisyon değerleri.

Emisyon Ölçümü Alınan Noktalar	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulanana [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
1.1	9	27,42	3,84	14,7
1.2	82	94,43	10,16	3,4
1.3	11	28,60	4,5	13,65
2.1	5	26,96	2,17	17,5
2.2	300	319,96	10,97	1,94
2.3	25	57,35	5,1	12,15
3.1	10	30,79	3,8	14,7
3.2	77	88,50	10,18	3,4
3.3	18	41,54	5,07	12,1



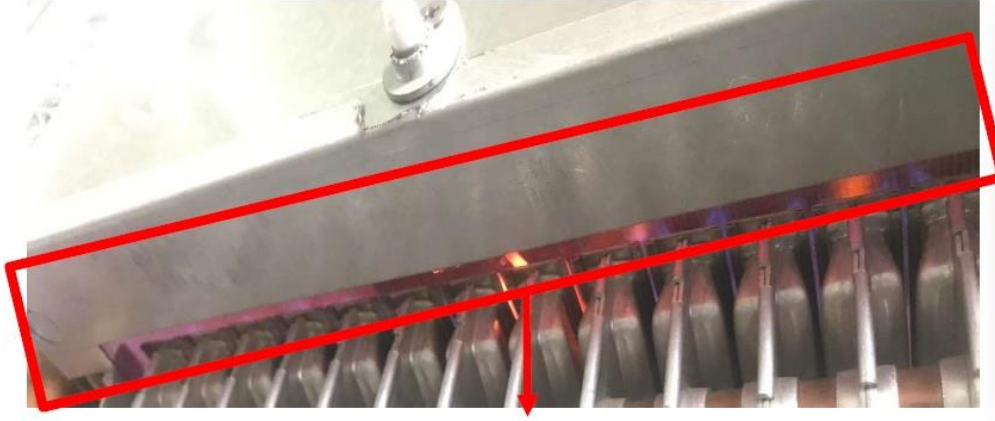
Şekil 4.5 : Çok noktalı emisyon 4. test ana eşanjör üzerinde CO emisyon dağılımı.

Çok noktalı emisyon testlerinin sonuçları incelendiğinde, en uygun yanma odası tasarımının 1. testte belirtildiği gibi ön kısmı ve alt kısmı açık olan tasarım olarak belirlenmiştir. Bundan sonraki yanma testleri bu tasarıma göre gerçekleştirilecektir. Brülör olarak, çok noktalı emisyon testlerinde kullanılan ve NO_x emisyonları açısından problem oluşturmayan su soğutmalı atmosferik brülör, bundan sonraki testlerde de kullanılmaya devam edilecektir.

4.2 Yanma Odası Açık Tasarımla Yapılan Testler

Yanma odasının iç tasarımının doğrulanması akabinde, yarı yoğuşmalı kombi modeline uyarlanarak, yanma testleri gerçekleştirilip, çıkan sonuçlara göre yanma odasında ve diğer parçalarda tasarım iyileştirmesi yapılmıştır.

Yanma odasının açık haliyle yapılan testler sırasında Şekil 4.6'da görüldüğü üzere brülör ve yanma odası arasında açıklık bulunan tasarım kullanılmıştır. Bu açıklık yanma sırasında, atmosferik brülöre ikincil havayı sağlamaktadır. Stokiyometrik olarak yakıt hava oranında, hava fazlalığına sebebiyet vermiştir. Eksik yanma testi sırasında ortam koşulları Çizelge 4.13'de belirtilmiştir.



Şekil 4.6 : Yanma odası açık tasarım.

Çizelge 4.13 : Yanma odası açık tasarım eksik yanma testi sırasında ortam koşulları.

Ortam Koşulları	
Ortam Sıcaklığı	25,3 °C
Ortam Nemi	28 RH
Ortam Basıncı	1013 mbar

Çizelge 4.14’de eksik yanma testinin, farklı ısıl değerlerde hangi tip gaz kullanılarak hangi parametrelerle gerçekleştirildiği bilgisi verilmiştir. Denemeler sırasında baca uzunluğu 1 m olarak tutulmuş, sıcaklık rejimleri için 50-30 ve 80-60 seviyeleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.14 : Yanma odası açık tasarım eksik yanma test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	23,5	50-30	20	1
Hat	22,9	80-60	20	1
Hat	24,6	80-60	25	1
G21	26,5	80-60	25	1

Eksik yanma testi sonucunda bacadan ölçülen CO, CO₂ emisyon değerleri ve baca gazı sıcaklıkları her bir ısı girdisi, gaz tipi ve sıcaklık rejimi için Çizelge 4.15’te verilmiştir. CO emisyon değeri diğer testlerde olduğu gibi ppm cinsinden ve CO₂ emisyon değeri de % cinsinden verilmiştir. Yanma sonrası baca atık gazında bulunan O₂ değeri de % cinsinden belirtilmiştir. Testler sırasında hat gazı ve G21 gazı yanma odası açık tipte olan tasarımla birlikte kullanılmıştır.

Çizelge 4.15 : Yanma odası açık tasarım eksik yanma testi emisyon değerleri.

Gaz Tipi	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulanana [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]
Hat	69	115,7	6,98	8,5	53,5
Hat	152	236,8	7,51	7,66	70
Hat	278	406,1	8,01	6,78	72
G21	>2000	>2000	8,85	5,05	73

Çizelge 4.16’da yanma odası açık tasarım için yapılan alev kopması testi sırasındaki ortam koşulları verilmiştir.

Çizelge 4.16 : Yanma odası açık tasarım alev kopması testi sırasında ortam koşulları.

Ortam Koşulları		
Ortam Sıcaklığı	26,8	°C
Ortam Nemi	30	RH
Ortam Basıncı	1018	mbar

Yanma odası açık tasarım için alev kopması testi sırasında altı farklı test yapılmış olup, test koşulları Çizelge 4.17’de ve test sonucu oluşan emisyon değerleri Çizelge 4.18’de verilmiştir. Test sırasında eksik yanma testiyle aynı özelliklerde fan kullanılmış ve baca sınırlayıcı çapı değiştirilmemiştir. Baca uzunluğu diğer testlerde olduğu gibi 1 m uzunluğundadır.

Alev kopması testi sırasında minimum ısı girdisi değerleri fan voltajının da düşürülmesi sonucu elde edilmiş ve EN 15502-1 standardına uygun olarak testler gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında G231 ve Hat gazı olmak üzere, iki farklı tipte gaz kullanılmıştır. Minimum ısı girdisinin yanı sıra maksimum ısı girdisinde de test gerçekleştirilmiş ve oluşan emisyon değerleri kayıt altına alınmıştır. Maksimum ısı girdisi test koşulunda, sıcaklık rejimi 50-30 bandında tutulmuş ve gaz besleme basıncı 20 mbar olarak belirlenmiştir. Fan voltajı da maksimum fan gücünü elde edebilme adına 230 V olarak ayarlanmıştır. Bu şekilde farklı ısı girdileri için kombide alev kopması yaşanıp yaşanmayacağı ve emisyon değerlerinin sınır değerleri aşmayacağı kontrol edilmiştir.

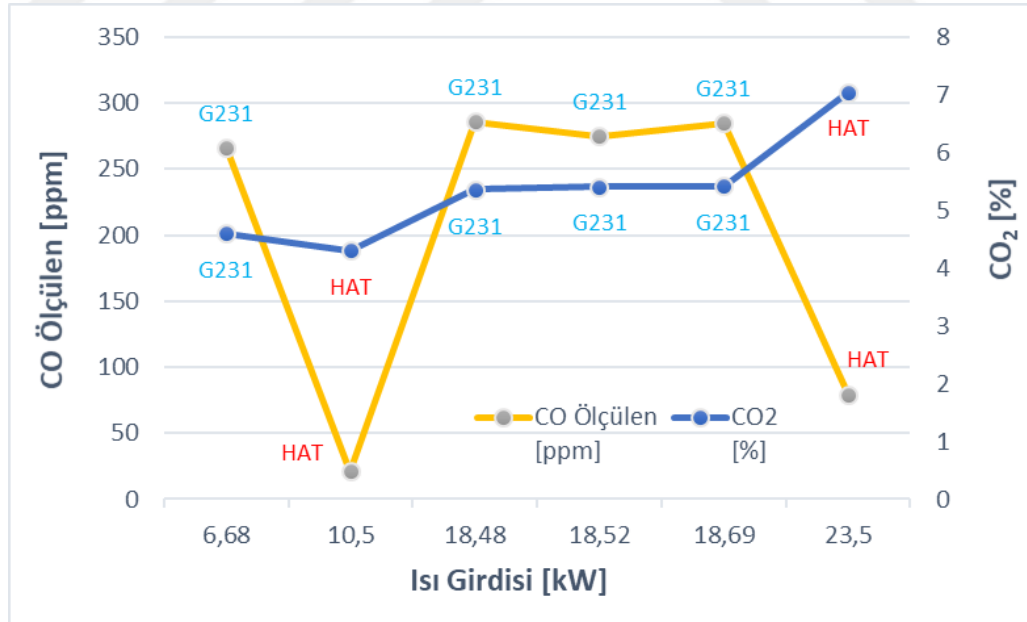
Şekil 4.7’de alev kopması testi sırasında baca gazından ölçülen CO ve CO₂ emisyonlarının ısı girdisine göre değişimleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.17 : Yanma odası açık tasarım alev kopması test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Fan Voltajı [V]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	10,5	120	50-30	20	1
Hat	23,5	230	50-30	20	1
G231	6,68	120	25-20	17	1
G231	18,48	230	36-20	17	1
G231	18,52	230	35-20	20	1
G231	18,69	230	35-20	25	1

Çizelge 4.18 : Yanma odası açık tasarım alev kopması testi emisyon değerleri.

Gaz Tipi	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulanana [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]
Hat	21	57	4,31	13	30
Hat	79	131,1	7,05	8,45	53,5
G231	266	665	4,6	12,59	28
G231	286	613,6	5,36	11,31	42
G231	275	584,6	5,41	11,28	42
G231	285	604,7	5,42	11,25	42



Şekil 4.7 : Yanma odası açık tasarım alev kopması testi ısı girdisine göre CO ve CO₂ oranları.

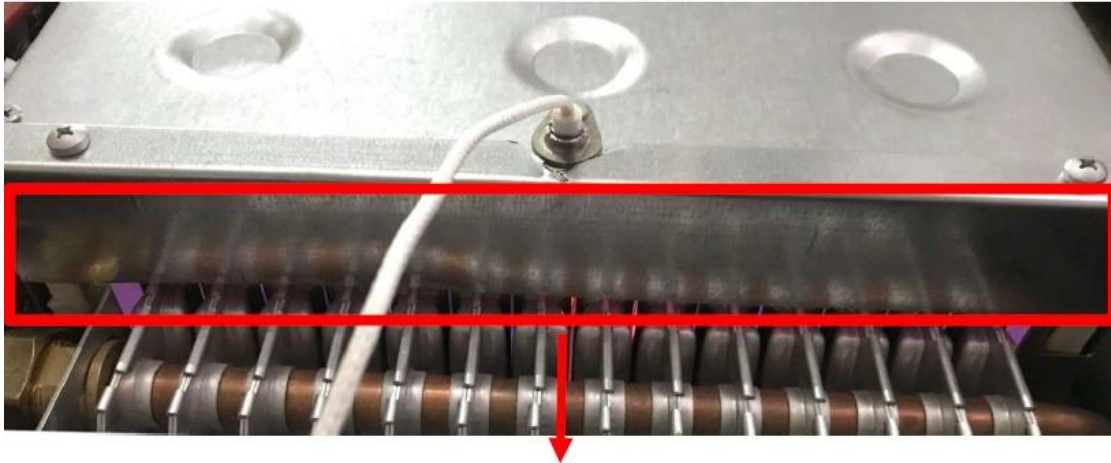
4.2.1 Sonuç ve yorumlar

Yanma odası ile brülör arasında bırakılan boşluk sayesinde, brülöre yanma sırasında ikincil hava beslemesi yapılmıştır. Ancak eksik yanma testleri sırasında, CO emisyon değerleri, EN 15502-1 standardının belirlediği azami 2000 ppm sınırını aşmıştır. Literatürdeki [7-8] çalışmalar incelendiğinde ikincil hava beslemesinin (ortam havası), atmosferik kısmi ön karışimli brülörlerde kontrol edilmesinin CO emisyonu oluşumuna direkt etki ettiği görülmektedir. NO_x emisyon değerlerinin istenen seviyelerde yakalanmış olmasına karşın, CO ve CO₂ emisyonlarının optimum seviyelere çekilmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.15’de görüldüğü üzere yüksek CO emisyonları elde edilmesi ve ikincil hava beslemesinin fazla olmasından kaynaklı homojen olmayan yanma durumu; yanma odası tasarımında, ikincil havayı azaltacak şekilde tasarım yapılması gereğini ortaya çıkarmıştır. Alev kopması testleri sonucunda oluşan emisyon değerleri Çizelge 4.18’de sunulmuştur. G231 gazıyla yapılan test sırasında alev kopması gözlenmemiştir.

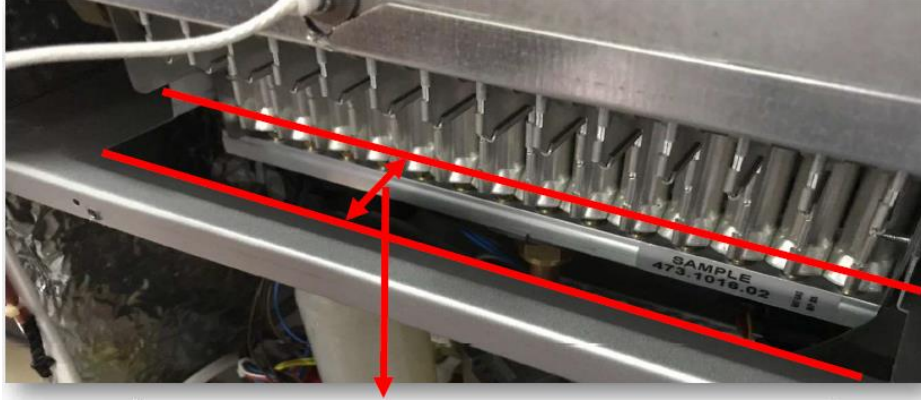
4.3 Yanma Odası Kapalı Tasarımla Yapılan Testler

Yanma odası açık tasarımla yapılan testler sonucunda, yanma odasındaki açıklıktan ikincil hava beslemesinin olumsuz etki oluşturduğu görülmüş ve yanma odası kapatılarak, yeni tasarım üzerinde testler tekrar uygulanmıştır. Şekil 4.8’de yanma odasının kapalı tasarımıyla ilgili görsel sunulmuştur.



Şekil 4.8 : Yanma odası kapalı tasarım.

Yapılan testler sırasında yanma için atmosferik brülöre birincil hava sağlayan yanma odası ve brülör arasındaki boşluk genişletilerek birincil havanın etkisi arttırılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Yanma odası ve brülör arasındaki birincil hava boşluğu.

Eksik yanma sırasında ortam koşullarıyla ilgili bilgi Çizelge 4.19’da ve yanma odası test koşulları Çizelge 4.20’de sunulmuştur.

Çizelge 4.19 : Yanma odası kapalı tasarım eksik yanma testi sırasında ortam şartları.

Ortam Koşulları		
Ortam Sıcaklığı	24,1	°C
Ortam Nemi	45,6	RH
Ortam Basıncı	1009	mbar

Yanma odasının değişen tasarımıyla birlikte baca sınırlayıcı çapı da emisyon değerlerini sınır değerlerin altında tutabilmek adına arttırılmıştır. Baca uzunluğu diğer testlerde olduğu gibi 1 m olarak kullanılmış ve fanda da herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Eksik yanma testi sonucunda ölçülen emisyon değerleri Çizelge 4.21’de sunulmuştur.

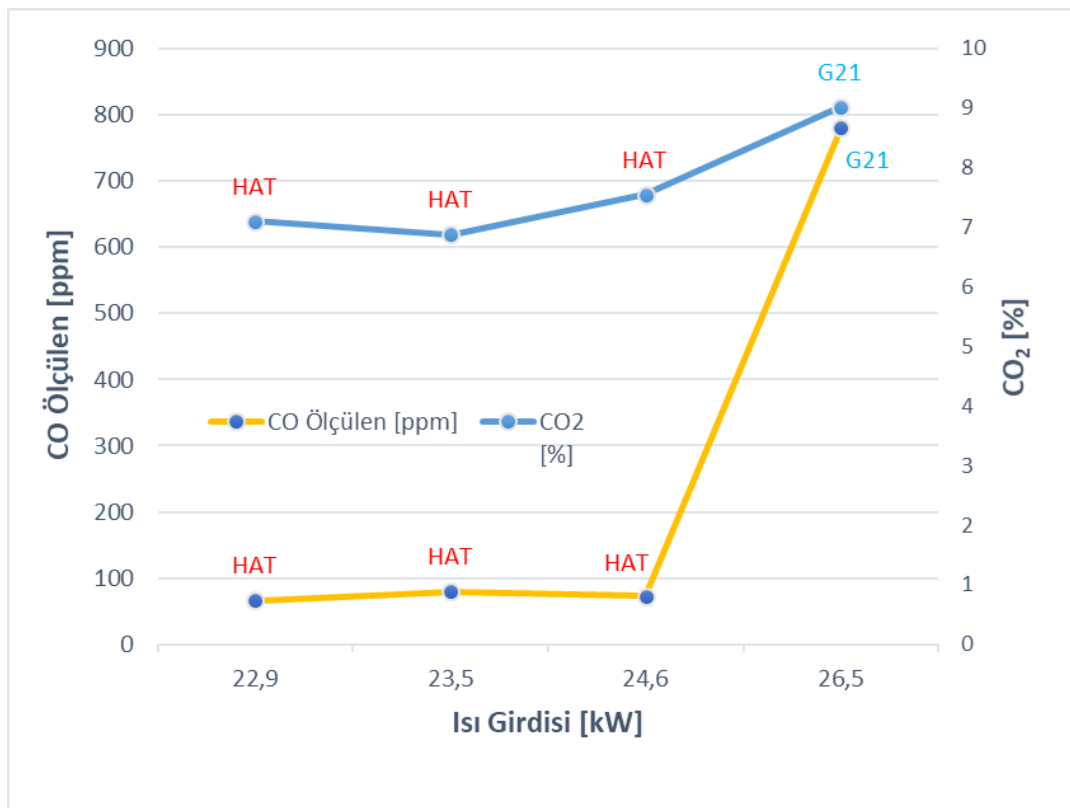
Çizelge 4.20 : Yanma odası kapalı tasarım eksik yanma test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	23,5	50-30	20	1
Hat	22,9	80-60	20	1
Hat	24,6	80-60	25	1
G21	26,5	80-60	25	1

Çizelge 4.21 : Yanma odası kapalı tasarım eksik yanma testi emisyon değerleri.

Gaz Tipi	CO		CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı
	Ölçülen [ppm]	Doğrulan [ppm]			T _{baca} [°C]
Hat	80	136	6,88	8,75	55
Hat	66	108,8	7,1	8,39	70
Hat	73	113,1	7,55	7,67	72
G21	780	1055	9,02	5,75	74

Yanma odası kapalı tasarım sonucunda ısı girdisine göre CO ve CO₂ emisyonlarını gösteren grafik Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10 : Yanma odası kapalı tasarım eksik yanma testi ısı girdisine göre CO ve CO₂ emisyonlarının değişimleri.

Eksik yanma testlerinden sonra gerçekleştirilen alev kopması testleri, yanma odası açık tasarımda olduğu gibi aynı ısıl girdi ve fan voltaj değerlerinde yapılarak, alev kopması olup olmayacağı gözlenmiştir. Test sırasında, önceki testlerde kullanılan aynı güç değerindeki fan kullanılmış olup, baca uzunluğu 1 m olarak tutulmuştur. Alev kopması test koşulları Çizelge 4.22’de ve yanma sonucu oluşan emisyon değerleri Çizelge 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.22 : Yanma odası kapalı tasarım alev kopması test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Fan Voltajı [V]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	10,5	120	50-30	20	1
Hat	23,5	230	50-30	20	1
G231	6,68	120	25-20	17	1
G231	18,48	230	36-20	17	1
G231	18,52	230	35-20	20	1
G231	18,69	230	35-20	25	1

Çizelge 4.23 : Yanma odası kapalı tasarım alev kopması emisyon değerleri.

Gaz Tipi	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulan [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]
Hat	19	42,3	5,26	11,45	30
Hat	75	125	7,02	8,7	53,5
G231	325	314,1	4,9	11,9	28
G231	Test sırasında alev kopması gözlemlendiği için sonuçlar alınamamıştır.				
G231	Test sırasında alev kopması gözlemlendiği için sonuçlar alınamamıştır.				
G231	Test sırasında alev kopması gözlemlendiği için sonuçlar alınamamıştır.				

Alev kopması gözlenmesi sonucu kombi proses parametrelerinde elektronik kart yazılımı aracılığıyla, brülörde yaşanan alev kopması sorununu gidermek üzere, iyileştirmeler yapılmıştır. İyileştirmeler sonucu alev kopması testleri tekrarlanarak, test koşulları Çizelge 4.24’de verilmiştir. Test koşullarında baca uzunluğu 1 metre olarak sabit tutulmuş, fan frekansı için 300 Hz ile 540 Hz olarak iki farklı frekans belirlenmiştir. Kombide yanma odası kapalı tasarım için yapılan proses parametreleri iyileştirmeleri sonrası, hat gazı ve G231 gazlarıyla yapılan alev kopması testi sonucunda oluşan emisyon değerleri Çizelge 4.25’de sunulmuştur. Emisyon ölçümleriyle beraber baca gazı sıcaklığı bacaya yerleştirilen sıcaklık ölçer ile ölçülerek aynı çizelgede kayıt altına alınmıştır. Isı girdisi minimum ve maksimum ısı girdileri için hat gazı ve G231 gazı için ayrı ayrı ayarlanarak testler gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık rejimi de bu ısı girdisi değerlerine göre oluşturulmuştur. Diğer alev kopması testlerinde olduğu gibi bu testte de alev kopması yaşanıp yaşanmayacağı ve bu test koşullarında emisyon değerlerinin hangi değerlerde olacağının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

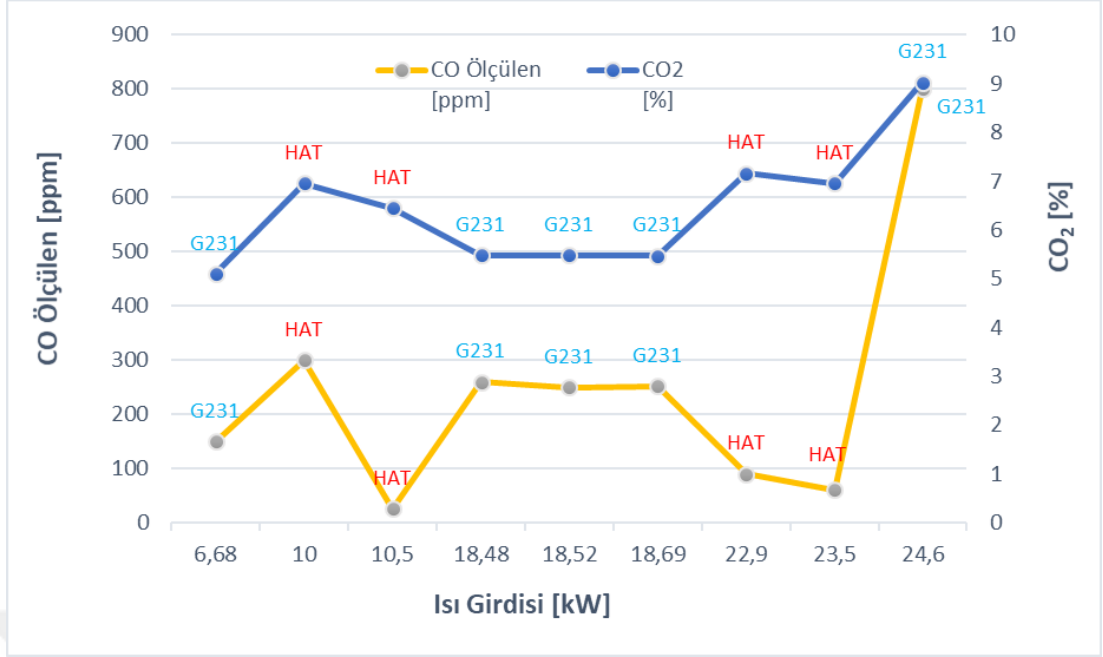
Çizelge 4.24 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında alev kopması test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Fan Frekansısı [Hz]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	10,5	300	50-30	20	1
Hat	10	300	80-60	20	1
Hat	23,5	540	50-30	20	1
Hat	22,9	540	80-60	20	1
G231	6,68	300	25-20	17	1
G231	18,48	540	35-20	17	1
G231	18,52	540	35-20	20	1
G231	18,69	540	35-20	25	1
G231	24,6	540	80-60	25	1

Çizelge 4.25 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında alev kopması testi emisyon değerleri.

Gaz Tipi	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulan [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]
Hat	26	47,2	6,45	9,53	40
Hat	300	505	6,95	8,7	64
Hat	61	102,7	6,95	8,7	53,5
Hat	90	147,1	7,16	8,25	70
G231	150	338,2	5,1	11,9	28
G231	260	545,6	5,48	11,15	42
G231	250	524,6	5,48	11,6	42
G231	252	529,8	5,47	11,7	42
G231	800	1037,7	9,02	5,7	74

Elektronik kart yazılımı aracılığıyla, kombi proses parametrelerinden, fan devir hızı minimum ve maksimum set değerlerinde yapılan değişiklikler sonrasında alev kopma testinin ısı girdisine göre oluşturduğu CO ve CO₂ emisyon değerleri hangi gazlarla testin gerçekleştirildiğini de belirttiği üzere Şekil 4.11’de sunulmuştur. Elektronik kartın yazılım versiyonu 2.9 olarak işlenmiştir. Elektronik kartın yazılım bilgileri proses parametrelerinde yapılan iyileştirmelere göre ayarlanarak, kombinin çalışması sırasında bu parametrelerin güvence altında tutulmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.11 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında alev kopma testi ısı girdisine göre CO ve CO₂ emisyonlarının değişimleri.

Proses parametreleri iyileştirmesi sonrası yapılan alev kopma testlerinde problem görülmediği için referans gazlar için limit gazlar kullanılarak eksik yanma testleri gerçekleştirilmiştir. G21 gazıyla yapılan test, en zor koşullardaki durumu görmek için 7m baca uzunluğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eksik yanma testi ile ilgili test koşulları Çizelge 4.26’da gösterilmiş ve test sonrası oluşan emisyon değerlerinin sonuçları Çizelge 4.27’de sunulmuştur.

Çizelge 4.26 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında eksik yanma testi test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Fan Frekansı [Hz]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	10	280	50-30	20	1
Hat	9,7	280	80-60	20	1
Hat	23,5	540	50-30	20	1
Hat	22,9	540	80-60	20	1
G23	8,2	280	25-20	17	1
G23	18,48	540	35-20	17	1
G23	18,52	540	35-20	20	1
G23	18,69	540	35-20	25	1
G21	24,6	540	80-60	25	7

Çizelge 4.27 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında eksik yanma testi emisyon değerleri.

Gaz Tipi	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulanmış [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]
Hat	20	43,3	5,4	11,7	41
Hat	9	18,2	5,8	10,85	61
Hat	69	114,8	7,03	8,83	52,5
Hat	63	102,5	7,19	8,51	72,8
G23	191	429,8	5,11	12,14	29,4
G23	178	319,8	6,4	9,98	44
G23	180	323,4	6,4	10	43
G23	185	332,9	6,39	10,01	43
G21	1010	1295,7	9,12	5,86	73,5

Aynı koşullar altında, ana brülörün, G31 limit gazı için alev kopmasına maruz kalıp kalmayacağı; Çizelge 4.28’de test sırasındaki ortam şartları, Çizelge 4.29’da G31 gazıyla alev kopması test koşulları sunulduğu üzere kontrol edilmiştir. Testler sonucunda oluşan emisyonların ölçüm değerleri de Çizelge 4.30’da sunulmuştur. G31 gazı kullanılan bu testlerde minimum ve maksimum ısı girdisi değerleri fan frekansının 280 Hz ve 540 Hz değerlerinde tutulması sağlanarak ayarlanmıştır.

Çizelge 4.28 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında alev kopma testi sırasında ortam şartları.

Ortam Koşulları		
Ortam Sıcaklığı	23,4	°C
Ortam Nemi	31,58	RH
Ortam Basıncı	1019	mbar

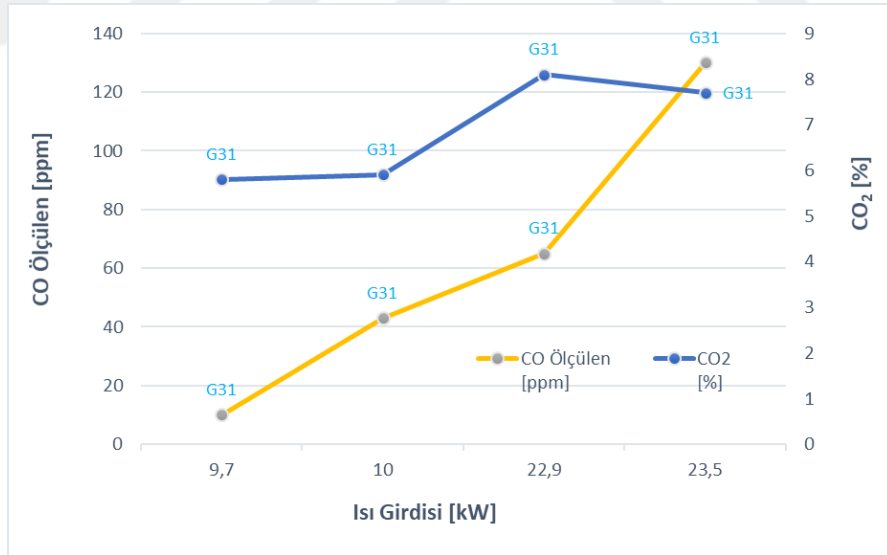
Çizelge 4.29 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında G31 gazıyla alev kopması test koşulları.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Fan Frekansı [Hz]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
G31	10	280	50-30	37	1
G31	9,7	280	80-60	37	1
G31	23,5	540	50-30	37	1
G31	22,9	540	80-60	37	1

Çizelge 4.30 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında G31 gazıyla alev kopması testi emisyon değerleri.

Gaz Tipi	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulanana [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]
G31	43	99,7	5,91	12,19	42
G31	10	21,4	5,8	10,85	61
G31	130	231,3	7,7	9,5	52,5
G31	65	109,9	8,1	8,98	73,4

G31 gazıyla yapılan alev kopması testleri sonucunda oluşan CO ve CO₂ emisyonlarının, ısı girdisi değerlerine göre düşük ısı girdisinden, yüksek ısı girdisine doğru grafik gösterimi Şekil 4.12’de sunulmuştur. Bu test kombi yanma odası kapalı olan tasarımda, proses parametrelerinin iyileştirilmesi sonrası kombiye uygulanarak G31 gazının alev kopması testi sonrasında oluşturacağı CO ve CO₂ emisyonlarının ölçülerek sınır değerlerinin geçilip geçilmediği kontrol edilmiştir. Ayrıca G31 gazıyla alev kopması durumunun ortaya çıkıp çıkmadığına da bakılmıştır. Test sonucunda herhangi bir alev kopması görülmemiştir.



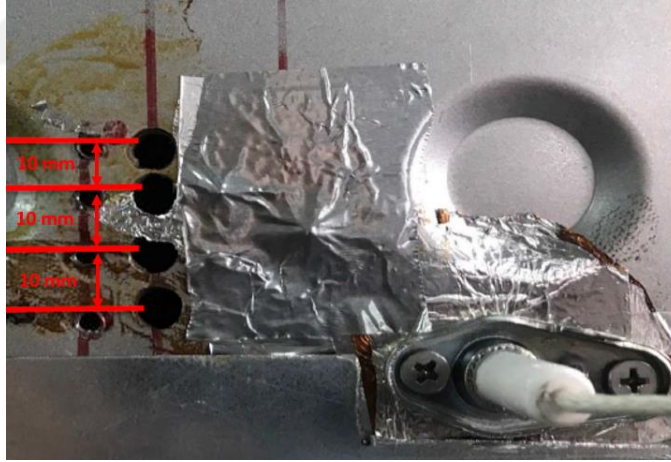
Şekil 4.12 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında G31 gazıyla alev kopması testi ısı girdisine göre CO ve CO₂ emisyonlarının değişimleri.

İyonizasyon akımı ölçüm testleriyle, iyonizasyon elektrotunun brülör yüzeyine olan mesafesi değiştirilerek farklı konumlarda ölçümler yapılmıştır. İyonizasyon akımının farklı pozisyonlarda ölçülmesi, herhangi bir blokaj durumu olmadan normal şartlarda

ve blokajlı durumda ayrı ayrı ölçülmüştür. İyonizasyon elektrotu konumuna göre yapılan iyonizasyon akımı ölçümleri Çizelge 4.31’de verilmiştir. İyonizasyon elektrotunun yanma odasında ölçümler sırasında konumlandırıldığı noktalar Şekil 4.13’te ve iyonizasyon elektrotu Şekil 4.14’de sunulmuştur. Bu testlerde daha önceki testler sonucunda proses parametre iyileştirmesi sağlanmış olan, kombi elektronik kart yazılımı versiyon 2.9 kullanılmış olup, kombi 10kW minimum kapasitede tutulmuş ve sıcaklık rejimi de 80-60 °C aralığına ayarlanmıştır. Bölüm 3.5.4’de metodu anlatılan baca kapama (blokaj) testleri gerçekleştirilmiştir. Baca kapama (blokaj) testleri sırasında ölçülen iyonizasyon akımı değerleri kayıt altına alınmıştır.

Çizelge 4.31 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme sonrasında iyonizasyon akımı ölçümleri.

İyonizasyon Elektrotunun Brülör Yüzeyine Olan Uzaklığı	İyonizasyon Akımı (Normal Durum)	İyonizasyon Akımı (Baca Blokajlı Durum)
10 mm	3,1 μ A	2,8 - 3 μ A
20 mm	2,9 μ A	2,4 - 2,7 μ A
30 mm	2,6 μ A	2 - 2,5 μ A
40 mm	2,4 μ A	1,5 - 2,2 μ A



Şekil 4.13 : İyonizasyon elektrotu konumları ve ölçüm noktaları.



Şekil 4.14 : İyonizasyon elektrotu.

Test sonucunda; kart yazılımının mevcut haliyle iyonizasyon akımı, elektronik kart set değerinin üzerinde çıkarak herhangi bir alev kaybı gözlenmemesine karşılık; CO emisyon değerleri 2500 ppm ve üzerinde seyrettiği için; baca kapama testleri farklı presostat kullanılarak Çizelge 4.32’de test koşulları, Çizelge 4.33’de emisyon değerleri sunulduğu üzere tekrarlanmıştır.

Testler sırasında kombi içerisinde hangi kısmın kapatılarak testin gerçekleştirildiği çizelgede blokaj sütununda belirtilmiştir. Testler sırasında basınç farkı ölçümleri de yapılmıştır. Bu test koşulları için, baca sınırlayıcı çapında, son durumda yapılan değişiklikten başka bir farklılık yapılmamıştır ve baca sınırlayıcı çapı aynı tutulmuştur. Basınç farkı ölçümlerine göre; hangi presostatın seçileceği ve presostat parametreleri için hangi değerlerin kullanılacağıın tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Presostat seçimi kombinin güvenli çalışması açısından önemlidir. Temiz hava giriş ve yanma sonrası oluşan atık gazın atılması sırasında oluşabilecek basınç değişimlerinde önceden belirlenmiş olan basınç farkı değerlerine göre kombi otomatik olarak kapanabilmelidir. Bu basınç farkı değerlerinin önceden tespit edilerek doğru presostat seçimi yapılması bu nedenle önemlidir. Baca kapama testleri sırasında sıcaklık rejimi tüm testler için 80-60 °C aralığında tutulmuş ve hat gazı kullanılmıştır. Isı girdisi değerleri de maksimum, orta ve minimum kapasiteler için farklı olacak şekilde ayarlanmıştır.

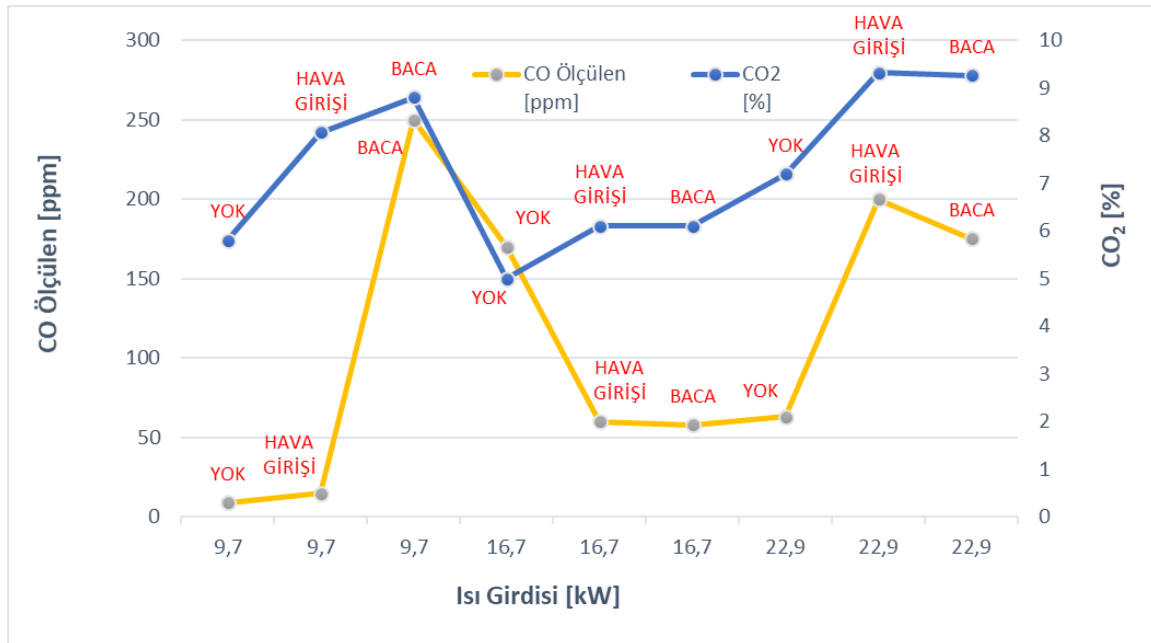
Çizelge 4.32 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme ve presostat kullanımı sonrası baca kapama (blokaj) test koşulları.

Gaz Tipi	Blokaj	Isı Girdisi [kW]	Fan Frekansı [Hz]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	Yok	22,9	540	80-60	20	1
Hat	Hava Girişi	22,9	540	80-60	20	1
Hat	Baca	22,9	540	80-60	20	1
Hat	Yok	16,7	540	80-60	20	1
Hat	Hava Girişi	16,7	540	80-60	20	1
Hat	Baca	16,7	540	80-60	20	1
Hat	Yok	9,7	280	80-60	20	1
Hat	Hava Girişi	9,7	280	80-60	20	1
Hat	Baca	9,7	280	80-60	20	1

Çizelge 4.33 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme ve presostat kullanımı sonrası baca kapama (blokaj) testi emisyon ve basınç farkı değerleri.

Gaz Tipi	Blokaj	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulanana [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]	Δp [Pa]
Hat	Yok	63	102,5	7,19	8,51	72,8	90
Hat	Hava Girişi	200	251,1	9,32	4,5	70	65
Hat	Baca	175	221,1	9,26	4,56	70	65
Hat	Yok	170	397,8	5	12	71	90
Hat	Hava Girişi	60	115,1	6,1	10,4	68	65
Hat	Baca	58	111,2	6,1	10,35	68,9	65
Hat	Yok	9	18,2	5,8	10,85	60	20
Hat	Hava Girişi	15	21,7	8,07	6,7	58	8
Hat	Baca	250	332,4	8,8	5,25	58	8

Isı girdisi değerlerine göre CO ve CO₂ ölçümleri grafiği Şekil 4.15’de görülebilir. Basınç farkı değerleri ısı girdisi azaldıkça paralel olarak azaldığı gözlenmiştir. Presostat kullanımı sonrasında baca kapama testi sırasında oluşan emisyonların değişimi kontrol edilmiştir. Baca kapama testi giriş hava besleme ve çıkış atık gaz kısmının kademeli olarak kapatılması şeklinde gerçekleştirilmiştir.

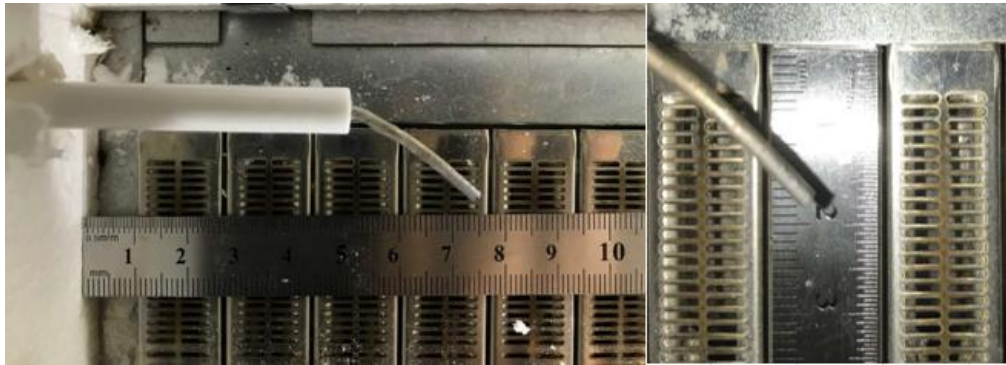


Şekil 4.15 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme ve presostat kullanımı sonrası baca kapama (blokaj) testi ısı girdisine göre CO ve CO₂ emisyonlarının değişimleri.

Yanma odası içerisinde iyonizasyon elektrotunun nihai konumlandırmasını yapmak üzere, güvenlik seviyesini arttırmak için, proses parametre değerlerinden alev algılama set akımı değeri artırılmış ve elektronik kart yazılımı tekrar düzenlenerek versiyon 3.0'a güncellenmiştir. İyonizasyon elektrotunun nihai konumlandırması ile ilgili görseller, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de sunulmuştur.



Şekil 4.16 : Yanma odası iyonizasyon elektrotu konumlandırması.



Şekil 4.17 : İyonizasyon elektrotu konumlandırma ölçümleri.

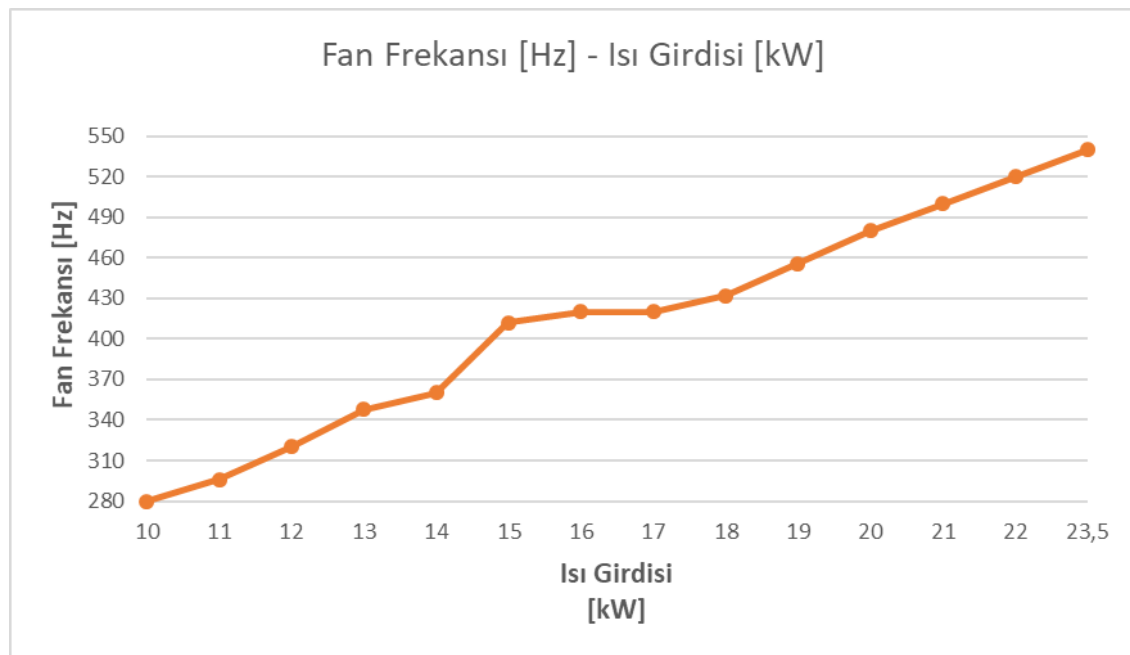
Alev algılama parametre değerlerinin belirlenerek, elektronik kart yazılımı versiyon 3.0 güncellemesinden sonra ve iyonizasyon elektrodunun yanma odası içerisinde konumunun sabitlenmesinden sonra, bölüm 3.5.6'da anlatılan basınç farkı ölçüm testleri Çizelge 4.34'de sonuçları sunulduğu üzere gerçekleştirilmiştir. Bu testlerle birlikte, kombide fan kontrolü için takometre yerine presostat (basınç sensörü) kullanılması durumu kontrol edilerek, sonuçlara göre presostat kullanım kararı nihai hale getirilmiştir. Presostat için yapılan ölçümlerde ısı girdisi ve fan frekansı kademeli

olarak artırılarak emisyon değerleri ölçülerek her ısı girdisi için parametre değerleri belirlenmiştir.

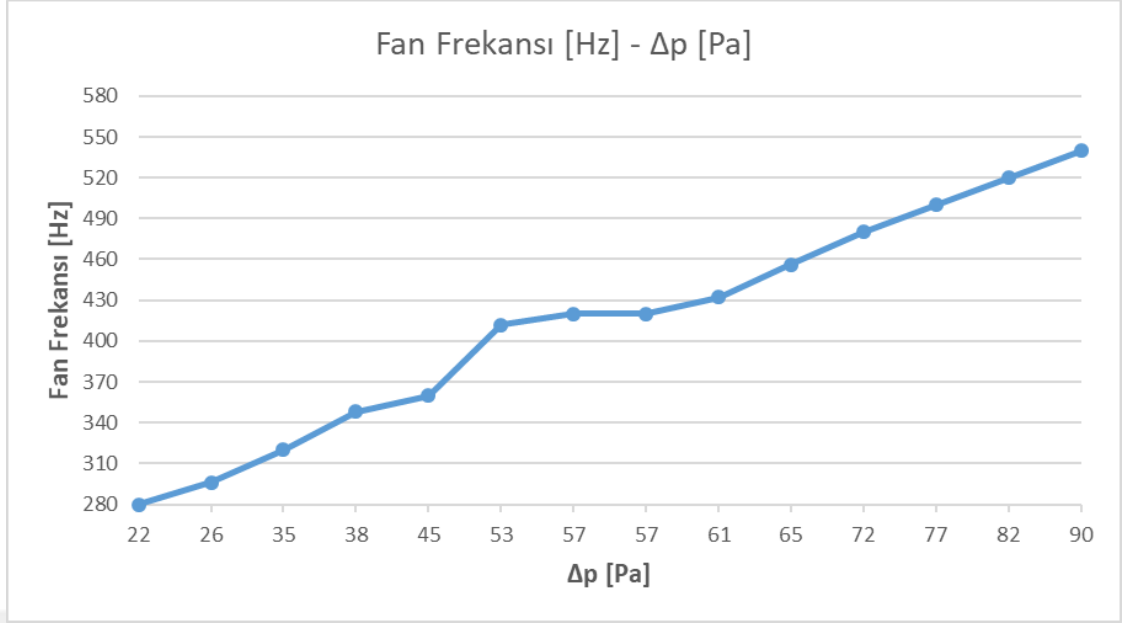
Çizelge 4.34 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme ve presostat kullanımı sonrası basınç farkı ölçüm testleri.

Gaz Tipi	Isı Girdisi [kW]	Fan Frekansı [Hz]	Δp [Pa]	CO Ölçülen [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
Hat	10	280	22	49	5,28	11,49
Hat	11	296	26	48	5,31	11,46
Hat	12	320	35	59	5,39	11,34
Hat	13	348	38	71	5,41	11,3
Hat	14	360	45	75	5,4	11,3
Hat	15	412	53	86	5,42	11,27
Hat	16	420	57	73	5,73	10,7
Hat	17	420	57	49	6,2	9,8
Hat	18	432	61	45	6,44	9,43
Hat	19	456	65	44	6,6	9,12
Hat	20	480	72	47	6,72	8,88
Hat	21	500	77	50	6,81	8,7
Hat	22	520	82	55	6,91	8,61
Hat	23,5	540	90	58	7,08	8,5

Kombideki her bir ısı girdisi için fan frekansı değişimi Şekil 4.18’de ve her bir fan frekansı için Δp değerinin değişimi Şekil 4.19’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18 : Isı girdisine göre fan frekansı değişimi.



Şekil 4.19 : Fan frekansına göre Δp değişimi.

Testler sırasında tespit edilen CO ve CO₂ emisyonlarının ısı girdisine göre değişimleri Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 : Isı girdisine göre CO ve CO₂ emisyon değerleri.

Testlerin son aşamasında baca kapama (blokaj) testleri elektronik kart yazılımı versiyon 3.0, basınç farkı ölçüm testine göre seçilen presostat ve en zor durum için benzetim yapabilme adına 7 metre baca kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İdeal tasarımın doğrulanması, TS EN 15502-2-1 standartının 8.11.102.3.2 numaralı

bölümüne uygun bir şekilde ve bu çalışmada bölüm 3.5.4’de anlatıldığı üzere sağlanmıştır. Test koşulları kombinin hangi bölümünde blokaj yapıldığını da belirtecek şekilde Çizelge 4.35’de sunulmuştur. Testlerin sonucunda yapılan emisyon ölçüm değerleri Çizelge 4.36’da bulunmaktadır.

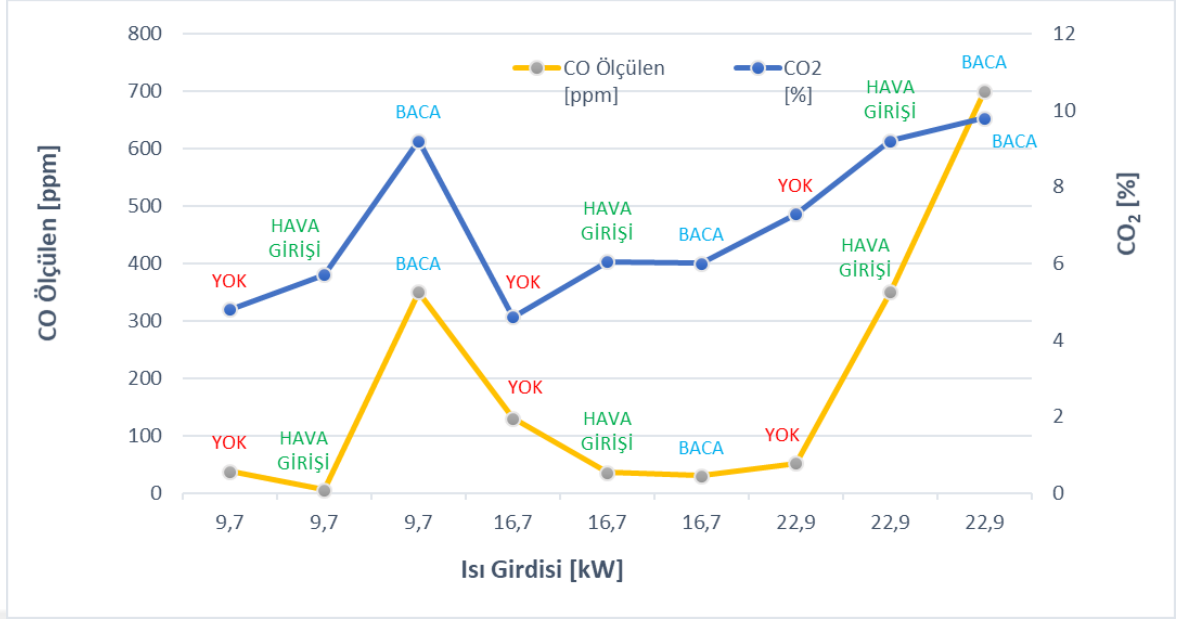
Çizelge 4.35 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme, iyonizasyon elektrodu sabitleme ve presostat kullanımı sonrası baca kapama (blokaj) test koşulları.

Gaz Tipi	Blokaj	Isı Girdisi [kW]	Fan Frekansı [Hz]	Sıcaklık Rejimi [°C]	Gaz Besleme Basıncı [mbar]	Baca Uzunluğu [m]
Hat	Yok	22,9	540	80-60	20	7
Hat	Hava Girişi	22,9	540	80-60	20	7
Hat	Baca	22,9	540	80-60	20	7
Hat	Yok	16,7	540	80-60	20	7
Hat	Hava Girişi	16,7	540	80-60	20	7
Hat	Baca	16,7	540	80-60	20	7
Hat	Yok	9,7	280	80-60	20	7
Hat	Hava Girişi	9,7	280	80-60	20	7
Hat	Baca	9,7	280	80-60	20	7

Çizelge 4.36 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme, iyonizasyon elektrodu sabitleme ve presostat kullanımı sonrası baca kapama (blokaj) testi emisyon değerleri ve Δp değerleri.

Gaz Tipi	Blokaj	CO Ölçülen [ppm]	CO Doğrulanana [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	Baca Gazı Sıcaklığı T _{baca} [°C]	Δp [Pa]
Hat	Yok	52	83,5	7,29	8,21	73	80
Hat	Hava Girişi	350	445,1	9,2	4,65	70	55
Hat	Baca	700	835,7	9,8	4	70	55
Hat	Yok	130	330,7	4,6	12,5	71,5	80
Hat	Hava Girişi	36	69,6	6,05	10,1	68	55
Hat	Baca	30	58,5	6	10,25	68,9	55
Hat	Yok	38	92,6	4,8	12,4	61,2	23
Hat	Hava Girişi	6	12,3	5,7	10,8	59	12
Hat	Baca	350	445,1	9,2	4,62	59,2	12

Baca kapama (blokaj) testi sırasında ısı girdisine göre CO ve CO₂ emisyon değerleri Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21 : Yanma odası kapalı tasarım proses parametreleri iyileştirme, iyonizasyon elektrodu sabitleme ve presostat kullanımı sonrası baca kapama (blokaj) testi ısı girdisine göre CO ve CO₂ emisyon değerleri.

Son durumdaki emisyon değerlerini, %100, %70, %60 ve %40 olacak şekilde farklı ısı kapasiteler için hat gazı ile; baca gazı sıcaklığı, akış sıcaklığı, ΔT , fan hızı, suya verilen ısı güç gibi değerleri de içerecek şekilde tespit edebilmek için Çizelge 4.38’de sonuçları sunulan test gerçekleştirilmiştir. Testin temel amacı kombinin nihai tasarım, proses parametreleri ve komponentlerinde yapılan iyileştirmelerin ardından kombinin NO_x sınıfını belirlemektir. NO_x değerlerine göre sınıflandırma Çizelge 4.37’de sunulmuştur. Kombin NO_x sınıfını belirlemenin yanında farklı ısı girdileri için suya verilen ısı gücün belirlenmesi de önemlidir. Bu kademeli ısı girdi değerlerinde kombin çalıştırılması durumunda oluşan CO, CO₂ ve NO_x emisyon miktarları da Çizelge 4.38’de sunulmuştur. Kombin ısı girdisi ayarının yanı sıra fan hızı da %100 ile %70 kapasite değerleri için maksimumda ve %60 ile %40 kapasite değerleri için de minimumda tutulmuştur.

Çizelge 4.37 : NO_x sınıfları.

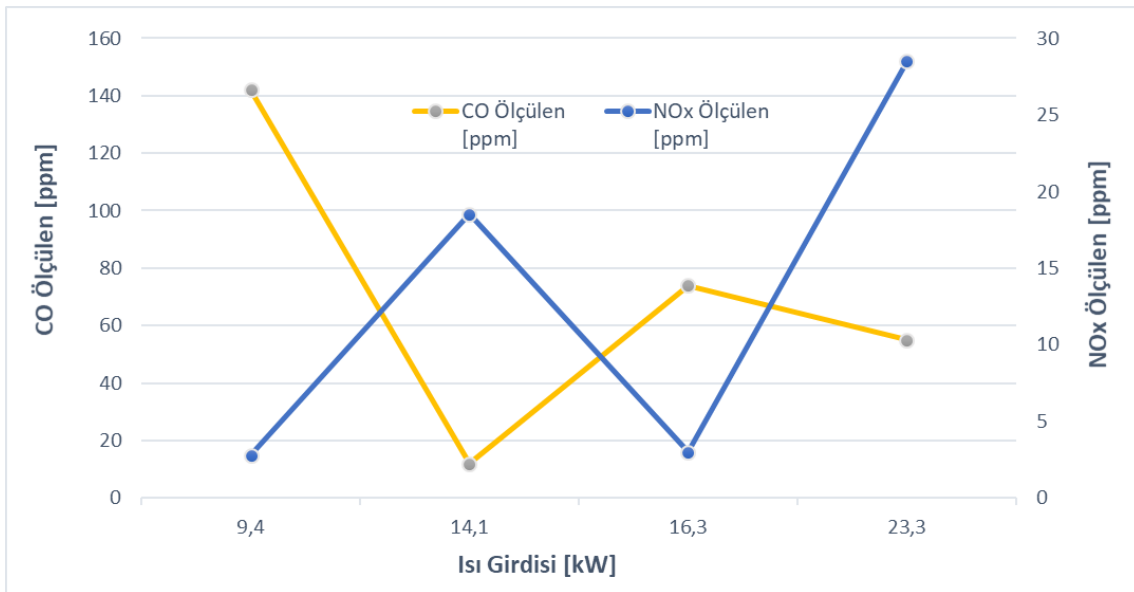
Sınıf	Ağırlıklı NO _x	Birim
1	260	mg/kWh
2	200	mg/kWh
3	150	mg/kWh
4	100	mg/kWh
5	70	mg/kWh
6	56	mg/kWh

Test sonucunda CO ve NO_x emisyonlarının ısı girdisine göre değişimleri Şekil 4.22’de sunulmuştur. Isı girdisi değerleri minimumdan maksimum kapasite değerine olacak şekilde ayarlanarak testler gerçekleştirilmiştir.

NO_x emisyon ölçümlerinde hedeflenen sınır değer 56 mg/kWh ile 6 numaralı emisyon sınıfıdır. Yönetmeliğin de müsaade ettiği bu sınır değer NO_x emisyon sınıfları içerisinde belirlenmiş en düşük emisyon değeridir.

Testler kombinin yanma odası kapalı tasarımı için aynı baca sınırlayıcı çapının kullanıldığı ve kombide proses parametrelerinin iyileştirildiği elektronik kart yazılımı içeren versiyonuyla yapılmıştır. İyonizasyon elektrodunun yanma odası içerisindeki konumlandırılması da önceki testlerde belirlendiği gibi yapılmıştır.

Presostat kullanımı ve presostat ayar parametrelerinde de yapılan iyileştirmelerden sonra bu test gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında dört farklı ısı girdisi değerinin ortalaması 15,78 kW olarak tespit edilmiştir. Dört farklı kapasite değeri minimum, orta ve maksimum kapasite değerlerini test edebilmek amacıyla seçilmiş ve testler gerçekleştirilmiştir. Baca uzunluğu diğer testlerde olduğu gibi 1 metre uzunlukta tutulmuştur ve C12 baca bağlantı tipi kullanılmıştır. Fan ve gaz valfi parçalarında da herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. 14 sıralı, nozul çapı 0,84 mm olan su soğutmalı atmosferik brülör tüm testlerde olduğu bu testte de aynı haliyle değişiklik yapılmadan kullanılmıştır. Böylece kombinin son hali NO_x emisyon değerleriyle birlikte test edilerek tasarım doğrulanmıştır.



Şekil 4.22 : Isı girdisine göre CO ve NO_x emisyon değerleri.

Çizelge 4.38 : Kombi NO_x sınıfı belirleme test sonuçları.

Özellikler	Birimler	Test 100%	Test 70%	Test 60%	Test 40%
Test Gazı	-	Hat	Hat	Hat	Hat
Yanma havasındaki nem (RH)	%	33.792	33.647	33.809	34.361
Ortam Sıcaklığı (T _{amb})	°C	27.230	27,012	26,729	26,426
Atmosferik Basınç (P _{atm})	mbar	1012,845	1013,081	1013,136	1013,23
Kullanılan Gazın Net Kalorifik Değeri (H _i)	MJ/m ³	34,02	34,02	34,02	34,02
Gaz Sayacı Sıcaklığı (T _s)	°C	24,277	26,896	25,737	28,359
Kullanılan Gazın Yoğunluğu (d)	gr/cm ³	0,555	0,555	0,555	0,555
Gaz Sıcaklığı (T _g)	°C	26,447	26,38	26,158	25,93
Gaz Sayacı Düzeltme Faktörü	-	1,006	1,004	1,004	1,002
Gaz Hacmi	L	204	143	124	83
Zaman	s	300,93	301,77	301,72	303,4
Gaz Debisi (ortalama)	m ³ /h	2,454	1,713	1,485	0,988
Isı Girdi Kapasitesi	%	100	70	60	40
Ölçülen Isı Girdisi	kW	23,3	16,3	14,1	9,4
Fan Hızı	-	Max	Max	Min	Min
Su Debisi	l/h	960,005	960,02	960,04	960,011
Dönüş Suyu Sıcaklığı	°C	61,373	48,798	44,77	36,79
Akış Sıcaklığı	°C	81,644	62,345	57,322	45,305
ΔT	°C	20,271	13,547	12,552	8,515
Suya Verilen Isıl Güç	kW	22,511	15,63	13,921	9,46
CO	ppm	55	74	12	142
CO ₂	%	7,5	4,77	7,12	4,47
O ₂	%	7,95	12,61	8,55	13,03
Baca Gazı Sıcaklığı	°C	74,3	60,33	51,12	42,55
NO _x Ölçülen	ppm	28,5	3	18,52	2,8
NO _x Ölçülen	mg/kWh	72,554	9,012	48,204	8,532
Doğrulanmış NO _x	mg/kWh	67,603	2,88	43,155	2,888
Ağırlıklı NO _x	mg/kWh		15,111		
NO _x Sınıfı	-		6		

4.3.1 Sonuçlar ve yorumlar

Yanma odası tasarımı sırasında gerçekleştirilen seri testler ve testlerin sonuçlarına göre iyileştirmelerle alakalı değişiklikler Bölüm 4.3'te aşamalarıyla birlikte sunulmuştur.

Çizelge 4.21'de sunulan ve ilk eksik yanma testi emisyon değerlerine göre; mevcut tasarım, yanma odası açık tasarımla karşılaştırıldığında, CO emisyon değerlerinde iyileşme sağlandığı görülmektedir. Ancak bu testin akabinde gerçekleştirilen, izelge 4.23'de sonuçları sunulan alev kopması testinde, G231 gazı ile yapılan testler sonucunda alev kopması tespit edilmiştir.

Alev kopması durumunu engelleyebilmek için elektronik kart yazılımında, fan hızı ayar değerleriyle ilgili değişiklikler yapılmış, minimum fan devir hızı azaltılmış ve izelge 4.25'de sonuçları sunulduğu üzere alev kopması testleri tekrarlanmıştır. Tekrarlanan testlerde alev kopması görülmemiştir. Yapılan iyileştirmenin etkisini, G23 gazı üzerinde de görmek için, G23 gazı kullanılarak eksik yanma testi gerçekleştirilmiştir ve izelge 4.27'de test sonuçları verilmiştir. Bu testler sırasında da alev kopması yaşanmamış ve emisyon değerlerinde problem görülmemiştir. Çizelge 4.26'dan da görüleceği üzere G21 gazıyla yapılan testlerde, en zor Şartları test edebilme adına, baca uzunluğu 1 metreden 7 metreye çıkarılmış ve test sonucunda sorun tespit edilmemiştir. Alev kopması testleri için son olarak G31 gazı kullanılarak kontroller gerçekleştirilmiş ve test sonucunda emisyon değerleri izelge 4.30'da sunulmuştur. Test sonuçlarına göre G31 gazıyla da alev kopması tespit edilmemiştir.

İyonizasyon elektrotunun yanma odası içerisinde en ideal noktada konumlandırılabilmesi için gerçekleştirilen, iyonizasyon akımı ölçüm testleriyle alakalı sonuçlar izelge 4.31'de hem normal Şartlar için hem de blokajlı durum için sunulmuştur. Ölçümler sonucunda her iki durum için, iyonizasyon akımı algıma set değerinin altında herhangi bir değer ölçülmemiş olup, alev kaybı da yaşanmamıştır. Ancak testler CO emisyon değerleri uygun olmadığı için kombide farklı presostat kullanılması kararlaştırılmıştır.

Yeni presostat ile, kombinin hava debisi ve yanma ürünleri debisinin azalması durumunu kontrol edebilmek için gerçekleştirilen baca kapama (blokaj) testlerinin sonuçları izelge 4.33'de sunulmuştur. Bu testler sırasında yeni presostatın kombideki basınç farkı değerlerini belirleyebilmek için basınç farkı ölçüm testleri de

gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.33'de ayrı sütunda sunulmuştur. Test sonuçlarında en zor koşul olan 80 °C - 60 °C sıcaklık rejiminde hava girişi blokajlı, baca çıkışı blokajlı ve blokajsız normal durum için emisyon değerleri ve yanmayla alakalı uygunsuzluk tespit edilmemiştir.

Bu testlerden sonra elektronik kart yazılımında iyonizasyon akımının güvenlik seviyesini arttırmak için iyonizasyon akımı set değeri artırılmış ve basınç farkı ölçümleri, emisyon değerleriyle birlikte farklı ısı girdileri için Çizelge 4.34'de sunulmuştur. Test sonuçlarına göre yeni presostat için Δp değerleri ölçülmüştür. Ayrıca her bir ısı girdisi için fan frekans değerleri Şekil 4.18'de görüleceği üzere belirlenmiş ve sonucunda elektronik kart için fan frekansı kontrol aralıkları tespit edilmiştir. Belirlenen bu fan frekansı değerlerine göre de basınç farkı değişimleri Şekil 4.19'da gösterilmiş ve bu değerlere göre elektronik kart yazılımında düzenlemeler yapılmıştır.

Son durumdaki düzenlemelerden sonra baca kapama (blokaj) testleri Çizelge 4.36'da sonuçları görüleceği üzere, 7 metre baca uzunluğu kullanılarak en zor şartları test edebilmek için gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında basınç farkı ölçümleri de yapılmıştır. Sonuç olarak en zor şartlar için azami, ortalama ve asgari ısı girdisi değerlerinde CO emisyonları istenen düzeylerde ölçülmüştür.

Tüm bu testlerin ardından, nihai durumu farklı kapasite değerlerinde görebilmek için ve kombinin NO_x sınıfını belirlemek amacıyla, tüm emisyonları içerecek şekilde Çizelge 4.38'de sonuçları sunulan test gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda ağırlıklı NO_x değeri, regülasyonda belirtilen sınır değerinin altında 15,111 mg/kWh olarak tespit edilmiş ve böylece kombinin NO_x sınıfı 6 olarak belirlenmiştir.



5. SONUÇLAR

Yürütülen bu çalışmada, yarı yoğuşmalı kombilerde düşük NO_x emisyonları elde etme amacıyla, kombinin yanma grubunda yapılan iyileştirmeler analiz edilerek, diğer emisyonların ve kombi performansının istenen seviyelerde tutulması hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda, çok noktalı emisyon ölçüm testleri, eksik yanma testleri, alev kopması testleri, baca kapama (blokaj) testleri, iyonizasyon ölçüm testleri, basınç farkı ölçüm testleri, ısı girdisine göre fan frekansı ve basınç farkı testleri gerçekleştirilmiş ve literatürdeki çalışmalardan da destek alarak, standartlara uygun olarak yarı yoğuşmalı kombinin tasarımı oluşturulmuştur.

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde, maddeleri şu şekilde özetleyebiliriz:

- Brülör yüzeyinin, kombi ana eşanjöründen beslenen suyla birlikte soğutulması sağlanarak, brülör yüzey sıcaklığında düşüş elde edilmiştir. Buna bağlı olarak yanma sonrası oluşan ısıl NO_x mekanizmasının oluşumunun azaldığı bunun sonucunda ise NO_x emisyonlarının düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Brülörden çıkan su bir nevi ara ısıtma işlemine de tabi tutulduğu için çok düşük miktarlarda da olsa kombi ısıl verim açısından fayda sağladığı görülmüştür. Ayrıca brülörden, üç yollu vana motoru ile plakalı eşanjöre veya kalorifer tesisatına yönlendirilen su, kombi tesisatı açısından herhangi bir probleme neden olmamıştır. NO_x emisyonlarının bu aşamadan sonra, farklı yanma odası tasarımlarına karşılık istenen seviyelerde seyrettiği gözlenmiştir.
- Ana eşanjör üzerinde dokuz farklı noktadan yapılan emisyon ölçümleri neticesinde, su soğutmalı brülör ile NO_x emisyonlarının azaltılmasında iyileşme sağlanmasına karşın, CO ve CO₂ emisyonlarının daha iyi duruma getirilmesi gerektiği durumu ortaya çıkmıştır. Bu durum için dört farklı yanma odası tasarımı içerisinde emisyon oranları bakımından en uygun olan birinci test sırasında incelenmiş tasarım seçilmiştir.
- Yarı ön karışımli, atmosferik brülörlerin en büyük dezavantajlarından biri olan, hava yakıt oranının ayarlanmasının zorluğu; yanma odasına sağlanan havanın

kontrol altında tutulabilmesi adına, yanma odası tasarımında yapılan değişikliklerle aşılmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda ikincil hava beslemesi için, brülör ile yanma odası arasında boşluk bulunan tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımla alev kopması testlerinde herhangi bir problem tespit edilmemiş olmasına karşılık, CO emisyonlarındaki artışın ikincil hava beslemesinin neden yanma düzensizliğinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

- CO emisyonlarının azaltılması aynı zamanda homojen yanmanın sağlanması için, brülör ile yanma odası arasındaki ikincil havanın temel kaynağı olan boşluk kapatılarak, yanma odası geometrisi değiştirilmiştir. İkincil hava beslemesinde yapılan bu değişikliklerle, halen yanma için yeteri kadar havanın sağlanabilmesi adına, birincil hava boşluğu arttırılmıştır. Baca sınırlayıcı çapı da arttırılarak, hermetik bacanın yanma odasına daha fazla hava beslemesi sağlanmıştır. Bu değişiklikler sonrası, farklı testlerle kombi performansı incelenmiş, alev kopması testi haricinde başka testte problem yaşanmamıştır. Bu aşamadan sonra, yanma odası geometrisinde anlatılan düzenlemelerden başka değişiklik yapılmamıştır.
- Alev kopması testinde istenen sonuçların alınamaması, elektronik kart yazılımında değişiklik yapılmasını gerektiğini ortaya çıkarmıştır. İyonizasyon akım değerler ve süresi ayarlanarak alev kopması testleri tekrarlanmıştır. Ayrıca elektronik kart yazılımında fan devir sayıları tekrar düzenlenerek optimum seviyelere çekilmiştir. Tekrarlanan testler olumlu olarak sonuçlanmıştır.
- Son durumda yapılan tüm iyileştirmelerden sonra kombi optimum hale getirilmiş ve nihai emisyon ölçümleri tüm emisyonları kapsayacak şekilde yapılmıştır. Emisyon ölçümleriyle birlikte, akış sıcaklığı, dönüş suyu sıcaklığı, ΔT , suya verilen ısı güç gibi değerler de ölçülmüş ve kombinin hedeflenen ısı verim ve performans değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu testle birlikte kombi NO_x sınıfı 6 olarak belirlenmiş ve regülasyona uygun olarak kombinin optimizasyonu tamamlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Suzukawa, Y., Sugiyama, S., & Isao, M.** (1996). Heat transfer improvement and NO_x reduction in an industrial furnace by regenerative combustion system. *Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*.
- [2] **Jones, H. ve Leng, J.** (1996). The Influence of Fuel Composition on Emissions of CO, NO, and NO₂ from a Gas-Fired Pulsed Combustor. *Combustion and Flame*, 419-430.
- [3] **Chou, C. C.** (1998). Numerical Modeling of NO Formation in Laminar Bunsen Flames - A Flamelet Approach. *Combustion and Flame* (114), 420-435.
- [4] **İlbaş, M., Karyeyen, S., & Çilingir, K.** (2016). Ön Karışimsız ve Ön Karışimli Metan Alevlerinin Baca Yanma Parametrelerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 357-365.
- [5] **Zajemska, M., Radomiak, H., & Poskart, A.** (2015). The Optimization And Diagnostics Of Combustion Process With Numerical Modelling Application. *Archives of Metallurgy and Materials*, 60(2), 687–695.
- [6] **Seo Y.-S., Y. S.-P.-J.-S.** (2003). The catalytic heat exchanger using catalytic fin tubes. *Chemical Engineering Science*, 58(1), 43-53.
- [7] **Vignali, G.** (2017). Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*, 142(4), 2493–2508.
- [8] **Rasic, A. Z., Mrazic, G., Issendorff, F., Ausmeier, S., & Trimis, D.** (2011). Effects of access of secondary air on operation of an atmospheric burner. *International Journal of Energy for a Clean Environment*, 12(1), 55-66.
- [9] **Omar, M. A.** (2014). *Yoğuşmalı kombiler için çok geçişli kompakt ısı değiştiricisi ve yarı küresel metal matrix yakıcının geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **T.C. Millî Eğitim Bakanlığı.** (2015). *Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme*. Ankara: Megep.
- [11] **Url-1,** <<https://www.balkanenergy.net/ru/gas-systems/gas-fired-condensing-boiler-viessmann-vitodens-100-w-26.html>>, erişim tarihi 10.02.2019.
- [12] **Daikin A.Ş.** (2013). *Airfel Integrity Montaj ve Kullanım Kılavuzu*.
- [13] **Çengel, Y. A.** (2011). *Isı ve kütle transferi*. İzmir: Güven Bilimsel Yayınları.
- [14] **Kara, M.** (2018). *Experimental Investigation of a Combi Boiler Heat Exchanger*. (Yüksek Lisans Tezi). İzmir Institute of Technology, Graduate School of Engineering and Sciences, İzmir.
- [15] **Daikin A.Ş.** (2018). *Airfel Digifel Condense Kurulum Kılavuzu*.
- [16] **Daikin A.Ş.** (2014). *Daikin Yetkili Servisleri İçin Digifel – Digifix Konvansiyonel Kombi Eğitim Kitabı*.
- [17] **Url-2,** <<http://www.valmex.it/en/prodotto/m5to30/l>>, erişim tarihi 14.03.2019.

- [18] **Daikin A.Ş.** (2018). *Airfel Digifel Condense Servis Kılavuzu*.
- [19] **Daikin Europe N.V.** (2013). *Daikin Altherma hybrid heat pump operation manual*.
- [20] **TS 7363.** (2017). *Doğalgaz - Bina iç tesisatı Projelendirme ve uygulama kuralları*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [21] **Kiwa Gastec.** (2016). *Opening up the Gas Market (OGM) Project Oban - Laboratory and Field Testing Results*. London.
- [22] **Turns, S. R.** (2012). *An Introduction To Combustion Concepts And Applications* (Third Edition b.). New York: McGraw-Hill.
- [23] **Url-3**, <<https://polidoro.com/en/product/steel-premix/>>, erişim tarihi 19.03.2019.
- [24] **Url-4**, <<https://polidoro.com/en/product/np-burners/>>, erişim tarihi 20.03.2019.
- [25] **Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.** (2018, Mart 28). Su Isıtıcıları Ve Sıcak Su Depolama Tankları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ.
- [26] **Çankaya, O.** (2009). *Doğalgaz Yanmasında Emisyonlar Üzerine Parametrik Çalışma*. (Yüksek Lisans Tezi). Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [27] **Demiröz, G.** (2009). *Seçici Katalitik İndirgeme Sisteminin Ağır Taşıt Motorlarında Kullanımının Optimizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] **El-Mahallawy, F., & Habik, S. E.-D.** (2002). *Fundamentals And Technology Of Combustion*. Oxford: Elsevier Science.
- [29] **Daikin A.Ş.** (2018). *Daikin teknik resimleri*. Sakarya.
- [30] **TS EN 437.** (2006). *Deney gazları - Deney basınçları - Cihaz kategorileri*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [31] **Url-5**, <<https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems>> erişim tarihi 23.04.2019
- [32] **TS EN 15502-1+A1.** (2015). *Gaz yakan ısıtma kazanları - Bölüm 1: Genel kurallar ve deneyler*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Enis Gürsoy
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir 10.02.1990
E-posta : enis.gursoy@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-..... Daikin A.Ş., Kalite Güvence Mühendisi, Sakarya
- 2015-2016 Ant Group, Proje Mühendisi, Sakarya
- 2014-2015 Türk Silahlı Kuvvetleri, Yedek Subay - Makine Mühendisi, İzmir
- 2013-2014 Bekil Mühendislik, Makine Mühendisi, Eskişehir