



**KONVANSİYONEL TİP GAZ YAKICI CİHAZLARDA TEK KADEMELİ
FANLARIN FREKANS KONTROLLÜ FANA DÖNÜŞTÜRÜLEREK
PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Çağrı BULUT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Çağrı BULUT

09/07/2021

KONVANSİYONEL TİP GAZ YAKICI CİHAZLARDA TEK KADEMELİ FANLARIN FREKANS KONTROLLÜ FANA DÖNÜŞTÜRÜLEREK PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Çağrı BULUT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2021

ÖZET

Bu çalışmada, hermetik gaz yakıcı cihazlarda LPG'nin yanması sonucu açığa çıkan baca gazların emisyon değerleri ve harcanan yakıt miktarı göz önüne alınarak her zaman optimum düzeyde yanma gerçekleştirilmek istenmiştir. LPG'nin yanması için hava ile %2 – 9, doğalgazın ise %5 – 15 arasında karışması gerekmektedir. En ideal karışım oranı ise doğalgaz için %9, LPG için ise %6,5'tir. Hermetik gaz yakıcı cihazlarda bulunan tek ve/veya iki kademeli fanlar her zaman hava-yakıt karışım oranını en ideal şekilde sağlayamamaktadır. Tasarlanan deney setinde, enerjinin daha verimli bir şekilde kullanımını sağlamak ve çevresel etkilerini minimuma indirmek amaçlanmıştır. Deney setinde, laboratuvar şartlarından dolayı yakıt olarak LPG kullanılmıştır. Deneyler, yaz konumunda, kullanım suyu debisi 3 lt/dk, 4 lt/dk ve 5 lt/dk için her bir debide kullanım suyu sıcaklığı 40 °C, 45 °C ve 50 °C'de, tasarlanan elektronik devre kartı vasıtası ile kombi fan hızı 8,6 m/s, 9,6 m/s, 10,6 m/s ve 11,6 m/s hızlarda deneyler yapılmıştır. Deneylerin sonucunda, harcanan yakıt miktarının değişimi ve baca gazı analizleri yapılarak sistem performansı deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışma sonunda kullanım suyu debisi 5 lt/dk ve kombi fan hızı minimum seviyede (8,6 m/s) iken 10 dakikalık ölçüm sonucu harcanan yakıt miktarı 210 g, CO emisyon değeri 165 ppm ve NO emisyon değeri 79 ppm olarak ölçülmüştür. Kullanım suyu debisi 5 lt/dk ve kombi fan hızı maksimum seviyede (11,6 m/s) iken 10 dakikalık ölçüm sonucu harcanan yakıt miktarı 210 g, CO emisyon değeri 232 ppm ve NO emisyon değeri 65 ppm olarak ölçülmüştür. Gözlemlenen sonuçlar yakıt miktarında değişim olmadığı ve fan hızı artırıldığında CO emisyon değerinin arttığı, NO_x emisyonlarında ise azalma olduğu gözlemlenmiştir. Konfor şartları göz önüne alındığında aylık 30 saat sıcak su kullanımında 3 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için LPG yakıtı kullanıldığında yapılan deneyler sonucu aylık 215 TL maliyet çıkmaktadır. Aynı zamanda NO_x emisyonlarının ErP yönetmeliği kapsamında yaklaşık olarak uygun olduğu, harcanan yakıt miktarı da diğer debi ve kullanım suyu sıcaklıklarına göre de uygun olduğu yapılan deneyler sonucu göstermiştir. Deneyde fan hızı maksimum fan hızından, minimum fan hızına indirildiğinde suyun sıcaklık değerlerinde 1-2 °C artış gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 92808
Sayfa Adedi : Gas burner, air-fuel ratio, boiler, emission.
Sayfa Adedi : 55
Danışman : Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

IN CONVENTIONAL TYPE GAS BURNING DEVICES; EXPERIMENTAL
INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF SINGLE STAGE FANS BY
TRANSFORMING THEM INTO FREQUENCY CONTROLLED FANS

(M. Sc. Thesis)

Çağrı BULUT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2021

ABSTRACT

In this study, considering the emission values of the flue gases released as a result of the combustion of LPG and the amount of fuel consumed in hermetic gas burning devices, it was always desired to achieve optimum combustion. For LPG to burn, it must mix with air between 2 - 9% and natural gas between 5 - 15%. The ideal mixing ratio is 9% for natural gas and 6.5% for LPG. Single and / or two-stage fans in hermetic gas burning devices cannot always provide the optimum air-fuel mixture ratio. In the experimental set designed, it was aimed to use energy more efficiently and to minimize its environmental effects. LPG was used as fuel in the experiment set due to laboratory conditions. Experiments, in summer mode, for 3, 4 and 5 lt / min domestic water temperature at 40, 45 and 50 ° C, the combi fan speed is 8.6, 9.6, 10.6 and 11, by means of the designed electronic circuit board Experiments were conducted at speeds of 6 m / s. As a result of the experiments, the system performance was investigated experimentally by performing the change in the amount of fuel spent and flue gas analysis. At the end of the study, while the water flow rate was 5 lt / min and the combi fan speed was at the minimum level (8.6m / s), the spent fuel amount was measured as 210 g, the CO emission value as 165 ppm and the NO emission value as 79 ppm as a result of the 10-minute measurement. While the tap water flow rate is 5 lt / min and the combi fan speed is at the maximum level (11.6 m / s), the spent fuel amount is 210 g, the CO emission value is 232 ppm and the NO emission value is 65 ppm after 10 minutes of measurement. Considering the comfort conditions, a monthly cost of 215 TL is incurred as a result of the experiments conducted when using LPG fuel for 30 hours of hot water usage, 3 lt / min flow rate and 45 ° C domestic water. At the same time, the results of the experiments have shown that NOx emissions are approximately appropriate within the scope of the ErP regulation, and the amount of fuel spent is also suitable for other flow rates and water temperatures. In the experiment, when the fan speed was reduced from the maximum fan speed to the minimum fan speed, an increase of 1-2 ° C was observed in the temperature values of the water.

Scince Code : 92808

Key Words : Gas burner, air-fuel ratio, boiler, emission.

Page Number : 55

Supervisor : Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez sürecimde bilgi, deneyim ve çalışmalarından yararlandığım, bana her konuda destek olup, anlayış gösteren sayın hocam Doç. Dr. Halil İbrahim VARIYENLİ'ye; Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki kıymetli hocalarıma ve beni bu günlere ulaştıran, hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, her an varlıklarını hissettiren biricik aileme başta annem Medine BULUT'a, babam Çetin BULUT'a ve fıstığım Beyzanur BULUT'a en derinden teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. KURAMSAL TEMELLER	7
3.1. Kombiler	7
3.1.1. Bacalı kombiler	7
3.1.2. Hermetik kombiler	9
3.1.3. Yarı hermetik kombiler.....	12
3.1.4. Yoğuşmalı kombiler	13
3.1.5. Yoğuşmalı kombilerin çalışma prensibi	13
3.1.6. Yarı yoğuşmalı kombiler	14
3.2. Kombi Ekipmanları	15
3.2.1. Gaz valfi	16
3.2.2. Fan grubu.....	16
3.2.3. Presestat	17
3.2.4. Brülör	17
3.2.5. Ateşleme ve iyonizasyon elektrotu	17

	Sayfa
3.2.6. Ana eşanjör	18
3.2.7. Reküperatör	19
3.2.8. Sirkülasyon pompası.....	19
3.2.9. Genleşme tankı.....	20
3.2.10. Plakalı eşanjör	20
3.2.11. Üç yollu vana motoru	21
3.2.12. Emniyet ventili	22
3.2.13. Elektronik kart.....	22
3.2.14. Yanma odası.....	23
3.3. Kombilerde Yakma İşlemi.....	23
3.4. Yanmanın Temelleri.....	24
3.4.1. Hava-yakıt karışımı.....	25
3.4.2. Teorik (Stokiyometrik) yanma	26
3.4.3. Tam yanma	27
3.4.4. Eksik yanma	27
3.4.5. Kısmi eksik yanma.....	27
3.4.6. Tutuşma sıcaklığı	28
3.4.7. Zaman	28
3.5. Yanma Özellikleri	28
3.5.1. Yanabilirlik sınırı	28
3.6. Yakıt Özellikleri	29
3.6.1. Metanın yanması	30
3.6.2. Zararlı yanma sonu ürünleri	31
3.7. Yanma Modifikasyonları	32

Sayfa

4. MATERYAL VE METODLAR	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	39
5.1. ErP Yönetmeliği ve Baca Gazı Emisyon Değerlerinin İncelenmesi.....	44
5.2. Bir Konut İçin Gerekli Olan Kullanım Suyu Sıcaklığı İçin İdeal Yanma ve Yakıt Maliyet Hesabı.....	46
5.2.1. Değişken debilerde ve 45 °C kullanım suyu sıcaklığı için maliyet hesabı	46
5.2.2. Minimum ve maksimum kombi fan hızları, değişken debiler ve 45 °C kullanım suyu sıcaklığı için maliyet hesabı	47
5.2.3. 3 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıkları için maliyet hesabı	47
5.2.4. 4 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıkları için maliyet hesabı	48
5.2.5. 5 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıkları için maliyet hesabı	48
5.3. Öneriler	48
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	53

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Bazı gazların yanabilirlik sınırları (% hacimsel olarak).....	29
Çizelge 4.1. Kullanılan kombinin teknik özellikleri	34
Çizelge 4.2. Baca gazı ölçüm cihazının teknik özellikleri	37
Çizelge 4.3. Sıcaklık ölçüm cihazının teknik özellikleri	38
Çizelge 5.1. Doğal gaz için NO _x emisyon değerinin dönüşümü	45
Çizelge 5.2. LPG için NO _x emisyon değerinin dönüşümü.....	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Bacalı kombinin çalışma şeması.....	8
Şekil 3.2. Bacalı tip kombilerde baca bağlantı şekli.....	9
Şekil 3.3. Hermetik tip baca.....	9
Şekil 3.4. Hermetik kombinin şematik görüntüsü	10
Şekil 3.5. C12 baca bağlantısı.....	10
Şekil 3.6. C32 baca bağlantısı.....	11
Şekil 3.7. C42 baca bağlantısı.....	11
Şekil 3.8. C52 baca bağlantısı.....	12
Şekil 3.9. Yarı hermetik kombinin çalışma şekli.....	12
Şekil 3.10. Yoğuşmalı kombinin çalışma şekli.....	14
Şekil 3.11. Konvansiyonel tip kombi elemanları.....	15
Şekil 3.12. Gaz valfi.....	16
Şekil 3.13. Fan grubu	16
Şekil 3.14. Presostat, prob ve fan grubu	17
Şekil 3.15. Ateşleme ve iyonizasyon elektrotu.....	18
Şekil 3.16. Ana eşanjör	18
Şekil 3.17. Reküperatör.....	19
Şekil 3.18. Sirkülasyon pompası.....	19
Şekil 3.19. Genleşme tankı	20
Şekil 3.20. Plakalı eşanjör.....	20
Şekil 3.21. Üç yollu vana motoru ve parçaları.....	21
Şekil 3.22. Emniyet ventili.....	22
Şekil 3.23. Elektronik kart	22

Şekil	Sayfa
Şekil 3.24. Yanma odası	23
Şekil 3.25. A bacalı kombilerdeki brülör (A), Bitermik eşanjör (B)	24
Şekil 3.26. Silindirik yakıcı bir kombinin kesit görünüşü	24
Şekil 3.27. CH ₄ 'in tam yanması	30
Şekil 4.1. Deney seti	34
Şekil 4.2. Dimmer fan hızı ayarlama cihazı.....	36
Şekil 4.3. Baca gazı analiz cihazı.....	36
Şekil 5.1. 3 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıklar için baca gazı değerleri ve kullanılan yakıt miktarı.	39
Şekil 5.2. 4 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıklar için baca gazı değerleri ve kullanılan yakıt miktarı.	40
Şekil 5.3. 5 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıklar için baca gazı değerleri ve kullanılan yakıt miktarı.	40
Şekil 5.4. 3 lt/dk debi ile fan hızını maksimum ve minimum hızlardaki baca gazı değerleri ve yakıt miktarı.	42
Şekil 5.5. 4 lt/dk debi ile fan hızını maksimum ve minimum hızlardaki baca gazı değerleri ve yakıt miktarı.	42
Şekil 5.6. 5 lt/dk debi ile fan hızını maksimum ve minimum hızlardaki baca gazı değerleri ve yakıt miktarı.	43
Şekil 5.7. Değişken fan hızlarında 5 lt/dk debi için baca gazı değerleri ve kullanılan yakıt miktarı.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
bar	Bar
m³	Metreküp
CO₂	Karbondioksit
°C	Derece (Selsius)
CO	Karbon monoksit
H₂	Hidrojen gazı
N₂	Azot gazı
C₄H₁₀	Metan
NO	Azot Oksit
SO₂	Kükürt dioksit
kW	Güç tüketimi
λ	Hava fazlalık katsayısı
V	Voltaj (V)
V_{max}	Maksimum yük gerilimi (V)
L	Litre
T	Sıcaklık
O₂	Oksijen gazı
A/F	Stokiometrik hava-yakıt oranı
m	Kütleli debi
Ṁ	Hacimsel debi
Φ	Eşdeğerlik oranı
%	Yüzde
HNO₃	Nitrik asit
V_{AC}/V_{DC}	Çalışma gerilimi

Kısaltmalar**Açıklamalar****AC**

Alternatif gerilim

Dk

Dakika

LPG

Sıvılaştırılmış petrol gazı

Lt

Litre

MTEP

Milyon ton eşdeğer petrol

MF

Metal fiber

PMB

Gözenekli brülör

Ppm

Milyonda bir birim

SS

Paslanmaz çelik

THİ_y

Hacimsel teorik hava ihtiyacı

THİ_m

Kütleli teorik hava ihtiyacı

1. GİRİŞ

Ülkelerin iktisadi ve sosyal kalkınmasında en önemli kaynak enerjidir. Enerji; hızlı nüfus artışı, sanayideki önemli gelişmeler, şehirleşme, kaynakların plansız kullanılması ve küreselleşme sonucu değişen üretim ve tüketim metodolojisi nedeniyle önemini artırarak korumaktadır. Enerji günümüzün en önemli sorunlarından biri haline dönüşmüştür. Çünkü petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıt rezervleri hızla tükenmekte, ozon tabakası incelmekte ve sera gazı emisyonları insan hayatını tehdit eder duruma gelmektedir. Bu durum mevcut kaynakların verimli şekilde kullanılmasını, yeni kaynak-yöntem arayışına ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye zorunlu kılmıştır. Enerji sorunlarının giderek arttığı ancak kaynakların tükendiği bir dünyada enerjinin verimli kullanılması önem kazanacaktır.

Dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmını sağlayan enerji kaynaklarının 2019 yılı verilerine göre kullanım miktarı 14 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) olmuştur. Dünya birincil enerji ihtiyacını karşılamada, petrol kullanımı % 35,3'lük pay ile birinci sırada yer almaktadır. Petrolü; % 29,1'lik pay ile doğal gaz, % 14,4'lük pay ile kömür takip etmektedir. Diğer enerji kaynakları ise jeotermal, güneş, rüzgâr ve ısı enerjisi kaynaklarıdır [1],

Kullanımı artarak devam eden kömür, petrol ve doğalgaz tüketimi CO₂ yayılımını arttırmakta olup sera etkisine ve küresel ısınmaya neden olmaktadır [2].

Enerji dönüşümünden kaynaklanan kirlетici gaz emisyonuna sahip olan endüstriyel sistemler de dikkate alınması gereken önemli bir konu haline gelmiştir. Enerji tüketiminin büyük bir kısmı konutlarda sıcak su temini için kullanılır. Konutlarda mahal ısıtması ve sıcak su temini genellikle kombilerle sağlanır [3-4].

Doğal gaz kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde doğal gazın büyük bir kısmı konutlarda sıcak su ihtiyacını karşılamak için veya ev ve işyerleri gibi kapalı alanları ısıtmak için kullanılmaktadır. Bu ısıtma cihazları ebatlarının küçük olması ve yer kaplamaması nedeniyle tercih edilmektedir. Çeşitli tipte kombiler bulunmakta olup verimlilikleri kullanılan yere ve iç yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bireysel ısıtma sistemlerinde en çok kullanılan kombi çeşitleri bacalı, hermetik ve yoğunlaşmalı kombidir.

Bu çalışmada bir yarı yoğuşmalı hermetik kombinin kullanım suyu kullanımında, kombi fan hızı minimum ve maksimum hızda iken kullanım suyu sıcaklığı 40  C, 45  C ve 50  C için kullanılan yakıt miktarının değişimi ve baca gazı analizleri yapılarak sistem performansı deneysel olarak incelenmiştir. Değişken fan hızına sahip bir kombinin yanma odasında doğal gazı yakarken açığa çıkan baca gazlarının analizi yapıldı. Bu çalışmada enerjinin daha verimli bir şekilde kullanımını sağlamak ve çevresel etkilerini minimuma indirmek amaçlanmıştır. Deneyde fan hızı maksimum fan hızından, minimum fan hızına indirildiğinde suyun sıcaklık değerlerinde 1-2  C artış gözlemlenmektedir. Çevreye yayılan CO miktarın düşmesi durumunda da yanma sonucu kombiler atılan baca gazı çevresel etkileri azalma olacağından sera gazlarının azalması ve asit yağmurlarının sebep olacak etkilerinin azalacağı  n görülmüştür.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yanma ile ilgili olarak literatür tarandığında çok sayıda makale ve tez örnekleriyle karşılaşılmaktadır. Fakat kombi verimini arttırmak ve emisyonları azaltmak için frekans kontrollü fan geliştirilmesiyle ilgili olarak literatürde fazla çalışmaya rastlanmamıştır.

Fengguo Liu ve ark. (2020), bir yoğuşmalı gaz kazanındaki iki tip brülörün performansını deneysel olarak incelemiş, metal fiber (MF) brülör ve paslanmaz çelik (SS) brülörün termal verimliliği ve emisyonları karşılaştırmışlardır. MF brülörünün ortalama fan hızı, SS brülöründen daha yüksek olduğunu ve fazla hava hızı 1,25 m/sn'in altında olduğunda, MF brülörünün ısı verimi SS brülörününkinden daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Minimum ısı yükünde metal fiber brülör kullanıldığında, yoğuşmalı gaz kazanı maksimum verime sahip olduğunu kanıtlamışlardır [5].

Christos Keramiotis ve ark. (2011), bir gözenekli brülörün termal verimlilik ve kirletici emisyonları açısından kapsamlı bir deneysel karakterizasyonunu gerçekleştirmek ve çalışma limitlerini değerlendirmek üzerine çalışmışlardır. Brülör metan ve LPG ile çalıştırılmış ve yakıt türüne göre termal yükün sıcaklık ve emisyon değerleri üzerindeki nispi etkisi tartışılmıştır [6].

Xueyin Lin ve ark. (2018), önceden karıştırılmış brülörlerden oluşan deneysel bir sistem, değiştirilebilir kombinasyonların uygulanabilirliğini doğrulamak için oluşturuldu ve eşdeğer gaz, H_2 , N_2 ve $i-C_4H_{10}$ ile karıştırıldığında, gazın uyarlanabilirliği, enerji verimliliği endeksleri, yanma performansları ve baca gazı emisyonları ile ölçülmüştür [7].

Thomas Neeld ve ark (2016), ev tipi gaz yakıcı cihazlarda, gaz tüketimi olaylarını tespit edebilmek için akustik sensör kullanılmasının uygulanabilirliğini değerlendirmişlerdir. Sıcak su ve merkezi ısıtma için olan talebi, brülör ateşleme süresini ve %97 doğrulukla otomatik belirlemek için bir algılama algoritması geliştirmişlerdir [8].

Muhammed Arslan Omar ve ark (2016), 4 kişilik bir ailenin yoğuşmalı ve konvansiyonel kombi kullanarak ısı enerjisi ve sıcak su ihtiyacının bir karşılaştırılmasını ve ekonomik olarak analizini yapmışlardır. Yoğuşmalı kombi kullanıldığında aileye ortalama olarak %15,6 enerji tasarrufu sağladığı belirlenmiştir [9].

Mohammad Shafiey Dehaj ve ark (2017), ev tipi ısıtma sistemleri için ısı eşanjörlü yeni bir gözenekli brülörü (PMB) değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu bağlamda, bir ısı eşanjörü ile birlikte bir PMB tasarlanmış ve laboratuvar da deney düzeneği hazır hale getirilmiştir. Gözenekli ortam yanma odasındaki sıcaklık değişiklikleri kaydedilmiş ve brülördeki basınç kayıpları, brülörün ısı verimi ve NO kirleticisi gazların konsantrasyonu ölçülmüştür [10].

İlbaş ve arkadaşları; hava fazlalık katsayısının yanma verimi ve emisyonlara etkisinin belirlenmesi hedeflemiştir. İki tür yakıt, üç farklı özellikte sıvı, yakıt kazanında yakılmış kazan yanma verimleri ve emisyon değerleri deneysel olarak incelenmiştir [11].

Böke ve arkadaşları, bu deneylerinde, 70 kW ısı kapasiteli TS 11392, Pr EN 676 standartlarına uygun olarak brülör testi için tasarlanmış doğal gaz yakan bir deney kazanına cebri üfleme brülör monte edilerek, laboratuvar şartlarında doğal gaz yakılmıştır. Parametreler incelenerek doğal gazın yanması üzerine alev özellikleri ve emisyonlar incelenmiştir [12].

İlbaş ve arkadaşları, farklı ısı güçleri ve farklı hava fazlalıkları için, ön karışimsız ve önkarişimli CH₄ 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 önkarişimli 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 gözlemlemiştir [13].

Variyenli ve arkadaşları deneylerinde; konvansiyonel tip, yoğuşmalı tip ve tam yoğuşmalı tip olmak üzere üç kombi kullanmışlardır. Kombi tiplerinin kirletici gaz emisyonlarını üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Farklı sıcaklık değerlerinde tüm kombi tiplerinde CO₂, NO ve NO_x gaz emisyonlarının azaltıldığı sonucuna varılmıştır [14].

Atmaca ve arkadaşları, standart ısı eşanjörüne sahip kombi ile ısı eşanjörleri tersine çalışma konumuna sahip kombileri kullanarak Matlab® programı ile enerji denklemlerini sonlu farklar metoduyla sayısal olarak incelenmeyi amaçlamışlardır. İki kombi modeli sayısal olarak karşılaştırılmıştır [15].

Blondeau ve arkadaşları, büyük pülverize yakıtlı kazanlarda hava-yakıt oranının çevrimiçi olarak izlenmesi için brülör metodoloji önerisinde bulunmuşlardır. Hava-yakıt oranlarının doğru bir şekilde kontrol edilmesi, kazan verimliliği ve çeşitli kirletici emisyon azaltımları açısından çok önemlidir. Bu da daha düşük genel işletim maliyeti, performans artışına yol açar. Brülör başına hava-yakıt akış oranlarını ölçmek için iki teknik geliştirilmiş bunlardan biri yakıt parçacıkları için sensör, bir diğeri ise hava akışı ölçümleri, donanım ve yazılım sorunlarını çözmek için bir program geliştirilmiş bu sayede oksijen miktarı, baca gazı akış hızı ve dengesizlikler önemli ölçüde azaltılmıştır [16].

Meltem ve arkadaşları, buji ateşleme motorlarda alkol yakıt kullanımının motor performansına etkisini ve egzoz emisyonunu incelemişlerdir. Araştırmaları sonucunda alkol kullanıldığında motor performansında ve yanma özelliklerinde artış olduğu ve egzoz emisyonlarında azalma olduğu sonucuna ulaşmışlardır [17].



3. KURAMSAL TEMELLER

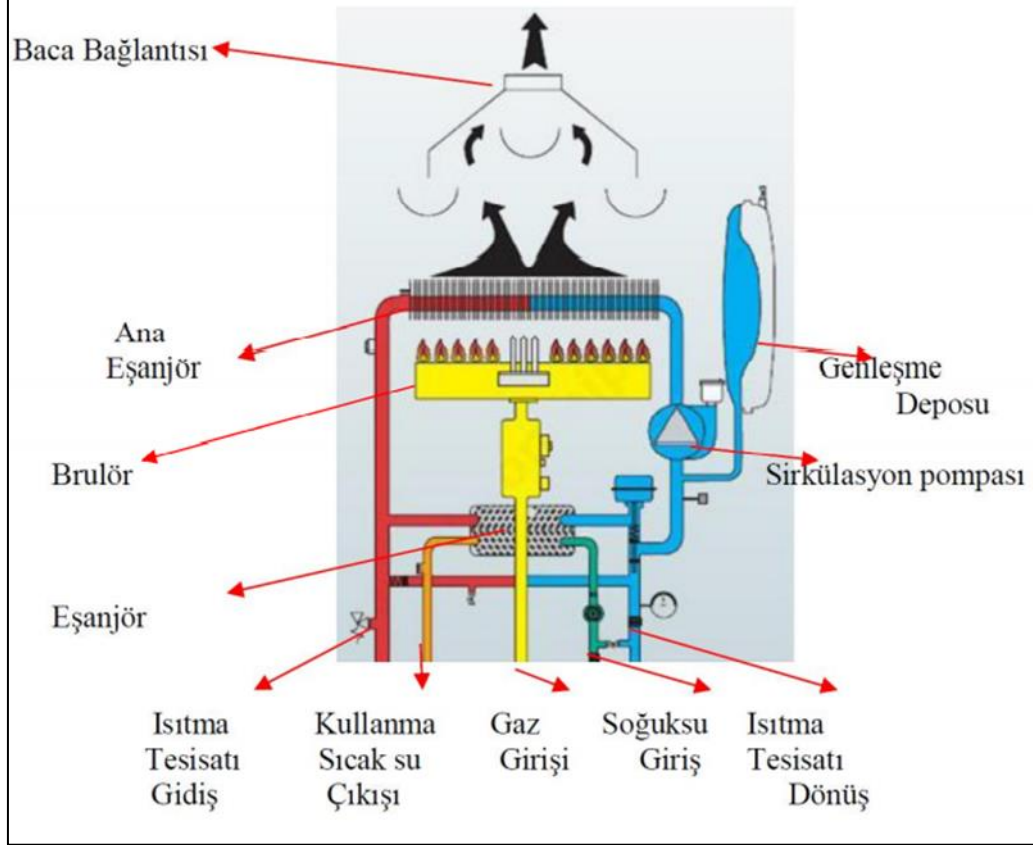
3.1. Kombiler

Isınma ve kullanım odaklı sıcak su üreticisi olarak kullanılan aygıtlar; kombi cihazları olarak bilinmektedir. Kullanım sıcak suyu temini bu cihazlarda ilk sırada yer alır. Kombi cihazları kat kaloriferi olarak kullanıldığında ısıtma işlemini üstlenirken aynı zamanda sıcak kullanım suyunu da hazırlamış olur. Kombi cihazı duvara montaj yapıldıktan sonra ısıtma devresi ile sıcak/soğuk su boru hattı cihaza bağlanarak kurulum yapılır. Gaz bağlantısı yapıldıktan sonra cihaz kullanıma hazırdır. Kombi cihazları doğalgaz veya LPG ile çalışır. Kombi cihazına gaz dönüşümü sağlanarak doğalgazlı veya LPG li kullanılabilir. Kombi cihazlarının atık gazı çevreye atma ve yanma için gerekli oksijeni dış ortamdan alma şekillerine göre bacalı ve hermetik çeşitleri bulunmaktadır. Son dönemde tercih edilen kombi tipi yoğuşmalı kombi teknolojileridir. Yoğuşmalı kombi teknolojisinde bacadan atılan atık gaz içerisindeki su buharını yoğuşturarak buhar içerisinde bulunan gizli ısıyı sisteme ön ısıtma olarak aktaran sistemlerdir. Kombiler bulundukları ortamda az yer kaplaması, gelişmiş kontrol sistemlerine sahip olması ve kullanıcıya konfor hizmeti verebilecek şekilde kullanılabilme imkânı ile tercih edilmektedir. Kombiler atık gazı sistemden uzaklaştırma ve yanma için gerekli oksijeni dış ortamdan temin etme şekillerine göre temelde ikiye ayrılmaktadır. Teknik detaylar göz önüne alındığında, bazı bakımlardan dolayı farklı kategorilerde sınıflandırılır.

3.1.1. Bacalı kombiler

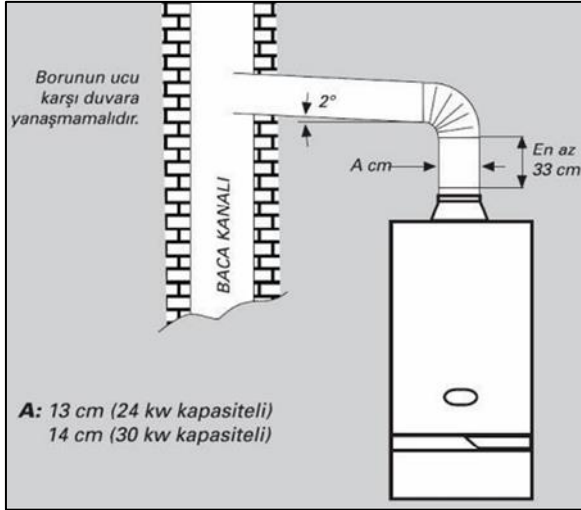
Bir bacayla bağlanan kombi türüdür. Bu kombi türünde fan tertibatı yoktur ve yanma havası kombinin bulunduğu dış ortamdan sağlanmaktadır. Yanma sonucu açığa çıkan atık gaz bina bacası yardımıyla çatıdan atmosfere atılmaktadır. Bacalı kombilerin bacasının monte edileceği yerin sızdırmaz olması ve çelikten yapılması gerekmekte ayrıca monte edildiği ortamın yeterince havalandırılmış olması gerekmektedir. Baca çekişi iyi olmalı ve uygun boyutlarda olmalıdır. Yanma esnasında gerekli olan oksijeni dış ortamdan aldıkları için yanma odası ortam ile temas içindedir. Bacalı kombi modellerinde baca çekişinin yetersiz olması halinde ortama atık gazların karışma olasılığı vardır. Baca çekişi düştüğünde cihazın baca sıcaklığı artar bunun önlenmesi için bu sıcaklığa duyarlı gaz kesme tertibatı olan

termostat adı verilen cihazlar kombilerde kullanılması zorunludur. Bu tip kombiler hacmi 9 m³ten daha küçük alanlarda kullanılması uygun değildir. Eski teknolojiye sahip olan bu tip kombilerin üretimi ülkemizde yasaklanmıştır. Şekil 3.1’de bacalı kombilerin prensip şeması görülmektedir [18].



Şekil 3.1. Bacalı kombinin çalışma şeması

Baca tip kombilerin kullanıldığı mahal kesinlikle iyi havalandırılmalı ve çekiş gücü güçlü bir bacaya yönlendirilmelidir. Bacalı tip kombilerde baca temizliği önemlidir, periyodik olacak şekilde yıllık bazda baca temizliği kesinlikle yapılmalıdır. Şekil 3.2’de bacalı tip kombinin baca bağlantı şekli gösterilmiştir [19].



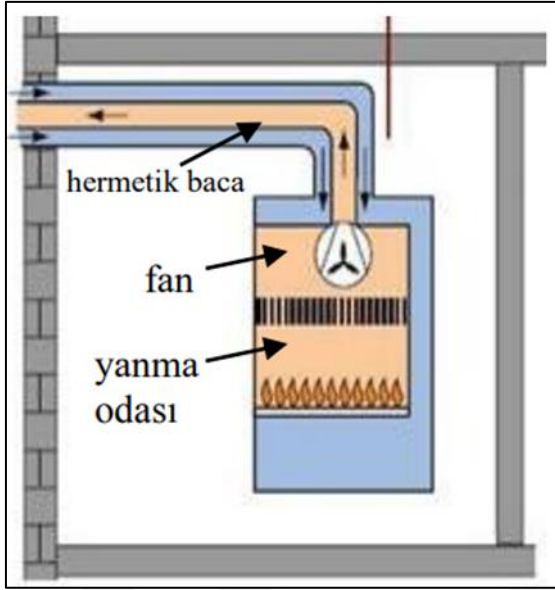
Şekil 3.2. Bacalı tip kombilerde baca bağlantı şekli

3.1.2. Hermetik kombiler

Hermetik kelimesi, Fransızca “hermetique” kelimesinden Türkçeye geçmiş yalıtımlı anlamına gelmekte olan bir kelimedir. Açık yanma odası bulunmadığı için bu kombiler hermetik olarak adlandırılan makineler olup bacaya gereksinim duymazlar. Yanma odaları ise kapalıdır. Yanma için gerekli olan havayı bir fan yardımı aracılığı ile dış ortamdan alırken, yanma sonucunda açığa çıkan atıkları da dış havaya vermektedir. Hermetik kombiler, baca borusu yardımıyla atmosfere bağlanmak durumundadır. Hermetik baca (Şekil 3.3), yoğuşmalı olmayan kombilerde dışarı ve aşağı doğru %2 eğimle montaj edilmelidir. Yoğuşmalı kombi modellerinde ise yoğuşma suyunun, yoğuşma haznesinde toplanması için %3 eğimle yukarı doğru montajlanmalıdır. Şekil 3.4’te hermetik kombinin temel çalışma prensibi görülmektedir [19].



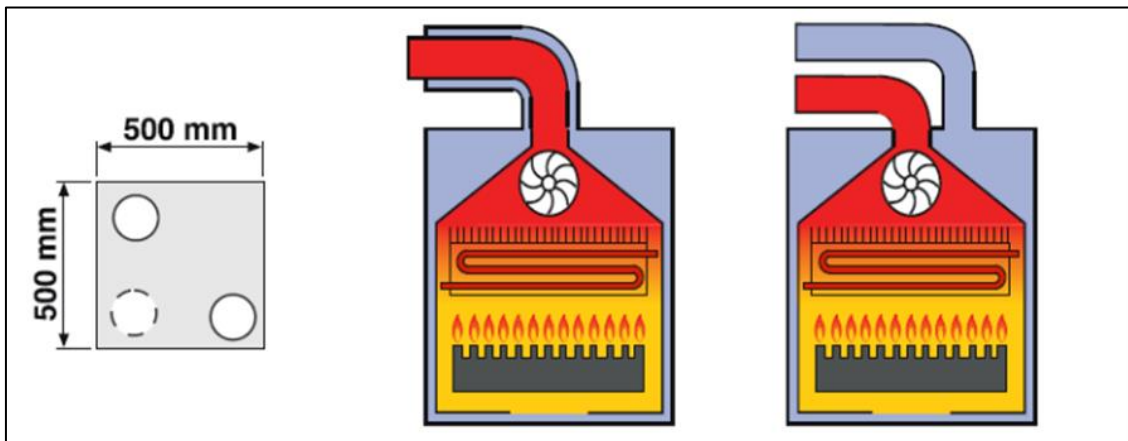
Şekil 3.3. Hermetik tip baca



Şekil 3.4. Hermetik kombinin şematik görüntüsü

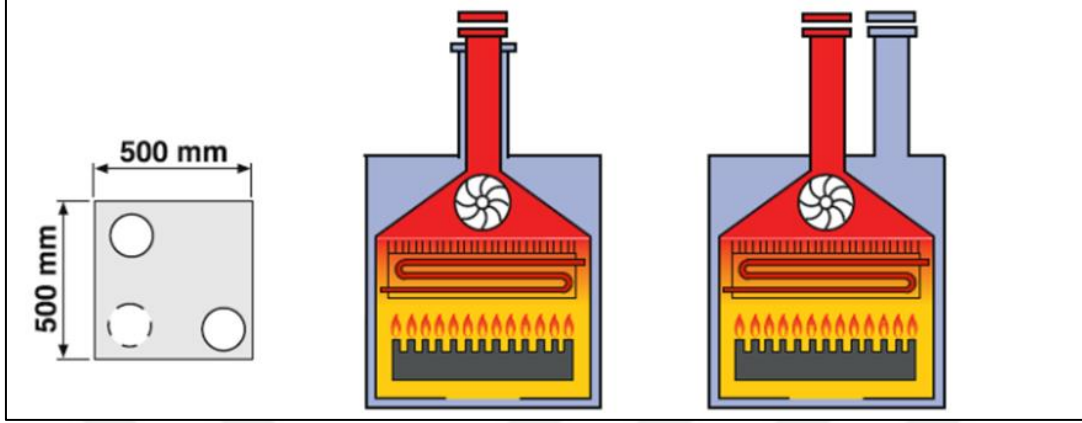
C12, C32, C42 ve C52 olarak literatüre geçen dört farklı tip baca bağlantısı vardır ve bağlantıların nasıl yapıldığı aşağıda şekillerle açıklanmaya çalışılmıştır.

C12: Yatay baca borusu ve yanma havası hatlarına sahip eş merkezli baca borusu veya birbirine paralel bağlanmış 2 boru kullanarak, doğrudan atmosfer bağlantısı kurulmasını sağlayan bağlantı şekli (belirli gaz yakıtlı kombiler) (Şekil 3.5).



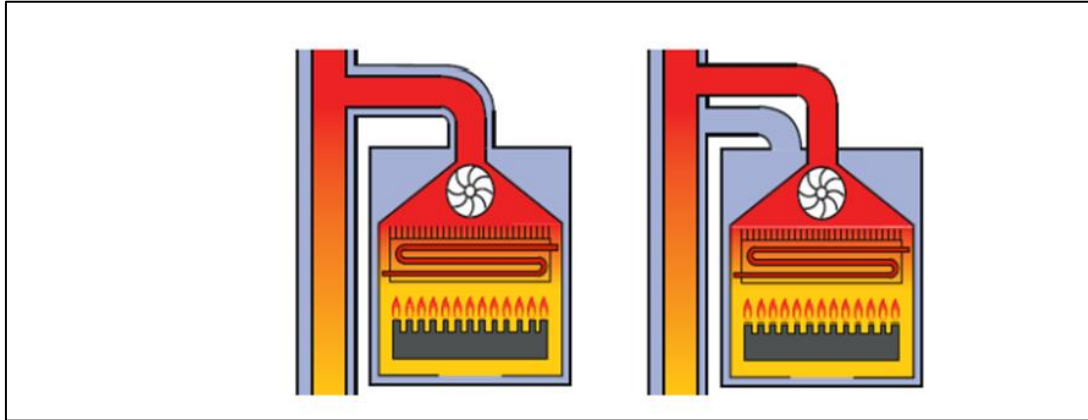
Şekil 3.5. C12 baca bağlantısı

C32 Düşey tip baca gazı ve yanma havası hatlarına sahip eş merkezli baca borusu veya birbirine paralel bağlanmış 2 boru kullanarak, atmosfer bağlantısı kurulmasını sağlayan bağlantı şekli (Şekil 3.6).



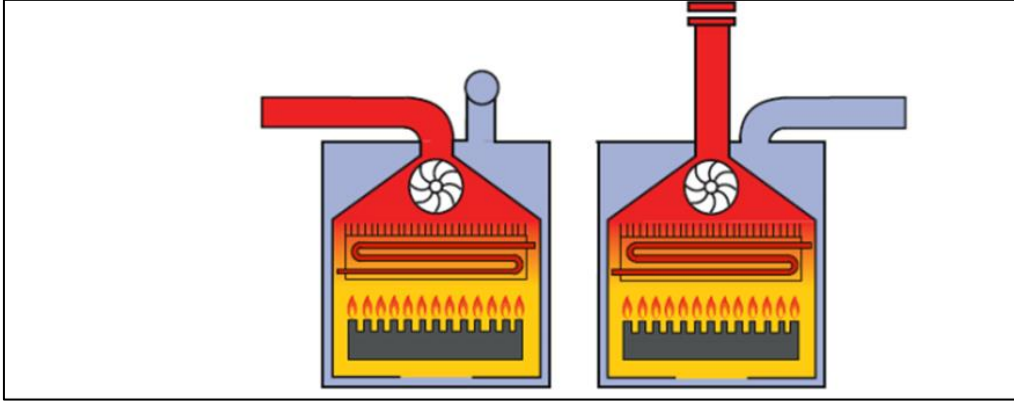
Şekil 3.6. C32 baca bağlantısı

C42 Doğalgaz veya LPG yakıtlı kombilerin, iki farklı tipte atık gaz atma amaçlı boruya sahiptir bunlardan biri yakma havası emilimi için kullanılan ve ötekisi de atık baca gazlarının dışarı atılması için 2 boru ile birlikte (eş merkezli bir baca borusu veya 2 paralel boru) aynı bacaya bağlanmak üzere kullanılan baca bağlantı şekli Şekil 3.7’de sunulmuştur [20].



Şekil 3.7. C42 baca bağlantısı

C52 Yakma havası hava girişi ile baca gazı çıkışı ayrı ayrı olan doğal gaz veya LPG yakıtlı kombiler için kullanılan baca bağlantı şekli Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Bu şekildeki baca boruları farklı basınçtaki bölgelere yönelimi gereği çıkış için uygundur. Bu bağlantı şekline sahip olan 2 ayrı baca borusu karşılıklı iki duvara yerleştirilmemelidir [20]

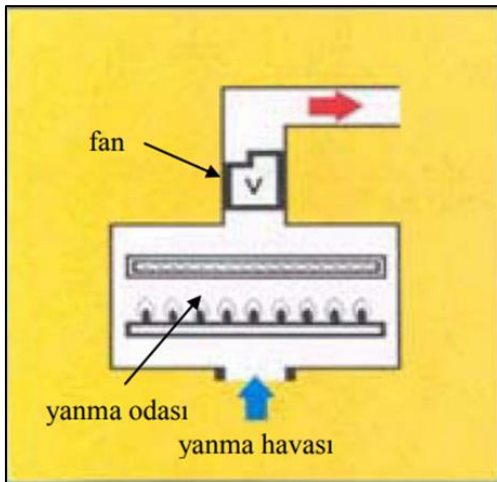


Şekil 3.8. C52 baca bağlantısı

3.1.3. Yarı hermetik kombiler

Yarı hermetik kombiler, bacalı kombilere benzer şekilde açık tip yanma odasına sahiptirler. Yanma havasını dışardan çekerler. Yanma sonucunda oluşan atık gazlar bir fan aracılığıyla dışarı atılır. Yarı hermetik kombiler baca düzeneği olmayan yerlerde veya baca çekişinin iyi olmadığı yerlerde genellikle tercih edilir. Bu kombilerin yarı hermetik olarak ifade edilmesinin sebebi atık gaz sistemlerinde fan kullanılmasıdır [21].

Şekil 3.9’da yarı hermetik kombinin çalışma şekli görülmektedir.



Şekil 3.9. Yarı hermetik kombinin çalışma şekli

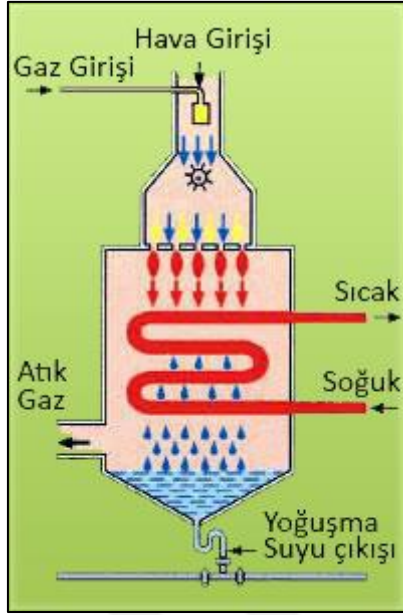
3.1.4. Yoğuşmalı kombiler

Yoğuşmalı kombilerin çalışması, kombilerde bulunan ısı değiştiricisi aracılığıyla atık gaz sıcaklığını yoğuşma sıcaklığına indirgenmesi ile baca gazı içindeki su buharının buharlaşma gizli ısının kullanılması esasına dayanmaktadır [21].

Bu sistemin, düşük sıcaklıklarda daha verimli çalışmaktadır. Yoğuşmalı kombiler alev botu ihtiyaca göre ayarlanır. Kullanılan fan modülasyonu tüketilen gaz miktarına göre yanma verimini yükseltir. Standart kombilere göre daha sessiz çalışma özelliğine sahiptir. Düşük emisyon değerleri ile de çevrecidir. Petek metrajını ayarlamak önemlidir. Kazan kapasitesinin doğru olarak seçilmesidir [21].

3.1.5. Yoğuşmalı kombilerin çalışma prensibi

2018 yılında hayatımıza girmiş olan ErP yönetmeliği daha da önemli hale gelen yoğuşmalı kombiler, atık baca gazının içerisinde bulunan su buharını yoğuşturularak ortaya çıkan ısıyı tesisata içine aktarmak üzere tasarlanmış cihazlardır (Şekil 3.10). Yoğuşma ısını atık gazdan elde ettikleri için de yoğuşmalı olmayan cihazlara göre daha verimli çalışırlar ve daha az miktarda gaz tüketmiş olurlar. Yoğuşmalı kombilerde ısıtma tesisatının alt tarafından dönen su, ilk önce yanmış olan ve sıcaklığı düşürülmüş baca gazı ile karışarak, baca gazını tesisat suyu ısına kadar soğutur. Yoğuşma sonucunda oluşan su, su tahliye borusu aracılığıyla dış ortama atılır. Baca gazı sıcaklıkları normal konvansiyonel kombilerde 200–250 °C olurken bu değer yeni nesil yoğuşmalı kombilerde 50-60 °C'dir. Konvansiyonel kombilerde baca gazı çıkış sıcaklığına bakıldığında 100 °C'nin üzerine çıkabilmektedir. Yoğuşmalı kombilerde baca gazı çıkış sıcaklığı 40-60 °C arasındadır. Yoğuşmalı kombiler, yoğuşma suyuna karşı yüksek dayanımlı alaşımlı malzemelerden üretildikleri için her şartta daha fazla enerji almayı ve tesisata aktarmayı mümkün kılar. Yüksek radyatör sıcaklığına ihtiyaç duyulan ve yoğuşmanın gerçekleşmeyeceği çok soğuk kış günlerinde dahi nispeten çok düşük baca gazı sıcaklıkları sayesinde enerji tasarrufu sağlarlar.



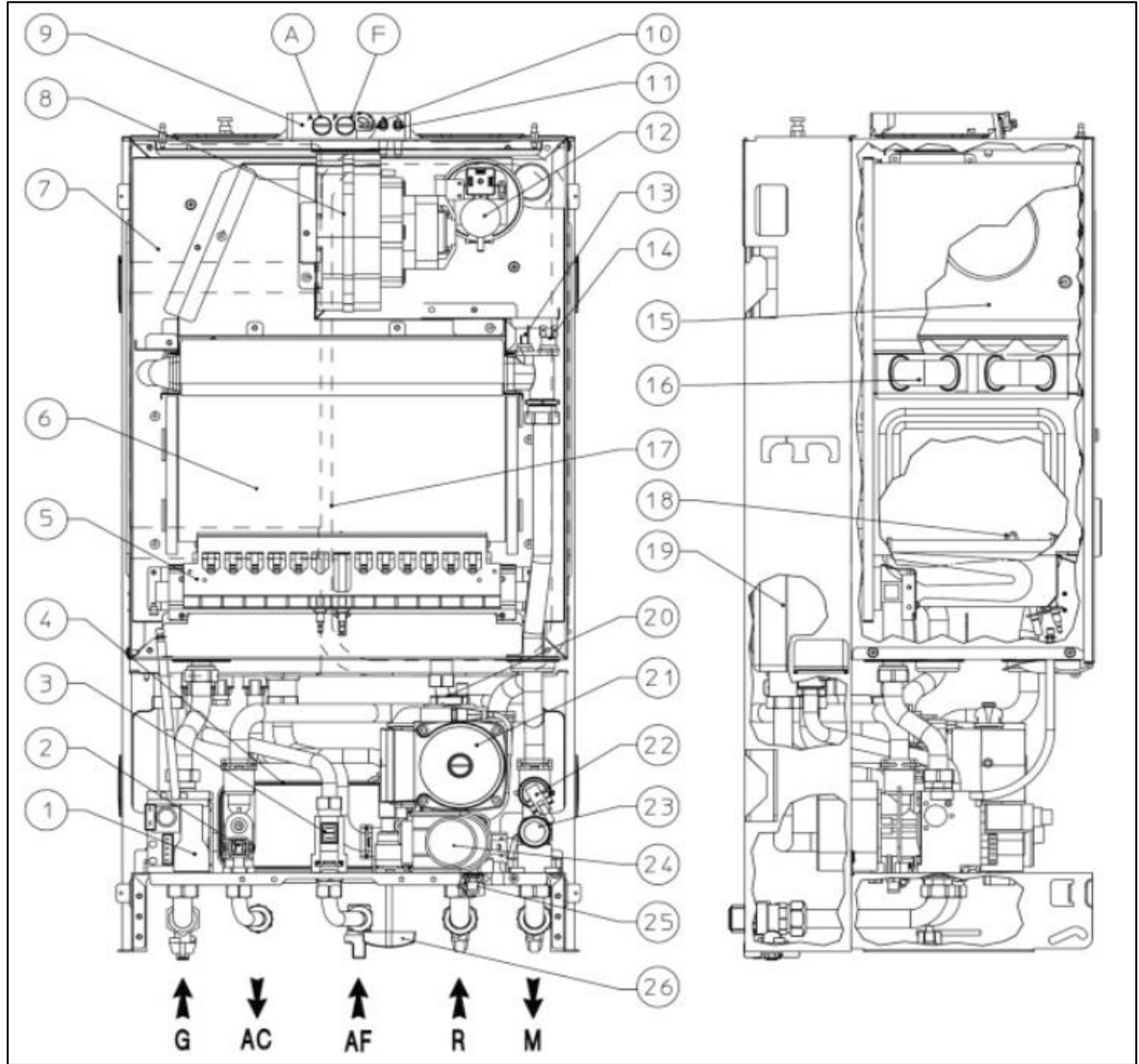
Şekil 3.10. Yoğuşmalı kombinin çalışma şekli

3.1.6. Yarı yoğuşmalı kombiler

Yarı yoğuşmalı kombilerin verimleri, tam yoğuşmalı kombilere kıyasla %6 ile %9 oranında daha düşük verime sahiptir.

Yarı yoğuşmalı kombilerin çalışma prensibi yoğuşmalı kombiler gibi olsa da, yarı yoğuşmalı kombilerde reküperatör olarak adlandırılan ek olan ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Bu ısı değiştiriciler, atık baca gazı ısısından enerji elde ederek, kullanım suyu için ön ısıtma işlemini sağlamaktadır. Bu şekilde yarı yoğuşmalı kombiler, konvansiyonel kombilere istinaden daha yüksek verime sahip olarak enerji tasarrufu sağlar.

3.2. Kombi Ekipmanları



Şekil 3.11. Konvansiyonel tip kombi elemanları

Şekil 3.11’de görülen konvansiyonel tip kombi elemanları sırasıyla 1 – Gaz vanası; 2 – Kullanım suyu probu; 3 – Kullanım suyu anahtarı; 4 – Kullanım suyu eşanjörü; 5 - Brülör; 6– Yanma Odası; 7 – Kapalı oda; 8 - Fan; 9 - Girişler (hava A) - (akış F); 10 – Pozitif sinyal basınç noktası; 11 - Negatif sinyal basınç noktası; 12 – Baca basınç şalteri; 13 – Akış probu; 14 – Güvenlik termostadı; 15 – Taslak yönlendirici; 16 – Birincil Eşanjör; 17 – Sistem genleşme tankı; 18 – Ateşleme ve algılama elektrotları; 19 – “Aqua celeris” sistemi; 20 – Hava tahliye valfi; 21 - Kazan; 22 – Sistem basınç anahtarı; 23 – Emniyet valfi; 24 – Tahrikli üç yönlü vana; 25 – Sistem boşaltma musluğu; 26 – Sistem doldurma musluğu [22].

3.2.1. Gaz valfi

Brülöre kontrollü gaz akışı sağlamak amacıyla iki adet valfe sahip olan gaz valfi 230 V AC elektrikle çalışmaktadır. Gaz valfi Şekil 3.12’de sunulmuştur. Gaz valfi, NTC sensörler aracılığıyla kombinin elektronik kartına aktarılan sinyalizasyona göre; gaz çıkış basıncını, valf açma ve kapama ayarını sağlar. Kombi modeline ve seçilen diğer yanma grubu ekipmanlarına göre değişmekle birlikte çalışabileceği maksimum giriş basıncı 60 mbar’dır [20].



Şekil 3.12. Gaz valfi

3.2.2. Fan grubu

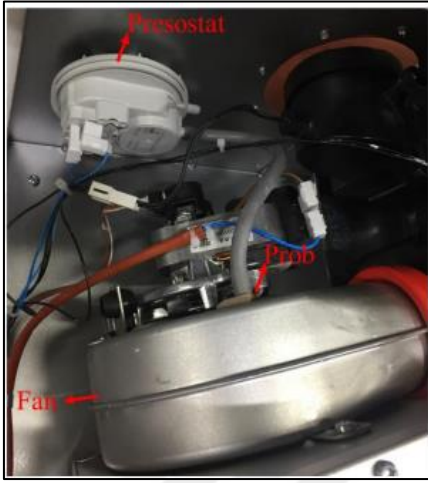
Yanma odasının üst bölümünde konumlandırılan fan, yanma sonrası açığa çıkan atık gazların hermetik baca aracılığıyla dış ortama atılmasını ve aynı baca ile dış ortamdan yanma için gerekli olan temiz havanın yanma odasını beslemesini sağlamaktadır (Şekil 3.13). Fan kısmı içerisinde bulunan ventüri yapısı sebebiyle presostat (basınç anahtarı) parçası yardımıyla atık gaz güzergahını açık veya tıkanık olduğu durumları kontrol altına almaktadır.



Şekil 3.13. Fan grubu

3.2.3. Presostat

Presostat, hermetik ve yarı yoğuşmalı kombi tiplerinde fanın çalışma halini ve yanmış gazların boşaltmasını kontrol eden emniyet parçasıdır (Şekil 3.14). Fan motorunda mevcut olan ventüriye bağlanarak, ventüri üzerinde meydana gelen basıncın etkisi ile kontakları kapatma pozisyonuna alır. Bu yolla kombi elektronik kartına, fanın çalışır durumda olduğunu ve atık gaz güzergahının açık olduğu sinyalini verir.



Şekil 3.14. Presostat, prob ve fan grubu

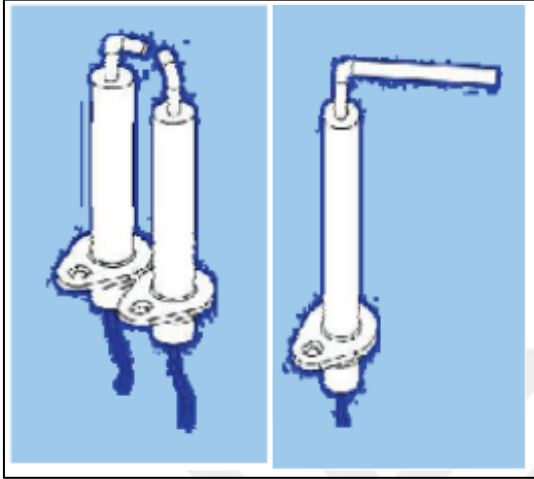
3.2.4. Brülör

Yakıt-hava karışımının ateşleme elektrotu aracılığıyla ateşlenmesi ile yanmanın gerçekleştiği parçadır. Yoğuşmalı kombi modellerinde genel anlamda, yakıt-hava karışımının yanma esnası öncesinde ön karışimli brülör modelleri kullanılmaktadır.

3.2.5. Ateşleme ve iyonizasyon elektrotu

Yanma odası içinde brülör yüzeyine yakın noktada yerleştirilmiş olan ateşleme ve iyonizasyon elektrotları (Şekil 3.15), iç kısmı özel alaşım metalden imal edilmiş, dış kısmı seramik elektriksel izolasyon sağlayan malzemeye kaplanmıştır. İlk çalışma sırasında ateşleme elektrotu, kıvılcım yardımıyla ateşleme yaparak brülör yüzeyinde alev topu oluşmasını sağlar. Alev oluşumu gerçekleştikten sonra, iyonizasyon elektrotu yanma sonucu meydana gelen iyon akımlarını, kombi elektronik kartına doğru aktarır ve elektronik kart

yanmanın meydana geldiğini ve sürdüğünü kontrol eder. Ateşleme ve iyonizasyon elektrotlarının yanma odası içinde uygun şekilde yerleştirilmiş olması, kombinin doğru şekilde çalışması açısından dikkate değerdir [19].



Şekil 3.15. Ateşleme ve iyonizasyon elektrotu

3.2.6. Ana eşanjör

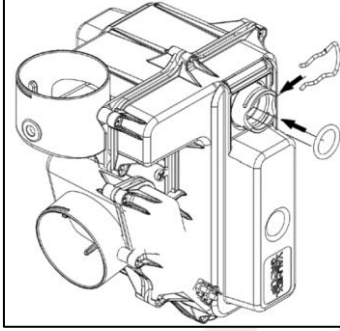
Yanma odası içerisinde yer alan, bakır malzemeden üretilmiş, monotermik (tek geçişli) ana eşanjör, oval kesitli iki borulu bir serpantinden oluşmaktadır (Şekil 3.16). Isı transfer yüzeyini arttırmak için, borular üzerine lameller yerleştirilmiştir. Yanma sonucu açığa çıkan ısı, eşanjör üzerindeki cam arasından geçerek, eşanjör içerisindeki suyun ısınmasını sağlamaktadır. Eşanjör yüzeyi yüksek ısı ve korozyona karşılık, silisyum alüminyum içerikli bir boya ile kaplanmaktadır [20].



Şekil 3.16. Ana eşanjör

3.2.7. Reküperatör

Reküperatör, baca atık gaz ısısı ve kullanım suyunun ön ısıtılmasını gerçekleştirerek kombi ısı verimini %3 ile %6 oranında arttırmaktadır (Şekil 3.17). Reküperatör içinde bulunan su, geçiş plakalarının ısı transfer yüzey alanları içerisinde geçen atık baca gazı yoğunlaşma ve de taşınım ile kullanım suyuna ısı aktarımı yaparak ön ısıtma işlemini gerçekleştirir. Reküperatörün dış kısmı ısıya, aşınmaya ve yoğunlaşma suyunun asidik yapısına dayanabilen cam elyaf katkılı polipropilen malzemeden üretilmiştir. İç kısımda bulunan eşanjör ise alüminyum karışım malzemeden üretilmiştir.



Şekil 3.17. Reküperatör

3.2.8. Sirkülasyon pompası

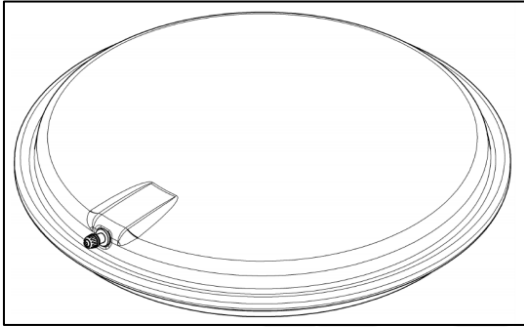
Sirkülasyon pompası (Şekil 3.18), kalorifer çevrimi dönüş hattına kurulmuş olup, ısıtma ve kullanım suyu temini esnasında, kapalı sistemde yer alan suyun çevrimini sağlamaktadır. Pompa gereksinim duyulan konfor koşuluna göre, kombi elektronik kartı ile haberleşerek frekans kontrollü sağlamaktadır. Sirkülasyon pompası içerisinde bulunan otomatik hava pürjörü, meydana gelen fazla havanın dışarı atılmasını sağlar.



Şekil 3.18. Sirkülasyon pompası

3.2.9. Genleşme tankı

Genleşme tankı, kalorifer tesisatındaki suyun ısınması sonucu ortaya çıkan hacim artışını kauçuk membranlı yapısı yardımıyla sönümleyerek, sistem basıncının devamlı sabit kalmasını sağlayan kısımdır (Şekil 3.19). 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 [20].



Şekil 3.19. Genleşme tankı

3.2.10. Plakalı eşanjör

Kullanım suyunun, ana eşanjörden gelen sıcak su ile ısıtılmasını sağlayarak, sıcak kullanım suyu gereksinimini karşılayan kısımdır. Plakalı eşanjör, hidroblok parçasına sağ ve soldan vidalı bağlantıyla kurulumu yapılmış, paslanmaz çelik plakalardan oluşturulmuştur. (Şekil 3.20). Maksimum ısı transferi olabilmesi için, plakalı eşanjör içinde, kalorifer ve kullanım suyu zıt yönlü geçiş yapmaktadır. Maksimum çalışma basıncı 15 bardır. Kombi modellerine göre farklı plaka sayılarında eşanjör kullanılmaktadır.



Şekil 3.20. Plakalı eşanjör

3.2.11. Üç yollu vana motoru

Kalorifer gidiş kanalı üzerinde, sol hidrobloka kurulmuştur. Üç yollu vana motoru, kullanım suyu gereksinimi olduğunda ana eşanjörden çıkan kalorifer suyunu kullanım suyu plakalı eşanjörüne aktarır. Her 24 saat süre sonunda üç yollu vana bir devir yapmaktadır, bu sistem sebebiyle üç yollu vananın sıkışması engellenmektedir. Üç yollu vana motorunun bölümlerinin kesit görüntüsü ile Şekil 3.21.'de gösterilmiştir. Üç yollu vana motoru, kalorifer durumunda çalışmakta iken plakalı eşanjöre giden hat kapalı vaziyette, kalorifere giden hat ise açık vaziyettedir. Ana eşanjörden gelen sıcak su aracısız kalorifere gider. Üç yollu vana motoru içerisindeki demir mil aşağı yönlüdür.

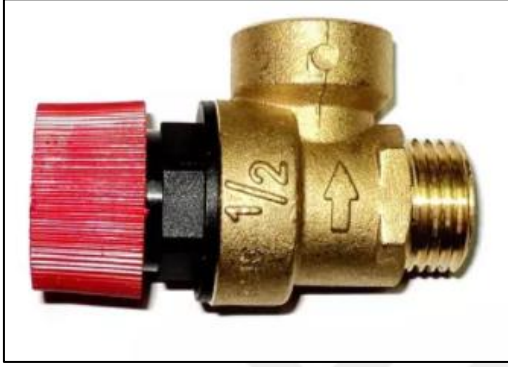
Kombi yaz konumunda veya kış konumunda çalışırken sıcak su musluğu açıldığında akış sensöründen elektronik karta sinyal iletir ve üç yollu vana kullanım suyu konumuna geçer. Bu konumda, kalorifere giden hat kapalı, plakalı eşanjöre giden hat ise açık konumdadır. Böylece ana eşanjör üzerinden gelen sıcak su doğrudan plakalı eşanjör gidiş kanalına yönlendirilmiş olunur [20].



Şekil 3.21. Üç yollu vana motoru ve parçaları

3.2.12. Emniyet ventili

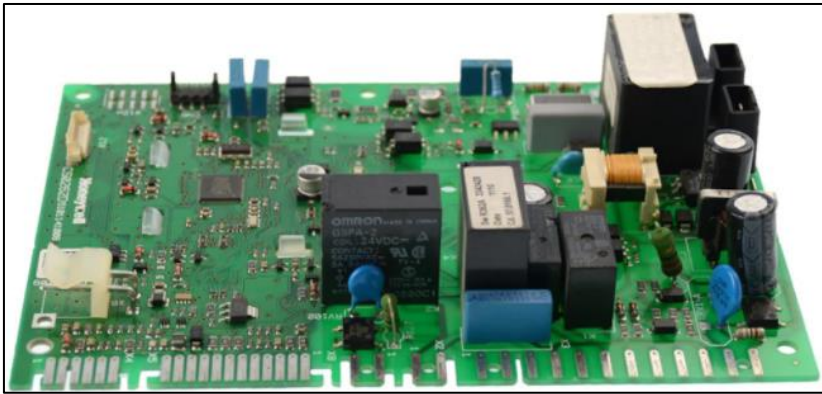
Emniyet ventili (Şekil 3.22), kombi ve kalorifer tesisatını, suyun basıncındaki muhtemel yükselmelerden korur. Kalorifer tesisatındaki su basıncı 3 barı geçerse, emniyet ventili içerisinde bulunan yay klapayı iterek otomatik olarak açar ve tesisat basıncının düşmesini sağlar [20].



Şekil 3.22. Emniyet ventili

3.2.13. Elektronik kart

Kombinin işlevsel tüm işlemleri elektronik kart sayesinde kontrol edilmektedir. Elektronik kart (Şekil 3.23), kombinin gücünü ayarlayarak ihtiyaç duyulan sıcaklığı sağlamaktadır. Elektronik kart kombinin tüm çalışmasını devamlı kontrol etmekte ve herhangi bir risk ve arıza durumunda kullanıcıyı bilgilendirmektedir.



Şekil 3.23. Elektronik kart

3.2.14. Yanma odası

Kombi yanma odası (Şekil 3.24) kapalı bir hücre olup, doğal gaz için ihtiyaç olan yanma havasını bir fan aracılığıyla dış ortamdan alır ve yanma sonucunda meydana gelen atık gazları atmosfere verir.



Şekil 3.24. Yanma odası

3.3. Kombilerde Yakma İşlemi

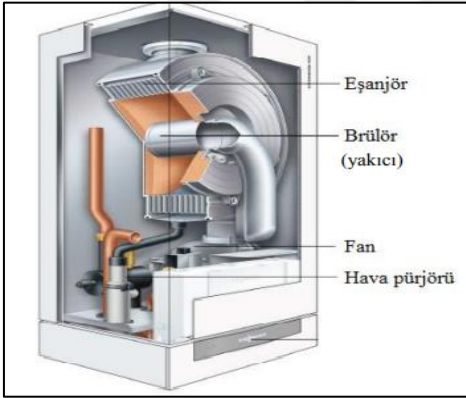
Kombilerde yakma işlemi şu şekilde gerçekleşir; yanma odasına gelen hava-yakıt karışımının ateşlenmesiyle meydana gelir. 9 temel yakma işlemi vardır. Hava/yakıt karışımının hazırlanması, yanmanın gerçekleşmesi ve atık gazın dış ortama salınması durumundan meydana gelmektedir.

Hava/yakıt karışımı bacalı tip kombilerde yanma odasının içinde oluşur (Şekil 3.25.A). Yanma odasına gelen yakıt için gereken taze hava ortamdan sağlanarak yanma gerçekleşir. Yanma sonucu oluşan ısı enerjisi bitermik eşanjör diye adlandırılan (Şekil 3.25.B) ısı değiştiricisi vasıtasıyla içinden geçen suya aktarılır. Klasik kombilerde yakıcı genel olarak paslanmaz çelik malzemeden veya döküm malzemeden imal edilir [21].



Şekil 3.25. A bacalı kombilerdeki brülör (A), Bitermik eşanjör (B)

Kombiler baz alındığında yakıcılar genel anlamda silindirik veya küresel olmak üzere modellenmiştir. Şekil 3.26'da silindirik yakıcı özelliğe sahip kombinin kesiti alınmıştır.



Şekil 3.26. Silindirik yakıcı bir kombinin kesit görünüşü

3.4. Yanmanın Temelleri

Yakıtların tutuşma sıcaklığında oksijenle tepkimeye girdiğinde ısı ile birlikte yan yanma ürünlerinin meydana gelmesi, yanma olayıdır. Yakıtın yanması esnasında havanın içerisindeki O_2 yakıt ile birleşerek yanma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Eğer ortamda bulunan hava miktarının çok ya da az olması durumunda veya olması gerektiği gibi bulunması yanmanın şeklini belirler. Hava/yakıt karışımındaki hava miktarına göre çeşitlendirecek olursak,

- Fazla hava ile yanma,
- Az hava ile yanma,
- Tam yanma

olarak adlandırılmaktadır [23].

Kimyasal tepkimelerde denklik kütlenin korunumu ilkesine dayanarak yapılmaktadır. Kütlenin korunumu ilkesine göre tepkime sonucu oluşan ürünlerdeki her bir elementin toplam kütlesi, tepkimeye giren o elementin toplam kütlesine eşit olması gerekmektedir. Ayrıca bir elementin atom sayısı, elementin toplam kütlesinin atom kütlesine bölümü olduğu için, kimyasal bir tepkime esnasında elementin toplam atom sayısı da sabit kalmaktadır.

Yanma işleminin gerçekleşebilmesi için 3 temel şartı vardır.

- Hava - yakıt karışımı
- Tutuşma sıcaklığı
- Zaman

3.4.1. Hava-yakıt karışımı

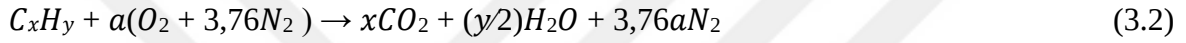
Tam olarak yanma için gereksinim olan en az hava miktarına da stokiyometrik hava denilmektedir. Bu yanma işlemine de stokiyometrik yanma adı verilir. Bir yanma işleminin gerçekleşebilmesi için en önemli faktör hava- yakıt karışımıdır. Yanma işleminin tam olarak sağlanabilmesi için hava ve yakıtın optimum düzeyde karışım oluşturmaları gerekmektedir. Karışım hızı da göz önüne alındığında yanma işlemi için önemli bir husustur. Tam yanma olması isteniyorsa yanma sıcaklığını kontrol edip belirli bir seviyede tutabilmek için gerçek yanma işlemlerinde stokiyometrik miktardan daha fazla hava gerekmektedir. Stokiyometrik miktardan daha fazla olarak ifade edilen havaya fazla hava denir. Yanma sırasında kullanılan hava miktarı, hava fazlalık katsayısı λ ile gösterilebilmektedir. Gerçek hava- yakıt oranının stokiyometrik hava - yakıt oranına bölünmesiyle Eş. (3.1) hava fazlalık katsayısı bulunmaktadır.

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{hava}}{\dot{m}_{hava, stokiometrik}} \times 100 \quad (3.1)$$

Yanma işleminde kullanılan hava dikkate alındığında yanma işlemi 4 bölümden oluşmaktadır [24].

3.4.2. Teorik (Stokiyometrik) yanma

Teorik olarak bir yakıtın tam yanmasına stokiyometrik veya teorik yanma denir. Yakıt-hava oranı iyi ayarlandığında ideal bir yanma gerçekleşir. Stokiyometrik yanma işleminde yanmamış yakıt yani CO bulunmamaktadır ya da çok az bulunur. İdeal bir yanma ele alınacak olursa baca gazında karbonmonoksit ve azot oluşması gerekir. Yanma sonucu ürünlerinde ise serbest oksijene rastlanmamaktadır. Stokiyometrik yanmada hava fazlalık katsayısı olan $\lambda=1$ ’ dir. Hidrojen ve karbon kökenli yakıtlara hidrokarbon yakıtlar olarak adlandırılmaktadır ve C_xH_y genel formülü ile gösterilirler. Hidrokarbon yakıtların stokiyometrik yanma denklemi şu şekildedir:



Burada, $a = x + y/4$ olmaktadır.

Mol veya hacimce kuru hava %20,9 O_2 , %78,1 N_2 , %0,9 argon ve az miktarda da karbondioksit, helyum, neon ve hidrojenen meydana gelmektedir. Yanma işlemi incelenirken havadaki argon azot olarak işlem görmekte ve eser miktarda bulunan diğer gazlar da göz ardı edilmektedir. Bu durumda kuru hava molce yaklaşık %21 O_2 ve %79 N_2 ’ den ibarettir. Böylece her bir O_2 molü için $0,79/0,21 = 3,76$ mol N_2 bulunmaktadır [23].

1 kmol $O_2 + 3,76$ kmol $N_2 = 4,76$ kmol hava

Bu durumda stokiyometrik hava- yakıt oranı şu şekilde bulunabilmektedir;

$$(A/F)_{stoic} = \left(\frac{m_{hava}}{m_{yakıt}} \right)_{stokiyometrik} = \frac{4,76a}{1} \frac{M_{hava}}{M_{yakıt}} \quad (3.3)$$

Burada M_{hava} ve $M_{yakıt}$ sırasıyla havanın ve yakıtın moleküler ağırlığıdır.

Yanma işlemlerinde kullanılan gerçek hava-yakıt oranının stokiyometrik hava- yakıt oranına bölümü eşdeğerlik oranı (Φ) olarak isimlendirilmektedir. Eşdeğerlik oranından dolayı hava-yakıt karışımının yakıtça zengin, fakir ya da stokiyometrik olup olmadığı anlaşılmaktadır

$$\Phi = \frac{(A/F)_{stoic}}{A/F} = \frac{A/F}{(A/F)_{stoic}} \quad (3.4)$$

Eşitlik (3.4)'de F yakıtı, A ise havayı ifade etmektedir. Eşdeğerlik oranı $\Phi > 1$ olduğu durumda yakıtça zengin, $\Phi < 1$ olduğu durumda ise yakıtça fakirdir. $\Phi = 1$ durumunda da stokiyometrik karışım olmaktadır. Çoğu yanma uygulamalarında sistem performansını belirlemek için eşdeğerlik oranı önemli bir faktördür [25].

3.4.3. Tam yanma

Hava miktarı teorik olarak gerekli hava miktarından fazla olduğunda (hava fazlalık katsayısı $\lambda > 1$) egzozda O_2 , CO_2 , H_2O , SO_2 ve NO_x görülmektedir. Yanma sırasında bütün karbon yandığında CO_2 'ye, bütün hidrojen yandığında H_2O 'ya ve eğer varsa bütün kükürt yandığında SO_2 'ye dönüştüğünde bu durumda yanma tam yanmadır. Böylece tam yanma esnasında yakıtın tam yanabilen bileşenleri tam olarak yanmaktadır.

3.4.4. Eksik yanma

Teorik olarak tam yanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli olan minimum hava miktarından daha az miktarda hava ile meydana gelen yanmaya eksik yanma ya da az hava ile yanma denir. Yanma işleminin tam olmamasından dolayı yanma sonucunda oluşan ürünler C, H_2 , CO ve OH bulunan yanma şeklidir. Yakıt zerreciklerinin oksijen zerrecikleriyle tam olarak buluşmadığı durumlarda eksik yanma diğer bir isimle az hava ile yanma meydana gelmektedir. Hava fazlalık katsayısı $\lambda < 1$ durumundadır. Bu tür yanma esnasında açığa çıkan ısı düşmekte, yakıtın ısısı istenildiği gibi kullanılamamakta ve verim düşmektedir.

3.4.5. Kısmi eksik yanma

Hava fazlalık katsayısının $\lambda > 1$ olmasına rağmen yanma esnası sonrasında C, CO, H_2 , ve OH bileşenlerin ortaya çıkmasıdır. Bu durumun nedeni ise oksijen ve yakıtın temas ettiği ölçülebilir zaman içinde yeterli karışımın yanma odasında meydana getirememesidir.

3.4.6. Tutuşma sıcaklığı

Yanma işleminin başlayıp bitmesi için yakıt zerreciklerinin oksijen zerrecikleriyle buluşmasının yanı sıra yakıtın minimum tutuşma sıcaklığında da olması gerekmektedir. Yakıt tutuşma sıcaklığının üstüne getirildiğinde yanma başlar. Bazı maddelerin atmosferik havada minimum tutuşma sıcaklığı yaklaşık benzinin 260°C, karbonun 400°C, hidrojenin 580°C, metanın 630°C ve karbon monoksitin 610°C şeklindedir [23].

3.4.7. Zaman

Yanma işleminin tamamen gerçekleşebilmesi için yakıt moleküllerinin oksijen molekülleriyle yakıtın minimum tutuşma sıcaklığında bir araya gelmesi gerekmektedir. Elverişli hava - yakıt karışımına ve tutuşma sıcaklığına ilave olarak yakıt ve oksijenin tepkimelerini tamamlayabilmeleri için yeterli zamana ihtiyaç duymaktadırlar.

3.5. Yanma Özellikleri

Yanmanın fiziksel özelliklerinin detaylı analizi yapılmadan önce anlaşılması gereken bazı önemli kavramlar vardır. İlk olarak ateşlenmenin yapılabilmesi için yakıt-hava karışımındaki yakıt konsantrasyonunun belli bir değer aralığında olması gerekmektedir. Bu değer aralığına yanabilirlik sınırı denir. İkinci olarak yanabilir karışıma belli bir enerji verilerek ateşleme gerçekleştirilmektedir. Son olarak da ilk kıvılcım verildikten sonra oluşan alev yanma hızıyla yanmamış karışıma doğru yayılmaktadır. Yanma hızı yakıcılardaki alev kararlılığı için son derece önemli bir parametredir.

3.5.1. Yanabilirlik sınırı

Yakıt-hava karışımındaki yakıt konsantrasyonu yanabilirlik sınırının dışında bir değerde olduğu zaman ateşleme meydana gelmemektedir. Yanma işleminde kimyasal tepkimelerin görülebilmesi için yakıt ve oksijen moleküllerinin reaktif çarpışmalar sergilemesi gerekmektedir. Eğer karışımda yakıt miktarı çok az, oksijen miktarı da çok fazla ise yakıt ve oksijen moleküllerinin reaktif çarpışmaları çok seyrek olmaktadır.

Yanabilirlik limiti gaz bileşenleri, sıcaklık ve basınç gibi faktörlere bağlıdır. Çizelge 3.1’de bazı gazların 25°C sıcaklık ve atmosfer basıncında yanabilirlik limitleri listelenmektedir.

Çizelge 3.1. Bazı gazların yanabilirlik sınırları (% hacimsel olarak).

GAZLAR	Asgari	Azami
Hidrojen	4,0	75
Metan	5,0	15
Etan	3,0	12,4
Propan	2,1	9,5
Bütan	1,8	8,4
Etilen	2,7	36
Propilen	2,4	11
Bütilen	1,7	9,7

3.6. Yakıt Özellikleri

Yanabilirlik özelliği olup yandıktan sonra ısı enerjisi veren maddelere yakıt denir.

Hidrojen ve karbon kaynaklı yakıtlara da hidrokarbon yakıtlar adı verilir. Hidrokarbon yakıtlar C_nH_m genel formülü ile gösterilmektedirler. Gaz hidrokarbon yakıtlardan olan doğalgazın (G20 gazı) büyük çoğunluğu metandan oluşmaktadır. Metanın haricinde içeriğinde çok az miktarda etan, propan, hidrojen, helyum, karbon dioksit, azot, hidrojen sülfür ve su buharı da bulunmaktadır. Ancak metanın haricinde çok az miktarda bulunan bu gazlar genelde ihmal edilerek doğalgaz metan (CH_4) gazı olarak düşünülmektedir. Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ise genellikle %70 bütan, %30 propan içermektedir.

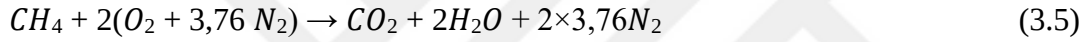
3.6.1. Metanın yanması

Hava (molce %21 oksijen, %79 nitrojen) ile birlikte metanın tam yanması sonucu karbondioksit ve su buharı oluşmaktadır.



Şekil 3.27. CH₄'in tam yanması.

Şekil 3.27'de de görüldüğü gibi metanın stokiyometrik yanması;



şeklinde olmaktadır.

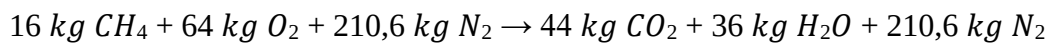
Birim yakıtı stokiyometrik olarak yakmak için gerekli olan hava miktarını teorik hava ihtiyacı (THİ) olarak tanımlayabiliriz.

CH₄' ün stokiyometrik yanması için hacimsel olarak teorik hava ihtiyacı (THİ_v):

$$THİ_v = 2(1+3,76)/1=9,52$$

olmaktadır. Yani 1 litre CH₄' ü stokiyometrik olarak yakmak için 9,52 litre hava gerekmektedir.

Aynı zamanda kimyasal denklemlerde tepkimeye giren ve tepkimeden çıkan kütleler birbirine eşit olmalıdır. (Kütlenin korunumu) Bu nedenle kimyasal denklemler kütleli olarak da yazılabilmektedir. Böylece Eşitlik (3.5)' i şu şekilde de yazabilmekteyiz.



Bu durumda CH₄' ün stokiyometrik yanması için kütleli olarak teorik hava ihtiyacı (THİm) da bulunabilmektedir.

$$(THİm) = \frac{2(32+105,3)}{1 \times 16} = 17,16$$

Buradan çıkan sonuca göre de 1 kg CH₄' ü stokiyometrik olarak yakmak için 17,16 kg havaya ihtiyaç duyulmaktadır [24].

3.6.2. Zararlı yanma sonu ürünleri

Yanma sonucunda ortaya çıkan 3 önemli partikül karbon emisyonları (CO, CO₂), nitrojen oksitleri (NO_x) ve kükürt oksitleri (SO_x) dir. Karbon monoksitin (CO) esas oluşma nedeni oksijen miktarının yetersiz oluşu ya da düşük alev sıcaklıkları yüzünden meydana gelen tamamlanmamış yanmadır. CO renksiz, kokusuz ve oldukça zararlı bir gazdır. Solunan havada CO bulunuyorsa kana kolayca geçer ve oksijenin taşındığı hemoglobine oksijenden daha kolay bağlanır. Böyle bir durumda dokulara oksijen taşınmaz ve hücre ölümleri meydana gelir. CO emisyonlarını etkileyen ana parametre hava- yakıt karışımıdır. CO, son ürünün CO₂ olduğu hidrokarbon oksidasyon sürecinde bir ara kademedir. Zengin karışımlarda yakıtta göre oksijenin eksik oluşu eksik yanmaya sebep olmakta ve CO konsantrasyonunu arttırmaktadır. Bu bakımdan yakıtta göre izin verilen en yüksek CO emisyon miktarı da standartlarda belirtilmektedir. Karbondioksit (CO₂) ise içeriğinde karbon bulunan yakıtların normal son yanma ürünüdür. Karbon içerikli yakıtların yanması sonucu oluşan CO₂ hava kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca atmosfere doğru yukarı çıkarak sera etkisine olarak adlandırdığımız kötü sonuçlara da yol açmaktadır. Yer yüzünden yansıyan güneş ışınları ilk olarak metan, karbondioksit ve su buharı atmosferde bulunan gazlar aracılığıyla emilir ve tutulur. Atmosferden çıkamayan bu ışınlar nedeniyle de dünya sürekli olarak ısınmaktadır. Yeryüzünden yansıyan bu ışınların atmosferde bu gazlar aracılığıyla emilmesine sera etkisi olarak bilinmektedir. Son dönemlerde sera etkisinin daha da ön plana çıkmasıyla CO₂ emisyonları da son derece önemli bir hale gelmiştir [26].

3.7. Yanma Modifikasyonları

Bu yöntemle yanmanın gerçekleşme şeklini farklı metotlarla kontrol altında tutup, NO_x emisyonun 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 N_2 ve O_2 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 ısı 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.

4. MATERYAL VE METODLAR

Konvansiyonel tip kombiler ideal yanma için %9 olan hava-yakıt oranını ilk yanmada gerçekleştirmekte ve sonra devam eden yanmalarda ideal olan hava-yakıt oranını sağlamamaktadır. Yoğuşmalı kombiler ideal olan hava-yakıt oranı ilk ve sonraki yanmalarda ideal hava-yakıt oranını sağlamaktadır. Konvansiyonel kombiler ideal hava-yakıt oranını her yanmada sağlayamadığı için standart olan emisyon değerlerini sağlamamakta olup çevresel etkileri artmakta ve gereken fazla yakıt kullanımına sebep olmaktadır. Gerektiğinden fazla yakıt kullanımı hem son kullanıcı hem de ülke için büyük bir maddi kayıp olmaktadır. Çevresel etkiler olarak CO ve NO_x çevreye salınım miktarları standart ppm değerlerinin üzerine çıkması durumunda çevresel etkileri artarak sera etkisi ve asit yağmurları artmaktadır. Bu gazlar, nitrik asit (HNO₃) oluşumuna neden olan zincirleme reaksiyonları oluşturur. Atmosferdeki nitrik asit (HNO₃) oluşumu ise asit yağmurlarının oluşmasını etkiler. Bu sebeplerden dolayı ideal olan hava-yakıt oranı sağlamak gerekir.

Deneyimizde farklı sıcaklık değerlerinde, farklı kullanım suyu debilerinde ve farklı fan hızlarında yanma sonucu ortaya çıkan baca gazı emisyon değerlerini ölçmek ve deney sürecinde kullanılan gaz miktarını ölçmek olacaktır. Deneyde konvansiyonel gaz yakıcı cihaz olarak kullanılan yarı yoğuşmalı kombi kullanılmıştır. Deneyde kombinin sadece kullanım sıcak suyu fonksiyonunda kullanılmıştır. Kullanım sıcak suyu 3 lt/dk, 4 lt/dk ve 5 lt/dk'lık debilerde yapılmıştır. Kullanım sıcak suyunu debisini ayarlamak için debimetre yardımıyla istenilen debi miktarına ayarlanmış olup deney süreci boyunca aynı debi ve aynı sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Kullanım suyu sıcaklığı istenilen sıcaklık değerlerine getirilinceye kadar beklenilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan kombinin teknik özellikleri.

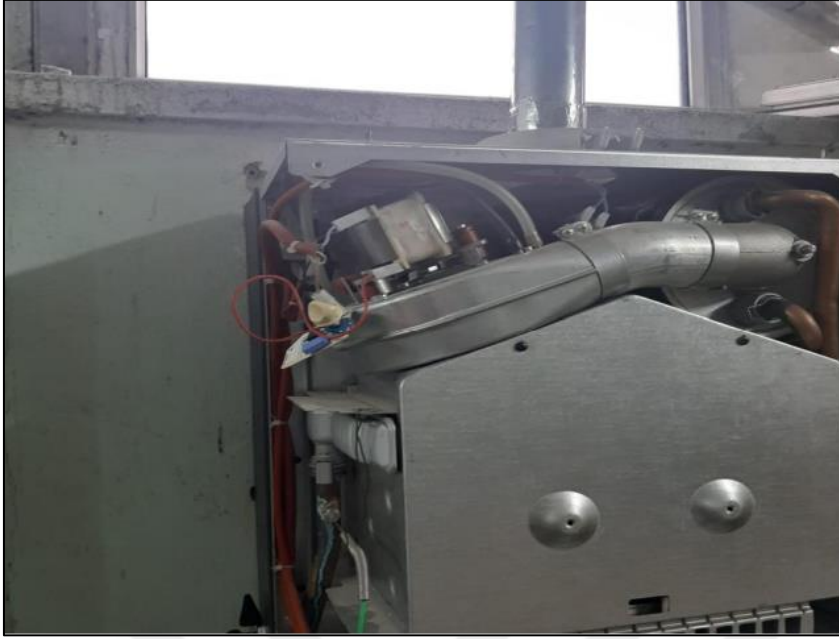
BAYMAK Luna Avant		24 Fi	31 Fi
Gaz kategorisi	kW	2H3B/P	
Maksimum Isı Yüğü- Merkezi ısıtma	kW	25,2	30,5
Minimum Isı Yüğü- Merkezi ısıtma	kW	10,6	11,9
Maksimum Isı Gücü – Merkezi Isıtma 80-60 °C	kW	24,3	29,6
Minimum Isı Gücü – Merkezi Isıtma 80-60 °C	kW	9,8	11
Maksimum Isı Gücü – Merkezi Isıtma 50-30 °C	kW	25,5	31
Minimum Isı Gücü – Merkezi Isıtma 50-30 °C	kW	10,1	11,3
Merkezi ısıtma devresi maksimum basıncı	bar	3	
Genleşme tankı kapasitesi	l	8	
Genleşme tankı ön basıncı	bar	0,5	
Kullanım suyu devresi max basıncı	bar	8	
Kullanım suyu devresi min dinamik basıncı	bar	0,15	
Minimum kullanım suyu çıkışı	l/dk	2	
Kullanım suyu debisi	l/dk	11,1	14
Baca tipi	-	C ₁₂ – C ₃₂ – B ₂₂	



Şekil 4.1. Deney seti

Seçilen niversite laboratuvarında ısıtma sistemi bulunmamaktadır ve laboratuvarın büyük bir kısmı yeraltındadır. Laboratuvar ortamı oldukça geniştir. Laboratuvar ortam sıcaklıkları minimum değişiklikler göstermektedir. Ayrıca laboratuvar ortamı kombi cihazının ürettiği ısının da atılması için uygundur. Deney laboratuvar koşullarında doğal gaz olmadığından LPG ile yapılmıştır. Deneyi LPG ile yapıldığından dolayı kombinin enjektörleri LPG'ye uygun enjektörler takılmıştır. LPG'nin yanma sonucu ortaya çıkan CO (karbon monoksit) ve NO_x (azot oksit) doğal gaz aynı olup standart değerler kabul edilmiştir. Deneyde kombinin kullanım sıcak suyu fonksiyonunu ayarlayıp debimetre yardımıyla sırasıyla 3 lt/dk, 4 lt/dk ve 5 lt/dk farklı debilerde deney gerçekleştirilmiştir. Kullanım sıcak suyunun TS 1258 standartına göre konutlarda su ihtiyaı banyosuz konutlarda günde kişi başına su ihtiyaı minimum 60 lt/gün; sadece duşu olan konutlarda minimum 80 lt/gün; kvetli konutlarda minimum 100 lt /gün olarak alınmalıdır.

Deneyde kullanım suyunu debimetre yardımıyla farklı debilerde ayarlayarak kullanım suyunun kullanım miktarının artmasıyla, deney sürecinde kullanılan yakıt miktarını ve baca gazı analizi yaparak CO ve NO_x oluşabilecek farklılar gözlenmektedir. Kullanım sıcak suyunu 40 C, 45 C ve 50 C'lerde ve bu sıcaklık değerlerinde farklı debilerde tüketilen gaz miktarı ve baca gazı değerleri ölçülmüştür. Deneyi gerçekleştirirken dış ortam sıcaklığı 15 C olan bir laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Deneyimizi farklı debilerde ve farklı sıcaklık değerlerinde 10'ar dakikalık süreçlerle gerçekleştirilmiştir. Deney fan hızını maksimum ve minimum hızlara getiren, Dimmer fan hızı ayarlama cihazı kullanılarak değişken fan hızları sağlanmıştır. Dimmer fan hızı ayarı yapılan cihaz fan devresine seri bir şekilde bağlanmıştır. Baca gazı analiz ölçüm cihazı olarak ECOM J2KN cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Dimmer fan hızı ayarlama cihazı

Baca gazı analizi yapmak için kombinin bacasından açılan bir delik yardımıyla baca gazı analiz cihazının probu yerleştirilmiş olup her deneyin 5'inci dakikasında ölçüm sonucu alınmıştır.



Şekil 4.3. Baca gazı analiz cihazı

Baca gazı analizi ve endüstriyel ölçümler için Oksijen (O_2), Karbon monoksit (CO), Azot oksit (NO), Sülfür (SO_2) veya Azot dioksit (NO_2), Hidrokarbon (C_xH_y), Hidrojen (H_2) ve Hidrojen sülfür (H_2S), Amonyak (NH_3) ve Hidroklorik asit (HCl) gazlarının ölçümü yapmaktadır. Cihazdan bağımsız ayrılabilen el kontrol ünitesi sayesinde ölçüm noktasının yanında olmanıza gerek kalmadan el kontrol ünitesinden tüm komutları ana üniteye gönderebilir tüm ölçüm değerlerini el kontrol ünitesinde görebilir ve hızlı termal veya matrix yazıcı sayesinde anlık ölçüm sonuçları yazdırılabilmektedir. Çizelge 4.2’te baca gazı ölçüm cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Baca gazı ölçüm cihazının teknik özellikleri.

ÖLÇÜLEN DEĞERLER	
O_2	0 - 21 %
CO	0 - 4000 ppm
Gaz sıcaklığı	0 - 500 °C
Hava sıcaklığı	0 - 99°C
Basınç	±100 hPa
Fark basın	±100 hPa
İç hava basınç ölçüm sensörü	300-1100 hPa
Pompa emiş debisi ölçümü	
OPSİYONLAR	
CO geniş ölçüm aralığı	0 – 10000 ppm
NO ölçümü	0 – 5000 ppm
CO %	0 – 63000 ppm
NO_2 ölçümü	0 – 1000 ppm
SO_2 ölçümü	0 – 5000 ppm
C_xH_y ölçümü	0 – 4 vol. % catalytic
H_2S ölçümü	0 – 1000 ppm
Fark sıcaklığı	

Deneyde 3 farklı sıcaklıklarda 40 °C, 45 °C ve 50 °C’lerde maksimum ve minimum fan hızlarında gerçekleştirilmiştir. Suyun sıcaklığı kombinin gidiş hattında sıcaklık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık değerini ölçmek için Elimko E-680 serisi sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Sıcaklık ölçüm cihazı yeni nesil mikrokontrollör tasarlanmış, akış ölçüm yöntemlerinde basınç ve sıcaklık kompanzasyonu yapan bir cihazdır. Sıcaklık ölçüm cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

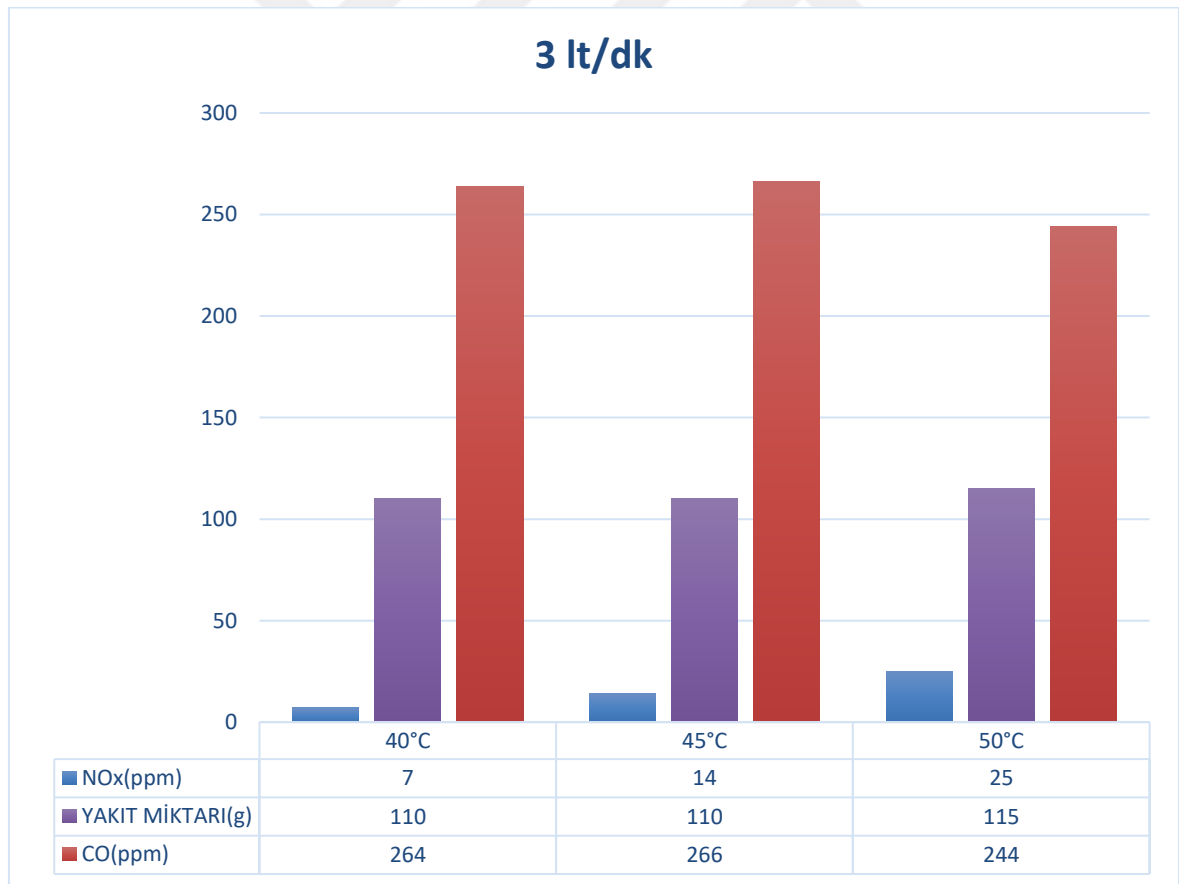
Çizelge 4.3. Sıcaklık ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Çalışma ortam sıcaklığı	-10 °C, +55°C(14°F, 131°F)
Depolama sıcaklığı	-25°C, +65°C (-13°F, +149°F)
T/C ortam sıcaklık kompanzasyonu	0°C-50°C
Çalışma gerilimi	85-265 V _{AC} / 85-375 V _{DC} 20-60 V _{AC} / 20-85 V _{DC}
Güç tüketimi	4W (7VA)
Koruma sınıfı	IP 66 Ön Panel (NEMA 4X) IP 20 Arka Panel
Kontak kapasitesi	NA Kontak 250 VAC 3A
Bellek	EEPROM maksimum 10 ⁵ yazma
Ağırlık	650 gr

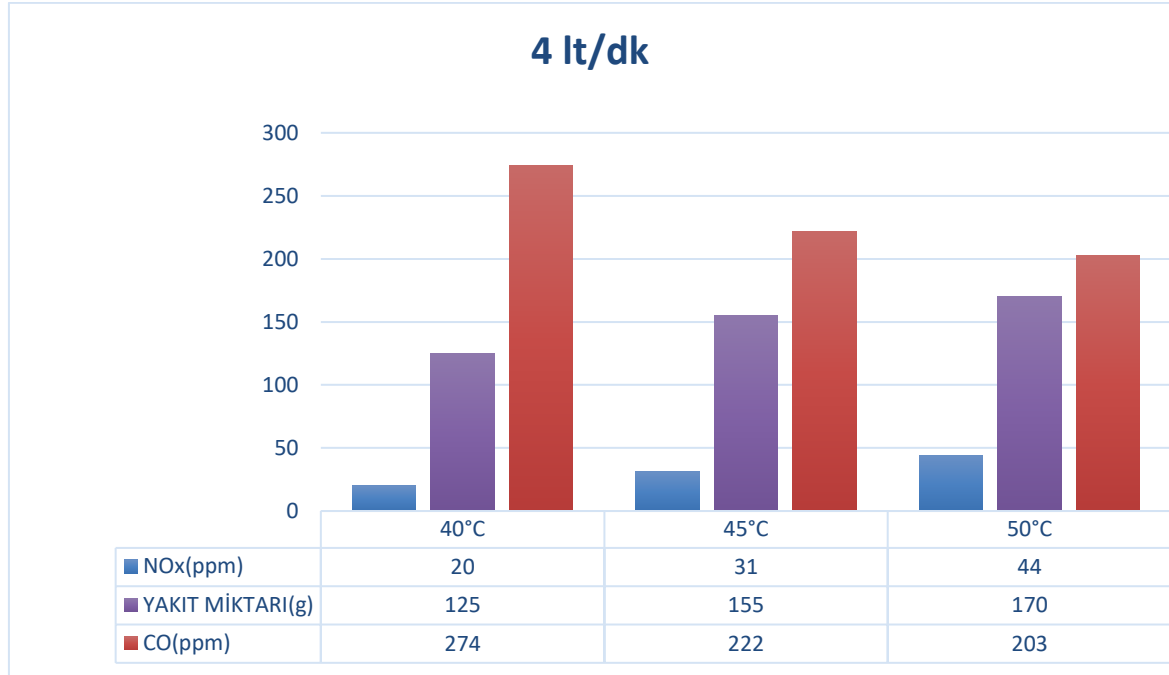


5. SONUÇ VE ÖNERİLER

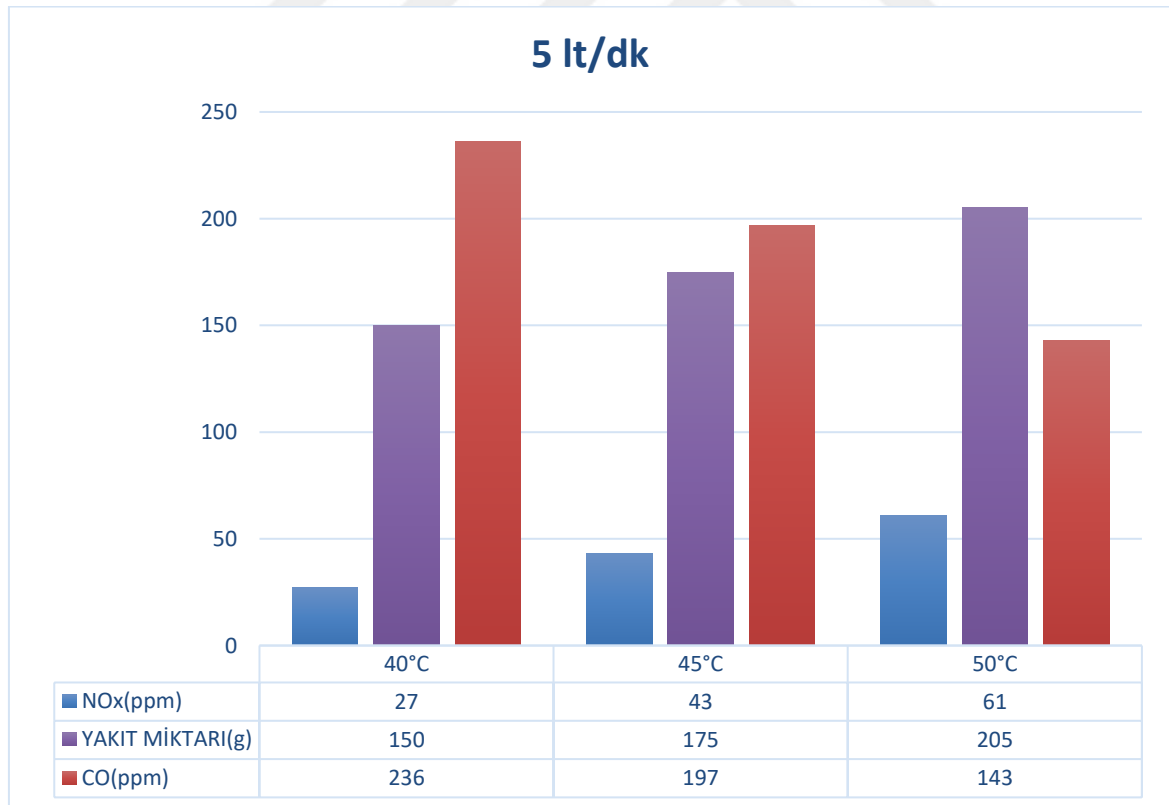
Konvansiyonel tip yarı yoğuşmalı gaz yakıcı düzeneğinde (Şekil 4.1.) yakıt olarak LPG kullanılarak 3, 4, 5 lt/dk debiler ve sırasıyla kullanım suyu sıcaklığı 40 °C, 45 °C ve 50 °C için kombi verimini en ideal düzeye getirebilmek için baca gazı analiz cihazı (Şekil 4.3.) ile baca atık gazları olan CO ve NOx, gazları incelenerek deney verileri oluşturulmuştur. Gaz yakıcı düzeneğinde 3 lt/dk debi ayarında sırasıyla 40 °C, 45 °C ve 50 °C kullanım suyu sıcaklıklarında baca gazı analizör cihazından alınan veriler ve bu sıcaklıkta yakıt kullanım miktarı Şekil 5.1’de, 4 lt/dk debi ayarında sırasıyla 40 °C, 45 °C ve 50 °C kullanım suyu sıcaklıklarında baca gazı analizör cihazından alınan veriler ve bu sıcaklıkta yakıt kullanım miktarı Şekil 5.2’de, 5 lt/dk debi ayarında sırasıyla 40 °C, 45 °C ve 50 °C kullanım suyu sıcaklıklarında baca gazı analizör cihazından alınan veriler ve bu sıcaklıkta yakıt kullanım miktarı Şekil 5.3’te, gösterilmiştir.



Şekil 5.1. 3 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıklar için baca gazı değerleri ve kullanılan yakıt miktarı.

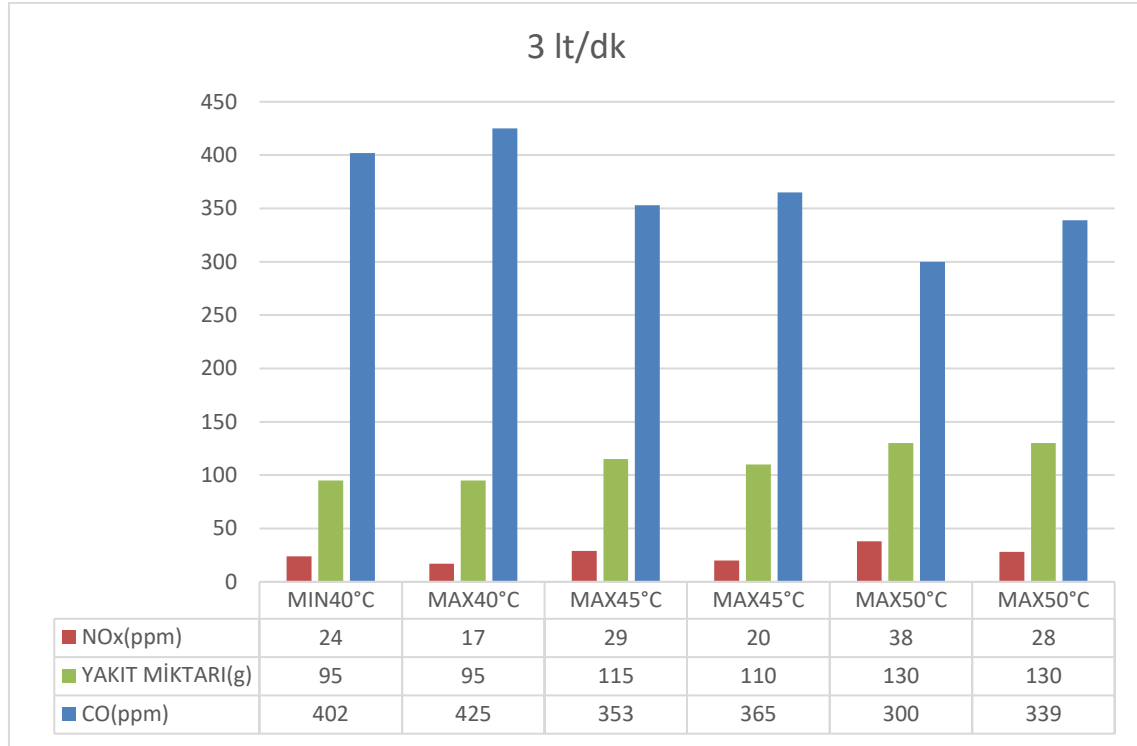


Şekil 5.2. 4 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıklar için baca gazı değerleri ve kullanılan yakıt miktarı.

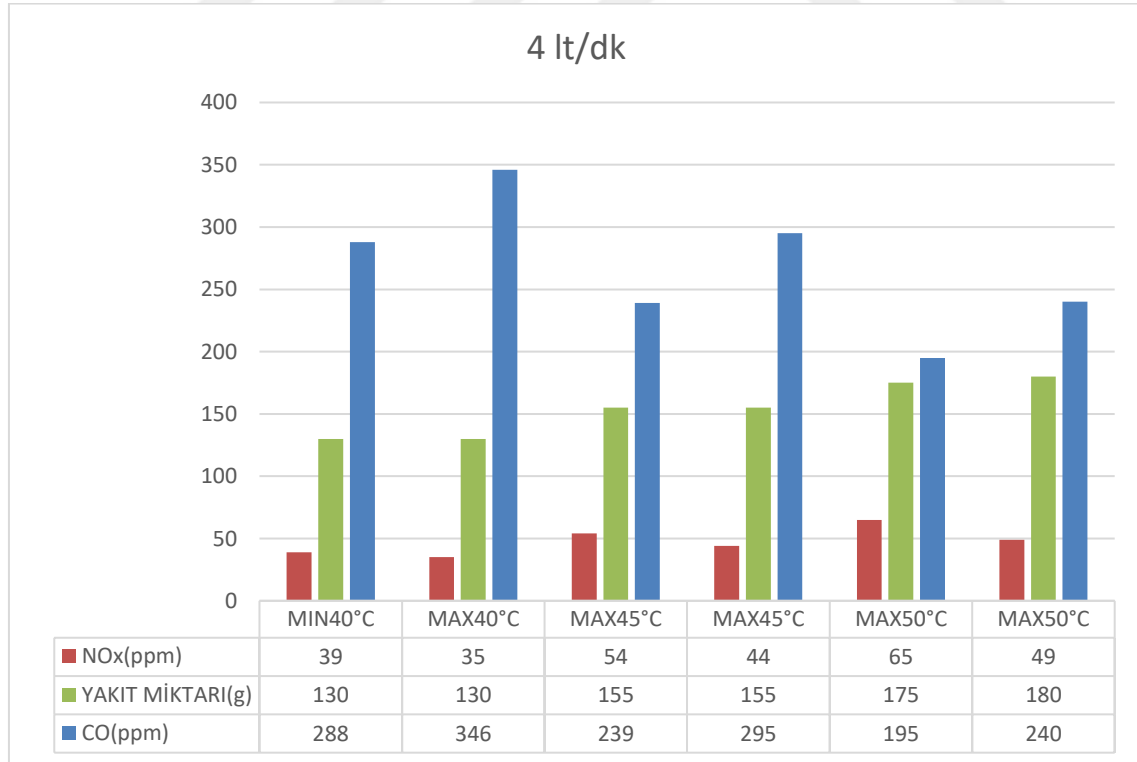


Şekil 5.3. 5 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıklar için baca gazı değerleri ve kullanılan yakıt miktarı.

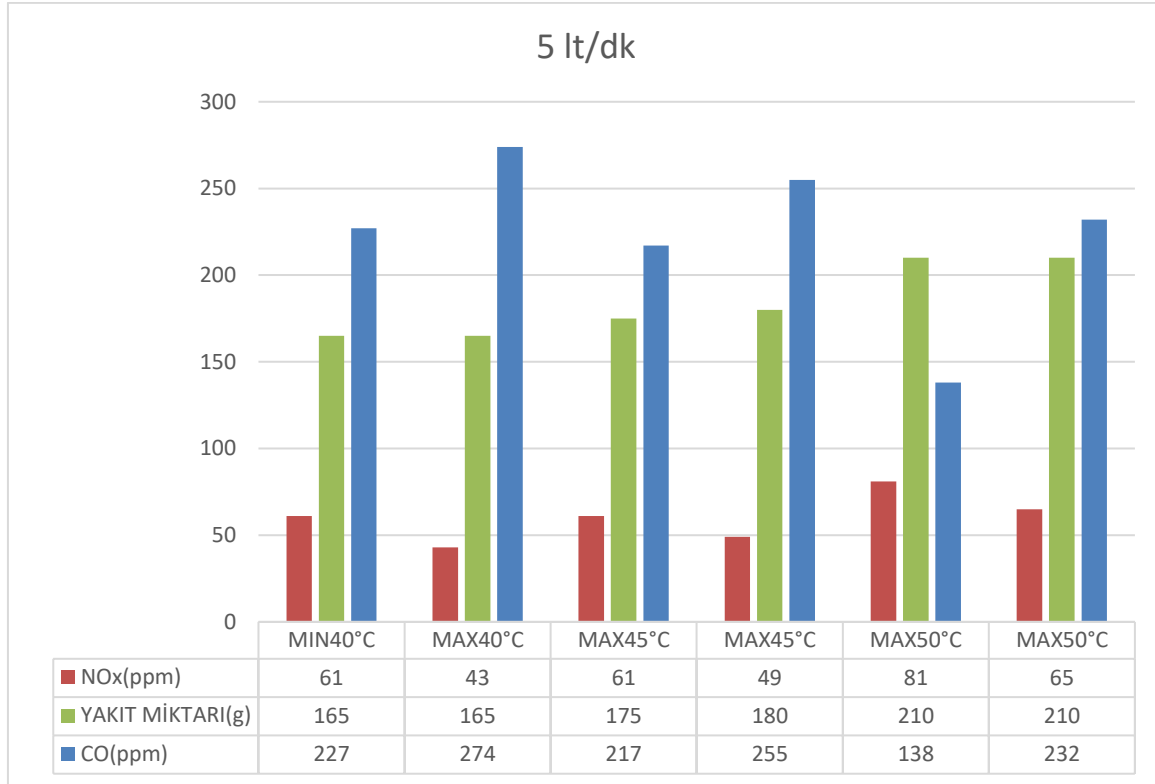
Debi ayarı 3, 4, 5 lt/dk ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıklar için baca gazı değerleri ve kullanılan yakıt miktarı incelenmiştir. Sonuçlar; kullanım suyu sıcaklığı 40 °C’de sabit iken ve debi miktarı 3 lt/dk ‘dan, 4 lt/dk’ya artırıldığında, NO_x gazı miktarında yaklaşık %185’ lik bir artış ve 4 lt/s’den, 5 lt/dk’ya artırıldığında bu oran NO_x gazı için yaklaşık %35 seviyelerimde bir artış gözlemlenmiştir. Kullanım suyu sıcaklığı 40 °C’de sabit iken ve debi miktarı 3 lt/dk’ya 4 lt/dk’ya artırıldığında, CO gazı miktarında yaklaşık %10’luk bir azalış gözlemlenmiş ve 4 lt/dk’dan, 5 lt/dk’ya artırıldığında bu oran CO gazı için yaklaşık %16 seviyelerinde azalış gözlemlenmiştir. Kullanım suyu sıcaklığı 45 °C’de sabit iken ve debi miktarı 3 lt/dk’ya, 4 lt/dk’ya artırıldığında, NO_x gazı miktarında yaklaşık %121’ lik bir artış ve 4 lt/dk’dan, 5 lt/dk’ya artırıldığında bu oran NO_x gazı için yaklaşık %39 seviyelerimde bir artış gözlemlenmiştir. Kullanım suyu sıcaklığı 45 °C’de sabit iken ve debi miktarı 3 lt/dk’dan, 4 lt/dk’ya artırıldığında, CO gazı miktarında yaklaşık %20’lik bir azalış gözlemlenmiş ve 4 lt/dk’dan, 5 lt/dk’ya artırıldığında bu oran CO gazı için yaklaşık %12 seviyelerinde azalış gözlemlenmiştir. Kullanım suyu sıcaklığı 50 °C’de sabit iken ve debi miktarı 3 lt/dk ‘dan, 4 lt/dk’ya artırıldığında, NO_x gazı miktarında yaklaşık %76’ lık bir artış ve 4 lt/dk’dan, 5 lt/ dk’ya artırıldığında bu oran NO_x gazı için yaklaşık %39 seviyelerimde bir artış gözlemlenmiştir. Kullanım suyu sıcaklığı 50°C’de sabit iken ve debi miktarı 3 lt/dk ‘dan, 4 lt/dk’ya artırıldığında, CO gazı miktarında yaklaşık %20’lik bir azalış gözlemlenmiş ve 4 lt/dk’dan, 5 lt/dk’ya artırıldığında bu oran CO gazı için yaklaşık %14 seviyelerinde azalış gözlemlenmiştir. Kullanım suyu sıcaklığı 40 °C’de sabit iken ve debi miktarı 3 lt/dk’dan, 4 lt/dk’ya artırıldığında, harcanan yakıt miktarında yaklaşık %14’lük bir artış ve 4 lt/dk’dan, 5 lt/dk’ya artırıldığında bu oran %20’lik artış gözlemlenmiştir. Kullanım suyu sıcaklığı 45 °C’de sabit iken ve debi miktarı 3 lt/dk’dan, 4 lt/dk’ya artırıldığında, harcanan yakıt miktarında yaklaşık %41’lik bir artış ve 4 lt/dk’dan, 5 lt/dk’ya artırıldığında bu oran %13’lük artış gözlemlenmiştir. Kullanım suyu sıcaklığı 50 °C’de sabit iken ve debi miktarı 3 lt/dk’dan, 4 lt/dk’ya artırıldığında, harcanan yakıt miktarında yaklaşık %47’lik bir artış ve 4 lt/dk’dan, 5 lt/dk’ya artırıldığında bu oran %20’lik artış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4. 3 lt/dk debi ile fan hızını maksimum ve minimum hızlardaki baca gazı değerleri ve yakıt miktarı.

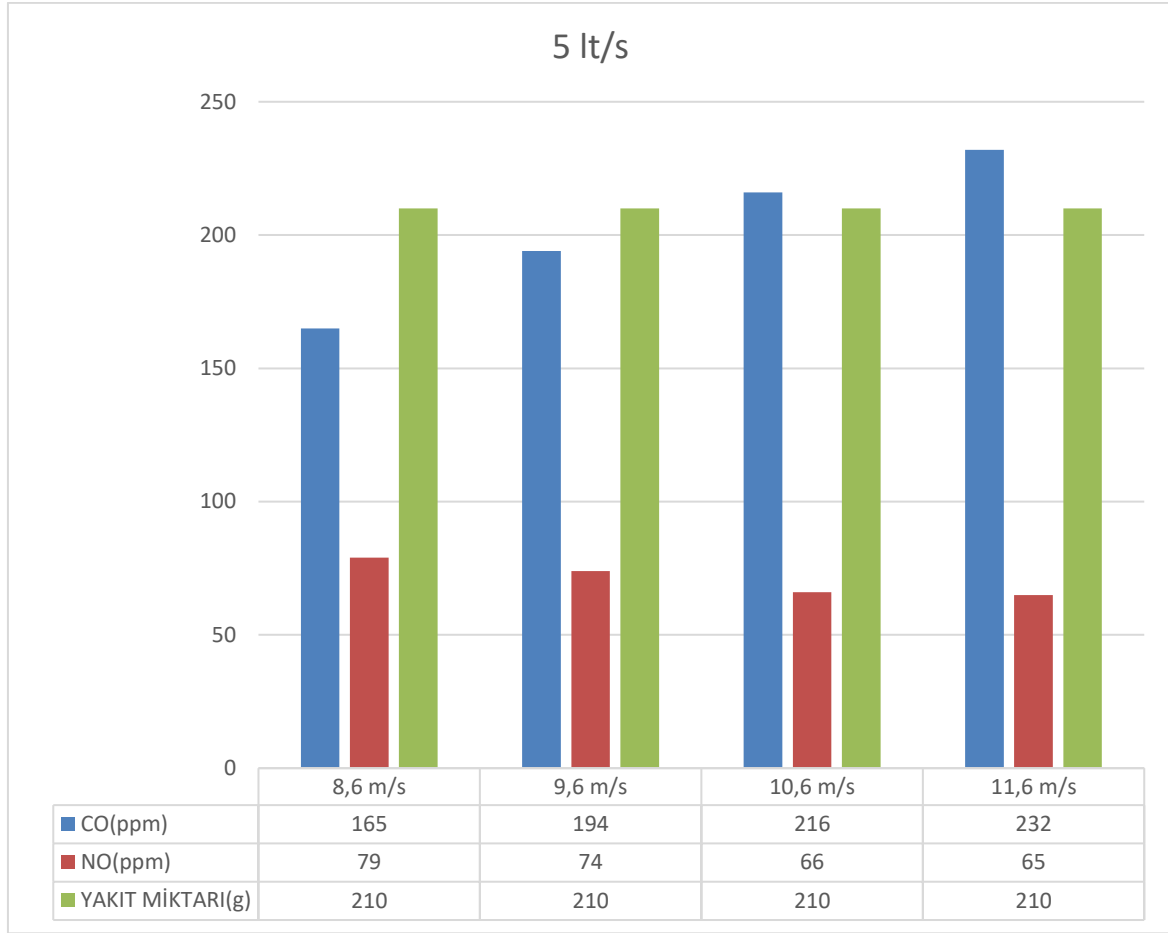


Şekil 5.5. 4 lt/dk debi ile fan hızını maksimum ve minimum hızlardaki baca gazı değerleri ve yakıt miktarı.



Şekil 5.6. 5 lt/dk debi ile fan hızını maksimum ve minimum hızlardaki baca gazı değerleri ve yakıt miktarı.

Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da görüldüğü gibi 3 lt/dk, 4 lt/dk ve 5 lt/dk kullanım suyu debilerinde, minimum fan hızında CO değerleri düşmesi görülmektedir. Bu düşmenin sebebi ise düşük fan hızında dolayı yanma odasına gelen O₂ miktarın az olmasında yani yanma odasındaki karışım, sıcaklık ve kalış süresindeki yetersizlikler sonucu kısmi eksik yanma gerçekleşmesinden dolayı CO değeri düşmekte ve NO_x miktarı artmaktadır. Maksimum fan hızında CO değerleri artmakta yanma için gereken hava miktarının karşılandığı için değerlerin yükselme ve ayrıca stokiyometrik miktardan bile fazla hava verilmesinden ve kısmi eksik yanma gerçekleşmesinden dolayı NO_x miktarı düşmesi gözlenmiştir.



Şekil 5.7. Değişken fan hızlarında 5 lt/dk debi için baca gazı değerleri ve kullanılan yakıt miktarı.

Bu deneyde değişken fan hızları kullanılarak 5 lt/dk debi için baca gazı değerlerinde gözlemlenen sonuçlar yakıt miktarında değişim olmadığı ve fan hızı artırıldığında CO değerinin arttığı, NO_x emisyonlarında ise azalma gözlemlenmiştir. Kombin fan hızını maksimum fan hızından, minimum fan hızına indirildiği zaman sıcaklık değerlerinde artış olmaktadır. Bunun sebebi ise hava fazlalık katsayısı $\lambda < 1$ olduğu için performans artışı olmuştur. Hava fazlalık katsayısı 1'den küçük olduğu durumda emisyon değerlerinde de azalma ve ısı veriminin arttığı görülmüştür.

5.1. ErP Yönetmeliği ve Baca Gazı Emisyon Değerlerinin İncelenmesi

Kombi ErP yönetmeliği 21 Nisan 2018 tarihi itibari ile ülkemizde yürürlüğe girmiştir. Bu kapsamda fosil enerji kaynak tüketimi ve sera gazına yol açacak emisyonların azaltılması amaçlanmaktadır. Kombi ErP yönetmeliğine göre NO_x emisyon değeri 56 mg/kWh'in üzerinde olan yarı yoğunlaşmalı kombilerin üretimi durdurulmuştur. Hali hazırda kullanımı

devam eden hermetik kombiler ve deneyimizde kullandığımız kombi cihazı yarı yoğuşmalı hermetik kombi olduğundan dolayı NO_x emisyon değeri bizim için ölçüt olacaktır. İdeal bir yanma sonucu ErP yönetmeliği gereği en uygun yakma şartlarını uygun debi, fan hızı değerlerine bakılarak bir yorumda bulunabiliriz. Doğal gaz veya LPG kullanılan hermetik kombiler için Çizelge 5.1.'de ve Çizelge 5.2.'de gösterilen değerler baz alınarak, ErP yönetmeliği gereği bir hesaba varabiliriz.

Çizelge 5.1. Doğal gaz için NO_x emisyon değerinin dönüşümü.

1 ppm = 2.054 mg/m ³ (1 ppm = 1 cm ³ / m ³)		G20		G25	
		mg/kWh	mg/MJ	mg/kWh	mg/MJ
O ₂ = %0	1 ppm	1.764	0.490	1.797	0.499
	1 mg/m ³	0.859	0.239	0.875	0.243
O ₂ = %3	1 ppm	2.059	0.572	2.098	0.583
	1 mg/m ³	1.002	0.278	1.021	0.284

Çizelge 5.2. LPG için NO_x emisyon değerinin dönüşümü.

1 ppm = 2.054 mg/m ³ (1 ppm = 1 cm ³ / m ³)		G30		G31	
		mg/kWh	mg/MJ	mg/kWh	mg/MJ
O ₂ = %0	1 ppm	1.792	0.498	1.778	0.494
	1 mg/m ³	0.872	0.242	0.866	0.240
O ₂ = %3	1 ppm	2.091	0.581	2.075	0.576
	1 mg/m ³	1.018	0.283	1.010	0.181

ErP yönetmeliği gereği NO_x emisyon değerleri 56 mg/kWh'dan daha düşük olmalıdır. Deneyimizde LPG kullandığımız için gerekli dönüşümleri Çizelge 5.2.'de olan değerler baz alınacaktır.

$$56 \text{ mg/kWh} = 31 \text{ ppm} \quad (5.1)$$

ErP yönetmeliği gereği NO_x emisyonu değerleri baz alındığında deney verileri incelenecek olursa deneyde kullanılan kombi eğer minimum ve maksimum fan hızlarında 3lt/dk debi ve 40 °C kullanım suyu sıcaklığı ve 3 lt/dk 45 °C kullanım suyu sıcaklığı ayarlarında

kullanılırsa ErP yönetmeliğine uygun NO_x emisyon değerini vermektedir (Şekil 5.1 ve Şekil 5.4). 4 lt/dk debi ve 40 °C ve 45°C kullanım suyu sıcaklıkları ErP yönetmeliğine uygun NO_x emisyon değerini vermektedir (Şekil 5.2). 5 lt/dk debi ve 40 °C kullanım suyu sıcaklığı da ErP yönetmeliğine uygun NO_x emisyon değerini vermektedir (Şekil 5.3).

5.2. Bir Konut İçin Gerekli Olan Kullanım Suyu Sıcaklığı İçin İdeal Yanma ve Yakıt Maliyet Hesabı

Isı mühendisliğine göre bir evin konfor şartları için gerekli kullanım suyu sıcaklığı (banyo, mutfak) yaklaşık 37-38 °C arasında bulunması temizlik açısından da önemlidir. Bir evin ortalama aylık 30 saat sıcak su kullanımı varsayılarak hesaplama yapılmıştır [32]. Daha yüksek sıcaklıklar harcanan yakıt miktarını arttıracığı için deneyimizde kullandığımız 45 °C kullanım suyu sıcaklıkları dikkate alındığında yapılacak olan hesap aşağıdaki gibidir.

5.2.1. Değişken debilerde ve 45 °C kullanım suyu sıcaklığı için maliyet hesabı

Minimum ve maksimum fan hızları (8,6-11,6 m/s) dikkate alındığında yakıt miktarı değişmediği gözlemlenmiştir (Çizelge 5.7).

Harcanan yakıt miktarı 10 dakikalık ölçümler sonucunda alınmıştır.

$$1 \text{ kg LPG} = 0,546 \text{ m}^3 \text{ LPG} [29]$$

10 dakikalık ölçüm sonrası;

$$110 \text{ gr LPG} = 0,06006 \text{ m}^3$$

1 saat ölçüm sonrası harcanan yakıt miktarı;

$$= 6 \cdot 0,06006 \text{ m}^3 = 0,36036 \text{ m}^3/\text{saat}$$

Aylık ortalama 30 saat sıcak su kullanıldığı varsayıldığında;

$$= 30 \text{ saat} \cdot 0,36036 \text{ m}^3/\text{saat} = 10,8108 \text{ m}^3 = 19,8 \text{ kg LPG gaz kullanılacaktır.}$$

LPG fiyatları baz alınacak olursa; 2020 yılı Ekim ayı AYGaz tarafından belirlenen 12 kg AYGaz maksi tombul tüp toptan satış fiyatı, 130,50 TL/adet olarak belirlenmiştir. LPG kilogram fiyatı 10,875 TL/kg'dır [28].

12 kg LPG tüp, 6,552 m³ LPG'ye eş değerdir. Deney sonrası varsayım olarak 1 aylık gaz kullanımını 19,8kg LPG yakıtı kullanılacaktır. Fiyatlandırma olarak;

$$=19,8 \text{ kg} \cdot 10,875 \text{ TL/kg} = 215,32 \text{ TL}$$

5.2.1. alt başlığında yapılan işlemler;

3 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 110 g LPG, aylık fiyat: 215,32 TL

4 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 155 g LPG, aylık fiyat: 303,41 TL

5 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 175 g LPG, aylık fiyat: 342,56 TL

5.2.2. Minimum ve maksimum kombi fan hızları, değişken debiler ve 45 °C kullanım sıcaklığı için maliyet hesabı

Alt başlık 5.2.1.'de yapılan işlemler baz alındığında minimum ve maksimum fan hızlarında harcanan yakıtların kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kombi fan hızı minimum ve maksimum hızlarda iken harcanan yakıt miktarları birbirine çok yakındır. Bu kapsamda maliyet hesabı eşitlik göz önüne alınarak yapılmıştır.

Min/Maks fan hızında, 3 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 115 g LPG, aylık fiyat: 225,11 TL

Min/Maks fan hızında, 4 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 155 g LPG, aylık fiyat: 303,41 TL

Min/Maks fan hızında, 5 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 175 g LPG, aylık fiyat: 342,56 TL

5.2.3. 3 lt/dk debi ve 40 °C, 45°C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıkları için maliyet hesabı

3 lt/dk debi ve 40 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 110 g LPG, aylık fiyat: 215,32 TL

3 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 110 g LPG, aylık fiyat: 215,32 TL

3 lt/dk debi ve 50 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 115 g LPG, aylık fiyat: 225,12 TL

5.2.4. 4 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıkları için maliyet hesabı

4 lt/dk debi ve 40 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 125 g LPG, aylık fiyat: 244,68 TL

4 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 155 g LPG, aylık fiyat: 303,41 TL
 4 lt/dk debi ve 50 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 170 g LPG, aylık fiyat: 332,78 TL

5.2.5. 5 lt/dk debi ve 40 °C, 45 °C, 50 °C kullanım suyu sıcaklıkları için maliyet hesabı

5 lt/dk debi ve 40 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 150 g LPG, aylık fiyat: 293,63 TL
 5 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 175 g LPG, aylık fiyat: 342,56 TL
 5 lt/dk debi ve 50 °C kullanım suyu için harcanan yakıt 205 g LPG, aylık fiyat: 401,29 TL

5.3. Öneriler

Yapılan deneysel çalışmada; üç farklı sıcaklık, üç farklı debi ve farklı fan hızları değeri için kombilerde yanma ve emisyonlar deneysel olarak belirlenmeye çalışmıştır. Kombi için emisyon dağılımının değişimleri tespit edilmiştir. Karbon monoksit miktarının fazla olması; eksik hava olması, hava/yakıt karışımının optimum düzeyde karışmamış olması ya da yeterince büyüklükte olmayan yanma odası sebebiyle meydana gelen eksik yanma sonucunda gerçekleşmektedir. Karbon monoksit emisyonunun yükselmesi, çoğunlukla yakıcının yanlış konumlandırılmasından ya da yanma odasına yeterince hava akışı olmaması nedeniyle artmaktadır. CO değerleri NO_x değerlerinin düşürülmesinde önemli bir görev üstlenmektedir. CO emisyon değerlerini indirmeye yönelik tedbirler ilk başta NO_x emisyon değerlerinin yükselmesine yol açabilir. Genellikle azot oksitler, oksijen ve azot elementlerinin kimyasal kombinezonudur. NO_x ya da azot oksitler genelde azot monoksit ile birlikte azot dioksit bileşenlerini içermektedir. Yanma esnasında neredeyse hemen hepsine yakını NO oluşturmaktadır. Küçük bir kısmı (< % 10 hacimsel) yanma odası içinde NO₂'ye dönüşmektedir. NO'nun geriye kalan az bir miktarı dış ortamda oksijen ile tepkimeye girerek NO₂'ye dönüşür ve NO₂'de nitrik asit oluşturur [30].

NO_x emisyonunun yakıt içerisindeki azot miktarına ve hava fazlalık katsayısı bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Deney sonuçlarında minimum fan hızında yani hava fazlalık değeri azaldıkça kombinin çalışması durumunda baca gazı analiz sonuçlarında da görüldüğü gibi CO miktarının düşme, NO_x miktarının arttığı görülmüştür. Maksimum fan hızında yani hava fazlalık değeri yükseldiğinde NO_x emisyonunun azaldığı; hava fazlalık değeri arttıkça CO emisyonunun yükseldiği ve ısı veriminin azaldığı deneyler sonucunda anlaşılmıştır. Kombide fan hızını maksimum fan hızından, minimum fan hızına

indirildiğinde sıcaklık değerlerin artma yani ısı veriminin arttığı gözlenmektedir. Çevreye yayılan CO miktarın düşmesi durumunda da yanma sonucu kombiler atılan baca gazı çevresel etkileri azalma olacağından sera gazlarının azalması ve asit yağmurlarının sebep olacak etkilerinin azalacağı ön görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda kombi fan hızları değiştirildiğinde harcanan yakıt miktarlarında değişimin olmadığını anlamaktayız. Kombi fan hızının etki ettiği durum yakıt hava karışımı ile birlikte yanma gerçekleştirildiğinde CO ve NO_x emisyonlarında değişime yol açmaktadır. Çevresel açıdan bakıldığında ideal bir yanma sonucu NO_x emisyonlarının düşük olduğu ve harcanan yakıt miktarının az olduğu deneyler saptanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda konfor şartları göz önüne alınarak şu sonuca ulaşabiliriz; 3 lt/dk debi ve 45 °C kullanım suyu için yapılan deneyler NO_x emisyonlarının ErP yönetmeliği kapsamında yaklaşık olarak uygun olduğu, harcanan yakıt miktarı da diğer debi ve kullanım suyu sıcaklıklarına göre de uygun olduğu yapılan deneyler sonucunu göstermiştir.



KAYNAKLAR

1. IEA (International Energy Agency). (2019). Key World Energy Statistics, Paris, France.
2. Keçebaş A., Gedik E., ve Kayfeci M. (2010). Fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan hava kirliliği üzerine jeotermal enerji ve doğalgaz kullanımının etkisi: Afyon örneği. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(3), 23-30.
3. Omer, A.M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265-2300.
4. Afshari, F., Comakli, O., Karagoz, S., and Zavaragh, H.G. (2018). A thermodynamic comparison between heat pump and refrigeration device using several refrigerants. *Energy and Buildings*. 168, 272-283.
5. Omar, M, A., Altınışik, K., ve Reşitoğlu, İ, A. (2015). Kombiler için yarı küresel gözenekli metal matris yakıcının geliştirilmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 35(2), 137-143.
6. Koca, T., ve Aksungur, S. (2018) *Hermetik ve yoğuşmalı kombi cihazlarının performanslarının deneysel olarak karşılaştırılması*. 2. Uluslararası Mesleki Bilimler Sempozyumunda sunuldu, Türkiye, IVSS 2018.
7. Çengel, Y.A. and Boles, M.A. (2006). *Thermodynamics: An engineering approach*, (Fifth Edition), New York: McGraw-Hill. 60, 86-112.
8. Cantürk, B.I. (2015). *Bir yakıcıda emisyonu etki eden parametrelerin incelenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 23, 412-470.
9. Turns, S.R., (2000). An introduction to combustion, concepts and applications, (Second Edition), New York: McGraw-Hill. 56(4), 42-55
10. El-Mahallawy, F. and El-Din Habik, S., (2002). *Fundamentals and technology of combustion*, (First Edition), Amsterdam: Elsevier.
11. Liu, F., Zheng, L., and Zhang, R., (2020). Emissions and thermal efficiency for premixed burners in a condensing gas boiler. *Energy*, 202, 117-118.
12. Keramiotis, C., Stelzner, B., Trimis, D. and Founti, M., (2011). Porous burners for low emission combustion: An experimental investigation. *Energy*, 45, 213-2019.
13. Lin, X., Zhang, Y. and Miao, Z., (2018). Experimental research on gas interchangeability indices for domestic fully premixed burners. *Fuel*, 233, 695-703.

14. Neeld, T., Eaton, J., Naylor, P.A. and Shipworth, D., (2016). A novel method of determining events in combination gas boilers: assessing the feasibility of a passive acoustic sensor. *Building and Environment*, 100, 1-9.
15. Omar, M, A., Altınışik, K., Sertkaya, A, A. and Adigüzel, N., (2016). Bir konutun ısı enerjisi ihtiyacının yoğunlaşmalı ve konvansiyonel kombi kullanılarak karşılanması ekonomik analizi. *Mugla Journal of Science and Technology*, 2(1), 38-42.
16. Dehaj, M, S., Ebrahimi, R., Shams, M. and Farzaneh, M. (2017). Experimental analysis of natural gas combustion in a porous burner. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 84, 134-143.
17. Ilbas, M. ve Yılmaz, I., (2002). Farklı ısı güçlerindeki kazanlarda yanma ve emisyon davranışının araştırılması. *Erciyes Üniversitesi FBE Dergisi*, 18 (1-2), 18-27.
18. Böke, Y, E., Akgüngör, A, A. and Aydın, C., (2001). *Doğal gaz yanması ve emisyon oluşumu*. II. Çevre Kongresinde sunuldu, İstanbul.
19. 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, 2493-2508.
20. İlbaş, M., Karyeyen, S., ve Çilingir, K. (2016). Ön karışimsız ve ön karışimli metan alevlerinin baca yanma parametrelerinin deneysel olarak incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 357-365.
21. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. (2015). Tesisat teknolojisi ve iklimlendirme. Ankara: MEGEP.
22. Daikin A.Ş. (2013). *Airfel integrity montaj ve kullanım kılavuzu*, 45.
23. Daikin A.Ş. (2014). *Daikin yetkili servisleri için digifel – digifix konvansiyonel kombi eğitim kitabı*, 21.
24. Bosch (2014). Thermotechnology internal documents, 38.
25. Variyenli, H, I., Khanlari, A., (2020). Analyzing the environmental effects of conventional and condensing combi boilers using natural gas. *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1277-1284.
26. Atmaca, U, A., Erek, A., Altay, H, M. (2015). Investigation of transient behaviour of combi boiler type appliances for domestic hot water. *Applied Thermal Engineering*, 82, 129-140.

27. Blondeau, J., Rijemenans, L., Annendijk, J., Heyer, A., Martensen, E., Popin, I., Wijittongruang, A. and Holub, L., (2018). Burner air-fuel ratio monitoring in large pulverised-fuel boilers using advanced sensors: case study of a 660 mwe coal-fired power plant. *Thermal Science and Engineering Progress* 5, 471-481.
28. İnternet: AYGaz. URL: <https://www.aygaz.com.tr/tupgaz/fiyatlar>. Son Erişim Tarihi: 26.11.2019.
29. İnternet: ELGAS. URL: <https://www.elgas.com.au/blog/389-lpg-conversions-kg-litres-mj-kwh-and-m3>. Son Erişim Tarihi: 26.11.2019.
30. Soroşbay, C., (2017). Karayolu ulaşımından kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının çevreye etkisi ve kontrolü. *MMO, İTÜ, Makine Fakültesi Otomotiv Enstitüsü*.
31. Sayın, C., Göktaş, M., (2020). Buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanımının performans, emisyon ve yanma karakteristikleri açısından incelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 36(1), 52-58.
32. Güler, H., Ülkü, S. (2007). Bitişik nizamlı villa tipi konutlarda yapısal konfor koşulları üzerine bir araştırma. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12(2), 42-46.





GAZİ GELECEKTİR..