T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI

OKSİJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ LPG YAKITININ YANMA KARARSIZLIĞININ İNCELENMESİ

Hazırlayan
Kamil MUTLU

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Murat TAŞTAN

Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2021
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI

OKSİJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ LPG YAKITININ YANMA KARARSIZLIĞININ İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Kamil MUTLU

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Murat TAŞTAN

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FLY-2020-10631 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Haziran 2021
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Kamil MUTLU

İmza :

YÖNERGEYE UYGUNLUK

"**Oksijenle Zenginleştirilmiş LPG Yakıtının Yanma Kararsızlığının İncelenmesi**" adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan	**Danışman**
Kamil Mutlu	Dr. Öğr. Üyesi Murat TAĞTAN

Sivil Havacılık ABD Başkanı

Prof. Dr. Ülke TÜRKMEN

TEŞEKKÜR

ÇalıĢmalarımın her aĢamasında farklı bakıĢ açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat TAĞTAN' a teĢekkürü ederim.

Bu tez çalıĢmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel AraĢtırma Projeleri Birimi'ne (FLY-2020-10631) teĢekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aĢamasında babana destek olan annem Aynur MUTLU ve babam Mustafa MUTLU' ya teĢekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalıĢmalarımda beni destekleyen eĢim Fatma MUTLU' ya ve varlığıyla beni mutlu eden oğlum Mustafa Kağan MUTLU' ya teĢekkür ederim.

Kamil MUTLU

Haziran 2021, KAYSERĠ

OKSİJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ LPG YAKITININ YANMA KARARSIZLIĞININ İNCELENMESİ

Kamil MUTLU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat TAŞTAN

ÖZET

İnsan nüfusunun artışıyla kullanılan enerji miktarı da artmaktadır ve bu artış küresel ısınmaya yol açan hava kirliliğine neden olmaktadır. Oksijenle zenginleştirilmiş yanma, hava kirliliğine yol açan baca gazı emisyonu miktarının düşürmeyöntemlerinden biridir. Bu tez çalışmasında ana yakıt olarak %100 saflıkta propan içeren LPG gazı kullanılmıştır. Çalışmalar ön karışımlı model bir yanma odasında gerçekleştirilmiştir. Yanma için gerekli olan oksijen miktarı artırılarak oksijenle zenginleştirilme yapılmıştır. Oksijenle zenginleştirilmiş LPG'nin yanması sonucu oluşan emisyon ve sıcaklık değişimleri tespit edilmiştir. Aynı zamanda yanma odası doğal akustik modları olan 110, 185 ve 330 Hz' de hoparlörler vasıtasıyla akustik zorlama uygulanmıştır ve alev kararsızlığı takip edilmiştir. Çalışma sonucunda; oksijen miktarının artması ile CO emisyonunun azaldığı, adyabatik alev sıcaklığı ve NO_x emisyonunun arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ön Karışımlı Yanma, Akustik Zorlama, Oksijenle Zenginleştirilme, LPG Yakıtı

INVESTIGATION OF COMBUSTION INSTABILITY OF LPG FUEL ENRICHED WITH OXYGEN

Kamil MUTLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, June 2021

Supervisor: Dr. Murat TAŞTAN

ABSTRACT

Energy consumption has been increased with increasing of human population and so environmental pollution has been increased. As a consequence of environmental pollution, global warming has been occur. Oxygen enrichment combustion is one of methods that reduce flue gas emission. In this study, LPG that consist of %100 propane has been used as a fuel. The oxygen enriched combustion study was carried out by increasing oxygen ratio in the air used for combustion. Combustion study has been performed experimental condition that has premixed and swirl. Flue gas emission value and temperature effect of Oxygen enriched combustion was investigated. Acoustic enforcement was applied on flame by means of loudspeaker and so flame instability was observed by changing enforcement level. This study results that CO emission decreases and adiabatic flame temperature and NO_x emissions increases as oxygen ratio increases.

Keywords: Premixed combusation, Acoustic enforcement, Oxygen enrichment, LPG fuel

İÇİNDEKİLER

OKSİJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ LPG YAKITININ YANMA KARARSIZLIĞININ İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK iii

YÖNERGEYE UYGUNLU iv

TEşEKKÜR vi

ÖZET viii

ABSTRACT vii

İÇİNDEKİLER viii

KISALTMALAR x

TABLOLAR LİSTESİ xi

şEKİLLER LİSTESİ xii

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR TARANASI

1.1. LPG Yakıtı 2

1.2. Oksijenle Zenginleştirilmiş Yanma 5

1.3. Ön Karışımlı Yanma 8

1.4 Akustik Kararsızlık 10

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş…… 12

2.2. Deney Düzeneği 13

2.2.1. Yanma Odası 15
2.2.2. Brülör (Yakıcı) 16
2.2.3. Kütle Akış Kontrolörü ve Vakum Sistem Kontrolörü 17
2.2.4. Ön Karıştırıcı 19
2.2.5. Basınçölçer ve Isıl Çiftler 20
2.2.6. Emisyon Ölçüm Cihazı 22
2.2.7. Hoparlör 23
2.2.8. Tüpler, Regülatör ve Kompresör 26
2.2.9. Girdap Üreteci 30

3. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI

3.1. Oksijenle Zenginleştirmenin Yanma Üzerine Etkisi 32

3.1.1. Oksijence Zenginleştirmenin NOx Emisyonuna Etkisi 32
3.1.2. Oksijence Zenginleştirmenin CO Emisyonuna Etkisi 34
3.1.3. Oksijence Zenginleştirmenin Sıcaklığa Etkisi 35
3.1.4. Oksijence Zenginleştirmenin Aleve Etkisi 36
3.2. Akustik Zorlamanın Yanma Üzerine Etkisi 38

3.2.1. Akustik Zorlamanın NO emisyonuna etkisi 39
3.2.2. Akustik Zorlamanın CO Emisyonu Üzerine Etkisi 40
3.2.3. Akustik Zorlamanın Sıcaklık Üzerine Etkisi 40
3.2.4. Akustik Zorlamanın Aleve Etkisi 41

4.BÖLÜM

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

4.1.Sonuçlar…. 44

4.2.Öneriler…. 45

KAYNAKÇA 46

ÖZGEÇMİŞ 50

KISALTMALAR

LPG: Liquid Petroleum Gas

CNG: Compressed Natural Gas

LNG: Liquefied Natural Gas

DME: Dimethyl Ether

MPa: Megapascal

K: Kelvin

g: gravity

°C: centigrade

λ: hava fazlalık oranı

ppm: parts per million

Φ: eĢdeğerlik oranı

kW: kilowatt

Hp: Horsepower

mbar: milibar

slpm: standart litre per minute

dB: Desibel

OFR: Oxygen Feeding Ratio

FDF: Flame Describing Function

mV: millivolt

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Ülkelere göre LPG yakıtındaki propan/bütan oranı 3
Tablo 1.2. Ülkelere göre günlük üretilen LPG miktarı 4
Tablo 1.3. Ülkelere göre günlük tüketilen LPG miktarı 4
Tablo 1.4. Türkiye'deki araçların yüzde olarak kullanmış oldukları yakıt türü 4
Tablo 1.5. Alternatif yakıt ve enerji içerikleri 5
Tablo 1.6. Propan gazının kimyasal özellikleri 5
Tablo 2.1. Emisyon cihazı ölçüm hata ve ölçüm aralığı 22
Tablo 2.2. Girdap numarası ve özellikleri 31
Tablo 3.1. Zeldovich mekanizması 33
Tablo 3.2. Oksijen oranı-baca gazı sıcaklığı 35
Tablo 3.3. Akustik zorlama-NO emisyonu 39
Tablo 3.4. Akustik zorlama-CO emisyonu 40
Tablo 3.5. Akustik zorlama-Sıcaklık değişimi 40
Tablo 3.6. Akustik zorlama- Işık şiddeti tablosu 43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ön karışımsız yanma 9
Şekil 1.2. Ön karışımlı yanma 9
Şekil 2.1. Deney sistemi şeması 14
Şekil 2.2. Deney düzeneği 15
Şekil 2.3. Şekil Yanma odasının genel görünümü 16
Şekil 2.4. Yakıcı görünümü 17
Şekil 2.5. Hava kütle akış kontrolörü 18
Şekil 2.6. Yakıt kütle akış kontrolörü 18
Şekil 2.7. Vakum sistem kontrolörü 19
Şekil 2.8. Ön karıştırıcı 19
Şekil 2.9. Basınç ölçer ve ısıl çiftler 20
Şekil 2.10. Isıl Çiftler 21
Şekil 2.11. Piezo-dirençli basınçölçer 21
Şekil 2.12. Dinamik basınç sensörü 22
Şekil 2.13. Taşınabilir emisyon ölçüm cihazı 23
Şekil 2.14. Hoparlör 24
Şekil 2.15. Yanma odasında hoparlörlerin bulunduğu kısımlar 24
Şekil 2.16. Fonksiyon jeneratörü 25
Şekil 2.17. Amplifikatör 25
Şekil 2.18. Osiloskop 26
Şekil 2.19. Kompresör 27
Şekil 2.20. Hava depolama tankı 27
Şekil 2.21. Hava filtresi 28
Şekil 2.22. LPG tüpü (sol) ve Oksijen Tüpü (sağ) 29
Şekil 2.23. Regülatör 29
Şekil 2.24. Girdap üreteci tasarımı 30
Şekil 2.25. Girdap üreteçleri 31
Şekil 3.1. Oksijen Oranının NO Emisyonuna Etkisi 33
Şekil 3.2. Oksijen Oranının CO Emisyonuna Etkisi 34
Şekil 3.3. Oksijen oranının sıcaklığa etkisi 35

Şekil 3.4. Oksijen oranının alev parlaklığına etkisi 36
Şekil 3.5. Oksijen oranı-Işık Şiddeti 37
Şekil 3.6. Oksijen oranı-Dinamik basınç 38
Şekil 3.7. Akustik zorlama- Dinamik basınç grafiği 39
Şekil 3.8. Akustik Zorlama-Alev kararsızlığı 41
Şekil 3.9. Zorlama-Işık Şiddeti grafiği 42

GİRİŞ

Enerji kaynaklarımızın sınırlı olması nedeniyle aynı miktar yakıttan daha fazla enerji elde edilmesi konusu gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Diğer bir önemli husus ise hava kirliliği konusudur. Ġnsan nüfusunun artması ile enerji tüketimi artmaktadır ve bunun sonucu olarak da hava kirliliği oluĢmaktadır. Bu iki konu son yıllarda araĢtırmacılar tarafından önem verilen konuların baĢındagelmektedir.

Hidrokarbon olan propan yakıtı ülkemizde ve dünyada sık kullanılan enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Diğer alternatif yakıtlar ile kıyaslandığında daha çok üstün özelliklere sahip olan propan gazı araĢtırmacıların bu konuya yönelmesine neden olmuĢtur.

Bu çalıĢmadapropan gazı ön karıĢımlı bir yakıcıda farklı oksijen oranlarında yakılmıĢtır ve yanma odasının iki farklı ucuna yerleĢtirilen hoparlörler sayesinde aleve akustik zorlama uygulanmıĢtır. Oksijenle zenginleĢtirmenin ve akustik zorlamanın yanma kararsızlığı ve baca gazı emisyonuna etkisi incelenmiĢtir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARANASI

1.1. LPG Yakıtı

Alternatif yakıt tanımı yapılan çalışmalara göre farklılık göstermektedir. Son yapılan çalışmalarda geleneksel yakıt olan gazolin ve dizel yakıtının dışında kalan yakıtlar alternatif yakıtlar olarak tanımlanmaktadır [1]. LPG, CNG, LNG ve DME gibi birçok çeşitalternatif yakıt bulunmaktadır. LPG alternatif yakıtlar içinde kullanıma en uygun olanıdır çünkü atmosfer sıcaklığında 0.7-0.8 MPa altında sıvı halde bulunabilmektedir ve yeterli miktarda tedarik alt yapısı vardır [2].

LPG' nin büyük bir miktarı parafinik yapıdaki hidrokarbonlar oluşmaktadır. Fakat oluşumunda olefinik hidrokarbonlarda bulunmaktadır. LPG içerisinde genel olarak propan, etan, n-bütan, n-pentan, izopentan, propilen ve bütilen bulunmaktadır. LPG petrol rafinasyonunda üretilmektedir. Bunun dışında petrol yakıtları üzerinde bulunan gazlardan veya CNG gazının ayrıştırılması ile elde edilmektedir. LPG normal durumlarda gaz fazındadır. Basınç uygulanarak sıvılaşmaktadır ve uygulanan basınç kalktığında anında gaz fazına geçmektedir. Renksiz, kokusuz, havaya göre daha ağırdır ve zehirli değildir. LPG gazının büyük çoğunluğu bütan ve propandan oluşmaktadır. Bütanın kimyasal formülü C_4H_{10} propanın kimyasal formülü ise C_3H_8'dir. Bütanla propanı en büyük farkı buhar basınçlarının farklı olmasıdır. Bütan ile propanın bir diğer farklı özelliği ise kaynama noktasıdır. Propan -42 C'de kaynarken, bütan 0 C' da gaz haline dönüşmektedir [3].

LPG temiz olması, düşükmaliyetli olması ve miktarının çok olması gibi özellikleri LPG gazını diğer alternatif yakıtlardan üstün kılmaktadır [4]. LPG bunlara ek olarak

sıvılaştırıldığında hacmi düştüğü için daha kolay taşıma ve depolama avantajı sağlamaktadır [5]. LPG yakıtının içindeki propan/bütan oranı kullanıldığı ülkeye göre değişiklik göstermektedir. Bütan/propan karışım oranlarının değişimi emisyon değerlerini ve yanma sürecini önemli derecede değiştirmektedir [6].

Tablo 1.1' de ülkelere göre LPG yakıtının içerisinde bulunan propan/bütan oranları gösterilmektedir [7].

Tablo 1.1. Ülkelere göre LPG yakıtındaki propan/bütan oranı

Ülke	Propan (%)	Bütan (%)
Avustralya	100	0
Belçika	60	40
Danimarka	70	30
Finlandiya	95	5
Yunanistan	20	80
Macaristan	40	60
Hollanda	100	0
Portekiz	92	8
İspanya	35	65
Türkiye	50	50
İngiltere	100	0
Amerika Birleşik Devletleri	100	0

Bazı ülkelerde propan ve bütan oranları mevsime göre değişmektedir. Kış aylarında oran olarak propan artarken bütan azalmaktadır [7]. Nedeni kış aylarında sıcaklıkların düşmesi ile buharlaşmanın kolay olması amacıyla buharlaşma noktası düşük olan propan gazının miktarı artırılmaktadır. Yaz aylarında bütan oranının artması ile depolama kolaylığı sağlanmaktadır [8].

LPG esas olarak propan gazından oluştuğu için genellikle propan olarak da adlandırılmaktadır [9]. LPG yukarıdaki avantajlarına ek olarak oktan sayılarının yüksek olmasının da etkisi ile içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımında artış olmuştur[3]. Bu çalışmada yaklaşık %100 oranında propan karışımından oluşan LPG yakıtı kullanılmıştır.

Bazı ülkelerin günlük ürettikleri LPG miktarı Tablo 1.2' de ve günlük tükettikleri LPG miktarı Tablo 1.3' de gösterilmiştir. Türkiye günlük ortalama 23000 varil LPG üretimi

ile 12. Sırada [10] ve günlük ortalama 115000 varil LPG tüketim ile 15. sırada bulunmaktadır [11].

Tablo 1.2. Ülkelere göre günlük üretilen LPG miktarı

Ülke	Üretilen LPG miktarı (Günlük bin varil)
ABD	419
Japonya	144
Almanya	84
Türkiye	23
Yunanistan	22
Portekiz	6.7
Macaristan	2.6

Tablo 1.3. Ülkelere göre günlük tüketilen LPG miktarı

Ülke	Tüketilen LPG miktarı (Günlük bin varil)
ABD	2301
Japonya	536
Türkiye	115
Almanya	104
Portekiz	19
Yunanistan	14
Macaristan	10

Tablo 1.4' de Türkiye'deki araçların yüzde olarak kullanmış olduğu yakıt türü gösterilmektedir [12]. LPG yakıtının üstün özellikleri sayesinde ülkemizde en çok tercih edilen yakıt türü olmuştur.

Tablo 1.4. Türkiye'deki araçların yüzde olarak kullanmış olduğu yakıt türü

Yakıt	% kullanım
LPG	%37.8
Dizel	%37.1
Benzin	%24.8
Elektrikli ve hibrit	%0.1

Propan (LPG) gazının diğer alternatif yakıtlar ile enerji bakımından kıyaslaması Tablo 1.5' de gösterilmiştir [9].

Tablo 1.5. Alternatif yakıt ve enerji içerikleri

Yakıt	Enerji içeriği kJ/L
LPG(Büyük kısmı propan)	23,410
CNG (çoğunluğu metan, 200 atm'de)	8,080
LNG(çoğunluğu metan)	20,490
Ethanol (Etil alkol)	29,420
Methanol (Metil alkol)	18,210

Propan gazının özellikleri Tablo 1.6' de gösterilmiştir [13].

Tablo 1.6. Propan gazının kimyasal özellikleri

Kimyasal Formülü	C_3H_8
Molar kütle, M kg/kmol	44.097 $g.mol^{-1}$
Gaz sabiti, R kJ/kg·K	0.1885
Yoğunluk	2.0098 kg/m^3
Erime noktası	85.5 K
Kaynama noktası	230.9
Parlama noktası	169.15

1.2. Oksijenle Zenginleştirilmiş Yanma

Çoğu yanma işlemlerinde oksitleyici olarak hava kullanılmaktadır. Bazı durumlarda hava içerisinde bulunan oksijen miktarı artırılarak yanma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu durum oksijenle zenginleştirilmiş yanma olarak adlandırılmaktadır [14]. Oksijenle zenginleştirilmiş yanma düşük, orta ve yüksek seviye olmak üzere üç farklı türde uygulanmaktadır. Düşük seviye zenginleştirme, hava içerisinde bulunan oksijen miktarının %21-28 arasında olduğu durumu ifade eder. Düşükseviye zenginleştirme en düşük maliyetli olanıdır çünkü yeni bir yakıcı tasarlamaya gerek duyulmaz. Yüksek seviye zenginleştirme özel tip yakıcı ve ekipmanlara ihtiyaç duymaktadır fakat daha fazla avantaj sağlamaktadır [15].

Oksijenle zenginleştirilmiş yanma, oksitleyicideki oksijen miktarını artırarak yanma verimini artırmada kullanılmaktadır. Oksijenle zenginleştirilmiş yanma, alev sıcaklığını artırmaktadır ve böylece havada içerisinde bulunan N_2 miktarının düşmesi ile ısı transfer verimi artmaktadır. Günümüzde yüksek sıcaklık gerektiren cam ve çelik üretiminde kullanılmaktadır. Teorik olarak, oksitleyici olarak kullanılan havaya oksijen ilavesi ile hava içinde bulunan nitrojeni ısıtmak için harcanan gereksiz enerji miktarı

azaltılmaktadır. [16]. Enerji verimi bakımından kuru hava içerisin de yaklaşık %79 oranında bulunan argon ve nitrojen gazlarının yanma sürecine olumlu bir etkileri olmadığı gibi gereksiz enerji kaybına neden olarak yanma ürünleri ile aynı sıcaklığa ulaşmaktadırlar ve bu durum enerji israfına yol açmaktadır [15]. Bu enerji israfını azaltmanın yollarından biri oksijenle zenginleştirilmiş yanma uygulamaktır.

Günümüzde oksijenle zenginleştirilmiş yanma, enerji tasarrufu için kullanılan teknolojilerden biridir. Oksijenle zenginleştirilmiş yanma; yakıt tutuşma noktasını düşürür, yanma hızını artırır, tam yanma sağlar, alev sıcaklığını artırır, gaz emisyonunu düşürür, ısı verimini artırır ve eş değerlik oranını düşürür [17]. Oksijence zenginleştirilmiş yanma ile birlikte baca gazındaki CO emisyonu düşmektedir ve CO_2 miktarı artmaktadır [18].

Oksijenle zenginleştirilmiş yanmanın geçmişte çok yaygın kullanılmamasının ana nedeni oksijen üretiminin maliyetli olmasıdır. Teknolojideki yeni gelişmelerle sayesinde havadan oksijen üretim maliyeti düşmüştür bu durumda oksijenle zenginleştirilmiş yanmanın kullanımını artırmıştır. Oksijenle zenginleştirilmiş yanma, performansı geliştirdiği için toplamda daha ekonomik bir süreç sunmaktadır [14].

Cao ve arkadaşlarının hem deneysel hem de sayısal yaptığı çalışmalar sonucuna göre, oksijenle zenginleştirilen havanın içerisinde bulunan oksijen miktarının artmasının en önemli sonucu olarak zift (tar) ürününün azaldığı sonucuna varmışlardır fakat bu etki kısıtlı olmuştur nedeni oksijen oranı arttıkça zift gaz haline dönüşmüştür[19].

Alabaş ve arkadaşları, sabit girdap numarası (s=1), eş değerlik oranı (0,7), yüksek H_2/CO (3) oranı ve orta H_2/CO (1,5) oranında oksijenle zenginleştirilmiş sentetik gaz yanma deneyi yapmışlardır. Deney sonucuna göre; her iki karışımda da düşük CO emisyonu ve yüksek NO emisyonu oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Yüksek H_2/CO (3) oranında, O_2 oranı arttıkça sıcaklığın arttığı sonucuna varmışlardır [20].

Safer ve arkadaşları, sentez gazının oksijenle zenginleştirilmesini sayısal olarak incelemişlerdir. Oksijen oranı %21-%30 arasında değiştirmişlerdir. H_2/CO oranı 0.25 ve 4 olan 2 farklı sentez gazı kullanmışlardır. Yapılan incelemede en önemli bulgular;

- Oksijen ilavesi ile alev kalınlığı artmıştır
- Oksijen zenginleştirilmesi ile CO_2 üretimi artmıştır

- Alev tutuşma limiti oksijen ilavesi ile iyileşmiştir
- NO emisyonu önemli derecede artmıştır
- Oksijen ilavesi adiyabatik alev sıcaklığının artmasına neden olmuştur[21].

Bhatia ve Singh propan gazının oksijenle zenginleştirilmesini, normal ve ters difüzyon alev yanması olarak incelemişlerdir. Oksijen oranı %21, %30, %50, %100 değiştirerek, yer çekimli ve yerçekimsiz olmak üzere iki farklı ortamda deneyi uygulanmıştır. Sayısal inceleme sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır;

- Normal ve ters difüzyon alev yanması için 1g ve 0g her iki durumda da oksijen miktarının artması hesaplanan merkez hat tepe sıcaklığının artmasına neden olduğu sonucuna varmışlardır. Yer çekiminin düşmesi hesaplanan merkez hat maksimum alev sıcaklığı üzerinde önemli bir etki etmediğini gözlemlemişlerdir.
- Ters difüzyon yanması için, oksijen miktarının artması alev boyunun ve genişliğinin her iki yerçekimi (1g ve 0g) şartında da küçük miktarda artmasına neden olmuştur. Yer çekiminin 1g den 0g ye düşmesi alev boy ve genişliğinin yaklaşık %79 oranında artırmıştır.
- Normal difüsyon yanması için, oksitleyicinin %21 den %100 çıkması alev boyunun; yer çekimli ortamda 7 kat ve yer çekimsiz ortamda 6 kat azaldığı sonucuna varmışlardır [22].

Ma ve arkadaşları kentsel katı atıkları oksijenle zenginleştirerek yakmışlardır ve gaz emisyonunu incelemişlerdir. Oksijen oranı %21 den %27' e kadar artırmışlardır. Genel olarak şu sonuçları çıkarmışlardır; oksijenle zenginleştirilmiş yanma sonucunda SO_2 ve HCI emisyonu düşmüştür fakat NO oranı artmıştır. Sıcaklık profili genellikle artma eğilimi göstermiştir. Yanmanın tamamlanamama oranında düşme gözlemlenmiştir, termal verim artmıştır [23].

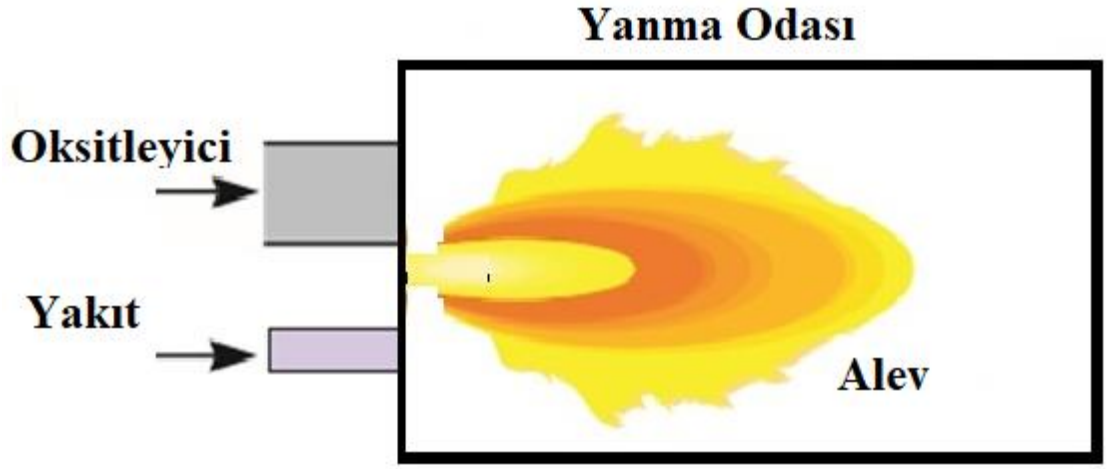
Oksijenle zenginleştirilmiş yanma yapıldığı zaman NO_x emsiyonunda artış gözlemlenmektedir, bu artışı engellemek için farklı çalışmalar yapılmıştır. Lee ve Baek reburning (yeniden yakma) ve SNCR (selective non-catalytic reaction) (seçili katalizörsüz reaksiyon) iki metodu birden kullanarak (hibrit) oksijenle zenginleştirilmiş LPG yanma deneyi yapmışlardır. Hibrit sistemde oksijen miktarı artıkça NO_x ve CO oluşumunun azaldığı görülmüştür. Hibrit sistemin NO_x oluşumunu %78 oranında düşürdüğü ve CO ise neredeyse sıfır olduğunu gözlemlemişlerdir [16].

Kim ve arkadaşları, yakıcı (multi-jet burner) sahip yanma fırınında ön karışımsız oksijenle zenginleştirilmiş yakıt yanmasının özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Yakıt olarak %98 propan olan LPG kullanmışlardır. Deneysel ölçümler ve sayısal simülasyon sonuçları uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. Oksijen besleme oranı (OFR) 0.25, 0.5 ve 0.75 olarak 3 farklı durum için çalışma uygulamışlardır. Alev boyları; OFR_0.25 150 mm, OFR_0.5 300 mm ve OFR_0.75 350 mm olarak ölçmüşlerdir. OFR_0.25 de alev boyunun düşme eğiliminde olduğu ve alevin daha parlak olduğu sonucuna varmışlardır. Alev boyu artışıyla sıcaklık düşmüştür. Bir nedeni ise alev yüzeyi genişlemiştir. Sonuç olarak OFR arttıkça, alev yüzeyinin genişlediği, alev boyunun arttığı, sıcaklığın düştüğü ve sayısal simülasyondaki sayısal kayıp oranı (scalar dissipation rate) daha az olduğu sonucuna ulaşmışlardır [24].

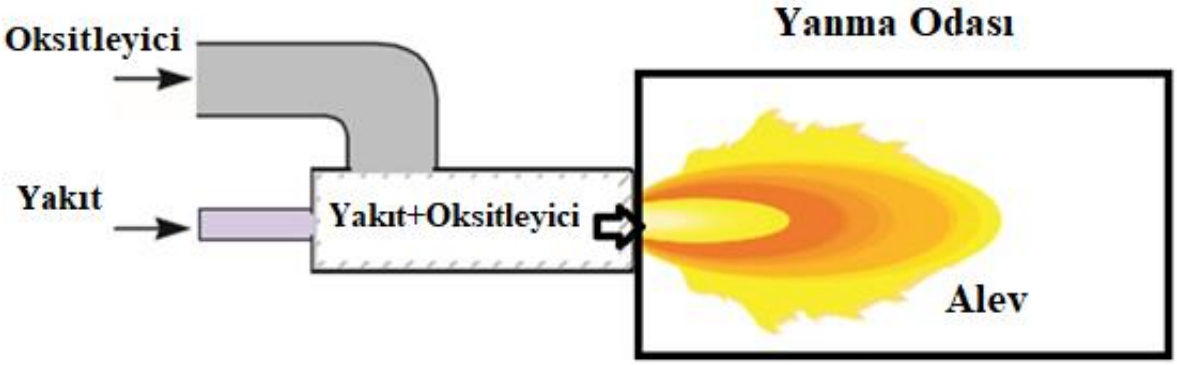
Pan yakıcı (blast burner) kullanarak oksijenle zenginleştirilmiş yanma deneyi yapmıştır. Oksijen yoğunluğunu %21, % 25 ve %30 olarak uygulamıştır. Deney ve teorik analiz sonucuna göre oksijen oranı arttıkça; reaksiyonun hızının arttığını, ortalama reaksiyon zamanının azaldığını, laminer alev yayılım hızının arttığını, yanma bölgesel hacminin (combustion regional volume) küçüldüğünü, yanma sıcaklığının ve alev yoğunluğunun arttığını gözlemlemiştir [25].

1.3. Ön Karışımlı Yanma

Oksitleyici ile yakıt ateşlenmeden hemen önce karışıpyanma süreci gerçekleşiyor ise bu yanma türü ön karışımsız (difüsyon) yanma olarak adlandırılır. Ön karışımsız yanma türünde, yanma hızı oksitleyici ve yakıtın karışma oranı ile kontrol edilir. Dizel motorlar ile gaz türbinli motorların yanma odaları genellikle ön karışımsız yanma türündedir. Oksitleyici ile yakıt yeterli homojen karışım sağlandıktan sonra yanma süreci gerçekleşiyor ise bu yanma türüne de ön karışımlı yanma olarak adlandırılmaktadır. Bu yanma türünde, yanma hızı hem difüsyon hem de kimyasal reaksiyon ile kontrol edilir. Ön karışımlı türbülanslı yanmaya örnek Otto (buji ateşlemeli) örnek verilebilir. Ön karışımlı gazların fakir (lean) yanma özelliklerinin olması nedeniyle gelecekte en iyi yanma teknolojileri arasında yer alacağı düşünülmektedir. Ön karışımlı yanma hem gaz emisyonunu düşürmekte hem de verimli yanma sağlamaktadır [26]. Şekil 1.1' de ön karışımsız yanma şekil 1.2' de ön karışımlı yanma modellemisi gösterilmiştir [27].



Şekil 1.1. Ön karışımsız yanma



Şekil 1.2. Ön karışımlı yanma

Şiba ve arkadaşları, ön karışımlı ve ön karışımsız metan yanmasının emisyona etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmayı farklı oranda ısıl güç (5, 10, 15, 20 kW) ve hava fazlalık (λ=1,2-1,5-1,7) oranları altında uygulamışlardır. Ön karışımlı alevin sıcaklığını 565.3 °C ve ön karışımsız yanmanın ise 560.6 °C olarak gözlemlemişlerdir. Baca gazı emisyonların da ön karışımsız; % 7.0 CO_2, 270 ppm CO ve 29 ppm NO_2 emisyonu ve ön karışımlıda ise % 7.7 CO_2, 30 ppm CO ve 45 ppm NO_2 emisyonu gözlemlemişlerdir. Ön karışımlı yanmada, yanma odasına girmeden homojen bir karışım elde edildiği için daha iyi bir yanma olduğu sonucuna varmışlardır ve daha fazla C atomunun CO_2 emisyonuna dönüştüğünü gözlemlemişlerdir. NO_2 miktarının ön karışımlı yanmada fazla çıkmasının nedenini sıcaklık artışıyla açıklamışlardır. Isıl güç arttıkça her iki yanma tipinde de sıcaklığın arttığını gözlemlemişlerdir. Aynı termal güç altında hava fazlalık oranının artması ile sıcaklığın düştüğünü gözlemlemişlerdir. Bunun

nedenini ise yanma için gerekli havadan daha fazla havanın gönderilmiş olması olarak yorumlamışlardır [28].

1.4 Akustik Kararsızlık

Akustik kararsızlık, modern yanma sistemleri için tehdit oluşturan dinamik davranıştır ve yanma kararsızlığına neden olur. Yanma kararsızlığı; yanma veriminin düşmesine, termal NO_x miktarının artmasına, yanma odası duvarlarında termal gerilmenin artmasına, titreşimin artmasına, düzensiz egzoz gaz ısısı dağılımına, yakıcının yapısal bütünlüğü ve performansının düşmesine neden olmaktadır [29].

Termo-akustik kararsızlık değerlendirilebilmesi için yaygın kullanılan method Rayleigh Index dir. Rayleigh Index 1.1 eşitsizliğinde gösterilmiştir [30].

$$RI(x,t)=\int_0^T p'(x,t)q(x,t)d_t \qquad 1.1$$

T; salınım periyodu

q'(x,t); x pozisyonundaki basınç dalgalanması

ρ'(x,t); x pozisyonundaki ısı yayınımı

Bu denklemdeki RI(x,t)>0 ise yanma kararsızdır çünkü bağlama (coupling) gerçekleşmiştir ve dalgalar büyümüştür. RI(x,t)<0 ise dalgalanmaların sönümlenmesi yüzünden yanma kararlıdır [30].

Deng ve arkadaşları, akustik zorlamanın fakir ön karışımlı hidrojen-metan yanma kararsızlığına etkisini incelemişlerdir. Akustik zorlamayı 90-240 Hz arasında uygulamışlardır. Akustik frekans ve genliğin fonksiyonu olan FDF; hız düzensizliği ve ısı salınımı arasındaki ilişkiyi yorumlamakta kullanmışlardır. Yüksek FDF kazanımı; hız dalgalanmasının ısı yayınım dalgalanması üzerine etkisinin fazla olduğu ve daha güçlü kararsız yanma olduğu anlamına gelmektedir. Yapılan çalışmada FDF önemli dalgalanmalar gözlemlemişler FDF kazanımının 110 ve 180 Hz de maksimum olduğu ve 160 Hz ise yerel minimum olduğu sonucuna varmışlardır [31].

Yanma kararsızlığı; yanma odasının doğal akustik modunun geniş genlikteki salınımı olarak nitelendirilmektedir. Genelde kararsızlık problemli şunlardır;

- Büyük oranda basınç ve hız salınımları üretir
- Ciddi titreşimler üretir
- Yanma duvarındaki termal stresi ve ısı transferini artırır
- Sistem komponentlerinin düşük ve yüksek yorulmaları ile sonuçlanan salınımlı mekanik yük oluşturu
- Alev sönme (blow-off) ve geri tepmesine (flashback) neden olur [32].

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu çalışmada propan (LPG) gazı ilk olarak hava ile yakılmıştır ve sonrasında hava içerisinde bulunan oksijen miktarını artırılarak oksijenle zenginleştirilmiş yanma uygulanmıştır. Alev üzerine farklı akustik zorlama uygulanarak alev davranışları incelenmiştir. Oluşan sıcaklık ve emisyon değerleri incelenmiştir ve alev görüntüleri alınarak oksijen miktarının ve akustik zorlamanın alev üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

Propan gazının alev geri tepme (flashback) ve alev sönme (blowout) limitleri belirlenmiştir. Alev geri tepmesi, brülör uç noktasından alevin bağlantı hortumlarına geri dönmesi olarak tanımlanmaktadır. Türbülanslı olan alevin hızı yakıt-hava karışımının yanma odası içerisine giriş hızından fazla olduğu zaman alev geri tepmesi meydana gelir. Alev sönmesi ise alevin çekirdeğinin bulunduğu yerden ayrılması durumudur [33]. Yanma esnasında akış miktarı çok olduğunda veya karışımdaki yakıt oranı çok düşük olduğunda alevin kararsızlığı artar ve alev söner bu durum alev sönmesi olarak adlandırılmaktadır [18].

Alev geri tepmesi ve alev sönmesi limitleri eşdeğerlik oranı (equivalence ratio) birimine göre belirlenmiştir. Aşağıdaki denklemde eşdeğerli oranının formülü gösterilmiştir.

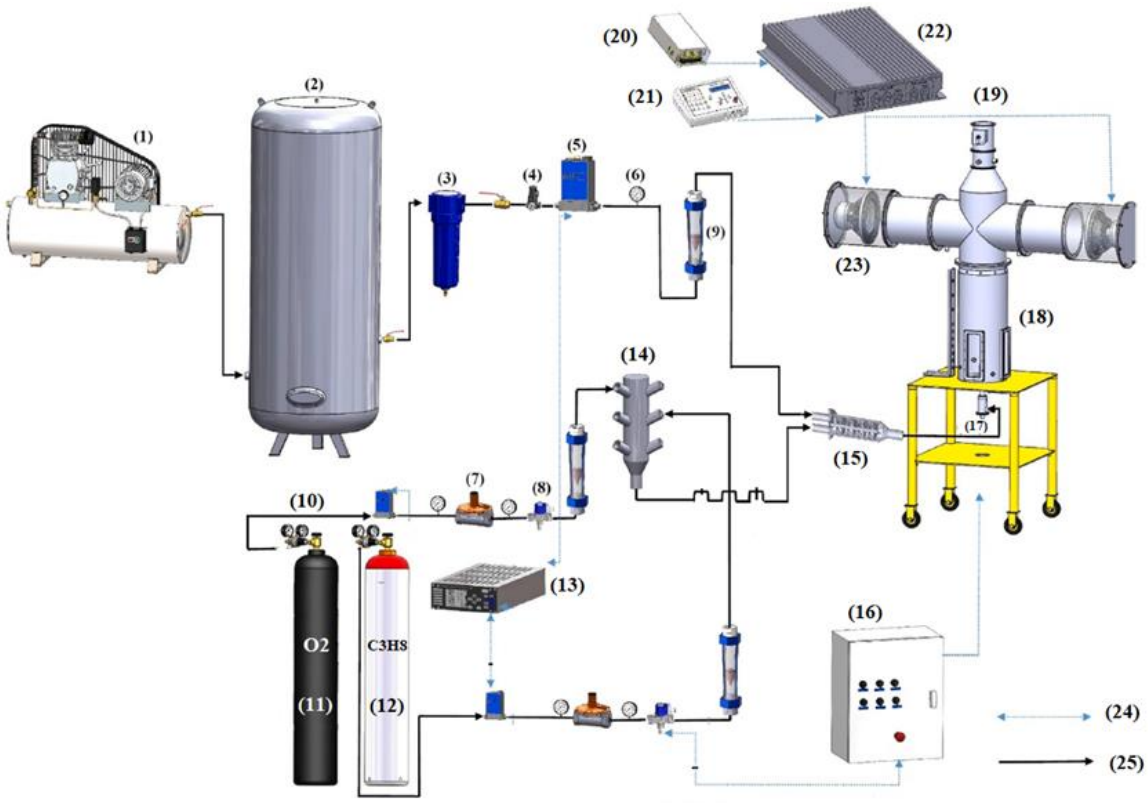
$$\Phi = \frac{\left[\frac{m_{hava}}{m_{yakıt}}\right]_{teorik}}{\left[\frac{m_{hava}}{m_{yakıt}}\right]_{gerçek}} \quad (2.1)$$

Yakıt hava karışımının stokiyometrik, zengin ya da fakir karışım olduğuna karar verebilmek için eşdeğerlik oranı (Φ) kullanılmaktadır. Birçok yanma uygulamasının performansını değerlendirmede en önemli faktör eşdeğerlik oranıdır. Φ>1 olduğu durum zengin karışım, Φ=1 stokiyometrik karışım ve Φ<1 fakir karışım olarak adlandırılmaktadır [34].

Bu çalışmadaalev geri tepmesi 1.9 eşdeğerlik oranı ve alev sönmesi 0.8 eşdeğerlik oranı olarak tespit edilmiştir. Hem belirlenen limitler hem de Gutkowski çalışması[35] baz alınarak deneyin tamamı 1.2 eşdeğerlik oranı ile gerçekleştirilmiştir. Deney 1 swirl number (gidrap numarası) ve 7 kW termal güç altında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak yanma, normal hava (%21 oksijen) ile yapılmıştır. Hava içerisindeki oksijen oranı sırası ile %24, %27 ve %28 oranlarına artırılarak oksijence zenginleştirilmiş yanma deneyi yapılmıştır. Yanma odasının iki farklı tarafında bulunan hoparlörler sayesinde alev üzerine akustik zorlama uygulanmıştır. Zorlama sırası ile 110 Hz, 185 Hz ve 330 Hz olarak uygulanmıştır.

2.2. Deney Düzeneği

Çalışmalarının tamamı Erciyes Üniversitesi , Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uygulamalı Eğitimler ve Bilimsel Araştırmalar binasında bulunan, TÜBİTAK tarafından desteklenerek kurulmuş Yanma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik gösterimi şekil 2.1' de gösterilmiştir. Yanma laboratuvarının genel görünümü ise şekil 2.2' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Deney sistemi Çizimi

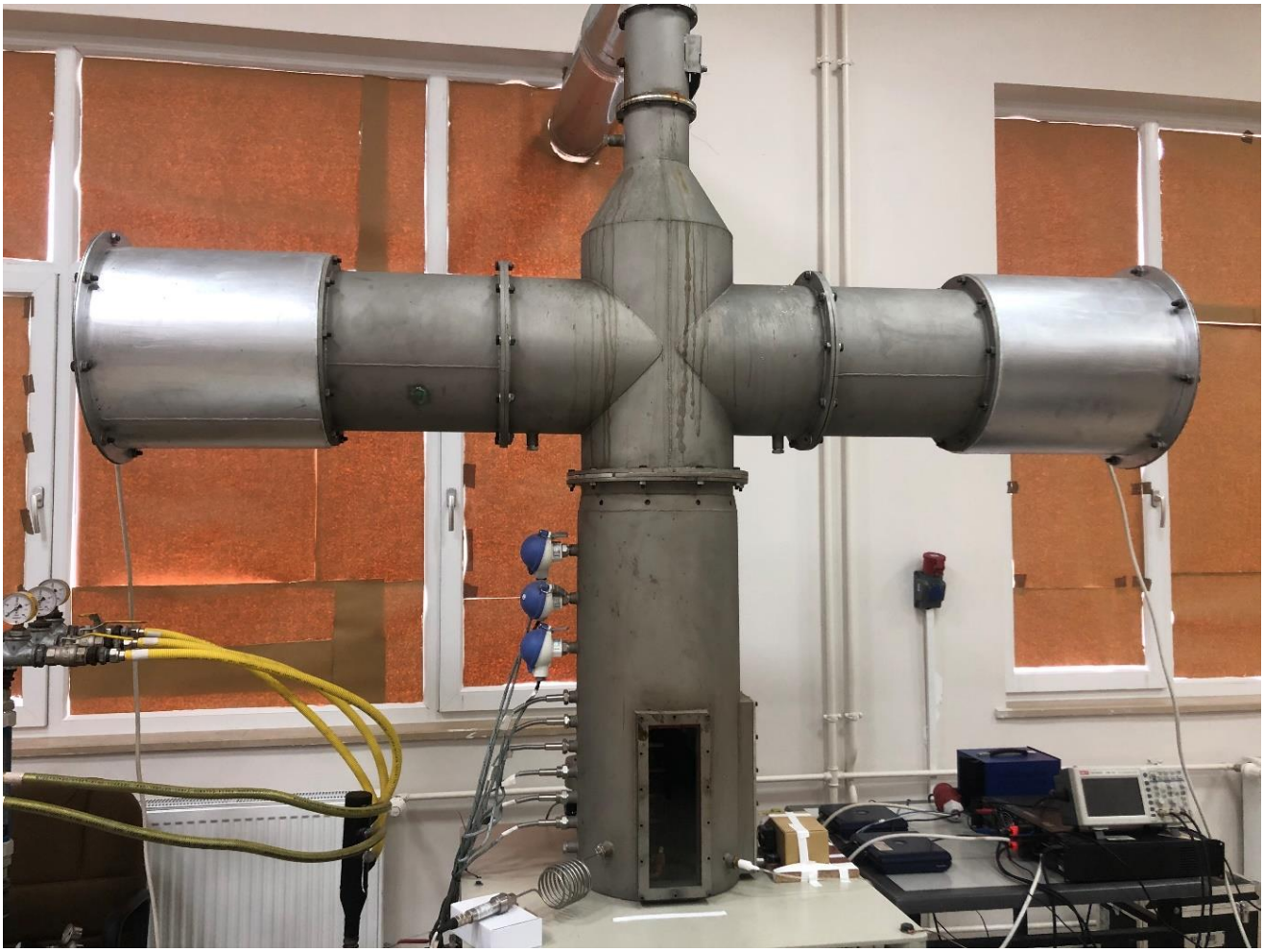
1.Hava Kompresörü (5.5 Hp ve 510 lt)
2.Harici Hava Tankı
3.Filtre
4.Basınç Regülatörü
5.Elektronik Debi Ölçer
6.Manometre
7.Basınç Regülatörü
8.Solenoid Valf
9.Yüzer Tip Debi Ölçer
10.Basınç Regülatörü
11.O2 Tankı
12.C3H8 Tankı
13.Kontrol İstasyonu
14.Gaz Kolektörü H2 Tankı
15.Hava/Yakıt Ön Karıştırıcısı
16.Kontrol Paneli
17. Brülör
18.Yanma Odası
19.Baca
20.Güç Kaynağı
21.Sinyal Üreteci
22.Amplifikatör
23.Hoparlör
24.Elektrik Bağlantıları
25.Gaz Temin Hatları



Şekil 2.2. Deney düzeneği

2.2.1. Yanma Odası

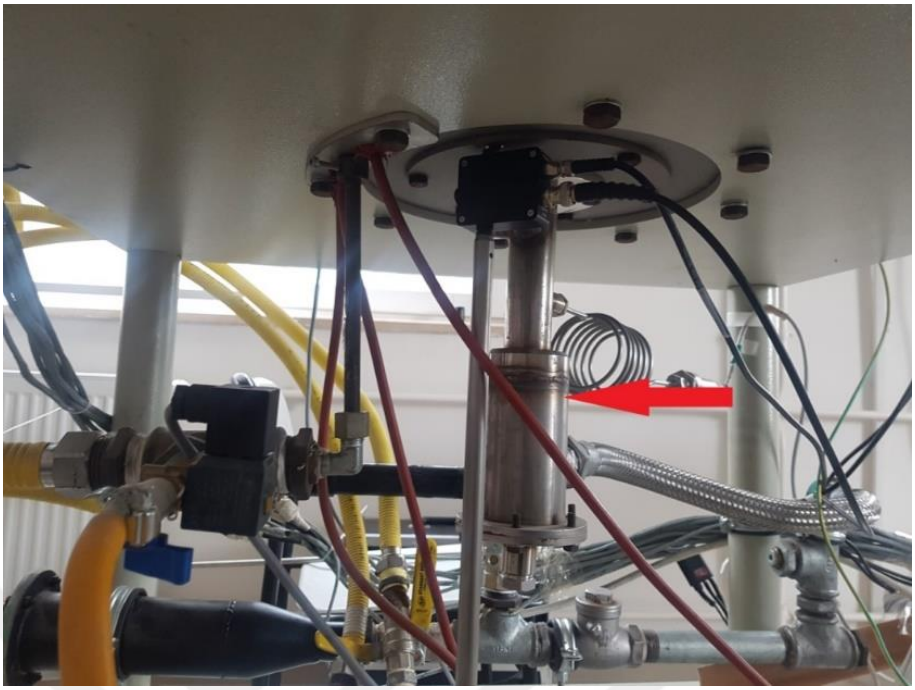
Yanma odasının yüksekliği 175.5 cm, iç çapı 32 cm ve kol genişliği 210 cm dir. Yanma odasının etrafında soğutmaya yarayan fan soğutma sistemi bulunmaktadır. Yanma odası malzemesi paslanmaz çelikten oluşmaktadır. Yanma odasının farklı bölgelerinden emisyon değerlerini alabilmek için yuvalar bulunmaktadır. Şekil 2.3' de yanma odası gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Şekil Yanma odasının genel görünümü

2.2.2. Brülör (Yakıcı)

Brülör hava ile yakıtın ideal olarak karışmasını sağlamaktadır ve böylece tam yanma gerçekleşmektedir Deney sisteminde kullanılan brülör girdap üreteçli ve ön karışımlıdır. Maksimum 10 kW termal güç verecek şekilde tasarlanmıştır [33]. Ateşleme çubuğu ile desteklenen brülör, alev geri tepmesi ve alev sönmesine riskine karşıgüvenli kılmaktadır. [20]. Bu yanma odasında kullanılan brülör 20 mbar basınca ve 10 kW termal güce sahiptir. Bu çalışma7 kW termal güç altında uygulanmıştır. Şekil 2.4' de brülör gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Yakıcı görünümü

2.2.3. Kütle Akış Kontrolörü ve Vakum Sistem Kontrolörü

Sisteme verilmek istenen gaz ve hava miktarı vakum sistem kontrolörü aracılığıyla ayarlanır. Kütle akışkontrolörü ise daha önce girilmişolan değere uygun gaz ve hava geçişine izin verir ve sabit basınçta sisteme yakıt ve hava sağlar. Sistem iki farklı kütle akışkontrolörüne sahiptir. Hava için olan kütle akışkontrolörü (Şekil 2.5) 300 slpm (standart litre/dakika) kapasiteye sahiptir. Yakıt için kullanılan kütle akışkontrolörü (Şekil 2.6) 0.6-30 slpm aralığında çalışmaktadır



Şekil 2.5. Hava kütle akış kontrolörü



Şekil 2.6. Yakıt kütle akış kontrolörü

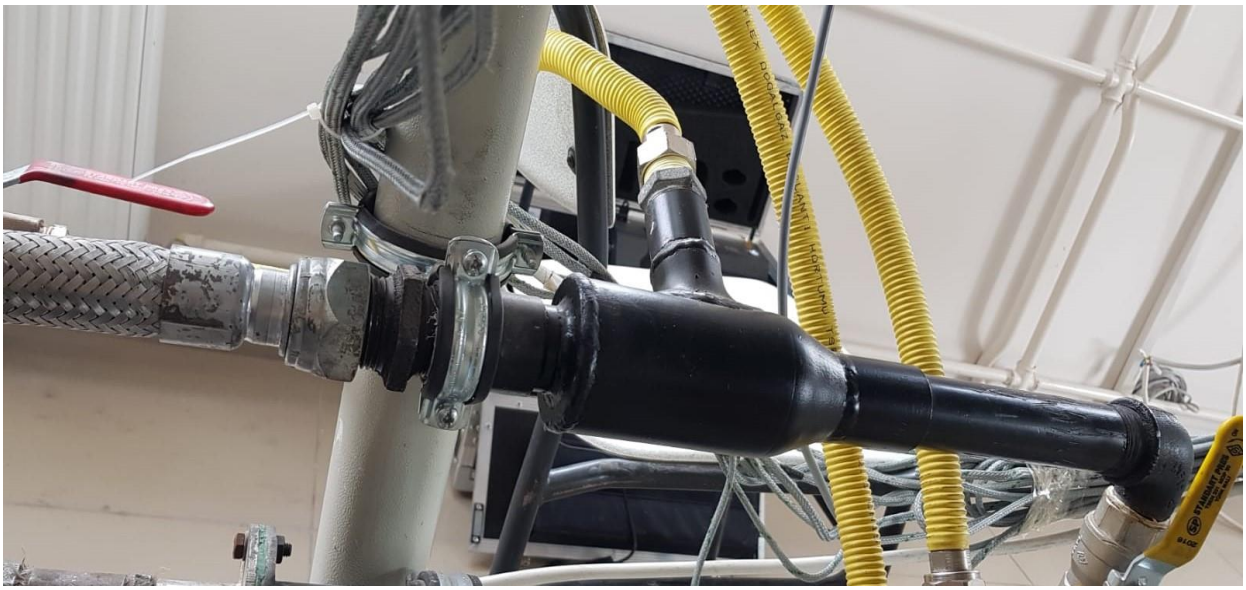
Kütle akış kontrolörünün yönetimi 6 kanala sahip olan vakum sistem kontrolörü (Şekil 2.7) aracılığıyla yapılmaktadır. Sistem için gerekli olan hava ve yakıt miktarları vakum sistem kontrolörü üzerinden ayarlanır.



Şekil 2.7. Vakum sistem kontrolörü

2.2.4. Ön Karıştırıcı

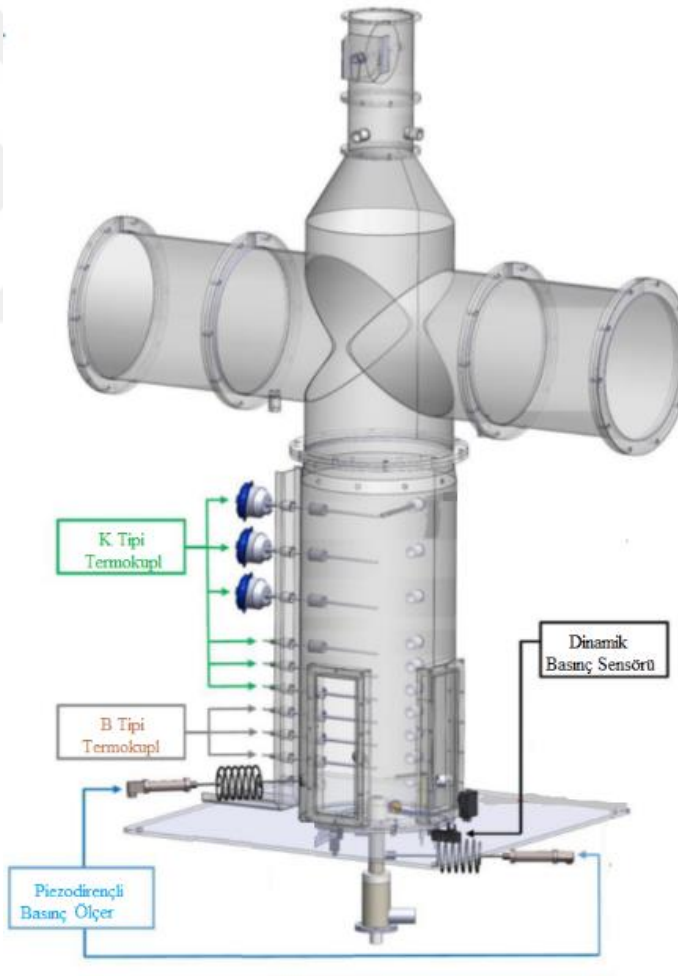
Kütle akış kontrolöründen geçen hava, oksijen ve propan yanma odasına girmeden önce ön karıştırıcıda karıştırılır. Ön karıştırıcıda karıştıktan sonra yanma odasının iç kısmına girer. Şekil 2.8' de ön karıştırıcı gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Ön karıştırıcı

2.2.5. Basınçölçer ve Isıl Çiftler

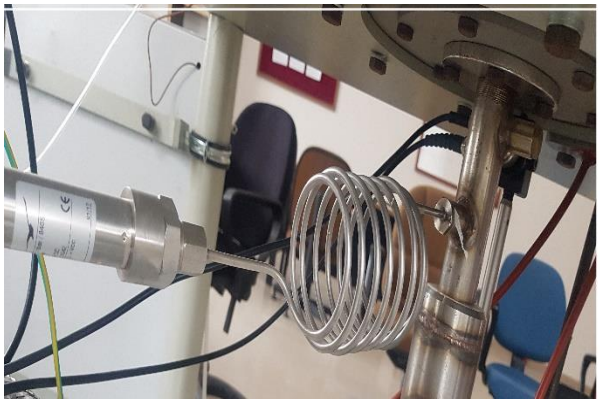
Deneyde 2 tip basınçölçer kullanılmıştır. Bunlardan biri 0 ile 10 bar arasındaki basıncı tam olarak ölçen piezo-dirençli basınçölçer diğeri ise akustik zorlama altındaki değişen basıncı ölçen dinamik basınçölçerdir. Sıcaklık ölçümü içinde 2 faklı tipte seramik kaplı ısıl çiftler kullanılmıştır. B tipi ısıl çiftler 1800 C kadar ölçüm yapabilirken K tipi ısıl çiftler ise 1200 C kadar ölçüm yapabilmektedir. Deneyden kullanılan basınçölçer ve ısıl çiftler şekil 2.9' da şematik olarak gösterilmiştir. şekil 2.10'da ısıl çiftler, şekil 2.11' de basınçölçerler ve şekil 2.12'de dinamik basınç sensörleri gösterilmiştir.

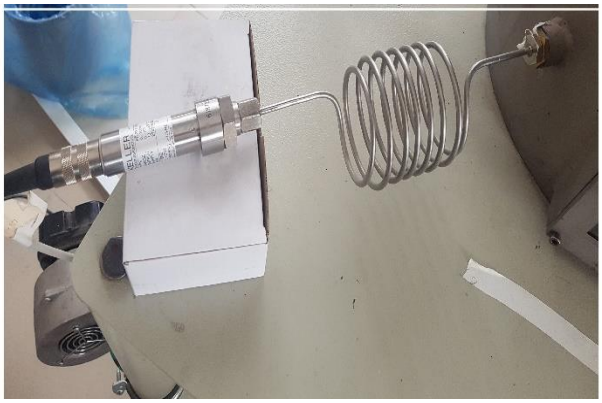


şekil 2.9. Basınç ölçer ve ısıl çiftler



ġekil 2.10. Isıl çiftler





ġekil 2.11. Piezo-dirençli basınçölçer



Şekil 2.12. Dinamik basınç sensörü

2.2.6. Emisyon Ölçüm Cihazı

Yanmayı değerlendirmede büyük öneme sahip olan emisyon değerleri taşınabilir emisyon cihazı vasıtayla ölçülür. Şekil 2.13' de taşınabilir emisyon cihazı cihazı gösterilmiştir. NOVO Plus RCU tipi taşınabilir emisyon cihazının hata ve ölçüm aralığı Tablo 2.1' de gösterilmiştir [36].

Tablo 2.1. Emisyon cihazı ölçüm hata ve ölçüm aralığı

Gazlar	Ölçüm Hataları	Ölçüm Aralığı
O_2	+/- %0.2	-
CO	+/- %5 ya da +/-5 ppm*	0-4000 ppm
CO	+/- %10	>4000 ppm
NO	+/- %5 ya da +/-10 ppm*	0-1000 ppm
NO	+/- %10	>1000 ppm
CO_2	+/- %0.3	-

* Hangisi yüksek ise o kabul edilir.



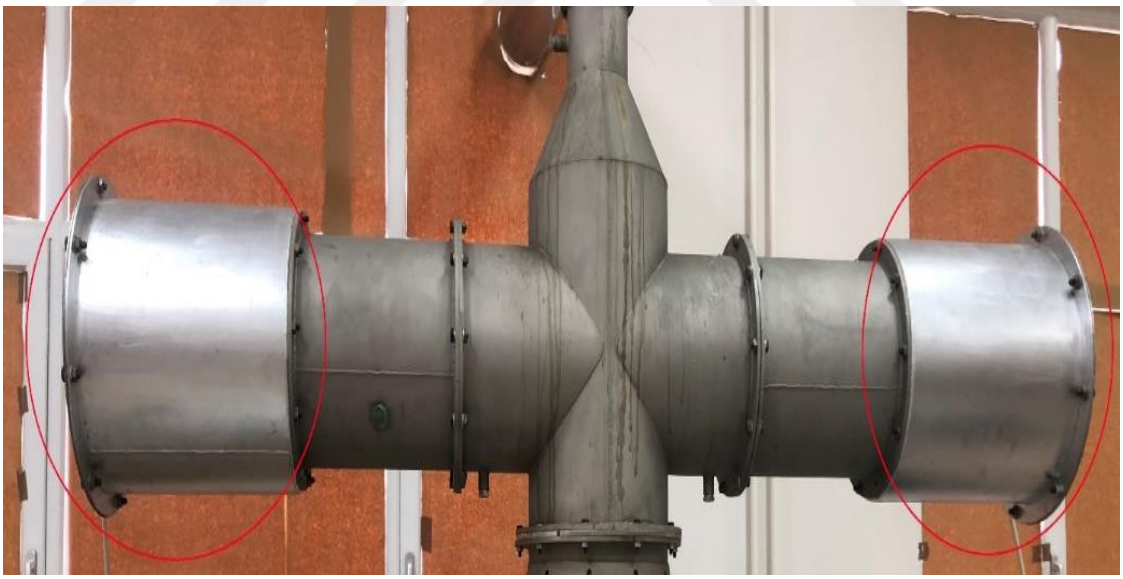
Şekil 2.13. Taşınabilir emisyon ölçüm cihazı

2.2.7. Hoparlör

Hoparlörün (şekil 2.14) görevi elektrik sinyalinin, ses (basınç) dalgasına dönüştürmektir. Yanma odasının sağ ve sol kısımda olmak üzere 2 hoparlör yerleştirilmiştir. Maksimum 700 W çıkış güç kapasitesine sahiptirler. Hoparlör vasıtasıyla alev üzerine akustik zorlama yapılmaktadır. Deneyde kullanılan hoparlörler 20-125 Hz çalışma aralığı sahiptir. Hoparlör çapı 30.48 cm, genişliği 169 mm, empedansı 4 ohm ve hassasiyeti 95 dB dir.



ġekil 2.14. Hoparlör



ġekil 2.15. Yanma odasında hoparlörlerin bulunduğu kısımlar

Fonksiyon jeneratörü (ġekil 2.16) aracılığıyla istenen frekans değeri girilir, girilen frekansa uygun sinisoidal dalga amplifikatör (amplifier) (ġekil 2.17) tarafından yükseltilmesi sağlanır, hoparlöre verilir ve akustik zorlama sisteme uygulanır. Amplifikatör maksimum 4000 W çıkıĢgücü verebilir ve 20 Hz-20 kHz arası çalıĢma aralığıdır. Osiloskop (ġekil 2.18) vasıtasıyla da dalganın genliği takip edilmektedir.



Şekil 2.16. Fonksiyon jeneratörü



Şekil 2.17. Amplifikatör



Şekil 2.18. Osiloskop

2.2.8. Tüpler, Regülatör ve Kompresör

Kompresör (şekil 2.19) vasıtasıyla yanma için gerekli olan basınçlı hava sisteme sağlanmaktadır. Kompresör tek silindir ve piston tiptir. Kompresör 4 kW güç kapasitesi sahiptir ve 650 lt/dk emiş kapasitesi vardır. Kompresörün 500 lt hava muhafaza edebilme kapasitesi vardır. Kompresör 15 bar basınca kadar güvenli olarak çalışabilmektedir.



ġekil 2.19. Kompresör

Kapasitesi 1000 litre (1 m^3) olan ek bir tankta (ġekil 2.20) hava depolamada kullanılmaktadır. Kompresör ve ek tankla birlikte 1500 lt (1,5 m^3) hava tutma kapasitesi mevcuttur.



ġekil 2.20. Hava depolama tank

Hava filtresi (ġekil 2.21) sayesinde, havanın içerisinde bulunan yağ, nem ve parçacıklar temizlenmektedir bu sayede sistemin zamanla zarar görmesi engellenmektedir.



Şekil 2.21. Hava filtresi

Yüksek saflıktaki propan (LPG) ve oksijen gazları şekil 2.22' de gösterilen tüplerde muhafaza edilmiştir. Tüplere takılı olan regülatörler (şekil 2.23) vasıtasıyla gaz basınç takibi yapılmaktadır.



ġekil 2.22. LPG tüpü (sol) ve Oksijen Tüpü (sağ)



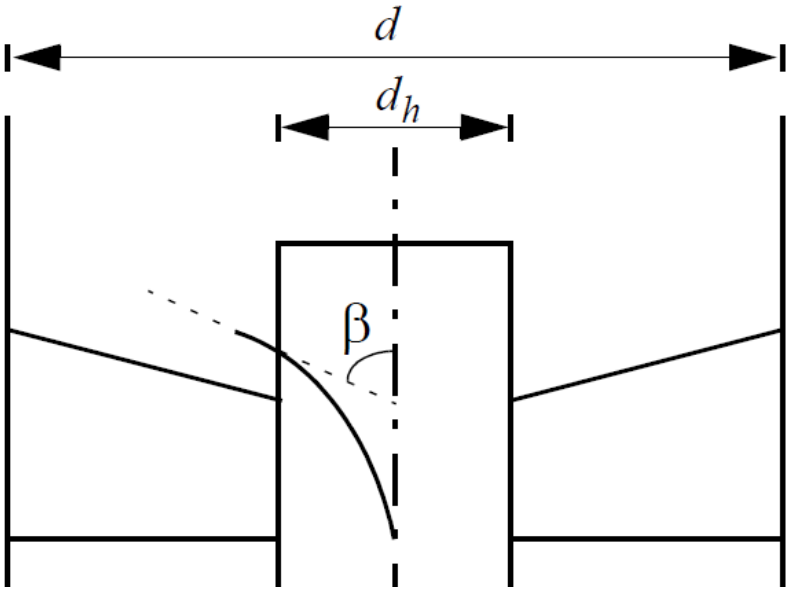
ġekil 2.23. Regülatör

2.2.9. Girdap Üreteci

Girdap üreteçli bir yakıcının tasarlanmasının amacı; kararlı yanma ile birlikte, yakıt ve havanın hızlı karışmasını sağlamaktır [37]. Şekil 2.24' de girdap üretici tasarımı ve Şekil 2.25'de farklı girdap sayısına sahip girdap üreteçleri gösterilmiştir.

$$S=\frac{2}{3}.\left(\frac{1-\left(\frac{dh}{d}\right)^3}{1-\left(\frac{dh}{d}\right)^2}\right).\tan\beta \qquad (2.2)$$

S, girdap sayısı; d_h üretecin merkez çapı; d= girdap üretecinin dış çapı; β girdap üretecinin çıkış açısı [38]. Bu çalışmada girdap üreteç numarası (s=1) olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.24. Girdap üreteci tasarımı



ġekil 2.25. Girdap üreteçleri

Tablo 2.2' de bazı girdap üreteçlerine ait bilgiler verilmiştir[33]. Bu çalışmadan girdap sayısı 1 olan üreteç kullanılmıştır.

Tablo 2.2. Girdap numarası ve özellikleri

Girdap sayısı (S)	Çap oranı (d_h/d_0)	Ġç çap mm (d_h)	DıĢçap mm (d_h)	Kanatçık açısı (α)
0.2	0.50	13.5	27	14.42°
0.4	0.50	13.5	27	27.21°
1.0	0.50	13.5	27	52.12°
1.2	0.50	13.5	27	57.05°
1.4	0.50	13.5	27	60.94°

3. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI

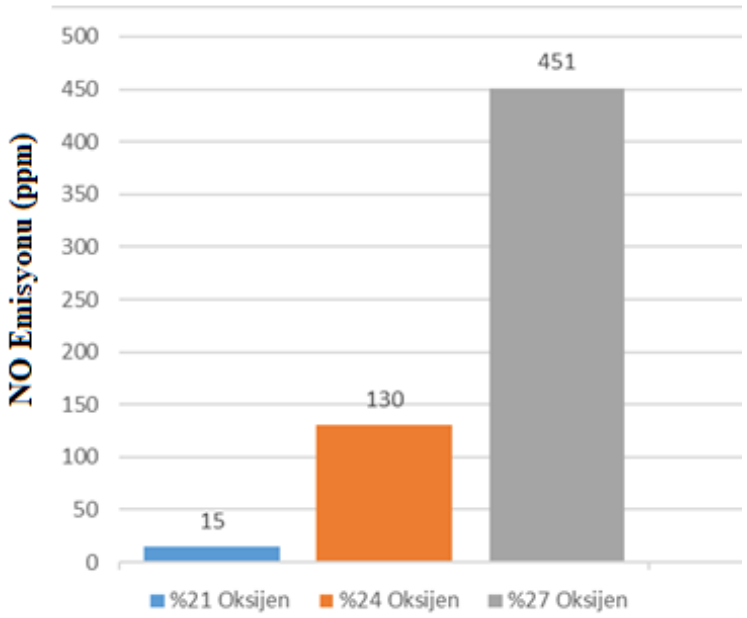
3.1. Oksijenle Zenginleştirmenin Yanma Üzerine Etkisi

Normal şartlarda hava içerisinde % 78.084 nitrojen, % 20.946 oksijen, % 0.934 argon ve %0,036 diğer gazlar bulunmaktadır [39]. Hava içerisinde bulunan yaklaşık%21 oksijen miktarının artırılarak yanma işleminin gerçekleştirilmesi durumu oksijenle zenginleştirilmiş yanma olarak adlandırılmaktadır [14]. Bu çalışmada oksijen oranı sırası ile %21, %24, %27 ve %28 oranlarında kullanılmıştır. Sadece %28 oranında yanma gerçekleştirilememiştir.

3.1.1. Oksijence Zenginleştirmenin NOx Emisyonuna Etkisi

Yanmadan kaynaklı NOx emisyonu ana olarak NO formunda oluşmaktadır. Zeldovich eşitliğine göre, hava sıcaklığı 1300 °C üzerinde ve oksijen miktarı yaklaşık 200,000 ppm olduğu durumda NO oluşmaktadır [40].

Şekil 3.1' de hava içerisinde bulunan oksijen miktarının artışıyla NO emisyonu değişimi gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde NO emisyonunun oksijen oranı arttıkça önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Hava içerisinde bulunan oksijen oranı %21 olduğu durumda 15 ppm NO emisyonu oluşmuştur. Oksijen %24 ve %27 oranına artırıldığı zaman sırası ile 130 ppm ve 451 ppm NO emisyonu oluşmuştur.



Şekil 3.1. Oksijen Oranının NO Emisyonuna Etkisi

Yanma sürecinde farklı NO oluşum mekanizmaları mevcuttur. Havanın içerisinde bulunan N_2 (Nitrojen) molekülünün oksidasyonundan kaynaklı termal (ısıl) NO oluşur. Oksidasyon sürecinin temel adımları Tablo 3.1' deki Zeldovich mekanizmasında gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Zeldovich mekanizması

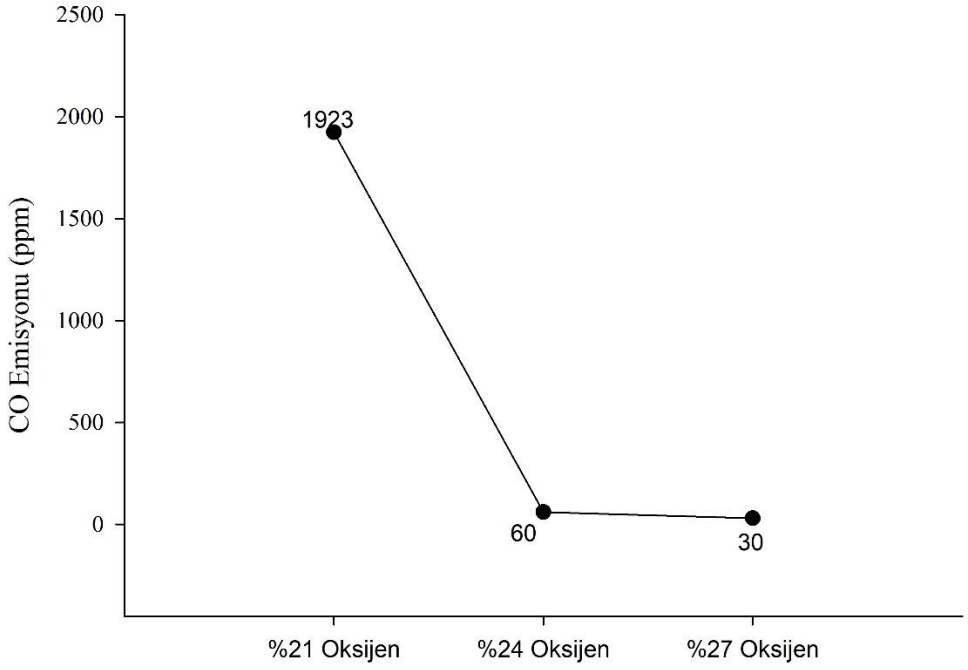
$O + N2 \leftrightarrow NO + N$	(R1)
$N + O2 \leftrightarrow NO + O$	(R2)
$N + OH \leftrightarrow NO + H$	(R3)

N_2 molekülünün kararlılığından dolayı, N_2 yükseltgenebilmesi için çok miktar da enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır bundan dolayı Termal NO oluşumu için 1300 °C' dan daha fazla sıcaklık gerekmektedir [41]. Oksijen miktarının artması ile NO emisyonunun artmasının nedeni zeldovich mekanizmasına göre termal NOx oluşum şartlarının meydana gelmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Oksijen miktarı arttıkça ortam sıcaklığının ve sistemde bulunan oksijen miktarının artması ile NO emisyonu miktarı artmıştır.

3.1.2. Oksijence Zenginleştirmenin CO Emisyonuna Etkisi

Karbon monoksit insanlar için zehirli olan renksiz ve kokusuz bir gazdır. Karbon yakıtlarının tamamlanmamış yanması sonucu oluşur. Hava kirliliğini oluşturan gazlardan biridir [42]. Karbon monoksit emisyonunun miktarını etkileyen faktörler; tam yanmanın gerçekleşmemesi, oksijen miktarının azlığı ve düşük karışım oranıdır [43]. Şekil 3.2' de hava içerisindeki oksijen miktarının artması ile CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. Oksijen oranı %21' den %27' e arttığında sırası ile CO emisyonu 1923, 60 ve 30 ppm ölçülmüştür. Oksijen oranının %21'den %24 çıkması ile önemli miktarda CO emisyonu düşüşü gözlemlenmiştir.

CO emisyonu oluşumunun ana nedeni ortamda yeterli oksijen bulunmamasından kaynaklanmaktadır [44]. Yeterli oksijen sağlandığı durumda yanmayan ürünlerinde yanarak CO emisyonu oluşumunu düşürdüğü gözlemlenmiştir.



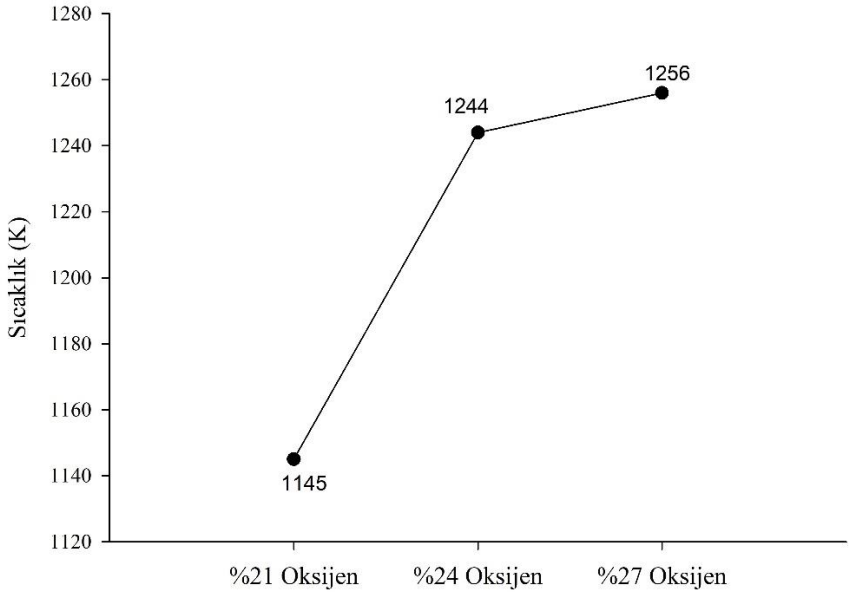
Şekil 3.2. Oksijen Oranının CO Emisyonuna Etkisi

Merlo ve arkadaşları ön-karışımsız yanmada düzeneğinde oksijenle zenginleştirmenin alev üzerine etkisi ile ilgili çalışma yapmışlardır. Oksijen oranın artması ile birlikte CO emisyonunun çoğu CO_2 gazına dönüşmüştür ve CO_2 miktarı lineer olarak artmıştır [45].

Bu çalışmada da oksijen oranı artması ile CO emisyonunun benzer şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

3.1.3. Oksijence Zenginleştirmenin Sıcaklığa Etkisi

Yanma odasının farklı bölgelerinden sıcaklık verileri alınabilmektedir. Şekil 3.3' de oksijen oranlarına göre 2B sıcaklık ısıl çiftler alınmış olan sıcaklık verileri gösterilmektedir. Normal hava (%21 oksijen) ile yanma sonucu 1145 K sıcaklık değerine ulaşmıştır. %24 ve %27 oranlarında oksijenle zenginleştirilmiş hava ile yanma sonucu sıcaklıklar sırası ile 1244 K ve 1256 K olarak ölçülmüştür. Bu durum hava içerisindeki oksijen miktarının artması sonucu olarak adyabatik alev sıcaklığının artması ile açıklanabilir [46].



Şekil 3.3. Oksijen oranının sıcaklığa etkisi

Oksijen oranına göre baca gazı sıcaklıkları Tablo 3.2' de gösterilmiştir.

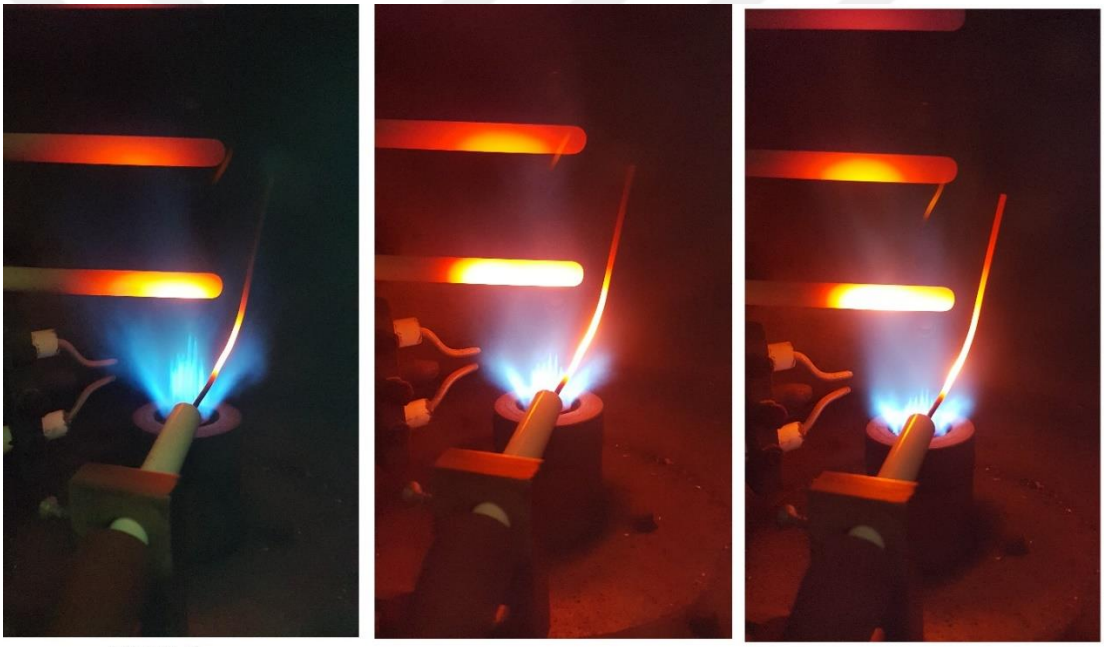
Tablo 3.2. Oksijen oranı-baca gazı sıcaklığı

Oksijen oranı	Baca gazı sıcaklığı (°C)
%21	210
%24	250
%27	251

Baca gazından alınan değer ile 2B tipi ısıl çiftlerden alınan değerler kıyaslandığı zaman benzer şekilde artış olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki durumda oksijen oranının artması sonucu adyabatik alev sıcaklığının artması ile açıklanabilmektedir.

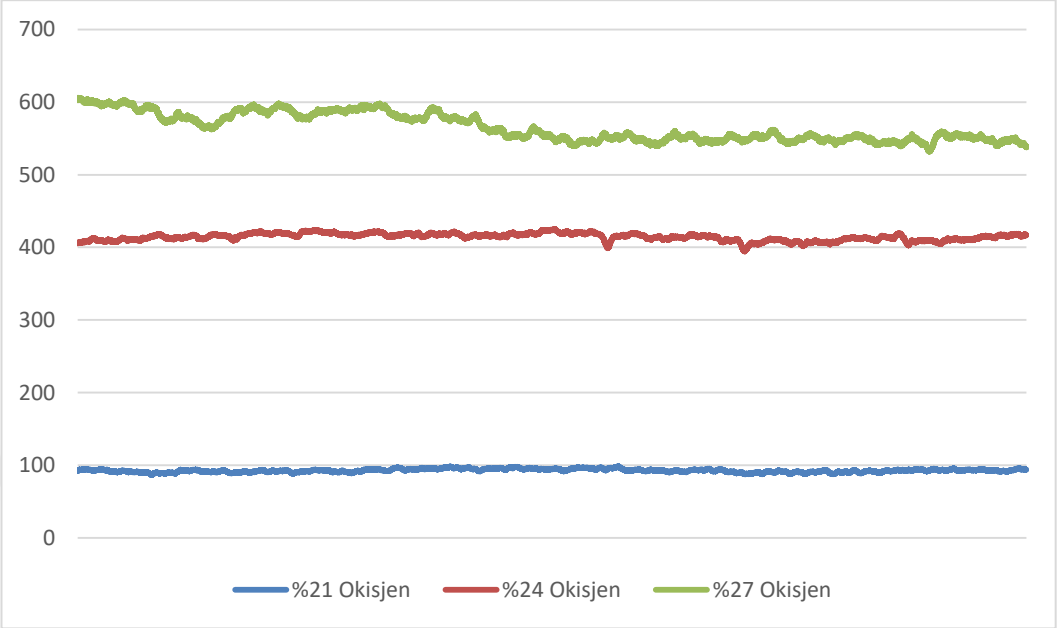
3.1.4. Oksijence Zenginleştirmenin Aleve Etkisi

Hava içerisinde bulunan oksijen miktarının artması sonucu alev parlaklığı arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.4' da oksijen oranlarına göre anlık fotoğrafı çekilmiş alev görüntüleri gösterilmiştir. Oksijen miktarının artması alev boyunun kısalmasına neden olmuştur.



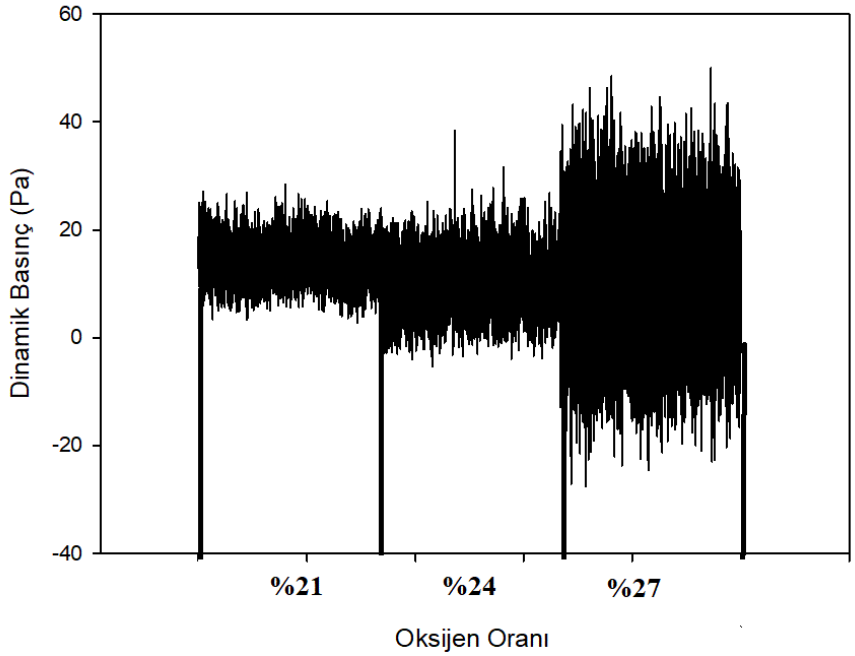
Şekil 3.4. Oksijen oranının alev parlaklığına etkisi

Şekil 3.5' de oksijen oranlarına göre ışık şiddetlerinin kıyaslaması gösterilmiştir. Hava içerisinde bulunan oksijen miktarının artması ile birlikte alevin ışık şiddetinin önemli derecede arttığı gözlemlenmiştir. Yanma hava içerisine oksijen eklemeden gerçekleştiği durumda (%21 oksijen) yaklaşıkolarak 100 mV ışık şiddetiölçülmüştür. Oksijen oranı %24'e çıkarıldığında ortalama ışık şiddeti 410 mV olarak ölçülmüştür. %27 oksijen oranına çıkıldığı zaman ortalama 550 mV ışık şiddeti oluştuğu gözlemlenmiştir. Oksijen oranı artması ile birlikte alev boyu kısalmaktadır ve alev daha yoğun hale gelmektedir bunların sonucu olarak alevin ışık yoğunluğu artmaktadır [47].



Şekil 3.5. Oksijen oranı-Işık şiddeti

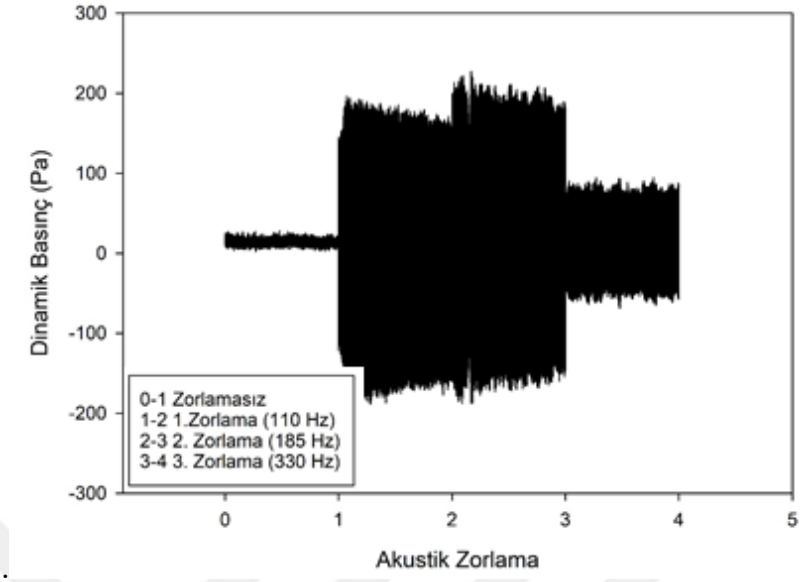
Oksijen oranının artmasının diğer bir etkisi ise dinamik basıncın artmasıdır. Şekil 3.6' de detaylı incelendiğinde %21 oksijenle yanma gerçekleşirken yanma odası içerisinde oluşan dinamik basınç ortalama 20 Pa olarak ölçülmüştür. Hava içerisinde bulunan oksijen %24 oranına çıkartıldığı durumda dinamik basınç ortalama 30 Pa olarak ölçülmüştür ve son olarak oksijen oranı %27 yapıldığında dinamik basınç ortalama 60 Pa olarak ölçülmüştür. Oksijen oranının artması alev üzerine uygulanan dinamik basıncın artmasına neden olmuştur.



Şekil 3.6. Oksijen oranı-Dinamik basınç

3.2. Akustik Zorlamanın Yanma Üzerine Etkisi

Yanma odasının iki tarafında bulunan hoparlörler vasıtasıyla alev üzerine akustik zorlama uygulanarak alev kararsızlığı, emisyon değerleri, basınç ve sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Ani basınç değişimlerinin olduğu frekans noktaları baz alınarak akustik zorlama noktaları belirlenmiştir. Şekil 3.7' da 30-400 Hz arasında frekans değerleri artırılarak ani basınç değişimlerinin olduğu noktalar gözlemlenmiştir ve 3 farklı frekans değerinde yüksek basınç değişimi oluşmuştur. 110 Hz, 185 Hz ve 330 Hz yanma odasının doğal akustik modları olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.7. Akustik zorlama- Dinamik basınç grafiği

3.2.1. Akustik Zorlamanın NO emisyonuna etkisi

%24 oksijen oranında yanma gerçekleşirken akustik zorlamanın uygulanmadığı durumda yaklaşık20 Pa basınç oluşmuştur.Akustik frekans 110 Hz, 185 Hz ve 330 Hz olarak uygulandığı durumlarda, dinamik basınç değerleri yaklaşıkolarak sırası ile 240 Pa, 220 Pa ve 130 Pa olarak ölçülmüştür. Zorlamasız, 110 Hz, 185 Hz ve 330 Hz zorlamalara karşılık gelen NO emisyon değerleri sırası ile 130 ppm, 125 ppm, 130 ppm ve 131 Ppm olarak ölçülmüştür.

Tablo 3.3' de frekans, dinamik basınç ve oluşanNO emisyon miktarı gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Akustik zorlama-NO emisyonu

Frekans (Hz)	Dinamik Basınç (Pa)	NO emisyonu (ppm)
Zorlama	20	130
110	240	125
185	220	130
330	130	131

Akustik zorlama sonucu vorteks oluşmaktadır ve buda yakıt-hava karışımını iyileştirmektedir. Karışımın iyileşmesi daha düşük alev sıcaklığı ve NOx oluşumu sağlamaktadır [48]. Akustik zorlamanın (dinamik basınç) artması ile birlikte NO emisyonunda düşme gözlemlenmiştir.

3.2.2. Akustik Zorlamanın CO Emisyonu Üzerine Etkisi

Akustik zorlamanın uygulanmadığı durumda yaklaşıkolarak basınç değeri ortalama 20 Pa olarak tespit edilmiştir ve 1923 ppm CO emisyonu oluşmuştur. 110 Hz frekans uygulandığında yaklaşıkolarak alev üzerine etki eden dinamik basınç değeri 240 Pa olmuştur ve 810 ppm CO emisiyonu oluşmuştur. Diğer bir zorlama noktası olan 185 Hz frekansa ulaşıldığında dinamik basınç değeri 220 Pa olarak belirlenmiştir ve 1375 ppm CO emisyonu oluşmuştur. Son zorlama değeri olan 330 Hz frekans değeri uygulandığında alev üzerine etki eden dinamik basıncın ortalama 130 Pa olduğu tespit edilmiştir ve yaklaşıkolarak 1650 ppm CO oluşmuştur. Tablo 3.4' de frekans, dinamik basınç ve CO emisyonu gösterilmiştir.

Karbon içeren birleşiklerin tamamlanmamış yanma ürünü olarak CO emisyonu oluşmaktadır [49]. Tamamlanmamış yanma ürünlerini akustik zorlama uygulayarak sistemde tekrar yakıldığı zaman CO emisyonu oluşumu düşmektedir.

Tablo 3.4. Akustik zorlama-CO emisyonu

Frekans (Hz)	Dinamik basınç (Pa)	CO emisyonu (ppm)
Zorlamasız	20	1923
110	240	810
185	220	1375
330	130	1650

3.2.3. Akustik Zorlamanın Sıcaklık Üzerine Etkisi

B tipi aleve en yakın ısıl çiftlerden elde edilen sıcaklıkları %24 oksijenle yanma baz alınarak kıyaslama yapıldığında elde edilen sonuçlar Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Akustik zorlama-Sıcaklık değişimi

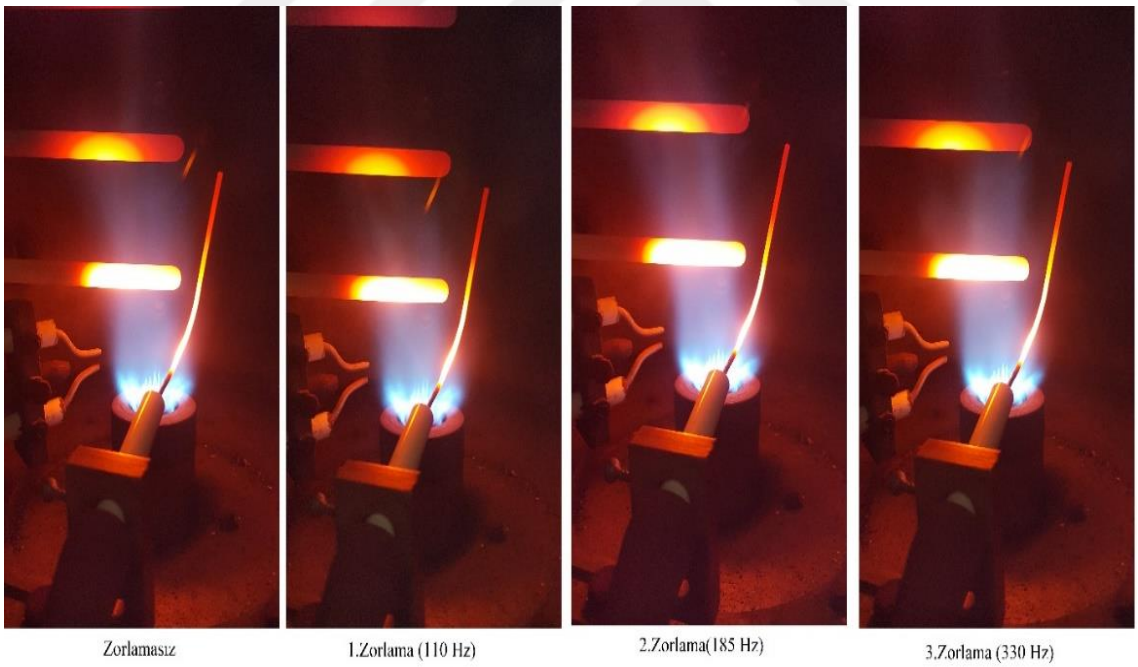
Frekans (Hz)	Dinamik Basınç (Pa)	Sıcaklık (C)
Zorlamasız	20	1245
110	240	1237
185	220	1243
330	130	1247

Sıcaklığın dinamik basınç değişimi ile önemli ölçüde değişmediği sonucuna varılmıştır. Dinamik basıncın artması ile sıcaklığın önemsenmeyecek miktarda azaldığı gözlemlenmiştir.

Sisteme akustik zorlama uygulama sonucu sistemde vorteks oluşumu artmaktadır. Vorteks oluşumu yakıt-hava karışımoranını artırmaktadır. Karışımoranının iyileşmesi sonucu alev sıcaklığı düşmektedir [48].

3.2.4. Akustik Zorlamanın Aleve Etkisi

Akustik zorlamanın alev üzerine etkisini belirleyebilmek için frekans değişimi dışındaki değişkenler sabit tutulmuştur. %24 oksijen yanma sırasında farklı akustik zorlamalar altında alınan anlık alev görüntüleri Şekil 3.8' de gösterilmiştir.



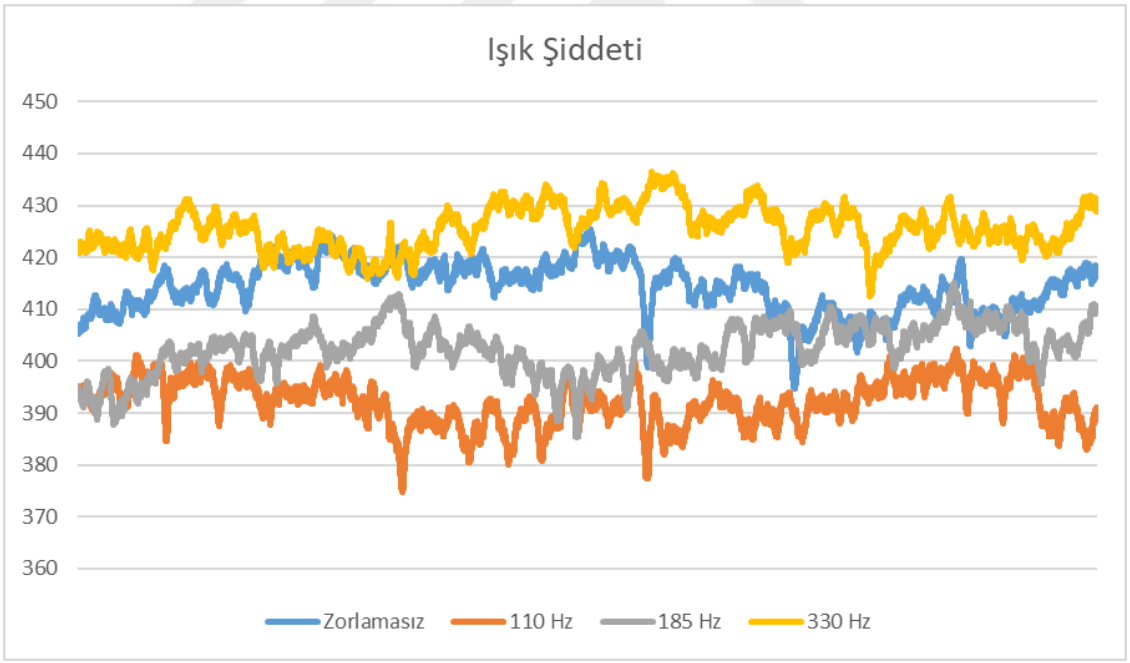
Şekil 3. 8. Akustik Zorlama-Alev kararsızlığı

Zorlamasız durumda alev üzerine yaklaşıkolarak 20 Pa dinamik basınç etki etmiştir. Zorlamasız 20 Pa dinamik basınçtan, 110 Hz 240 Pa dinamik basınca geçildiği zaman ani değişim alev boyunun ciddi şekilde kısalmasına neden olmuştur.110 Hz' den 185 Hz'e geçişte ciddi bir değişim gözlemlenmemiştir. Son zorlama durumu olan 330 Hz'

de 130 Pa dinamik basınca ciddi bir düşüşle alev üzerindeki zorlamadan kaynaklı dinamik basınç azaldığı için alev boyu artmıştır.

Şekil 3.9' da %24 oksijende ışık şiddetinin farklı zorlama altında vermiş olduğu değişimi göstermektedir. Akustik zorlama uygulanmadığı durumda ortalama 415 mV ışık şiddeti oluşmuştur. Çıplak zorlama durumunda ortalama 390 mV ışık şiddeti oluşmuştur.185 Hz zorlama altında ise 405 mV ışık şiddetioluşmuştur. Son zorlama olan 330 Hz frekansta ise yaklaşık 430 mV ışık şiddeti oluşmuştur.

Fujisawa ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmaya göre, akustik zorlama (dinamik basınç) arttığı zaman; alev boyu, osilasyon genliği ve alev parlaklığı azalmaktadır [50]. Bu çalışmadada benzer sonuç olarak alev üzerine uygulanan dinamik basınç arttığında alevin boyu ve parlaklığının düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 3. 9. Zorlama-Işık Şiddeti grafiği

Tablo 3.6'de frekans, basınç ve ışık şiddetleri verilmiştir. Tablodaki veriler baz alarak değerlendirme yapıldığı zaman; dinamik basınç arttığı zaman ışık şiddetinin azaldığı sonucuna varılmaktadır.

Tablo 3.6. Akustik zorlama- IĢık Ğiddeti tablosu

Frekans	Dinamik Basınç	IĢık ğiddeti
Zorlamasız	20 Pa	415 mV
110 Hz	240 Pa	390 mV
185 Hz	220 Pa	405 mV
330 Hz	130 Pa	430

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında temiz, maliyeti düşük ve miktarı çok olan LPG (%100 propan) yakıt olarak kullanılmıştır. Propan gazı oksijenle zenginleştirilerek yakılmıştır. Oksijen oranları %21, %24, %27 ve %28 kullanılarak yanma deneyi gerçekleştirilmiştir. Yanma odasının iki farklı tarafına yerleştirilen hoparlörler sayesinde sisteme akustik zorlama uygulanmıştır. 110 Hz, 185 Hz ve 330 Hz olmak üzere üç farklı frekans altında zorlama uygulanmıştır. Dinamik basınç, ışık şiddeti, sıcaklık, emisyon ve alev görüntüleri değerlendirilerek yanma üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Oksijen oranı %28 yapıldığında alevde sönme gerçekleşmiştir.

1) Hava içerisinde bulunan oksijen miktarının artması sonucu sıcaklığın ve buna bağlı olarak NOx emisyonunun arttığı gözlemlenmiştir. Doğa için zararlı olan NOx emisyonunun artışı gözlemlenmesi oksijenle zenginleştirilmiş yanmanın dezavantajlı sonucu olmuştur.

2) Oksijen miktarının artması ile CO emisyonun azaldığı görülmüştür. Hava kirliliği artıran en önemli gaz emisyonlarından biri olan CO emisyonunun düşmesi oksijenle zenginleştirilmiş yanmanın en önemli sonucu olmaktadır.

3) Akustik zorlamanın yanma odası içerisinde oluşan vorteks miktarını artırması sonucu olarak yakıt-hava karışımının iyileşmesi sonucu sıcaklık ve NOx emisyonunda düşüş gözlemlenmiştir.

4) Oksijenle zenginleştirilmiş yanma alev parlaklığını önemli ölçüde artırmıştır.

5) Akustik zorlama sonucu CO ve NOx emisyonlarında düşüş gözlemlenmiştir.

6) Akustik zorlamanın artması sonucu alev sıcaklığında düşme gözlemlenmiştir.

4.2. Öneriler

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen tecrübeye dayanarak aşağıdaki öneriler sunulmuştur;

1) Bu çalışmada oksijen oranı %28 oranına çıkartıldığında alev sönmesi gerçekleşmiştir. Daha gelişmiş yakıcıda bu oran denenerek %28 oranındaki oksijenle zenginleştirilmiş yanmaya incelenebilir.

2) Gaz emisyonlarının daha iyi değerlendirilebilmesi için daha hassas ölçüm aletleri kullanılabilir.

3) Alev fotoğraflarının daha net yorumlanabilmesi için ısıya dayanaklı termal kamera ile yanma odası içerisinden görüntü alınması gerekmektedir.

4) Akustik zorlama limiti daha yüksek olan hoparlörler sisteme dahil edilip alev daha yüksek akustik zorlama uygulanarak alev davranışları takip edilebilir.

KAYNAKÇA

[1] Bae, K., Kim, J., 2017. Alternative fuels for internal combustion engines. **Proceedings of the Combustion Institute**, 36: 3389–3413.

[2] Lee, K., Ryu, J., 2005. An experimental study of the flame propagation and combustion characteristics of LPG fuel. **Fuel**, 84: 1116–1127.

[3] Özcan, F., 2010. Buji AteĢlemeli Bır Motorda Lpg ve Cng (SıkıĢtırılmıĢ Doğal Gaz) Kullanımının Motor Performansı ve egzoz emisyonlarına etkısı. Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans, Ġstanbul, 99.

[4] Woo, S., Baek, S., Lee, K., 2020. On-board Lpg reforming system for an Lpg hydrogen mixed combustion engine. **International Journal of Hydrogen Energy**, 45: 12203–12215.

[5] Elbaz, A. M., Moneib, H. A., Shebil, K. M., Roberts W. L., 2019. Low NOX - Lpg staged combustion double swirl flames. **Renewable Energy**, 138: 303–315.

[6] Karagöz, Y., Köten, H., 2019. Effect of different levels of hydrogen+LPG addition on emissions and performance of a compression ignition engine. **Journal of Thermal Engineering**, 5: 58–69.

[7] Hahn, Eric., 2019, what is the percentage of propane and butane in LPG gas mixture-which gas is present in LPG (https://www.elgas.com.au/blog/1972-lpg-contains-which-gases-gases-present-in-lpg-gases-used.) (EriĢim tarihi: Mart 2020)

[8] Gellert, B., 2013. Modern Gas Turbine Systems. Woodhead Publishing, 816.

[9] Çengel, Y., Boles M., 2005 Thernıdynamics an Engineering Approach, McGraw-Hill Education,

[10] theglobaleconomy., 2013. LPG production - Country rankings. (https://www.theglobaleconomy.com/rankings/lpg_production/.) (EriĢim Tarihi: Mart 2020)

[11] indexmundi., 2021 Liquefied Petroleum Gases Consumption by Country (https://www.indexmundi.com/energy/?product=lpg&graph=consumption&display=rank.) (EriĢimTarihi: Mart 2020)

[12] Türkiye Ġstatistik Kurumu (TUĠK), 2019. (https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Mart-2019-30632) (EriĢim Tarihi: Mart 2020)

[13] Speight, J.G., 2020. Shale oil and gas production processes. Gulf Professional (Elsevier), 1031

[14] Baukal, J. C. E., 2013. Oxygen-Enhanced Combustion, CRC Press, 779

[15] Hendershot, R. J., Lebrecht, T. D., Easterbrook, N. C., 2010. Use oxygen to improve combustion and oxidation. **Chemical Engineering Progress**, 106: 57–

61.

[16] Lee, C. Y., Baek, S., W., 2007. Experimental study of hybrid reburning and SNCR process for nox reduction in various oxygen-enriched LPG flame. **Challenges of Power Engineering and Environment**,1:689–695.

[17] Liang, P., 2014. Study on oxygen-enriched combustion application technology. **Advanced Materials Research**, 912–914:342–345.

[18] AlabaĢ, B., 2021. Oksijenle ZenginleĢtirilen Sentetik Gaz Yakıtların Yanma Kararsızlığının Deneysel Ġncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, doktora tezi, Kayseri, 184.

[19] Cao, Y., Wang, Q., Du, J., Chen, J., 2019. Oxygen-enriched air gasification of biomass materials for high-quality syngas production. Energy Conversion and Management.

[20] AlabaĢ,B., Tunç, G., TaĢtan,M., Yilmaz, Ġ, 2019. Experimental investigation of the oxygen enrichment in synthetic gases flames. **Fuel**, 270:117-482.

[21] Safer, M., Tabet, F., Ouadha, A., Safer K., 2015. A numerical investigation of structure and emissions of oxygen-enriched syngas flame in counter-flow configuration. **International Journal of Hydrogen Energy**, 40: 2890–2898.

[22] Bhatia, P., Singh R., 2017. Effect of Oxygen Enrichment in Propane Laminar Diffusion Flames under Microgravity and Earth Gravity Conditions. **Microgravity Science and Technology**, 29:177–190.

[23] Ma, C., Li, Bo., Chen, D., Wenga, T., Ma, W., Lin, F., Chen, G., 2019. An investigation of an oxygen-enriched combustion of municipal solid waste on flue gas emission and combustion performance at a 8 MWth waste-to-energy plant. **Waste Management**, 96:47–56.

[24] Kim, H. J., Choi, W., Bae, S. H., Shin, H. D., 2009. Characteristics of a multi-jet burner in oxy-liquefied petroleum gas (LPG) flames. **Energy and Fuels**, 23:1456–1463.

[25] Pan. L, 2013. Experimental study and theoretical analysis on flame characteristic of blast burner combustion with oxygen-enriched, **Frontiers of Energy and Environmental Problems**, 1:320-323.

[26] Lipatnikov, A., 2012. Fundamentals of Premixed Turbulent Combustion. CRC press, 518.

[27] Pachpute, S. N, 2021. CFD Flow Engineering. (https://cfdflowengineering.com/cfd-modeling-of-turbulent-combustion/.) (EriĢimTarihi: Nisan 2021)

[28] Ġbaġ,M., Karyeyen, S., Çilingir, K., 2016. Ön KarıĢımsız ve Ön KarıĢımlı Metan Alevlerinin Baca Yanma Parametrelerinin Deneysel Olarak Ġncelenmesi Experimental Investigation of Flue Gas Combustion Parameters of Non-Premixed and Premixed Methane Flames. **Journal of Polytechnic**, 19:357–365.

[29] Fichera, A., Losenno, C., Pagano, A., 200. Experimental analysis of thermo-acoustic combustion instability. **Applied Energy**, 70:179–191.

[30] Deshmukh, N. N., Sharma S. D., 2020. Coefficient of Rayleigh Index based performance evaluation of radial micro jet injection technique for thermo-acoustic instability control. **Measurement**, 151:107-245.

[31] Deng, K., Zhong, Y., Wang, M., Zhong, Y., Luo K. H., 2020. Effects of acoustic excitation on the combustion instability of hydrogen−methane lean premixed swirling flames. **ACS Omega**, 5:8744–8753.

[32] Zinn, B. T., and Lieuwen, T. C., Combustion instabilities: basic concepts, 3-26". In Combustion Instabilities in Gas Turbine Engines: Operational Experience Fundamental Mechanisms, and Modeling (Lieuwen, T. C, Yang, V.), American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.

[33] Çam, Ö., 2019. Sentetik Yakıtların Yanma Kararsızlığının Deneysel Ġncelenmesi. Erciyes University, Doktora Tezi, Kayseri, 226.

[34] Turns, S. R., 1967. An Introductıon to Combustıon Concepts and Applications, McGraw-Hill, 732.

[35] Gutkowski, A., 2006. Laminar Burning Velocity under Quenching Conditions for Propane-Air and Ethylene-Air Flames. **Archivum Combustionis**, 26:163-173.

[36] Sivri, Ġ, 2020. Biyogaz Yakıtların Yanma Karakteristiklerinin Deneysel Ġncelenmesi. Erciyes University, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 133.

[37] Spangelo, Ø., 2004. Experimental and Theoretical Studies of a Low NO x Swirl Burner. Norwegian University, Doktora Tezi. trondheim, 134.

[38] IlbaĢ,M., Karyeyen, S., Yilmaz, Ġ, 2016. Effect of swirl number on combustion characteristics of hydrogen-containing fuels in a combustor. **International Journal of Hydrogen Energy**, 41:7185–7191.

[39] the engineering toolbox, 2003. Air - Composition and Molecular Weight. (https://www.engineeringtoolbox.com/air-composition-d_212.html) (EriĢim Tarihi: Ocak 2021)

[40] Blaszczak, R. J., 2016. Nitrogen oxides (NOx), why and how they are controlled. (https://www3.epa.gov/ttn/catc/cica/other7_e.html)(Available: http://www.epa.gov/ttncatc1/dir1/fnoxdoc.pdf.) (EriĢimTarihi: Ocak 2021)

[41] Whitty, K. J., Zhang, H. R., Eddings, E. G., 2010. Pollutant formation and control, 169-191". In: Synthesıs gas combustıon fundamentals and ppplications (Lieuwen, T. C., Yetter, R., Yang, V.) CRC press.

[42] Levy, R. J., 2015. Carbon monoxide pollution and neurodevelopment: A public health concern. **Neurotoxicology and Teratology**, 49:31–40.

[43] Vakkilainen, E. K., 2017. Steam generation from biomass. Butterworth-Heinemann (Elsevier), 302.

[44] Baskar, P., Senthilkumar, A., 2016. Effects of oxygen enriched combustion on pollution and performance characteristics of a diesel engine. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, 19:438–443.

[45] Merlo, N., Boushaki, T., Chauveau, C., Persis, S. P., Pillier, L., Sarh, B, Gökalp, G, 2013. Experimental study of oxygen enrichment effects on turbulent non-premixed swirling flames. **Energy and Fuels**, 27:6191–6197.

[46] Ming, C., Borgnakke, X., Campos, D., S., Olszewski, M., Atreya, P., Borgnakke, A., 2013. Possibility of Combustion Furnace Operation with Oxygen-Enriched Gas from Nitrogen Generator. **ACEEE Summer Studies on Energy Efficiency in Industry**, 1:1–12,

[47] Chu, H., Han, W., Cao, W., Tao, Raza C., M., Chen, L., 2019. Experimental investigation of soot morphology and primary particle size along axial and radial direction of an ethylene diffusion flame via electron microscopy. **Journal of the Energy Institute**, 92:1294–1302.

[48] Oh, J., Heo, P., Yoon, Y., 2009. Acoustic excitation effect on NOx reduction and flame stability in a lifted non-premixed turbulent hydrogen jet with coaxial air. **International Journal of Hydrogen Energy** 34:7851–7861.

[49] Peirce, J. J., Weiner, R. E., Vesilind, E. A., Environmental Pollution and Control. Butterworth-Heinemann, 408.

[50] Fujisawa, N., Iwasaki, K., Fujisawa, K., Yamagata, Y., 2019. Flow visualization study of a diffusion flame under acoustic excitation. **Fuel**, 251:506–513.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Kamil Mutlu

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık Anabilim Dalı	2020
Lisans	Anadolu Üniversitesi, Uçak Gövde Motor Bakım	2017
Lise	Açık Öğretim Lisesi, Ankara	2011

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2020-Halen	Erciyes Üniversitesi	1 yıl
2017-2020	THY TEKNİK A.ş	2 yıl 8 ay

YABANCI DİL

İngilizce

BİLDİRİ

1. Taştan,M., Mutlu, K., (2021) The Proceedings of 8th International Conference on Renewable Fuels, Combustion and Fire (FCE'21), 8, ss 191-196