



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OKSİJEN İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ EMME HAVASININ LPG YAKITLI
BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN PERFORMANS VE EGZOZ
EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ali ÇİÇEK

Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bursa 2018

TEZ ONAYI

Ali ÇİÇEK tarafından hazırlanan "Oksijen İle Zenginleştirilmiş Emme Havaasının LPG Yakıtlı Buji Ateşlemeli Bir Motorun Performans Ve Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

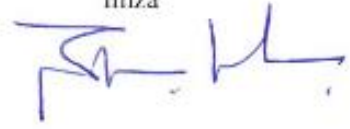
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ

U.Ü. Mühendislik Fakültesi

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye: Prof. Dr. Ali SÜRME

U.Ü. Mühendislik Fakültesi

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye: Doç. Dr. Hakan GÖKDAĞ

B.T.Ü. Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

2.8.4/2018

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

17/04/2018

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OKSİJEN İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ EMME HAVASININ LPG YAKITLI BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali ÇİÇEK

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ

Bu çalışmada, LPG dönüşümü yapılmış bir buji ateşlemeli motorun emme havasının saf oksijen ile zenginleştirilmesiyle motorun performans (efektif güç ve moment) ve egzoz emisyonları (HC, CO, CO₂, NO_x) üzerine etkileri incelendi. Bu amaçla yapılan testler iki aşamada yapıldı. Bunlar %50 gaz kelebeği konumunda ve %100 gaz kelebeği konumunda yapılan testlerdir.

Önce LPG yakıtı kullanılarak %50 gaz kelebeği konumunda 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerde ilave oksijensiz referans deneyler yapıldı. Sonra her bir devir için ayrı ayrı olmak üzere 1,2-1,4-1,6-1,8 barda oksijen emme havasına ilave edilerek testler yapılmıştır (atmosfer havası ortalama 1 bar alınmıştır). Daha sonra %100 gaz kelebeği testleri için öncelikle her devirde referans testleri yapıldı. Fakat %100 gaz kelebeği konumu için oksijen ilavesi için sadece 1,2 bar oksijen ilavesi kullanıldı.

Son olarak tüm sonuçlar incelendi. Elde edilen sonuçlar ile efektif verim ve efektif özgül yakıt tüketimi hesaplanarak diğer sonuçlarla birlikte değerlendirmeler yapıldı. LPG yakıtını alternatif yakıt olarak kullanan bir motorun emme havasına ilave oksijen verilmesiyle motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilileri ortaya konuldu.

Anahtar Kelimeler: Oksijen, LPG, buji ateşlemeli motor, egzoz emisyonları, motor performansı.

2018, ix + 69 sayfa

ABSTRACT

MSC Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF OXYGEN ENRICHED INTAKE AIR ON PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS OF A LPG FUELED SPARK IGNITION ENGINE

Ali ÇİÇEK

Uludağ University

Graduate School Of Natural And Applied Sciences

Department Of Automotive Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ

In this work, suction air of spark ignition engine which its LPG transformation has been made, with the oxygen enrichment, effect on engine' performance (effective power & momentum) and exhaust emissions (HC, CO, CO₂, NO_x) have been analyzed. Within this purpose, tests have been made in two stages. These are the test which have been made on %50 throttle position and %100 throttle position.

Reference experiments without oxygen have been made first by using LPG fuel, on %50 throttle with 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 car cycle. Then, for each car cycle, for each cycle, on 1,2-1,4-1,6-1,8 bar, tests have been done by being added into oxygen intake air (atmosphere air is calculated as 1 bar approximately). And then, for %100 gas throttles tests, especially on each car cycle, reference experiments have been done but for the %100 gas throttle position, for oxygen intake, only 1,2 bar oxygen insertion has been done.

Finally, all results have been analyzed. With all results which have been gained, effective output and effective specific fuel consumption has been evaluated with all other results after having been calculated. Effects on engine performance and exhaust emission have been put by inserting oxygen into an engine suction air which has been used as alternative fuel.

Key Words: Oxygen, LPG, spark ignition engine, exhaust emissions, engine performance.

2018, ix + 69 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yaşadığım süre boyunca maddi ve manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen aileme, yüksek lisans eğitimim süresince akademik anlamda bizlere örnek olan, bilgisini ve deneyimlerini her zaman bizlerle paylaşan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ danışman hocama teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yardımlarından dolayı otomotiv mühendisliği araştırma görevlisi Emre BULUT'a ve otomotiv mühendisliği bölüm teknisyeni Necati TÜRKÖZ'e teşekkür ederim. Son olarak ailem gibi gördüğüm Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrenci işleri memurlarına teşekkür ederim.

Ali ÇİÇEK

17/04/2018



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Likit Petrol Gazı (LPG).....	12
3.4. Otomotivde LPG kullanımı.....	12
3.4.1. LPG yakıt sistemleri.....	14
3.4.2. LPG yakıt sistemlerinin avantajları.....	16
3.4.3 LPG yakıt sistemlerinin dezavantajları.....	17
3.5. Deney Düzeneği Ve Tertibatı.....	18
3.5.1. Deney motoru.....	18
3.5.2. Deney düzeneği ve dinamometresi.....	19
3.5.3. LPG yakıt ve oksijen sarfiyatının ölçüm düzenekleri.....	20
3.5.4. Egzoz emisyon ölçüm düzeneği.....	21
3.5.5. Motor soğutma suyu sıcaklık kontrolü.....	23
3.6. Deneyin Yapılışı.....	23
3.7. Oksijenin Kütleli Debişinin Hesaplanması.....	24
4. BULGULAR.....	26
4.1. %50 Gaz Kelebeği Testleri.....	26
4.2. %100 Gaz Kelebeği Konumu Testleri.....	44
4.3. Rölanti Testleri.....	47
4.4. Efektif Verim.....	47
4.5. Efektif Özgül Yakıt Tüketimi.....	51
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	55
KAYNAKLAR.....	60

EKLER.....	62
ÖZGEÇMİŞ	69



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simge	Açıklama
H_u	yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)
P_e	efektif güç (kW)
T_e	Moment (Nm)
b_e	efektif özgül yakıt tüketimi (gr/kWh)
λ	Lambda
η_e	efektif verim
Q_y	motora yakıtla verilen enerji (kJ)
\dot{m}_y	kullanılan yakıtın kütlesi (gr/s)

Kısaltma	Açıklama
LPG	Sıkıştırılmış petrol gazı
CNG	oto doğalgaz
LNG	sıkıştırılmış doğalgaz
M85	hacimsel bazda %85 metanol %15 benzin içeren karışım
BSFC	fren özgül yakıt tüketimi
GKK	gaz kelebeği konumu
WOT	geniş açık gaz kelebeği
H/Y	hava yakıt oranı
SI	kıvılcım ateşlemeli motor
CI	sıkıştırma ateşlemeli motor
O ₂	oksijen
H ₂	hidrojen
HC	hidrokarbonlar
CO	karbonmonoksit
CO ₂	karbondioksit
NO _x	nitrojen oksit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Türkiye’de LPG karışımı	12
Şekil 3.2. LPG yakıt sisteminin araç üzerinde gösterimi	15
Şekil 3.3. LPG yakıt sistemi parçaları.....	16
Şekil 3.4. Dinamometrenin kontrol mekanizması.....	19
Şekil 3.5. Deney test düzeneği	20
Şekil 3.6. LPG yakıt ve oksijen sarfiyatı ölçüm düzenekleri.....	21
Şekil 3.7. Egzoz emisyonları ölçüm cihazı (FSA 760)	22
Şekil 3.8. Pid sıcaklık kontrolcüsü (Autonics TK4S-14CN)	23
Şekil 4.1. %50 GKK 2000 d/d’da efektif güç değişimi	27
Şekil 4.2. %50 GKK 2500 d/d’da efektif güç değişimi	27
Şekil 4.3. %50 GKK 3000 d/d’da efektif güç değişimi	28
Şekil 4.4. %50 GKK 3500 d/d’da efektif güç değişimi	28
Şekil 4.5. %50 GKK 4000 d/d’da efektif güç değişimi	29
Şekil 4.6. %50 GKK 2000 d/d’da moment değerinin değişimi	30
Şekil 4.7. %50 GKK 2500 d/d’da moment değerinin değişimi	30
Şekil 4.8. %50 GKK 3000 d/d’da moment değerinin değişimi	31
Şekil 4.9. %50 GKK 3500 d/d’da moment değerinin değişimi	31
Şekil 4.10. %50 GKK 4000 d/d’da moment değerinin değişimi	32
Şekil 4.11. %50 GKK 2000 d/d’da HC emisyonu değişimi	33
Şekil 4.12. %50 GKK 2500 d/d’da HC emisyonu değişimi	33
Şekil 4.13. %50 GKK 3000 d/d’da HC emisyonu değişimi	34
Şekil 4.14. %50 GKK 3500 d/d’da HC emisyonu değişimi	34
Şekil 4.15. %50 GKK 4000 d/d’da HC emisyonu değişimi	35
Şekil 4.16. %50 GKK 2000 d/d’da CO emisyonundaki değişimler	36
Şekil 4.17. %50 GKK 2500 d/d’da CO emisyonundaki değişimler	36
Şekil 4.18. %50 GKK 3000 d/d’da CO emisyonundaki değişimler	37
Şekil 4.19. %50 GKK 3500 d/d’da CO emisyonundaki değişimler	37
Şekil 4.20. %50 GKK 4000 d/d’da CO emisyonundaki değişimler	38
Şekil 4.21. %50 GKK 2000 d/d’da CO ₂ emisyonundaki değişimler	39
Şekil 4.22. %50 GKK 2500 d/d’da CO ₂ emisyonundaki değişimler	39
Şekil 4.23. %50 GKK 3000 d/d’da CO ₂ emisyonundaki değişimler	40
Şekil 4.24. %50 GKK 3500 d/d’da CO ₂ emisyonundaki değişimler	40
Şekil 4.25. %50 GKK 4000 d/d’da CO ₂ emisyonundaki değişimler	41
Şekil 4.26. %50 GKK 2000 d/d’da NO _x emisyonundaki değişimler	42
Şekil 4.27. %50 GKK 2500 d/d’da NO _x emisyonundaki değişimler	42
Şekil 4.28. %50 GKK 3000 d/d’da NO _x emisyonundaki değişimler	43
Şekil 4.29. %50 GKK 3500 d/d’da NO _x emisyonundaki değişimler	43
Şekil 4.30. %50 GKK 4000 d/d’da NO _x emisyonundaki değişimler	44
Şekil 4.31. %50 GKK 2000 d/d’da efektif verimdeki değişimler.....	48

Şekil 4.32. %50 GKK 2500 d/d'da efektif verimdeki değişimler.....	49
Şekil 4.33. %50 GKK 3000 d/d'da efektif verimdeki değişimler.....	49
Şekil 4.34. %50 GKK 3500 d/d'da efektif verimdeki değişimler.....	50
Şekil 4.35. %50 GKK 4000 d/d'da efektif verimdeki değişimler.....	50
Şekil 4.36. %50 GKK 2000 d/d'da efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler.....	52
Şekil 4.37. %50 GKK 2500 d/d'da efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler.....	52
Şekil 4.38. %50 GKK 3000 d/d'da efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler.....	53
Şekil 4.39. %50 GKK 3000 d/d'da efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler.....	53
Şekil 4.40. %50 GKK 4000 d/d'da efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler.....	54



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Propan, bütan ve benzin değerleri karşılaştırması	13
Çizelge 3.2. LPG ve gaz karşılaştırmalı değerler.....	14
Çizelge 3.3. Test motorunun özellikleri.....	18
Çizelge 4.1. %100 GKK çalışmada efektif güç ve moment değerlerindeki değişimler .	45
Çizelge 4.2. %100 GKK çalışmada emisyon değerlerindeki değişimler	46
Çizelge 4.3. %100 gaz kelebeği konumunda efektif verimdeki değişimler.....	51
Çizelge 4.4. %100 gaz kelebeği açıklığında efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler	54



1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan araçların büyük bir kısmını petrol ürünleri kullanarak kimyasal enerjiyi hareket enerjisine çeviren içten yanmalı motorlu araçlar oluşturmaktadır. Petrol ürünlerinin içten yanmalı motorlarda kullanılması sonucu oluşan kirletici emisyonların çevreye ve insan sağlığına karşı oluşturduğu olumsuz etkiler günden güne artmaktadır. Kirletici emisyon seviyelerini düşüren kısıtlamalar, motor üreticilerini daha az emisyon üreten motorlar üretmeye zorlamıştır (Bulut 2016).

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), günümüz alternatif yakıt olarak ulaşımda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çevresel ve ekonomik faydaları daha düşük bir kirletici olması, gaz halinde kullanıldığından motor yağı ömrünü uzatması ve karbon birikimi olmadığı için motor ömrünü uzatır (Tira ve ark. 2012).

İçten yanmalı motor yakıtı olarak LPG, benzine nazaran birçok üstünlüklere sahiptir. Ancak halen Türkiye'deki mevcut uygulanma teknolojileri ile LPG'nin bu üstünlüklerinden olabilecek en üst düzeyde faydalanabilmek mümkün değildir.

Ülkemizde bulunan benzinli araçların büyük bir çoğunluğunu, karbüratörlü veya çok noktadan manifolda püskürtmeli yakıt besleme sistemlerine sahip araçlar teşkil etmektedirler. Karbüratörlü araçlarda ventürili veya bir başka ifade ile 1. nesil, çok noktadan manifolda püskürtmeli araçlarda ise sıralı enjeksiyonlu LPG kitleri kullanılmaktadır. 1. nesil LPG kitleri ilkel yapıda olup son derece verimsiz sistemlerdir. Sıralı enjeksiyon LPG kitleri ise sadece püskürtme işlemi üzerinde basit birkaç kalibrasyon yapılabilmesine olanak sağlarken, motorun verimli çalışmasında son derece önemi olan ateşleme avans açılarının optimizasyonu ile ilgili olarak herhangi bir yeteneğe sahip değildir (Erkuş 2011).

Tez kapsamında LPG dönüşümü yapılan araçlarda meydana gelen verimsiz çalışma şartları araştırılmış ve bu şartların düzeltilmesine yönelik emme manifolduna ilave oksijen verilerek performans artırımı ve emisyon düşürülmesi denenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Farklı yakıt tiplerinde araçlarda kullanılan içten yanmalı motorların performanslarının en uygun şekilde sokulması günümüzde birçok araştırmacının ilgi konusu haline gelmiştir. Gerek çevre bilincinin artması ve gerekse dünyamızdaki fosil kaynakların daha ekonomik kullanılma gerekliliği söz konusu araştırmacıların bu konulara yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Bu yakıtlar LPG, CNG, LNG, biyodizel, metanol – genellikle M85, etanol - genellikle E85 ve H2 şeklinde sıralanabilir. Alternatif yakıtların çeşitliliğine rağmen alternatif yakıtla çalışan araç sayısı, klasik yakıtlarla (benzin ve dizel) çalışan araç sayısı ile kıyaslandığında çok daha az miktarda kaldığı görülmektedir. Bunda motor ve taşıt üzerinde yapılması gereken modifikasyonların yanında alternatif yakıtların taşınması, depolanması ve dağıtım problemleri de etkilidir (Erkuş 2011).

Bu tez çalışması kapsamında LPG'nin alternatif yakıt olarak kullanılan ve oksijen zenginleştirme yapılan çalışmalarını inceleyeceğiz. Bu iki çalışma türlerinin motor karakteristikleri ve performansı ile egzoz emisyonlarına etkilerine bakacağız.

Wu ve Huang (2007) oksijen açısından zenginleştirilmiş emme havasını kullanarak dört zamanlı bir scooter(küçük gaz kontaklı motor) motoru deneysel çalışmayla incelemişler. Motor performansı ve yanma özellikleri artırılması için çalışılmıştır. Moment artışı ve BSFC'nin (fren özgül yakıt tüketimi) ortalama değerleri iyileşmesi, emme havasındaki oksijen konsantrasyonundan % 2'den, hacimce % 2'e çıktığında, yaklaşık % 14'tür. Nedeni daha yüksek alev sıcaklığı ve yanma hızı olabilir. Yük karışımı daha yalın hale gelir, çünkü oksijen konsantrasyonu arttıkça daha düşük BSFC için başka bir sebep olmuştur. CO ve HC'nin egzoz emisyonları daha eksiksiz yanma nedeniyle azalır ancak yüksek yanma sıcaklığı nedeniyle NOx artar. Düşük yük operasyonunun çevrimsel kararsızlığı, oksijen konsantrasyonunun % 21'den % 23'e çıkması ile azalmıştır. Bununla birlikte, oksijen konsantrasyonu % 23'ten yüksek olduğunda çevrim değişimi daha fazla azalmaz.

Wu ve Huang (2007) bu çalışmada motor performansını artırmak için oksijen ile zenginleşmeyi özellikle küçük motorlarda, geniş açık gaz kelebeği (WOT) çevresinde kullanmışlardır. Araç sıklıkla WOT'da çalıştırılmaz, bu nedenle az miktarda oksijene ihtiyaç duyulur. Gelecekte, oksijen besleme sistemini geliştirmek ve buji kıvılcım

ateşleme zamanlamasını ve oksijen konsantrasyonunu kalibre etmek için çalışma yapılmasını önermişlerdir.

Pu ve ark. (2016) oksijen zenginleştirmesinin kömür ve biyokütle NO_x emisyonları üzerine etkilerine bakılmıştır. FCad-NO_x aşamasında, biyokütle harmanlanarak % 70'den fazla NO_x üretildi, çünkü termal ve istemsiz NO_x emisyonundan kaçınıldı ve yüksek CO₂ konsantrasyonu da NO_x konsantrasyonunun üretimini sınırladı. Dönüşüm oranı O₂ / CO₂ durumunda azaldı. O₂ konsantrasyonu arttıkça, NO_x konsantrasyonu arttı ve Vdaf-NO_x dönüşüm oranı da arttı. Bununla birlikte, sabit bir karbon yanma aşamasında, reaksiyon süresi artmış ve yüksek O₂ konsantrasyonu, heterojen indirgeme reaksiyonunu arttırılmıştır. Böylece, FCad-NO_x dönüşüm oranı azaltılarak Nihai NO_x dönüşüm oranı ve emisyon hacmi azaltılmıştır.

Pu ve ark. (2016) O₂ / CO₂ durumunda, kömürle karıştırılan az miktarda biyokütle emisyon konsantrasyonunu ve dönüşüm oranını azaltabilir. Aynı zamanda, FCad-NO_x dönüşüm oranındaki azalma bu süreçte baskın bir rol oynamıştır. Karışım oranı % 10'dan %30'a yükseldiğinde, son dönüşüm oranı biraz arttı, ancak toplam NO_x emisyonu aslında düştüğünü tespit etmişlerdir.

Sezer ve ark. (2005a) yaptıkları deneylerde elde edilen bulgular ve gözlemler sonucunda karbüratörlü motora ilave oksijen verilmesiyle ilgili olarak şu sonuçlar çıkarılmıştır. Karbüratörlü motora ilave oksijen verilmesiyle motor efektif gücü ve momentinde artış sağlanmıştır. Motora ilave oksijen verilmesiyle, aynı miktardaki yakıtı aynı şartlar altında tüketim zamanı uzamıştır. Özgül yakıt tüketiminde düşüş sağlanmıştır. Motora verilen oksijen miktarı gereğinden fazla olduğunda, motorda tekleme ve geri tepme meydana gelmiştir.

Sezer ve ark. (2005b) yaptıkları diğer bir deneylerde elde edilen bulgular ve gözlemler sonucunda karbüratörlü motora ilave oksijen verilmesiyle ilgili olarak şu sonuçlar çıkarılmıştır. CO emisyonunda düşüş meydana geldiği görülmüştür. Özellikle kısmi yük durumunda sıfır emisyon sınırına yaklaşılmıştır. CO₂ emisyonunda artış görülmüştür. Bu durum yanmanın iyileştiğine ve ısı veriminin arttığına işarettir. Egzozda görülen oksijen miktarında artış meydana gelmiştir. Bu durum ilave edilen oksijenin bir kısmının reaksiyona girmeden egzozdan atıldığına işarettir. HC emisyonunda azalma

meydana geldiği saptanmıştır. Bu durum oksijen konsantrasyonunun artması nedeniyle yakıtın daha iyi oksitlenmesi ve egzozdaki oksijen konsantrasyonunun yüksek olması nedeniyle yanma sonrası bir oksidasyon gerçekleşmiş olmasına bağlanabilir. Motora ilave oksijen verilmesi özellikle düşük yük ve devirlerde hava fazlalık katsayısını artırarak karışımı fakirleştirdiği ve motor yükü arttıkça fakirleşmenin azaldığı görülmüştür. Motora verilen oksijen miktarı gereğinden fazla olduğunda, motorda tekleme ve geri tepme meydana gelmiştir.

Sönmez (2006) yaptığı deney sonuçlarına göre emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile motor performansları ve egzoz emisyonları açısından olumlu sonuçlar elde etmiştir. Motor momenti ve gücü 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 GKK'larında emme havasının oksijence zenginleştirilmesiyle artmıştır. Bu artış 3/4 ve 4/4 GKK'larda daha belirgindir. Çünkü silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarının artmasıyla motor momentinde ve gücünde artış meydana gelmektedir. Bu artışa paralel olarak özgül yakıt tüketimi de düşmüştür. CO emisyonları emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile GKK'ların hepsinde ortalama %95,5 düşmüştür. Neredeyse sıfır CO emisyon değerlerine ulaşılmıştır. CO emisyonlarının düşüşün aksine CO₂ emisyonunda artış görülmüştür. Bu durum yanmanın iyileştiğini ve termik verimin arttığını göstermektedir. Emme havası oksijence zenginleştirildiğinde bütün GKK'larda HC emisyonlarında azalma meydana geldiği saptanmıştır. Bu durum oksijen yüzdesinin artması nedeniyle yakıtın daha iyi oksitlendiğini gösterir. Emme havasına oksijen ilave edilmekle yakıt oksijenle reaksiyona daha hızlı girmekte bu ise silindir içi sıcaklığını arttırmaktadır. Bundan dolayı GKK'larda NO_x emisyonlarında ciddi bir artışa sebep olmaktadır. 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 GKK'larında emme havasının oksijence zenginleştirilmesiyle is emisyonları azaltılmıştır. Silindir içerisine püskürtülen yakıt oksijenle hızla reaksiyona girdiğinden is emisyonlarını düşürmüştür. Buraya kadar yapılan açıklamalardan ve deney sonuçlarından da anlaşılacağı üzere normal şartlara göre motora giren havadaki oksijenin %1 artırılması ile NO_x hariç diğer tüm motor performans ve emisyon ölçümlerinde olumlu derecede iyileşmeler elde edilmektedir. Dolayısı ile motora alınan havadaki oksijen yüzdesinin %1 den fazla artırılmasına hava soğutmalı bir dizel motoru için ihtiyaç yoktur.

Dinler (2001) benzinli bir motorda LPG dönüşümü yapılarak LPG'nin motor performansı ve emisyonları üzerine etkilerini incelemiştir. LPG gaz bir yakıt olmasından dolayı volümetrik verim düşmektedir. Bunun sonucu olarak LPG ile çalışmada benzinli ile çalışmaya kıyasla daha düşük motor torku ve mil gücü elde edilmiştir. Ancak, LPG'nin alt ısıl değerinin daha yüksek olması ve silindir içerisinde daha homojen bir karışım oluşturulmasından dolayı LPG ile çalışmada daha yüksek mil verimi elde edilmiştir. Bu sebepler ayrıca neredeyse tam yanmaya sebep olarak daha az kirletici egzoz emisyonu oluşturmaktadır. Yine LPG'nin alt ısıl değeri benzinden düşük olmasından dolayı özgül yakıt tüketimi daha düşük olmaktadır.

Karagöz ve ark. (2015a) bir benzin motorunun emisyon ve performans karakteristikleri üzerine bir karışım olarak hidrojen ve oksijen ilavesinin etkisini incelemiştir. H_2/O_2 karışım ilavesi ile tüm motor devirlerinde %3,2-5 arası artış gözlemlenmiştir. Örnek olarak 3500 devirde motor maksimum fren gücü 15,40 kW'tan 16,18 kW'a çıktığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda BSFC (fren özel yakıt tüketimi) tüm motor çevrimlerinde karışım ilavesi ile %3,2-9,4 arasında düşüş gerçekleşmiştir. HC emisyonlarında da tüm çevrimlerde düşüş gerçekleşmiştir. Örnek olarak HC emisyonları 2000 devirde 299 ppm'den 255 ppm'e düşmüştür. Bunun yanı sıra NOx emisyonları artmıştır. Yine 2000 devirde NOx emisyonları 662 ppm'den 785 ppm'e yükselmiştir.

Karagöz ve ark. (2015b) bir diğer çalışmalarında hidrojen ve oksijen zenginleştirmesinin, boşa çalıştırma koşullarında bir SI motorunun performansı ve emisyonlarına etkisini incelemiştir. Motor devrindeki değişim katsayısı (COV_n), belirtilen ortalama efektif basıncın değişim katsayısı (%) üzerinde farklı hızlarda (% 0, % 5, % 8, % 10 ve % 15) hidrojen enerjisi fraksiyonunun etkisi (COV_{imep}), tepe silindiri sıcaklığı, enerji akış hızı, gösterilen ısıl verimlilik, spesifik yakıt tüketimini gösterdi. HC, CO ve NOx, rölantide deneysel olarak araştırıldı. Hidrojen ve oksijenin ilave yakıt olarak kullanılması, boşa çalışan motor çalışırken performansı arttırdı ve emisyonları azalttı, ancak yine de nitrojen oksitlerinin dramatik bir şekilde artması önlenemedi.

Shengqin (2010) kıvılcım ateşlemeli bir motorun soğuk çalışmada oksijen ile zenginleştirilmiş yanışın emisyonlara etkisini incelemiştir. Tek silindirli karbüratörlü

motor Honda'nın G200 modeli deney için kullanılan motor olarak kullanılmış. Yanma analizörü Serisi DEWE-800, havanın farklı oksijen konsantrasyonunda desteklediği yanma ile motorun gösterge rakamını ölçmek için kullanılmış. Oksijen konsantrasyonu arttıkça, HC emisyonlarının da hızla düştüğü gözlemlenmiştir. Oksijen konsantrasyonu %23 iken azalma eğilimi en yüksek, %27 iken HC emisyonu en düşüktür. CO emisyonları da oksijen konsantrasyonu ile azaldığı hatta sıfıra yaklaştığı gözlenmiştir. Bunun nedeni, oksijen fazlalığı ile yanma, soğuk başlatmada yakıtın reaksiyon hızını artırabilir, kütle yanma hızı artar, ısı salınımı da yükselir ve sıcaklık artar ve böylece CO salınımı ölmüştür. Bunların aksine NO_x emisyonunun arttığı gözlenmiştir. Oksijen konsantrasyonunun artmasıyla birlikte, havadaki N₂ oksitlenebilir ve yanma sıcaklığı aynı anda arttı, bu nedenle NO_x emisyonu önemli ölçüde arttı.

Callaghan ve Nemser (1999) oksijen ile zenginleştirilmiş bir membran üzerine çalışmışlardır. Otomobil üreticilerinin, maliyeti uygun ve sürdürülebilirliğini koruyan bir ULEV (ultra düşük emisyonlu araçlar) otomobil tasarlama ihtiyacı vardır. Yakın birleşmiş katalizörün faydaları olsa bile, katalizörün çalışma sıcaklığına ulaşmadığı, soğuk çalışma şartlarında veya toplam emisyonların % 80'ine kadar çıktığı zaman, 15-30 saniyelik bir gecikme oluşur. Yazarlar, standartların karşılanabilmesi için oksijen ile zenginleştirilmiş membranın birleşmiş katalizör ile birlikte test edilmesini tavsiye eder. Membran teknolojisi iyileşmeye devam ederken, oksijen ile zenginleştirilmiş otomobilin motoruna tedarik edilmesi için gereken akış gereksinimlerini karşılayabilen arabanın kaputunun altına küçük bir membran sistemi yerleştirmek daha uygun olur. Motora oksijen ile zenginleştirilmiş bir membran sistemi olanağı, emisyonları daha da düşürebilen ve motor verimliliğini artıran birçok yeni ve yenilikçi teknolojiyi açığa çıkarabilir.

Kajitani ve Sawa (1992) oksijen ile zenginleştirilmiş havayla çalışan bir kıvılcım ile ateşleme motor üzerine çalışmışlardır. Silindir içi işlemleri daha iyi anlamak ve bulguları açıklamaya yardımcı olmak için, yüksek hızlı spektral IR dijital görüntüleme, ayrı bir motor cihazından elde edildi. Egzoz manifoldunda az miktarda oksijen eklendiğinde egzoz HC emisyonunda önemli bir azalma ve CO emisyonunda bir miktar azalma elde edildi, özellikle yağsız olduğunda. Fren ısı verimliliği ve ortalama etkin basınç oksijen zenginleştirilmesiyle birlikte, özellikle motora eklenen ekstra oksijeni

dengeleyen fazladan yakıt miktarı eklendiğinde artmıştır. İndüksiyon üzerinde oksijen zenginleştirilmesi yapıldığında, ısı salınım gecikmesi ve yanma periyodu önemli ölçüde azaldı. Buna ek olarak, yanmanın kararlılığı belirgin şekilde geliştirilmiştir. Spektral IR görüntüleme sonucu, oksijen zenginleştirilmesiyle alev sıcaklığının daha yüksek olduğunu gösterdi. Yüksek NO_x emisyonu oksijen zenginleştirilmesi ile ölçülmüştür. Geliştirilmiş ısı verimliliği ve daha yüksek ortalama etkili basıncın, daha kısa reaksiyon süresi ve daha kararlı yanma reaksiyonu sağlayan yüksek alev sıcaklığına atfedilmesi muhtemeldir.

Kajitani (1993) oksijen ile zenginleştirilmiş havayla çalışan motorda kısmi yükte çalışma üzerine araştırma yapmış motor emisyon ve performans ölçümleri yapmıştır. Emme havasındaki oksijen içeriği, nominal ortamdaki 21'den 22'ye ve % 23'e yükseltildiğinde, SI motor silindiri içindeki reaksiyonları daha erken ve daha güçlü başlatmış ve bunu daha kısa bir yanma süresi izlemiştir. Böylece HC ve CO emisyonları azaldı ancak kısmen dolu tam soğutulmuş motorda böyle çarpıcı bir sonuç bulunamadı. Aşırı oksijen faktörü ile daha düşük olan tam gaz operasyonunda olduğu gibi NO_x emisyonları çok yüksek değildi. Fren termal verimliliği ve ortalama etkili basınç önemli ölçüde geliştirildi. Motor çok erken ısındığı için hem HC emisyon konsantrasyonu hem de P_{me}, yaklaşık aynı zamanda kararlı bir hal almıştır.

Ng ve Sekar (1993) kıvılcım ateşlemeli motorlarda emme havasının oksijen ile zenginleştirilmesinin potansiyel faydalarını incelemiştir. Özellikle FTP emisyon testinin soğuk aşamasında motor ve katalitik konvertörde kaynaklanan karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarının azalmasıydı. Bu teknik ısıtılmış katalizörün alternatifi olabilir. Avantajları, oksijen bakımından zenginleştirilmiş havanın, motor odasındaki HC ve CO seviyelerini azalttığı ve katalitik reaksiyonları hızlandıran egzozdaki daha yüksek egzoz sıcaklığındaki oksijen içeriğiydi. Katalitik konvertördeki oksijen için CO ile rekabet edebilen HC daha azdı. Normal hava ile karşılaştırıldığında %25 oksijen içerikli hava ile ozon emisyonunda %60 azalma bu teknolojinin önemli bir yararlarıdır. FTP emisyonu testinin tüm safhalarında, motor oksidasyonu maruz kalan havanın alev hızını arttırması ve yanmanın aşırı derecede sıcak gazlar üretmek için hızla ilerlemesi nedeniyle, motor dışarı NO_x emisyonlarındaki belirgin artış bekleniyordu. Bu gazlar, motor genişleme vuruşu sırasında soğumak için daha kısa sürede (yanma süresi daha

kısa) olsalar da, NO_x miktarını büyük ölçüde azaltmak için gazları söndürecek kadar hızlı değildi. Katalitik konvertör çıkışlı NO_x 'teki artış, dönüştürücünün oksitleyici ortamdaki indirgenmiş dönüşüm verimi ve egzoz gazındaki aşırı yüksek NO_x konsantrasyonu ile daha da kötüleşti.

Maxwell ve ark. (1993) oksijen ile zenginleştirilmiş havanın içten yanmalı motorun performans ve emisyonuna etkisini incelemişlerdir. SI motorlarında doğal gaz kullanımı, emme manifoldundaki havanın yer değiştirmesi nedeniyle hacimsel verimliliğin azalmasına neden olur. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar, oksijen zenginleştirmesinin, doğal gazla çalışan bir motorun güç çıkışını ortam havası / benzin karışımları ile elde edilen seviyeye eşit veya daha yüksek seviyelere arttırabileceğini göstermektedir. CO ve HC emisyonlarında önemli azalmalar, oksijen zenginleştirmesi yoluyla sağlanabilir. Bu emisyon azalımı belki de oksijen zenginleştirmesinin en önemli yararlarıdır. Yakıt dönüşüm verimliliği, oksijen zenginleştirmesiyle arttırılır. Emme havasındaki oksijen içeriği arttıkça artan egzoz sıcaklıkları, daha yüksek yakıt ekonomisi ve azaltılmış belirgin hacimsel verimlilik kaydedildi. Membran gaz ayırıcı tarafından sağlanan oksijen zenginleştirmesi, uygun boyuttaki ayırıcılar, verimliliği büyük ölçüde feda etmeden geliştirilebiliyorsa, araçlarda kullanım için potansiyel olarak mümkün görünmektedir. Hava ayırma teknolojisi alanında güncel ve gelecekteki gelişmeler ve otomotiv motorları için seramik geliştirilmesi kesinlikle bu konuda yardımcı olacaktır.

Poola ve ark. (1995) motor soğukta çalışırken oluşan emisyonları minimize etmek için oksijen zenginleştirilmesi yolunun kullanımını incelemişlerdir. Emilen havadaki oksijen zenginleştirme, özellikle soğuk fazlı FTP sırasında hem HC hem de CO emisyonlarını azaltma potansiyeline sahiptir. Oksijen zenginleştirmesi, daha komple yanma ve daha yüksek alev sıcaklıklarına izin vererek motor dışına atılan emisyonlarını azaltır ve sonuç olarak, konvertörlerin söndürülmesinden önce emisyonları düşürür. Ortam havası kullanılarak elde edilen emisyonlara kıyasla,% 25 oksijenle zenginleştirilmiş emme havasıyla, FTP dönüştürücü HC ve CO emisyonları, sırasıyla %41 ve %55 oranında azaltıldı. Bununla birlikte, NO_x emisyonları artmıştır (0.075'den 1.01 g/mil yükselmiştir). Bu da artmış oksijen seviyesi için bu çalışma sonrası cihazın ve kıvılcım zamanlamasının ve hava-yakıt yönetiminin uygun şekilde kontrol edilmesini gerektirir.

ECU'nun yeniden kalibre edilmesi ile NOx 'deki artış yönetilebilir. Belli bir motor için oksijen zenginleştirme seviyesi hem HC hem de CO emisyonlarının arzulanan indirimlerine ve gelecekteki emisyon standartlarına uymak için NOx 'un uygun şekilde kontrol edilmesine bağlıdır.

Poola ve ark. (1998) değişken hava kompozisyonuna fırsat tanıyan bir membran ile emisyon azaltımını incelemişlerdir. Hava kompozisyonunu (oksijen açısından zenginleştirilmiş veya azotlu zenginleştirilmiş) bir polimer membranı ile değiştirerek, CI ve SI motorlarında emisyonla ilgili birçok problem en aza indirgenebilir. Buna ek olarak, yüksek güç yoğunluğu (ancak artan NOx) ve düşük dereceli yakıt kullanımı gibi avantajlar dizel motorlarda gerçekleştirilebilir. Tüm bu tür uygulamalara yönelik anahtar unsur, nominal bir itici güç gerektiren makul boyutta bir hava ayırma membranının mevcudiyetidir.

Caton (2005) buji ile ateşlemeli motorda oksijen ile zenginleştirilmiş yanma havası kullanımının etkilerini incelemiştir. Oksijen ile zenginleştirilmiş yanma havasının motor performansı ve termodinamik analizlerin termodinamiğin ikinci kanunu üzerindeki etkilerini incelemek için buji ateşlemeli motorlar için bir termodinamik çevrim simülasyonu kullanıldı. Yakılan kütle fraksiyonunun Wiebe fonksiyonu tarafından temsil edildiği varsayılmıştır. Tipik bir otomotiv, "MBT" kıvılcım zamanlamalı ve 1,0 eşdeğer oranı ile tam yükte çalışma koşullarında buji ateşlemeli motor incelendi. Bu araştırmanın benzersiz bir özelliği, eşit güç motorlarının incelenmesidir. Yanma havasındaki oksijen konsantrasyonu arttıkça, motorun boyutu aynı gücü sağlamak için azaltıldı. % 32 oksijen muhafazasıyla, motor yer değiştirmesi yaklaşık% 73 daha küçük olabilir ve yine aynı güç çıktısını elde edilir. Isı verimliliği, silindirin ısı transferi ve egzoz gazı enerjisindeki artışlar nedeniyle yüksek oksijen konsantrasyonlu durumlarda azaldı. Örneğin, oksijen konsantrasyonunun %21'den %32'ye yükselmesiyle, bu çalışmanın koşulları için fren termal verimliliği sırasıyla %33,4'ten %30,1'e düşmüştür. Daha düşük motor boyutları nedeniyle daha yüksek oksijen konsantrasyonlu durumlarda özgül güç ve basınç arttı (daha düşük ısı verimliliğe rağmen). Örneğin, oksijen konsantrasyonunun % 21'den % 32'ye çıkmasıyla spesifik güç, bu çalışmanın koşulları için sırasıyla 19,2'den 26,3 kW / dm³'e yükseldi. Yanma sonucu tahrip olan durum (ve yanma sonucu oluşan toplam entropi artışı) oksijen bakımından zengin havalarda daha

az karıştırma ve reaksiyon geri dönüşüzlüğü nedeniyle düşüktü. Örneğin, oksijen konsantrasyonunun %21'den %32'ye yükselmesiyle, bu çalışmanın koşulları için yanma sonucu yok olma durumu %20,2 ve %18,0 oldu. Yüksek oksijen konsantrasyonlu yanma havası için yanma süresinin daha düşük olması beklenir. Bu etki, % 32 oksijen vakası için incelendi ve yanma sonucu tahrip olan miktar hafifçe azaldı.

Erkuş ve ark. (2015) ateşleme zamanı değiştirerek LPG'ye dönüştürülen benzinli bir motorun ağır yük performansının arttırımını incelemiştir. LPG'nin daha yüksek oktan sayısı, ağır yük operasyonu altında bile vuruş yapmadan gelişmiş ateşleme zamanlamaları ile yağsız karışımların kullanılmasına izin verir. Ateşleme zamanlamasının LPG ile ilerletilmesi, performans parametrelerinde (fren gücü ve fren ısı verimliliği) yüzde artışı ile sonuçlanır ve ECU vuruş algılatılmasına ve ilerlemeye izin vermez. Vuruntu sınırlaması, kıvılcım ilerlemesiyle ulaşıldığında, ana ECU tarafından ateşleme zamanlamasını geciktirmenin, stokiyometrik karışımdaki motor vuruşunu bastırmaya yetecek kadar olduğu ancak her ikisinin de karışımın zenginleştirilmesi için gerektiğinde, yüksek hava katsayılarında vuruş kontrolü daha da önemlidir. Hava katsayısının 1,3 olduğu için, ana ECU tarafından ateşleme zamanlamalarını ilerletmek NOx emisyonlarında artışa neden oldu ve CO emisyonları üzerinde önemsiz etkilere sahiptir. HC emisyonları artan ateşleme zamanlamaları ile 1,0 hava katsayısı yükseldikçe arttı, ancak ateşleme zamanlamaları HC emisyonları üzerindeki etkisi, hava katsayısının 1,3 olduğu zaman ihmal edilebilir bir seviyede idi. Fren termik verimliliği ve BSFC değerlerinde elde edilen iyileştirmeler, sırasıyla % 33 ve % 25'in üzerindeydi; LPG yakıtlı motorların kullanımındaki bu bulguları dünya çapında LPG-otomatik gaz tüketimini azaltmak için ticarileştirmeye teşvik ediyor.

Shyani ve Caton (2009) bir kıvılcım ateşlemeli motor için EGR ve oksijen ile zenginleştirilmiş havayı kullanan çevrim için termodinamik çevrim simülasyonundan elde edilen sonuçları incelemiştir. Termodinamiğin ikinci yasasını içeren bir motor çevrimi simülasyonu, giriş oksijen konsantrasyonunun EGR veya oksijen zenginleştirilmesi kullanılarak değiştirildiği giriş karışımı oksijen konsantrasyonunun fonksiyonları olarak motor performans parametrelerini ve termodinamik özellikleri incelemek için kullanıldı. Geleneksel bir buji ile ateşlenen V-8 otomotiv motoru incelendi. Geniş bir oksijen giriş konsantrasyonları (hacimce %12 ila %40) göz önüne

alındı. % 21'den (v) daha az oksijen giriş konsantrasyonları için EGR kullanıldı ve oksijen giriş konsantrasyonları% 21'den (v) daha yüksek olduğunda, oksijen açısından zenginleştirilmiş giriş havası kullanıldı. İki EGR konfigürasyonu düşünüldü (soğutulmuş ve adyabatik). Çoğu durumda, soğutulmuş EGR konfigürasyonu incelenen tüm parametreler için oksijen açısından zenginleştirilmiş giriş havasıyla kesintisiz sonuçlar vermiştir. Aksine, adyabatik EGR konfigürasyonu sonuçları artan giriş sıcaklığının etkilerinin karmaşık doğası ve EGR seviyesi arttıkça artan seyreltme nedeniyle sürekli değildi. Genel olarak, motor verimleri azaldı, ısı transferi arttı, nitrik oksit egzoz konsantrasyonları arttı ve oksijen konsantrasyonu arttıkça kullanılabilirliğin tahribatı azaldı.

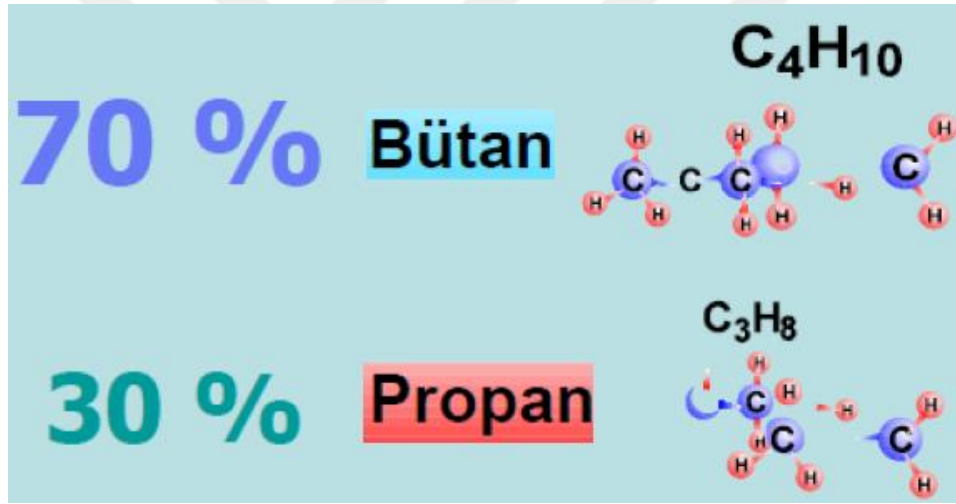


3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Likit Petrol Gazı (LPG)

LPG sıkıştırılmış petrol gazıdır. LPG, bir hidrokarbon olup başlıca bileşenleri; propan, bütan, izobütan, izopropan ve bütanlar olan hidrokarbon karışımlarıdır. Gaz yakıtlar hidrojen zengindir ve silindirlere gaz fazında girer. Kolay depolama ve taşıma için genellikle sıvı hâlde tutulur. Petrolün işlenmesinden ya da petrol yataklarında karışmış biçimde bulunduğu petrol veya CNG (sıkıştırılmış doğalgaz)'den ayrıştırılarak elde edilir.

LPG temel olarak propan ve bütan karışımıdır. Genel şekliyle bütanın kimyasal formülü C_4H_{10} , propanın ise C_3H_8 'dir. Türkiye'de %30 propan %70 bütan karışımı olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Türkiye'de LPG karışımı (Anonim 2015)

3.4. Otomotivde LPG kullanımı

Ülkemizde otomotivde LPG kullanımı çevreci olmasından önce fiyat cazibesi ile kabul görmektedir. LPG yakıt sistemlerinin otomotiv sektöründe kullanılmaya başlanması 1996 yılında ticari taşıtların talebi ile olmuştur. 1998 yılında gerekli düzenlemeler ile (teknik ve yasal düzenlemeler, standartlara ulaşma süreci) yaygınlaşmaya başlamıştır. Türkiye'de LPG kullanımı 2000 yılından sonra büyük bir gelişme kaydederek 1,3 milyon tona kadar yükselmiştir. Çizelge 3.1'de LPG karışı (propan ve bütan) ile benzinin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1. Propan, bütan ve benzin değerleri karşılaştırması (Karamangil 2017)

YAKIT	PROPAN	BÜTAN	BENZİN
Kimyasal denklem	C_3H_8	C_4H_{10}	C_8H_{18}
C/H oranı	0,375	0,4	0,444
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	44,08	58,10	114,18
YOĞUNLUK			
Sıvı (kg/m ³)	508	584	730
Katı (kg/m ³)	1,96	2,59	5,09
Alt ısı değeri	46,19	45,46	44,3
Stokiyometrik karışım (kütlece)	15,57	15,36	15
Tutuşma sınırı (%hacim)	2,4-9,5	1,9-8,5	1,3-7,6
Laminer alev hızı (m/s)	0,4	0,4	0,37
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1980	2008	1993
Kaynama noktası (°C)	-42,3	-0,5	32-221
Donma noktası (°C)	-187,8	-138,3	-56
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	493-549	482-538	257

LPG benzinli veya dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. LPG'nin alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi için depo edilme şartlarına dikkat edilmelidir. Normal hava sıcaklığında ve belirli bir basınçta (2-5 bar) 30 ve 60 litrelik tanklarda depo edilmesi gerekmektedir. Çizelge 3.2'de LPG ve gaz özellikleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. LPG ve gaz karşılaştırmalı değerler (Gopalakrishnan and Loganathan 2016)

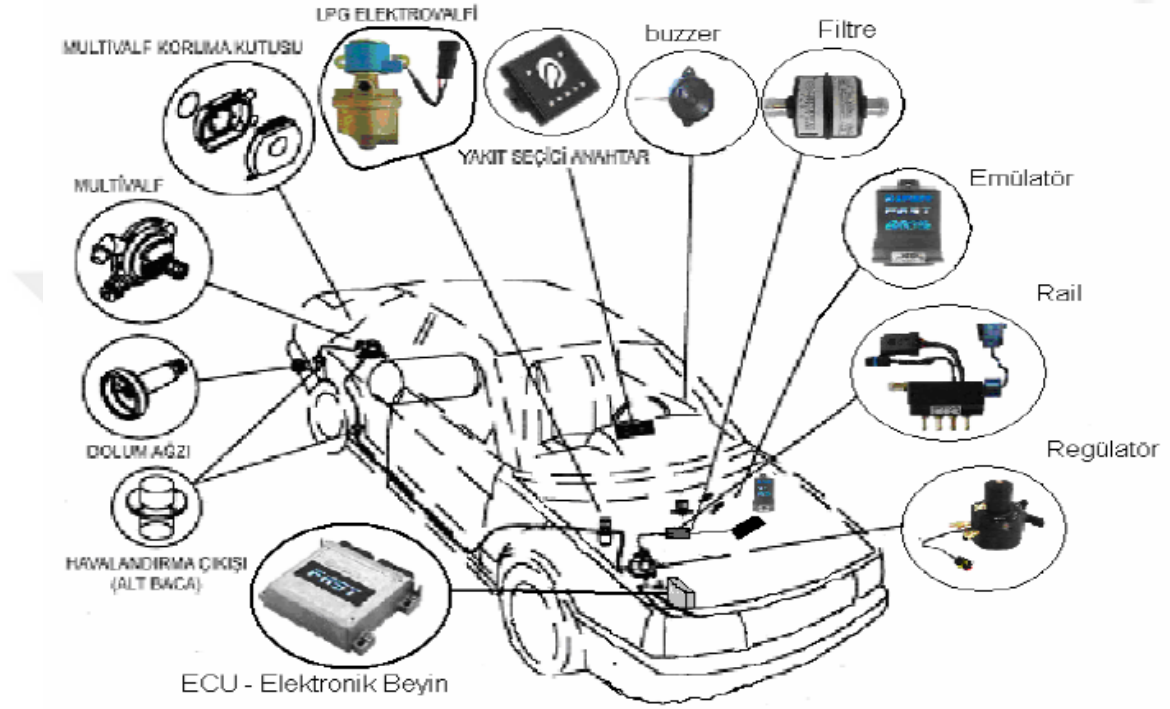
ÖZELLİKLER	LPG	GAZ
KARIŞIM (%)	$30C_3H_8+70C_4H_{10}$	C_7H_{15}
AKIŞ HIZI (m/s)	0,382	0,375
HAVADAKİ TUTUŞMA LİMİTİ (%)	2,15-9,6	1,4-7,6
ALT ISIL DEĞERİ (MJ/kg) (1 atm basınç ve 15 °C sıcaklık altında)	45,7	43,5
OKTAN SAYISI	105	95
YOĞUNLUK (kg/m^3) (1 atm basınç ve 15 °C sıcaklık altında)	560	735
STOKİYOMETRİK ORAN	15,5	14,9
KENDİ KENDİNE TUTUŞMA SICAKLIĞI (°C)	485-545	257

3.4.1. LPG yakıt sistemleri

Şekil 3.2’de LPG yakıt sistemi monte edilmiş bir otomobil gösterilmiştir. Yakıt seçme düğmesinden seçilen yakıt tipine göre sisteme monte edilmiş elektro valfler benzin veya LPG’ye yol vermektedir. Yakıt seçme düğmesi LPG pozisyonuna alındığında benzin hortumu üzerinde bulunan elektro valf benzinin karbüratör veya enjeksiyon sistemine girmesine izin vermez. LPG depo içerisindeki sahip olduğu basınç sayesinde multivalften geçerek yüksek basınç borularına ve boru üzerinde bulunan elektro valfe ulaşır.

Yüksek basınç hattında bulunan LPG (sıvı halde), kontak anahtarının açılmasıyla elektro valften geçer. Filtre edilerek buharlaştırıcıya (regülatöre) ulaşır. Regülatör üzerinde bulunan elektro valf kontak anahtarına bağlı olduğu için açılır. LPG buharlaştırıcısı (regülatör) içerisinde bulunan hazneye dolar. Buharlaştırıcıya dolan gazın basıncı düşürülerek alçak basınç borusu ve gaz ayar vidasından geçerek gaz karıştırıcıya (mikser) ulaşır. Mikserde hava ile karışarak emme manifoldu içine dolar. Motora marş yapılması ile emme manifoldunda bulunan LPG silindir içerisinde yakılarak kullanılır. Eğer belirli bir süre marş yapılmazsa yüksek basınç hattına ve

buharlaştırıcı üzerinde bulunan elektro valfler kapanarak gaz geçişini engeller. Bu durum buharlaştırıcının içinde bulunan gazın emme manifolduna dolmasını engellemek ve gaz kaçaqlarını önlemek için yapılmaktadır. Kontak anahtarı açıldıktan iki saniye sonra motor marş yapılır. Marş anında motorun yakıt sisteminin özelliğine göre mikser veya enjektörlerden gaz emme manifolduna verilir.



Şekil 3.2. LPG yakıt sisteminin araç üzerinde gösterimi (Anonim 2015)

Depoda bulunan LPG kendi basıncı ile buharlaştırıcıya gelir. Sıvı halde bulunan LPG emme manifoldunda hemen buharlaşmaz. Bu nedenle motor düzgün çalışmayabilir ve tekleme yapabilir. Bu yüzden LPG sistemlerinde ilk çalışmada motor bir süre benzin ile çalıştırılır. Bu sayede motorun soğutma suyu ısınarak buharlaştırıcıyı ısıtır. Buharlaştırıcı içinde bulunan sıvı LPG manifold içine gaz halinde girer. Buharlaştırıcı ısındıktan sonra motor LPG ile daha düzgün ve rahat çalıştırılır. Şekil 3.3’da LPG yakıt sistemi elemanları gösterilmektedir.

- Aşınma süresi düşüktür. LPG yakıtlı motorlar yıl içerisinde daha fazla yol yapabilir. Üretim süresi kaybı, parça ve işçilik masraflarından daha az etkilenir.
- LPG takılan araçlarda iyi bir montaj ve uygun bir ayarlama yapılarak benzinli araçlara göre emisyonları oldukça düşürmek mümkündür. LPG benzinden daha düşük sıcaklıklarda buharlaştığı için hava ile kolayca karışır ve kurum oluşturmaz kadar tam yanmaya yakın bir şekilde yanar.
- Benzin ile karşılaştırıldığında %75 daha az CO, %85 daha az HC, %40 daha az NOx ve %87 daha az ozon içeren emisyon üretir.
- Motorin (dizel) ile karşılaştırıldığında %90 daha az partikül, HC, CO ve %50 daha az NOx atmosfere salınan emisyon üretir.
- Yağlama özelliği ile motor yağı ömrünü uzatır.
- İçerisindeki oktan sayısının benzinden fazla olması ile benzine göre vuruntuya karşı daha iyi direnç gösterir. Böylece daha büyük sıkıştırma oranlarına çıkılarak motordan daha iyi bir performans almak mümkün olabilmektedir.
- Bu LPG sisteminin Türkiye de yeni teknolojiler ve araştırmalar ile yeni iş alanları doğmuş ve istihdam oluşturmuştur.

Kütlesel olarak benzin ve LPG'nin kalorilik değerleri birbirine yakındır. Hacimsel olarak LPG'nin kalorilik değerini benzine göre düşüktür. Bu nedenle LPG ile çalışan bir aracın birim mesafede tükettiği yakıt %10 daha fazladır.

LPG benzine oranla daha yüksek oktan sayısına sahip olması nedeniyle sıkıştırma oranı artırılarak motor verimi ve gücünü arttırmak mümkündür.

3.4.3 LPG yakıt sistemlerinin dezavantajları

LPG yakıt sistemi kullanan bir motorun diğer petrol ürünü yakıtlara göre dezavantajları şu şekilde sıralayabiliriz.

- LPG yakıt sistemi ek olarak yapım ve montaj sorunları ortaya çıkarmaktadır.
- Büyük hacimli yakıt tüpleri büyük yer kaplar. Ağırlık ve ek montaj gerektirir. Bagaj hacmini düşürür.
- NOx emisyonları problem olabilmektedir.
- Karakteristik özelliklerine bağlı olarak motor performansında bir miktar düşüş görülmektedir.

- Depolama sırasında dökülme ve sızıntı riskleri taşımaktadır. İyi bir havalandırma yapılmazsa tehlike arz etmektedir.
- LPG zehirli olmamakla birlikte miktarı arttıkça boğucu bir gaza dönüşür.
- Düşük sıcaklıkta buharlaşması nedeniyle sıvı gazın insan vücudu ile teması ciddi cilt yanıklarına sebep olabilmektedir.
- Isısı arttıkça basıncı da artar. Kritik bir sıcaklıkta ve basınçta içinde bulunduğu tankın patlamasına sebep olabilmesi en büyük dezavantajıdır.

3.5. Deney Düzenegi Ve Tertibatı

Bu bölümde deneylerde kullanılan motor, motor test tertibatı, motor test dinamometresi tanıtılacak. Bunun yanında LPG yakıt sarfiyatı ve oksijen tüketim ölçümünün nasıl yapıldığı tarif edilecek. Egzoz emisyon ölçümünün nasıl yapıldığı tarif edilecek. Ayrıca motor soğutma suyu sıcaklık kontrolünün nasıl sağlandığı anlatılacaktır.

3.5.1. Deney motoru

Test motorunun teknik özellikleri Çizelge 3.3'de mevcuttur. Motorumuz benzinli dört silindirli Renault marka bir motordur. LPG dönüşümü yapılarak deneyler için uygun hale getirilmiştir.

Çizelge 3.3. Test motorunun özellikleri

TEST MOTORUNUN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Motor tipi	Renault Clio II K4J-712
Zamanı	4 zamanlı
Yakıt tipi	Benzin+LPG
Silindir sayısı	4 silindir
Valf sayısı	16 valf
Silindir çapı	79.5 [mm]
Silindir stroğu	70 [mm]
Toplam strok hacmi	1390 [cc]
Motor maksimum gücü	71 kW [94 HP] [6000 d/d'da]
Maksimum döndürme momenti	127 [Nm] [3750 d/d'da]

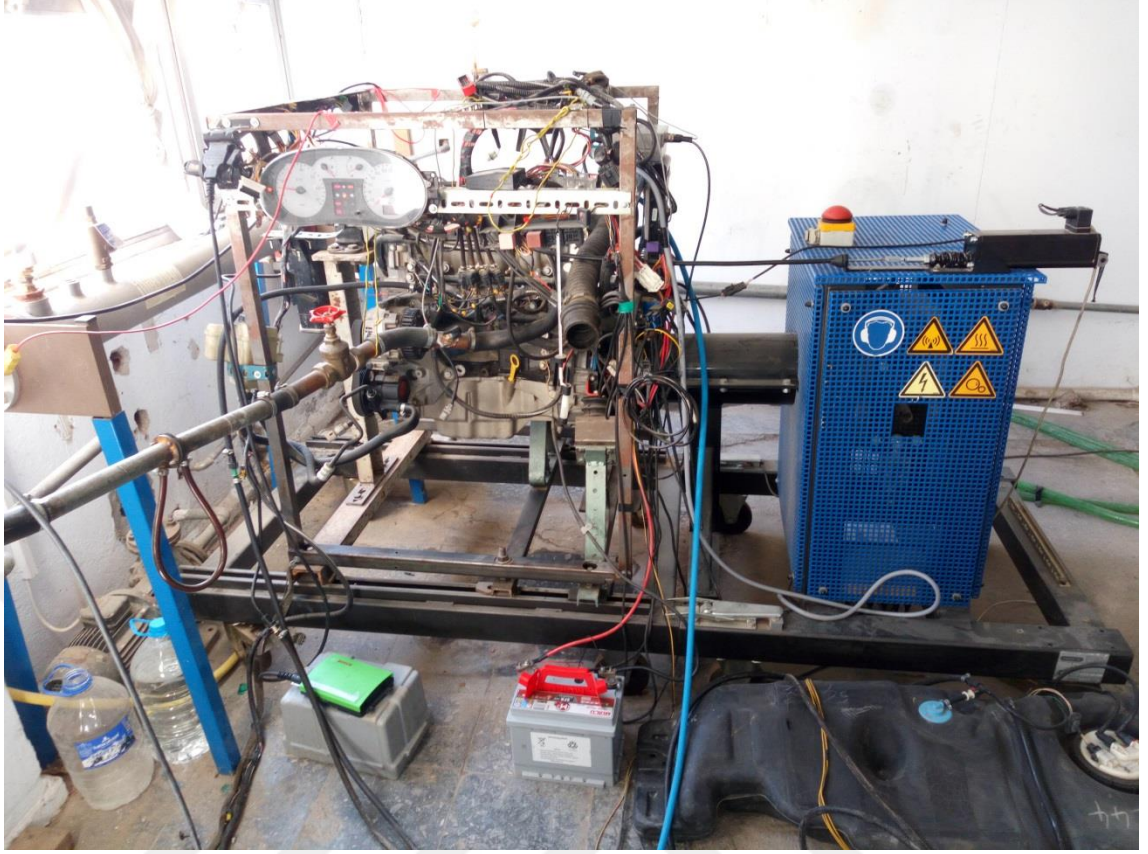
3.5.2. Deneý düzeneđi ve dinamometresi

Dinamometrenin bilgisayar ile otomatik kullanımı Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Manuel ve otomatik test yapabilmeye olanak sağlayan bilgisayar kontrollü bir dinamometre kullanıldı.



Şekil 3.4. Dinamometrenin kontrol mekanizması

Tam otomatik bir test algoritması olan bu mekanizma ile istenilen motor devrinde, istenilen sürede, istenilen gaz kelebeği açıklığında ve istenilen tekrarda test yapmak mümkündür. Örneđin biz %50 ve %100 gaz kelebeği açıklığında 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 devirlerde motor 60 saniye çalıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Dinamometre yaklaşık 10 değer sunmuştur. Bu 10 değerin istenilen devirde olan değerlerin ortalaması alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu değerler devir, moment, güç, soğutma suyu sıcaklığı, gaz kelebeği konumu ve manifold basıncı değerleridir. Deneý düzeneği Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Deney test düzeneği

Deney düzeneğindeki motorumuz öncelikle dinamometreye bağlanmıştır. Daha sonra LPG enjektör sistemi takılarak LPG'li de çalışan bir motor elde edilmiştir. Egzoz gazı ölçüm cihazı egzoz ucuna takılmıştır. Bu cihaz 'bluetooth' teknolojisi ile egzoz gazı değerlerini ölçüm cihazına göndermiştir. Son olarak soğutma suyu kontrolü sağlamak için kullanılan bir düzenek ile teste hazır hale getirilmiştir.

3.5.3. LPG yakıt ve oksijen sarfiyatının ölçüm düzenekleri

LPG yakıt sarfiyatını ölçmek için 60 kg üst sınırı ve bir gram hassasiyeti olan bir terazi kullanıldı. Bu terazi üstüne yerleştirilen LPG tankı ağırlığı ölçülerek deneyler yapıldı. Ağırlık test süresinin başlaması ile dijital ekrandan okunmuş süre bitiminde tekrar okunarak tüketilen LPG yakıt miktarı ölçülmüştür. Tüketilen yakıt test süresine bölünerek kütleli yakıt debisi hesaplanmıştır. Şekil 3.6'da LPG yakıt ve oksijen sarfiyatının ölçüm düzenekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. LPG yakıt ve oksijen sarfiyatı ölçüm düzenekleri

Oksijen tüketimini ölçmek için de 2 gram hassasiyetli ayrıca bir terazi kullanılmıştır. Aynı LPG yakıt ölçümünde olduğu gibi test başlaması ile dijital ekrandan değer okunmuş test bitimi ile tekrar değer okunarak oksijen sarfiyatı bulunmuştur. Belirli çalışma şartı altında tüketilen oksijen miktarının çalışma süresine bölünmesi ile kütleli oksijen debisi hesaplanmıştır.

Bu düzenekle sayesinde oksijenin sisteme verilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.6'da görülen basınç saatlerinden biri oksijen tankı içindeki basıncı göstermektedir. Diğeri ise sisteme vereceğimiz ekstra oksijenin basıncını ölçmemize sağlamaktadır.

3.5.4. Egzoz emisyon ölçüm düzeneği

Deneyleerde, Şekil 3.7'deki gösterilen BOSCH marka FSA 760 motor test ölçüm cihazı kullanılmıştır. FSA sistem analiz modülü, KTS 540 arıza tespit cihazı, taşıyıcı araba ve yazıcı içermektedir.



Şekil 3.7. Egzoz emisyonları ölçüm cihazı (FSA 760)

Egzoz havası bir boru vasıtasıyla FSA 760'ın kontrol kutusuna gelerek burada ölçümleri otomatik olarak yapılmaktadır. FSA 760'ın ekranından okunmaktadır. Motor karakteristikleri lambda değeri motor elektronik kontrol kutusuna takılan bir cihaz ile bluetooth teknolojisi üzerinden FSA 760 ekranından okunmaktadır. Bu deneyde test süresinin başını biraz geçerken ve sonuna doğru iki defa ekran görüntüsü alınarak emisyon değerleri iki kez ölçülmüştür. Bu birbirine yakın iki değerlerin ortalaması alınarak her testte emisyon değerlerine ulaşılmıştır.

3.5.5. Motor soğutma suyu sıcaklık kontrolü

Motor soğutma sistemini pid kontrolcü kullanılarak kontrol altında tutulmuştur. Kontrolcü cihaz Autonics marka TK4S-14CN sıcaklık kontrolcüsüdür. Bu cihaz on off bir selenoid valf vasıtasıyla şebeke suyunu eşanjörden geçirerek motor soğutma suyunun sıcaklığını kontrol edilen değerde tutmaya çalışmaktadır. Bu testlerde motor soğutma suyu sıcaklığı ortalama 78° de tutulmuştur. Şekil 3.8’de bu cihaz gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Pid sıcaklık kontrolcüsü (Autonics TK4S-14CN)

3.6. Deneyin Yapılışı

LPG yanma ve emisyon değerlerinin iyileştirilmesi için emme havasının oksijen ile zenginleştirme test edilmiştir. Deneylere başlamadan önce deney tesisatı kurulmuş, motor çalıştırılıp bakım ve ayarları yapılmıştır. Motora LPG yakıtı ve ilave oksijen verme düzenekleri kurulmuştur. Oksijen ve LPG yakıt ölçme düzenekleri ayarlanmıştır. Emisyon ölçüm cihazları motora takılmıştır. Motor test dinamometresine bağlanmış ve gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Motor bir müddet çalıştırılıp motor çalışma sıcaklığına geldiğinde deneylere başlanılmıştır.

Deneyler 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerde yapılmıştır. Önce oksijensiz olarak yapılan testlerde başlangıç değerleri alınmıştır. Daha sonra oksijen basınç ayar saati ile sırasıyla 1.2 1.4 1.6 ve 1.8 bar verilerek deneyler tamamlanmıştır (atmosfer basıncı ortalama 1 bardır). Deneyler öncelikle %50 gaz kelebeği açıklığında yapılmıştır. 2000

devirde oksijensiz başlangıç testi yapılmış. Oksijen sırasıyla 1.2 1.4 1.6 ve 1.8 bar verilerek 2000 devir testleri tamamlanmıştır.

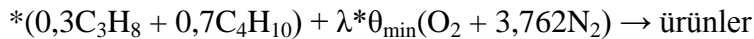
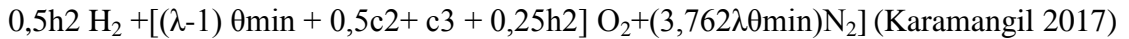
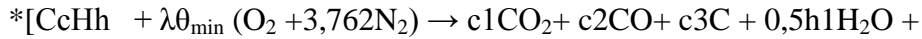
Her bir test için bir dakika deney süresi tutulmuş ve ilk 10 saniye ve son beş saniye arası ölçülmüştür. Motor karakteristikleri motor test dinamometresinden alınmıştır. Alınan yaklaşık 10 değer in ortalaması alınarak nihai sonuçlar elde edilmiştir. Emisyon değerleri ise test süresinden bir müddet önce ve sürenin bitimine bir müddet kala olmak üzere iki sonuç alınmıştır. Bu iki sonuçta aynı şekilde ortalamaları alınarak nihai sonuçlar elde edilmiştir.

Daha sonra gaz kelebeği açıklığı %100 yapılarak testler devam ettirilmiştir. Deneylede %100 gaz kelebeği açıklığında başlangıç deneyleri oksijensiz olarak yapılmıştır. Ama sadece 1.2 barda ilave oksijen verilerek sonuçlar alınmıştır.

Son olarak da motor rölanti devrinde iken emme havasının oksijen ile zenginleştirmesinin etkilerine bakılmıştır. Deney sonuçlarının tutarlı ve literatür araştırmalarını destekler nitelikte olduğu gözlemlenmiştir.

3.7. Oksijenin Kütleli Debişinin Hesaplanması

LPG yanma denklemi kısmi eksik yanma için ($\lambda \geq 1$) ;



$$M_{C_3H_8} = (3*12 + 8*1) = 44 \text{ kg/kmol yakıt}$$

$$M_{C_4H_{10}} = (4*12 + 10*1) = 58 \text{ kg/kmol yakıt}$$

$$(0,3C_3H_8 + 0,7C_4H_{10}) = 44*0,3 + 58*0,7 = 53,8 \text{ kg/kmol yakıt}$$

$$\theta_{\min} = c + 0,25*h = (0,3*3 + 0,7*4) + 0,25*(0,3*8 + 0,7*10) = 6,05 \text{ ve } \lambda = 1$$

$$\lambda * \theta_{\min} (O_2 + 3,762N_2) = 1 * 6,05 * (32 + 3,762*28) = 830,8828 \text{ kg/kmol hava}$$

$$\text{teorik } (H/Y)_{LPG} = 830,8828 / 53,8 = 15,44$$

İlave oksijen verilmesi ile lambda değerinin de arttığı gözlenmiştir. Ama bu artış her devirde sabit olmadığı için oksijenin kütleli debisi hesaplanırken sadece referans (oksijen ilavesiz) deneylerdeki lambda değerleri kullanılmıştır. Oksijen ilave edilen deneylerde ise ölçüm sonucu elde edilmiş oksijen tüketim miktarı bu sonuca eklenerek bulunmuştur.

Hava / Yakıt Oranı: Bir yanma olayında kullanılan havanın yakıtına oranına denir. Kısaca H/Y ile gösterilir.

Stokiyometrik Oran: Kimyasal formülü bilinen bir yakıtın teorik olarak yanmasında gerçekleşen yakıt/hava veya hava/yakıt oranıdır. LPG için literatürden 15,5 olarak alınmıştır.

Hava Fazlalık Katsayısı: Gerçek H/Y oranının teorik (stokiyometrik) H/Y oranına olan oranıdır. λ veya HFK ile gösterilir.

$$\lambda = \frac{(H/Y)_{gerçek}}{(H/Y)_{teorik}}$$

Referans deneylerdeki ölçülen lambda değeri (λ) teorik H/Y oranı ile çarpılarak gerçek H/Y değeri bulunur. Kullanılan LPG'nin debisi ölçüldüğü için buradan hesaplanan havanın kütleli debisi 0,232 (hava içindeki oksijenin kütleli oranı) çarpılarak oksijenin kütleli debisi hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

Deneylelerdeki bulguları motor karakteristikleri efektif güç ve moment ile emisyonlar HC, CO ve NO_x olarak incelenmiştir. %50 ve %100 gaz kelebeği açıklığında yapılan deneylere bakılmıştır. %50 gaz kelebeği konumunda oksijensiz, oksijenli 1,2 1,4 1,6 ve 1,8 bar oksijen ile zenginleştirilmiş emme havasının etkilerine bakılmıştır (atmosfer basıncı ortalama 1 bar kabul edilmiştir). %100 gaz kelebeği konumunda ise oksijensiz ve 1,2 bar oksijen verilen emme havasının etkilerine bakılmıştır. İlave verilen oksijen kütleli debisi hesaplanarak grafikler bu şekilde çizdirilmiştir.

Ayrıca motor rölanti devrinde iken de oksijenin emisyonlar üzerindeki etkisi incelemiştir. Son olarak %50 ve %100 gaz kelebeği konumu için efektif verim bulunarak oksijen ile değişimi gözlemlenmiştir. Özgül yakıt sarfiyatı hesaplanarak da yakıt verimliliğine bakılmıştır.

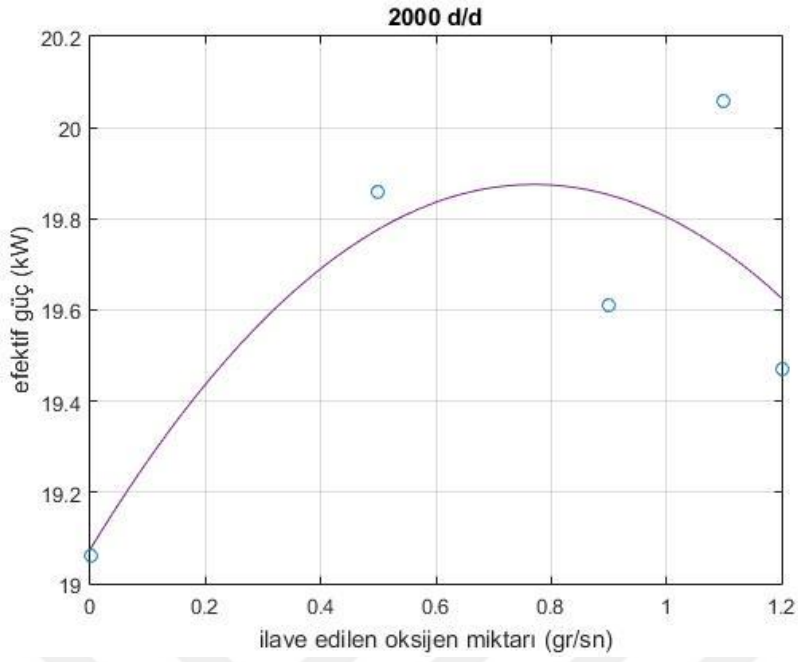
Ölçümler sonucunda elde edilen efektif güç ve moment değerleri emme havası sıcaklığından (ortam sıcaklığı) etkileneceği için efektif güç ve moment değerlerinde düzeltmeler uygulanmıştır. Efektif verim ve özgül yakıt sarfiyatı da bu düzeltilmiş efektif güç değeri ile hesaplanmıştır.

$$P_e(\text{düzeltilmiş}) = P_e(\text{okunan}) * \sqrt{\frac{273+t_{ortam}}{298}}$$

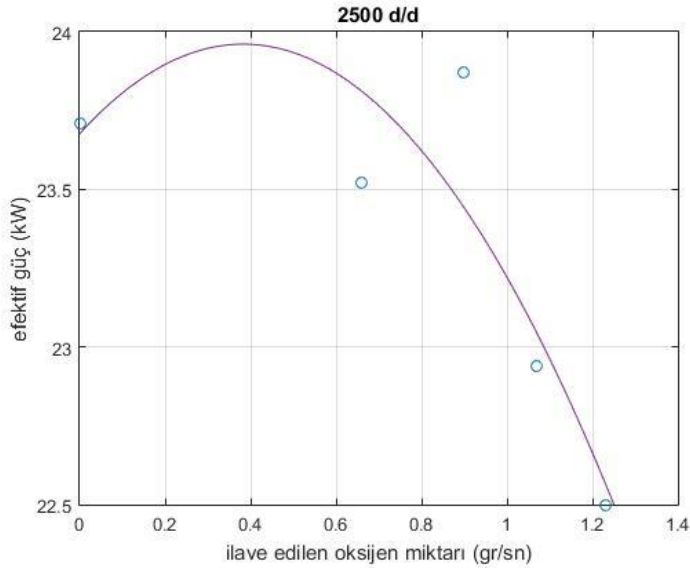
$$T_e(\text{düzeltilmiş}) = T_e(\text{okunan}) * \sqrt{\frac{273+t_{ortam}}{298}} \quad (\text{Erkuş 2011})$$

4.1. %50 Gaz Kelebeği Testleri

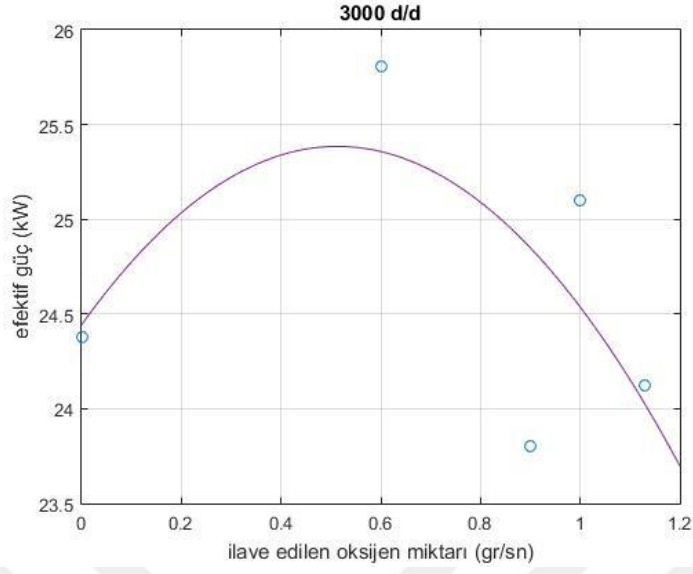
Şekil 4.1 4.2 4.3 4.4 ve 4.5’de motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisine göre motorun 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerindeki efektif gücüne etkisi görülmektedir. Efektif güç değeriindeki artış her devir için de görülmektedir. Ve egzozdan atılan O₂ değeri artan devre göre değişmezken verilen oksijenin basıncına göre epey bir artış göstermiştir. Motor soğutma suyu sıcaklığı da kurulan düzenek sayesinde 78° civarında tutulmuştur.



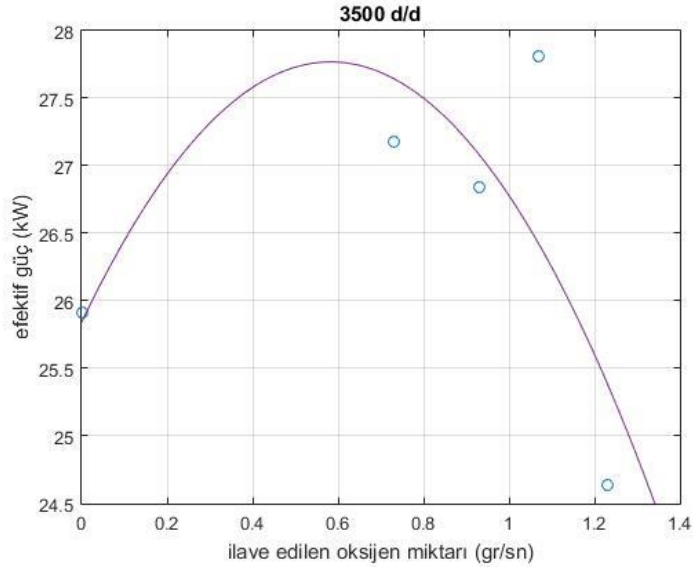
Şekil 4.1. %50 GKK 2000 d/d'da efektif güç değişimi



Şekil 4.2. %50 GKK 2500 d/d'da efektif güç değişimi

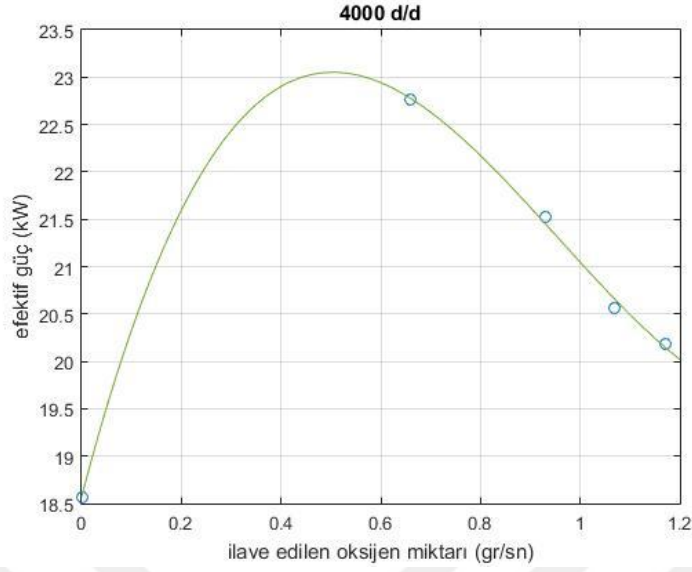


Şekil 4.3. %50 GKK 3000 d/d'da efektif güç değişimi



Şekil 4.4. %50 GKK 3500 d/d'da efektif güç değişimi

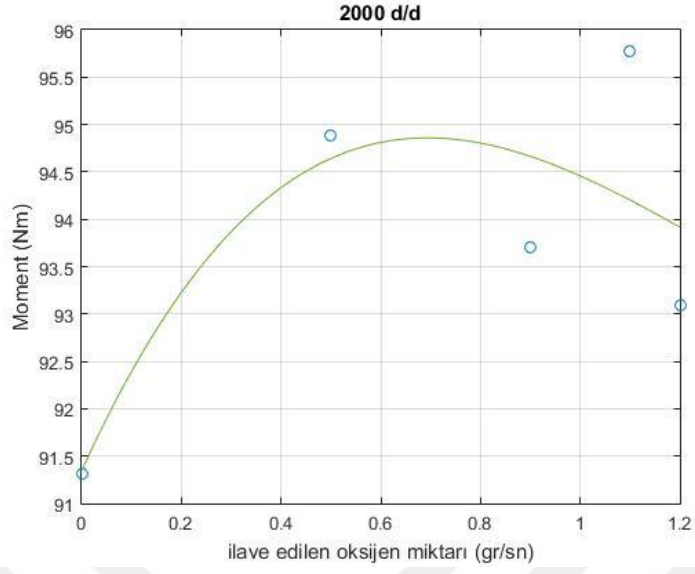
Şekil 4.1 4.2 4.3 4.4 ve 4.5'de motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisine göre motorun 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerindeki efektif gücüne etkisi görülmektedir.



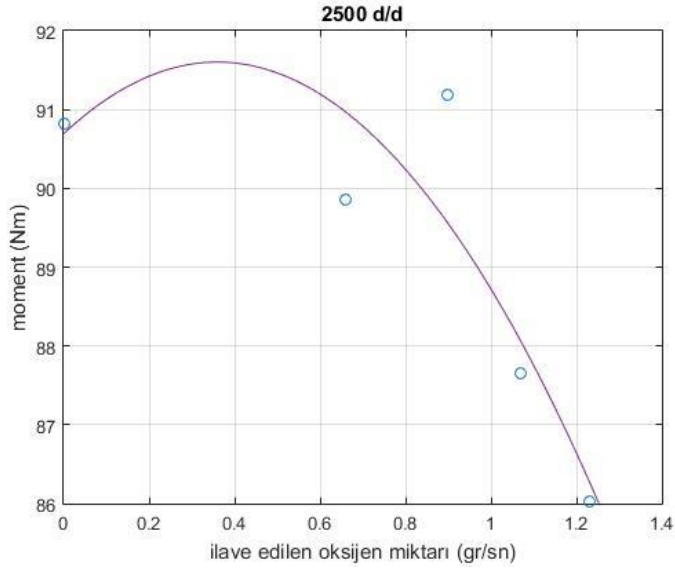
Şekil 4.5. %50 GKK 4000 d/d'da efektif güç değişimi

Yakıt tüketimi her bir devir için artarken verilen oksijenin basıncına göre çok bir artış göstermemiştir. Oksijen tüketimi neredeyse her bir devir için büyük bir artış göstermezken verilen oksijenin basıncına göre artış göstermiştir. Ayrıca manifold basıncında da bir artış gözlemlenmiştir. Grafik her bir motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisi için elde edilen efektif gücün devirlere göre çizdirilmesiyle elde edilmiştir.

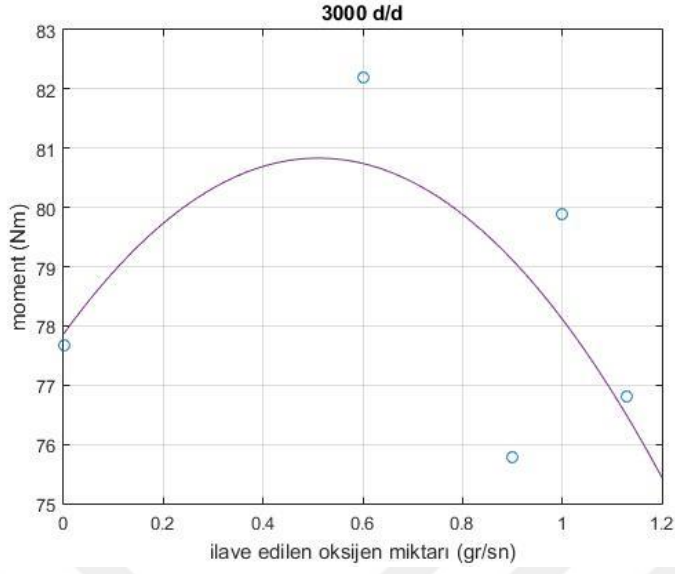
Aynı %50 gaz kelebeği konumu için moment değerine bakılırsa verilen oksijenin basıncına göre momentte de bir miktar artış gözlemlenmiştir. Artışın en iyi gözlemlendiği noktalar 1,2 ve 1,4 bar oksijen verildiği noktalarıdır. Şekil 4.6 4.7 4.8 4.9 ve 4.10'da moment değişiminin motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisine göre motorun 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerinde değişimi görülmektedir.



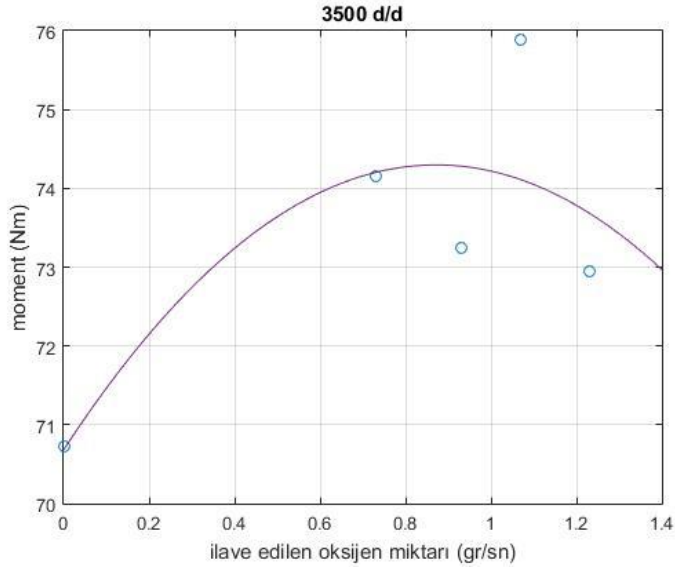
Şekil 4.6. %50 GKK 2000 d/d'da moment değerinin değişimi



Şekil 4.7. %50 GKK 2500 d/d'da moment değerinin değişimi

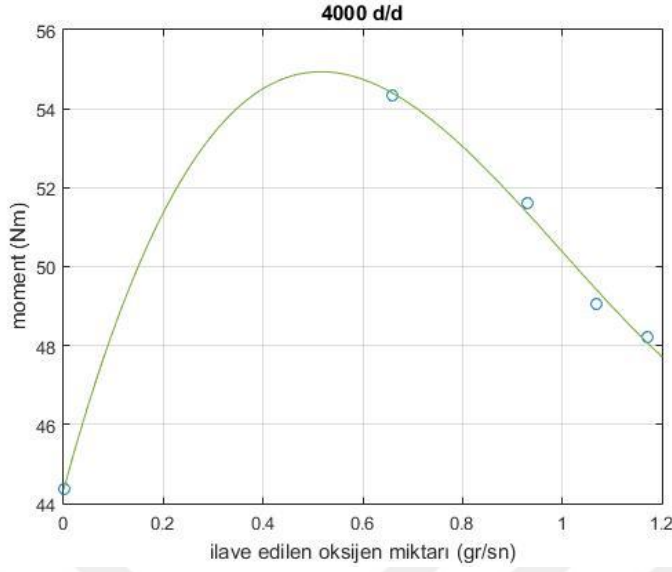


Şekil 4.8. %50 GKK 3000 d/d'da moment değerinin değişimi



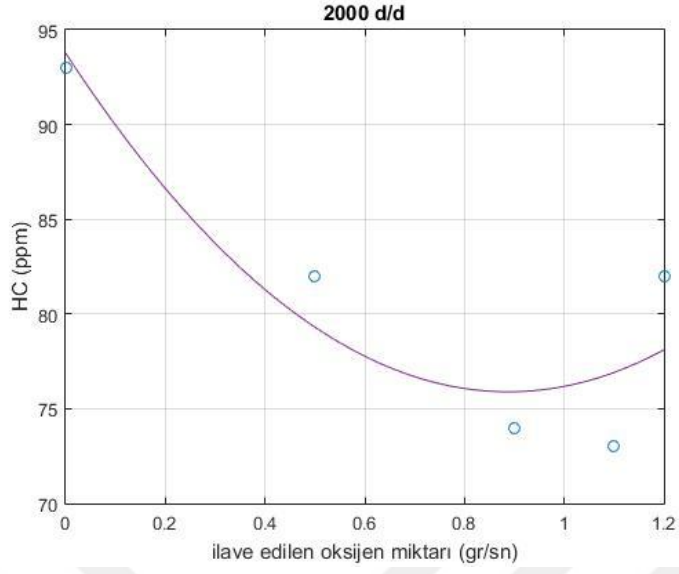
Şekil 4.9. %50 GKK 3500 d/d'da moment değerinin değişimi

Şekil 4.6 4.7 4.8 4.9 ve 4.10'da moment değişiminin motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisine göre motorun 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerinde değişimi görülmektedir.

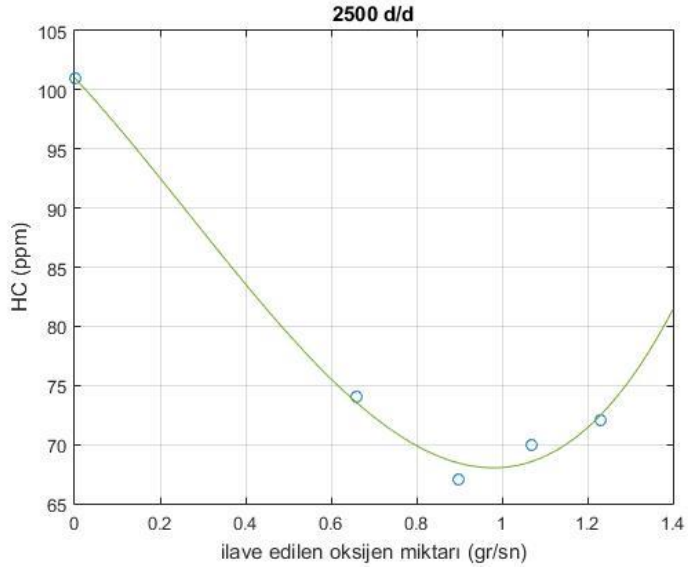


Şekil 4.10. %50 GKK 4000 d/d'da moment değerinin değişimi

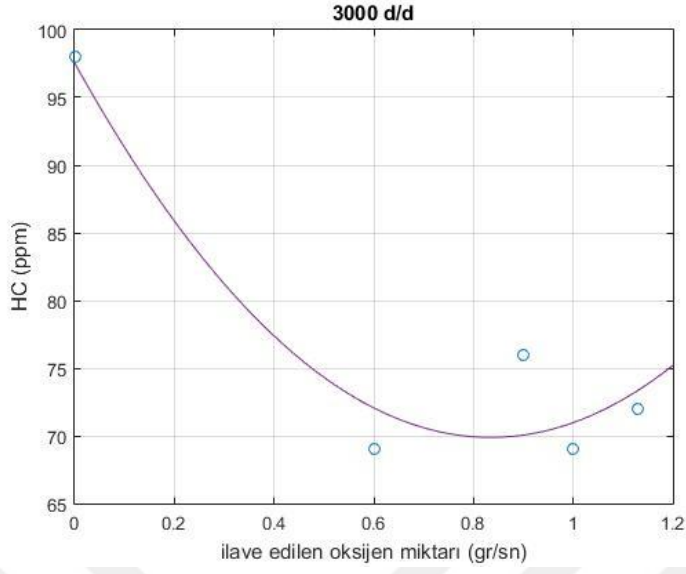
%50 gaz kelebeği konumunda yapılan testlerde emisyon değerlerine bakacak olursak HC ve CO değerlerinde azalma ancak CO₂ ve NO_x değerlerinde artış gözlenmiştir. HC ve CO emisyonlarındaki azalma ve CO₂ emisyonundaki artış istenilen bir durumdur. Bunda da kısmen başarılı olunmuştur. Ancak NO_x emisyonlarındaki artış ciddi bir endişe doğurmaktadır. Bu tarz çalışmalar bu emisyonu daha dikkat etmeyi gerektirmektedir. Şekil 4.11 4.12 4.13 4.14 ve 4.15'de HC emisyonlarındaki değişim görülmektedir. Bu değişim değişiminin motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisine göre motorun 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerinde HC emisyonu değişimlerine göre grafik olarak çizdirilmiştir.



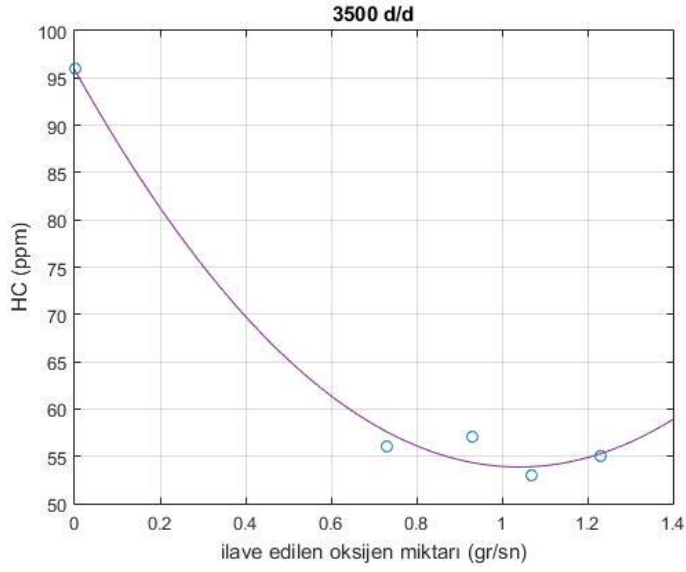
Şekil 4.11. %50 GKK 2000 d/d'da HC emisyonu değişimi



Şekil 4.12. %50 GKK 2500 d/d'da HC emisyonu değişimi

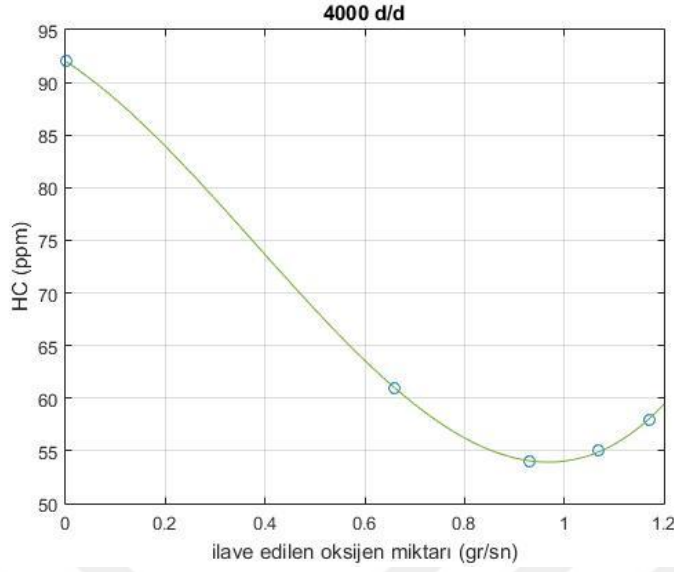


Şekil 4.13. %50 GKK 3000 d/d'da HC emisyonu değışimi



Şekil 4.14. %50 GKK 3500 d/d'da HC emisyonu değışimi

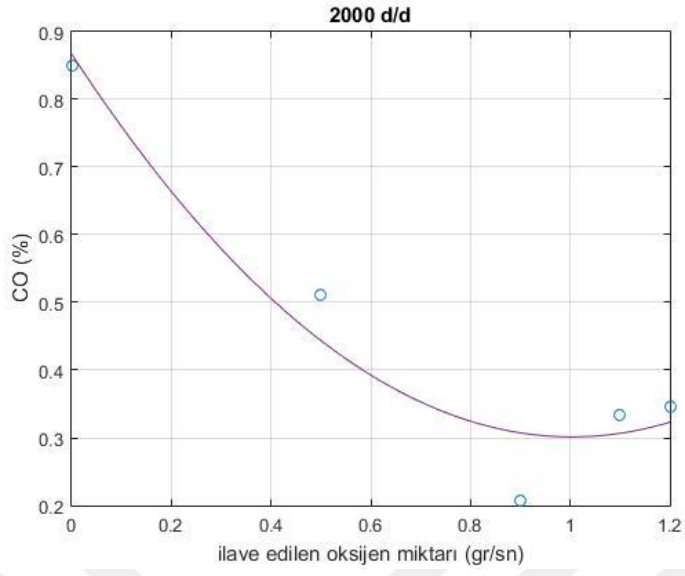
Şekil 4.11 4.12 4.13 4.14 ve 4.15'de HC emisyonlarındaki değışim görölmektedir. Bu değışim değışiminin motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisine göre motorun 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerinde HC emisyonu değışimlerine göre grafik olarak çizdirilmiştir.



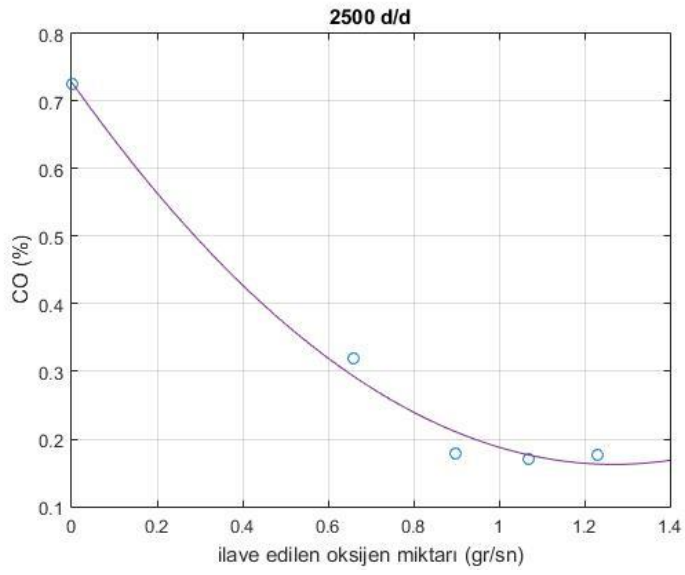
Şekil 4.15. %50 GKK 4000 d/d'da HC emisyonu değişimi

Grafiklerde görüldüğü gibi her devir için emme havasının oksijen ile zenginleştirilmesi ile HC emisyonunda azalma görülmüştür. Verilen oksijenin basıncının artırılması ile HC emisyonundaki azalma sürekli olmamakla birlikte motorun normal çalışmasından daha düşük elde edilmiştir. Bu azalmanın sürekli olmaması birçok nedenle birlikte motor çalışma şartlarına ve motor içi sıcaklığın artmasına bağlanabilir.

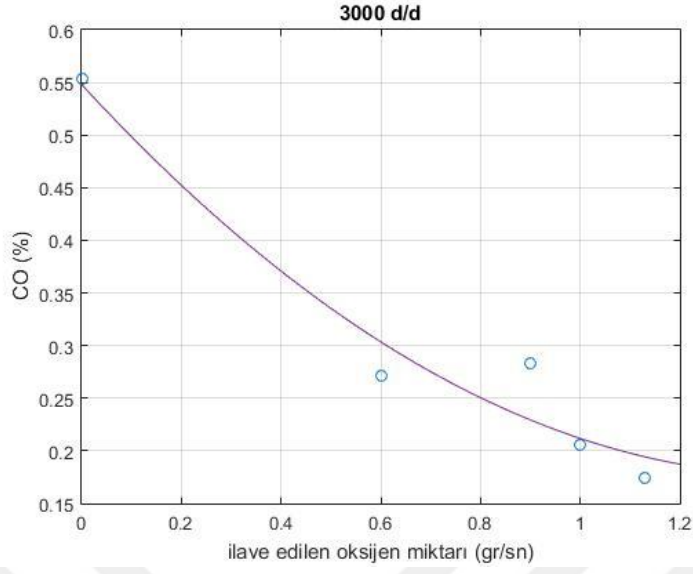
Şekil 4.16 4.17 4.18 4.19 ve 4.20'de CO emisyonunun verilen ilave oksijenin kütleli debisinin artışı ile 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerine göre değişimi görülmektedir. CO emisyonunda da beklenildiği gibi bir azalma sağlanmıştır. Bu azalma aynı HC emisyonlarında olduğu gibi motorun normal çalışma şartlarında her oksijen basıncı için daha düşüktür. Ancak bu düşüş yine dalgalanma göstermiş aşağı doğru dik bir iniş göstermemektedir. Bu da HC emisyonları mantığında olduğu gibi açıklanabilir.



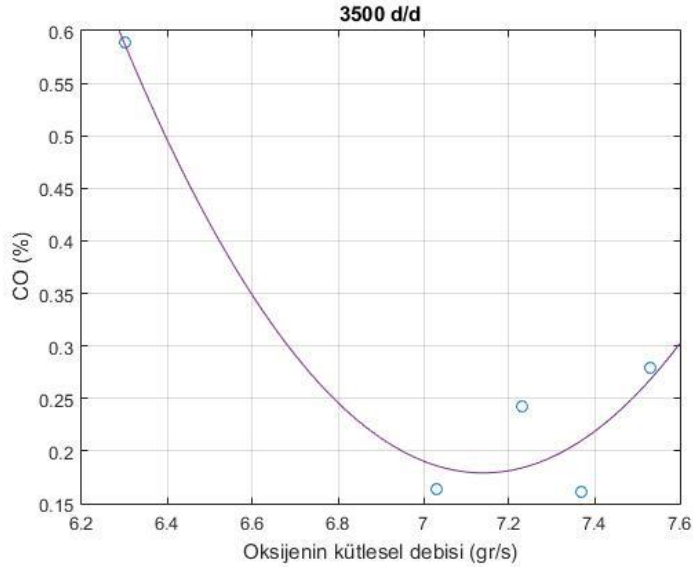
Şekil 4.16. %50 GKK 2000 d/d'da CO emisyonundaki değişimler



Şekil 4.17. %50 GKK 2500 d/d'da CO emisyonundaki değişimler

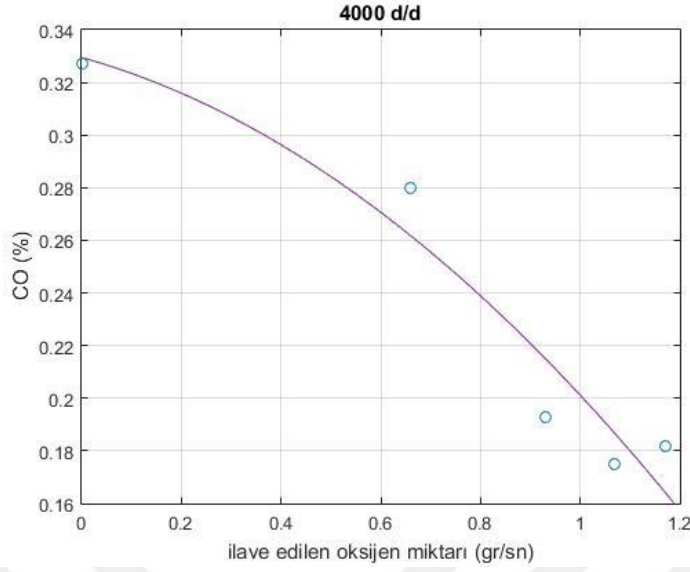


Şekil 4.18. %50 GKK 3000 d/d'da CO emisyonundaki değişimler



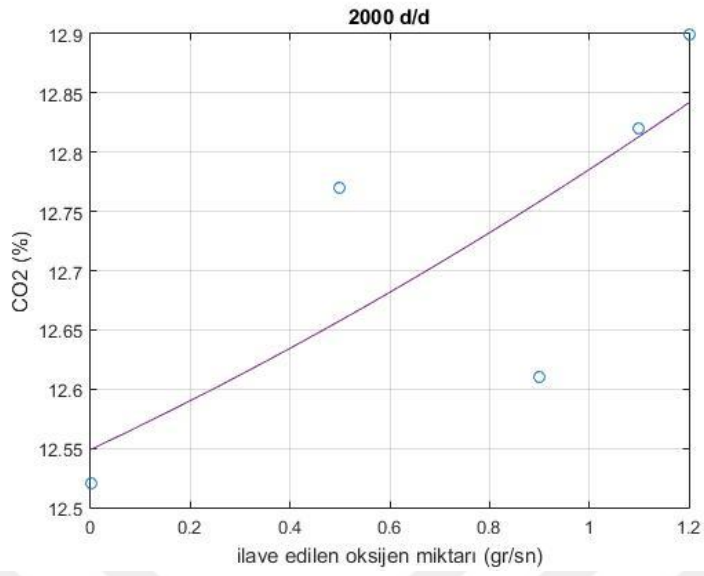
Şekil 4.19. %50 GKK 3500 d/d'da CO emisyonundaki değişimler

Şekil 4.16 4.17 4.18 4.19 ve 4.20'de CO emisyonunun verilen ilave oksijenin kütleli debisinin artışı ile 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerine göre değişimi görülmektedir.

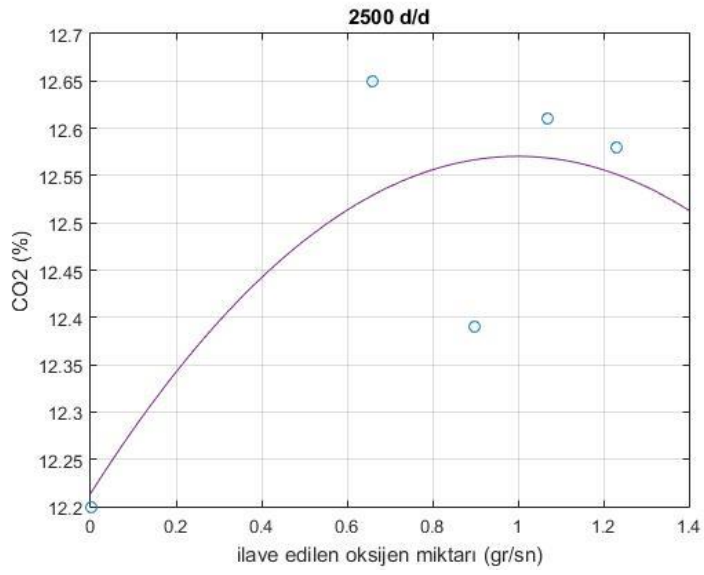


Şekil 4.20. %50 GKK 4000 d/d'da CO emisyonundaki değişimler

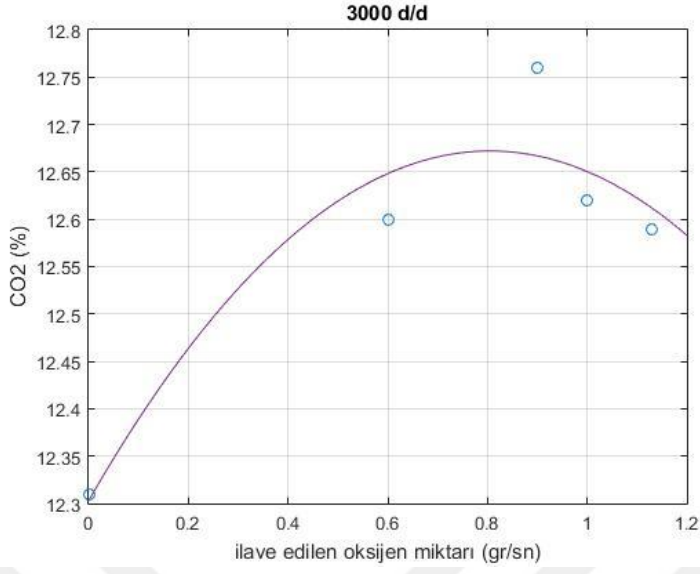
Yanmanın iyileşmesi ve azalan CO emisyonları CO₂ emisyonunda bir artış göstermiştir. Bu artış istenilen bir durumdur. Doğaya zararlı olabilecek CO emisyonu yerine doğaya daha az zararlı CO₂ emisyonu atılmıştır. Motorun normal çalışma koşullarına göre her devir için emme havasının oksijen ile zenginleştirme işe yaradığı ve CO₂ emisyonunu arttırmıştır. Öte yandan diğer emisyonlarda olduğu gibi verilen oksijenin basıncının artışı ile doğru orantılı bir artış olmamış, bir dalgalanma olmuştur. Şekil 4.21 4.22 4.23 4.24 ve 4.25'de CO₂ emisyonunun motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisinin artışı ile 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlere göre değişimi görülmektedir.



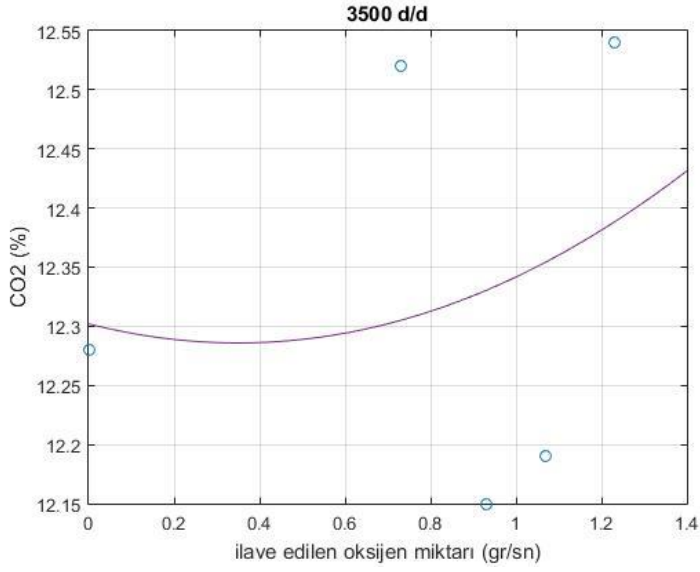
Şekil 4.21. %50 GKK 2000 d/d'da CO₂ emisyonundaki değişimler



Şekil 4.22. %50 GKK 2500 d/d'da CO₂ emisyonundaki değişimler

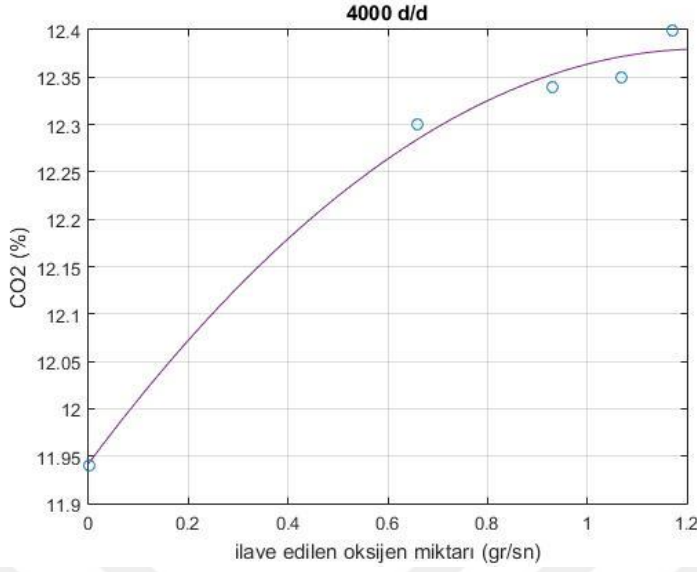


Şekil 4.23. %50 GKK 3000 d/d'da CO₂ emisyonundaki değişimler



Şekil 4.24. %50 GKK 3500 d/d'da CO₂ emisyonundaki değişimler

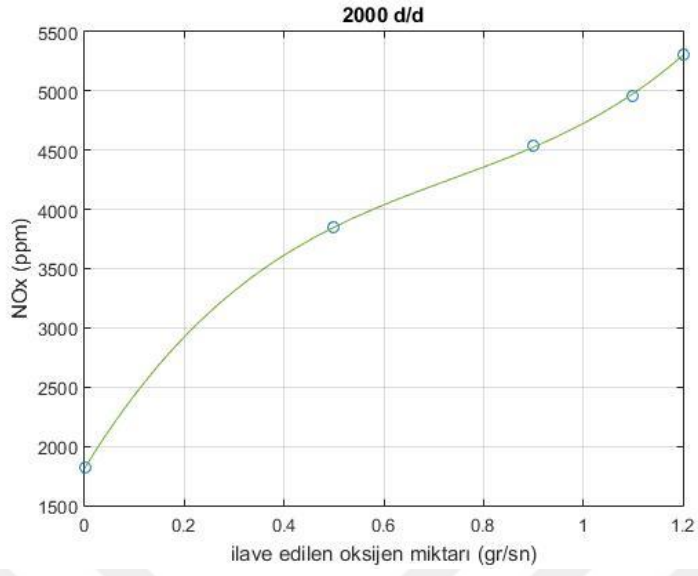
Şekil 4.21 4.22 4.23 4.24 ve 4.25'de CO₂ emisyonunun motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisinin artışı ile 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlere göre değişimi görülmektedir.



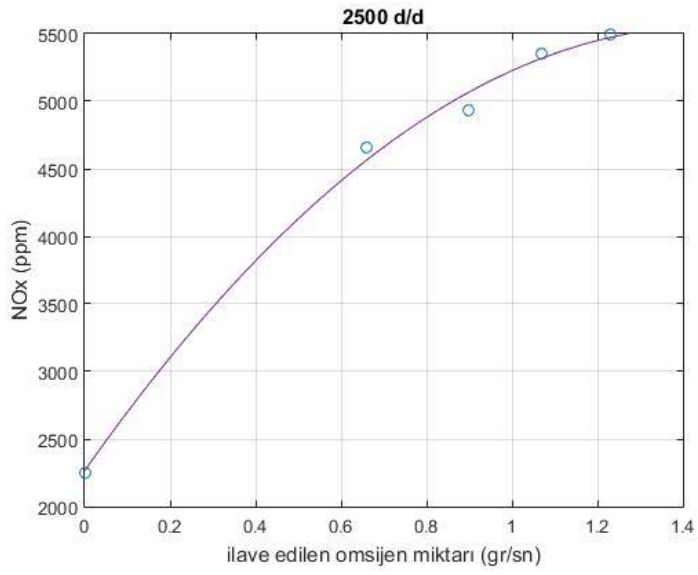
Şekil 4.25. %50 GKK 4000 d/d'da CO₂ emisyonundaki değişimler

Son olarak %50 gaz keleşi açıklığı testleri için NO_x emisyonlarındaki değişime bakalım. NO_x emisyonu artan silindir içi sıcaklıkları ile artmaktadır. Buna bir de oksijen ile düzeltilen yanma ve performans artışı da eklenince NO_x emisyonlarındaki artış çok büyük olmuştur. Bu istemeyen bir durum olmasına karşın beklenen bir durumdur. Çünkü oksijen yanma verimini iyileştirir ve yanma sonu sıcaklıklarını arttırır.

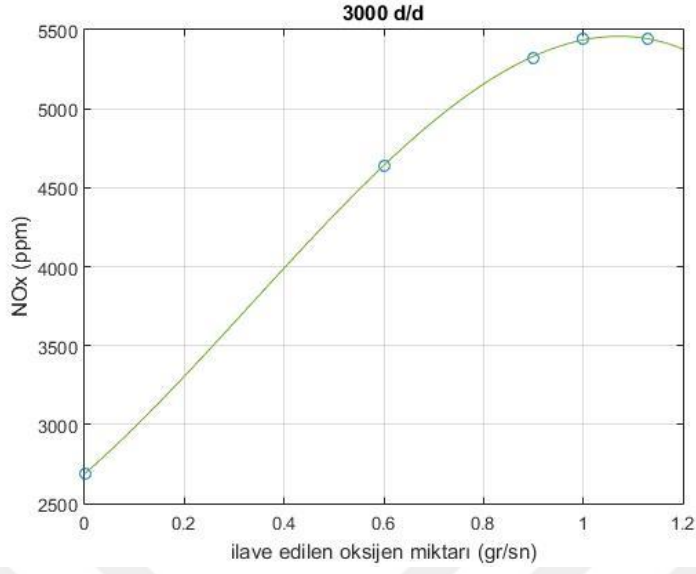
NO_x emisyonu diğer emisyonlara nazaran hem verilen oksijenin basınç artışı ile hem de artan devir ile artış göstermiştir. NO_x emisyonunun oksijenli çalışma şartlarında normal çalışma şartlarına oranla iki katından daha fazla egzoz gazında bulunmuştur. Şekil 4.26 4.27 4.28 4.29 ve 4.30'da NO_x emisyonunun motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisinin artışı ile 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlere göre değişimi görülmektedir.



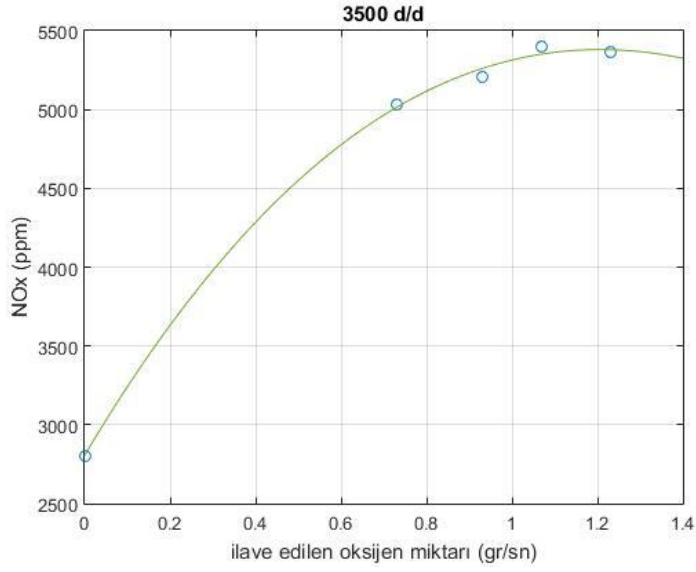
Şekil 4.26. %50 GKK 2000 d/d'da NOx emisyonundaki değişimler



Şekil 4.27. %50 GKK 2500 d/d'da NOx emisyonundaki değişimler

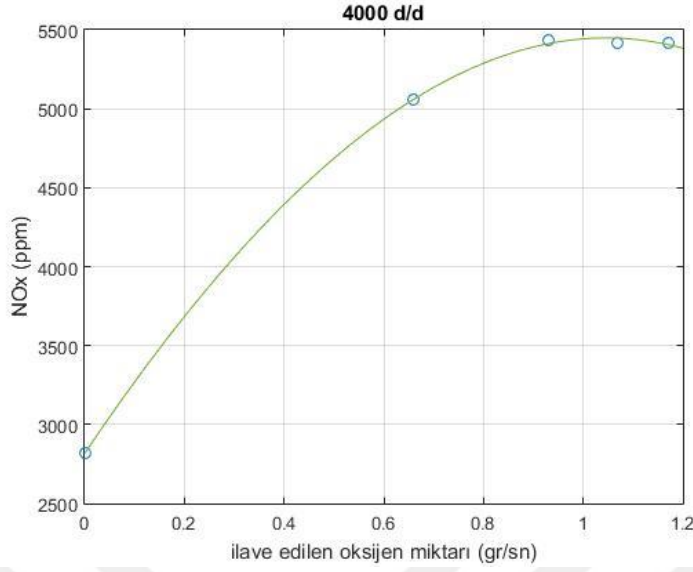


Şekil 4.28. %50 GKK 3000 d/d'da NOx emisyonundaki değişimler



Şekil 4.29. %50 GKK 3500 d/d'da NOx emisyonundaki değişimler

Şekil 4.26 4.27 4.28 4.29 ve 4.30'da NOx emisyonunun motora sevk edilen ilave oksijenin kütleli debisinin artışı ile 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlere göre değişimi görülmektedir.



Şekil 4.30. %50 GKK 4000 d/d'da NOx emisyonundaki değişimler

4.2. %100 Gaz Kelebeği Konumu Testleri

Efektif güç ve moment değerlerinde bir miktar artış olmuştur. HC ve CO emisyonlarında düşüş gerçekleşirken NOx emisyonlarında artış gözlenmiştir. %100 gaz kelebeği konumunda yapılan testler %50 gaz kelebeği konumunda yapılan testleri desteklemesi niteliktedir. Ancak motor ve test düzeneği şartları da göz önüne alınarak oksijensiz standart çalışma testleri yapılmış ve buna ek olarak sadece 1,2 bar oksijen verilerek oksijenli testler yapılmıştır. Buna bağlı olarak çizilen grafikler de devirlere göre değil de oksijenli oksijensiz olarak ayrılmıştır. Yapılan testler tez çalışmasını destekler nitelikte olduğu görülmektedir.

Efektif güç değerleri açısından sonuçlara bakılacak olursa efektif güç değerleri emme havasının oksijen zenginleşmesi ile küçük de olsa bir artış göstermiştir. Artış özellikle yüksek devirlerde daha belirgindir. Çizelge 4.1'de %100 gaz kelebeği konumunda çalışmada efektif güç ve moment değerlerindeki değişim tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.1. %100 GKK çalışmada efektif güç ve moment değerlerindeki değişimler

İLAVE O ₂ (bar)	İLAVE EDİLEN OKSİJEN MİKTARI (gr/s)	DEVİR (d/d)	MOMENT (düzeltilmiş) (Nm)	EFEKTİF GÜÇ (düzeltilmiş) (kW)
YOK	YOK	2000	96,78	20,19
YOK	YOK	2500	102,3	26,77
YOK	YOK	3000	106,47	33,44
YOK	YOK	3500	111,06	40,67
YOK	YOK	4000	116,96	48,98
1,2	0,26	2000	98,59	20,59
1,2	0,2	2500	103,66	26,84
1,2	0,26	3000	107,12	33,62
1,2	0,16	3500	111,54	40,84
1,2	0,23	4000	121,42	50,82

Bu tablo incelendiğinde emme havasının oksijen ile zenginleşmesi ile efektif güç değerlerindeki artış görülmektedir. Bu değişim yüksek devirlerde daha belirgin olarak görülmektedir. Efektif güç değerlerinin yanı sıra moment değerlerinde de bir artış sağlanmış ve literatür çalışmalarına uygun sonuçlar alınmıştır.

%100 gaz kelebeği konumunda yapılan testlerde emisyon değerlerine bakacak olursak aynı %50 çalışmada olduğu gibi HC ve CO değerlerinde azalma ancak CO₂ ve NO_x değerlerinde artış gözlenmiştir. HC ve CO emisyonlarındaki azalma ve CO₂ emisyonundaki artış istenilen bir durumdur. Bunda da başarılı olunmuştur. Ancak NO_x emisyonlarındaki artış ciddi bir endişe doğurmaktadır. Bu tarz çalışmalar da özellikle NO_x emisyonuna daha dikkat etmeyi gerektirmektedir. Çizelge 4.2’de %100 gaz kelebeği konumunda çalışmada emisyon değerleri (HC, CO, CO₂, NO_x) değerlerindeki değişim tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.2. %100 GKK çalışmada emisyon değerlerindeki değişimler

İLAVE O ₂ (Bar)	İLAVE EDİLEN OKSİJEN MİKTARI (gr/s)	DEVİR (d/d)	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	NO _x (ppm)
YOK	YOK	2000	56	0,642	12,32	1650
YOK	YOK	2500	60	0,589	12,46	2028
YOK	YOK	3000	43	0,463	12,5	2343
YOK	YOK	3500	16	0,305	12,61	2292
YOK	YOK	4000	132	6,314	9,05	230
1,2	0,26	2000	50	0,396	12,62	3293
1,2	0,2	2500	34	0,393	12,7	3318
1,2	0,26	3000	25	0,337	12,72	3549
1,2	0,16	3500	8	0,195	12,83	3298
1,2	0,23	4000	122	5,334	10,11	604

Grafikte de görüldüğü gibi HC emisyonlarındaki değişim %9-50 arası azalma yönündedir. Emme havasının oksijen ile zenginleştirilmesi bu emisyonlarda azalmasını sağlamıştır.

CO emisyonunda da beklenildiği gibi bir azalma sağlanmıştır. Bu azalma aynı HC emisyonlarında olduğu gibi motorun normal çalışma şartlarında çalışmaya göre oksijen ile çalışmada daha düşüktür. Grafikte de görüldüğü gibi CO emisyonlarındaki değişim %20-50 arası azalma yönündedir.

Yanmanın iyileşmesi ve azalan CO emisyonları CO₂ emisyonunda bir artış göstermiştir. Bu artış istenilen bir durumdur. Doğaya zararlı olabilecek CO emisyonu yerine doğaya daha az zararlı CO₂ emisyonu atılmıştır. Motorun normal çalışma koşullarına göre emme havasının oksijen ile zenginleştirme işe yararmış ve CO₂ emisyonunu arttırmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi CO emisyonlarındaki değişim %2-10 arası azalma yönündedir. Her devirde oksijen ile çalışmayla CO₂ emisyonunda beklenildiği gibi artış sağlanmıştır.

Son olarak %100 gaz keleşliği açıklığı testleri için NO_x emisyonlarındaki değişime bakalım. NO_x emisyonu artan silindir içi sıcaklıkları ile artmaktadır. Buna bir de oksijen ile düzeltilen yanma ve performans artışı da eklenince NO_x emisyonlarındaki

artış çok büyük olmuştur. Bu artış neredeyse NOx emisyonlarını iki katına çıkarmıştır. Bu istemeyen bir durum olmasına karşın beklenen bir durumdur.

4.3. Rölanti Testleri

Rölanti testleri %50 ve %100 gaz kelebeği konumunda yapılan testler gibi yapılan testleri yani tezi desteklemesi niteliğinde yapılmıştır. Bunun için motor ve test düzeneği şartları da göz önüne alınarak oksijensiz standart çalışma testleri yapılmış ve buna ek olarak sadece 1,2 bar oksijen verilerek oksijenli testler yapılmıştır.

Motorumuzun rölanti devri 800 d/d olarak bulunmuştur. Oksijen ile çalışmada bu devir 1418 d/d olmuştur. Yakıt tüketimimiz 0,14 gr/s iken 0,20 gr/s olmuştur.

Rölanti devri testleri emisyonlarına bakacak olursak tam da tezin desteklediği nitelikte olduğu görülmektedir. Aynı önceki testlerde olduğu gibi HC ile CO emisyonları azalmış CO₂ ve NOx emisyonlarında artış saptanmıştır. Ancak diğer testlere nazaran bu değişimler daha belirgin olmuştur.

HC emisyonları 339 ppm değerinden 73 ppm değerine düşüş yaptığı görülmüştür. CO emisyonları ise 0,664 (%) değerinden 0,118 (%) değerine düşmüştür. Bu iki emisyonu aksine CO₂ 11,83 (%) değerinden 14,6 (%) değerine kadar artmıştır. NOx emisyonu ise büyük bir artış göstererek 91 ppm'den 714 ppm değerine çıkmıştır. Bu da NOx emisyonu artışını yine ciddi bir problem olarak karşımıza çıkarmıştır.

4.4. Efektif Verim

Motor milinden alınan işin verilen toplam enerjiye oranı şeklinde tarif edilen efektif verim (veya genel verim) iş veya efektif güç oranları şeklinde yazılırsa;

Motor yakıtla verilen enerji; $Q_y = \dot{m}_y * H_u$

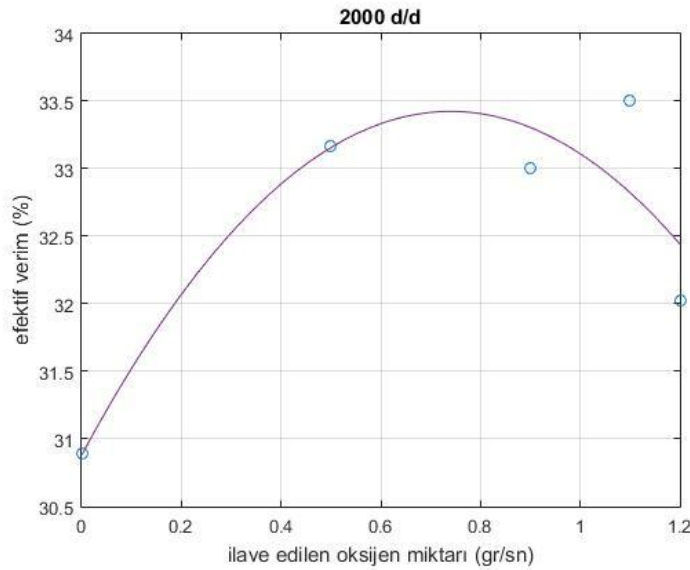
$\eta_e = P_e / Q_y$ şeklinde ifade edilir.

H_u (yakıtın ısı değeri) hesaplamalarda ortalama olarak 45700 kJ/kg alınmıştır (bu değer LPG'nin alt ısı değeri). (Gopalakrishnan ve Loganathan 2016)

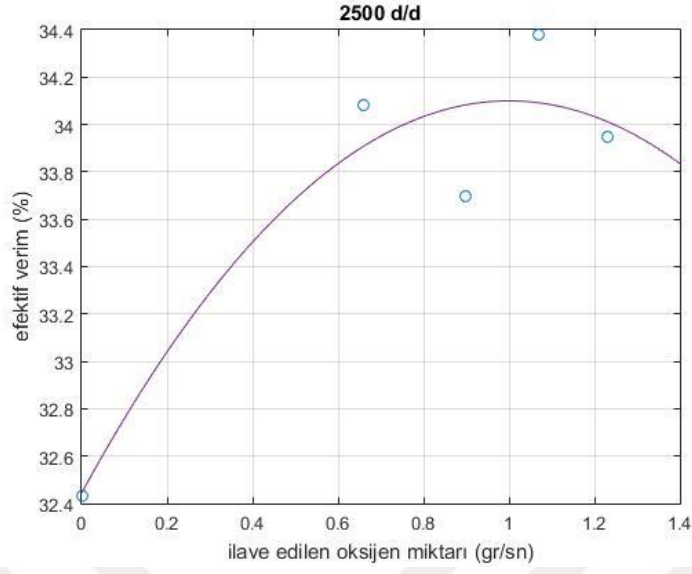
Yapılan testleri daha iyi açıklamak daha iyi anlaşılmasının sağlanması için elde edilen değerler ile efektif verim elde edilmiştir. Bu verimdeki değişim ile bu tez çalışmasında elde edilen katkılar daha net görülecektir. Bu verim hesabı için %50 ve %100 gaz

kelebeği konumunda çalışmada yakıt tüketimleri hesaplanarak yakıttan elde edilen enerji bulunmuş ve motor test dinamometresinden alınan efektif güç ile verim hesabı yapılmıştır. Bu hesap %50 çalışmanın tüm devirlerinde ve oksijen ilavesi 1,2 1,4 1,6 ve 1,8 barların tümünde tek tek yapılmıştır. Aynı %50 çalışmanın diğer grafiklerinde olduğu gibi 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerinde çizdirilmiş ve oksijenin kütleli debisinin artışı dikkate alınmıştır.

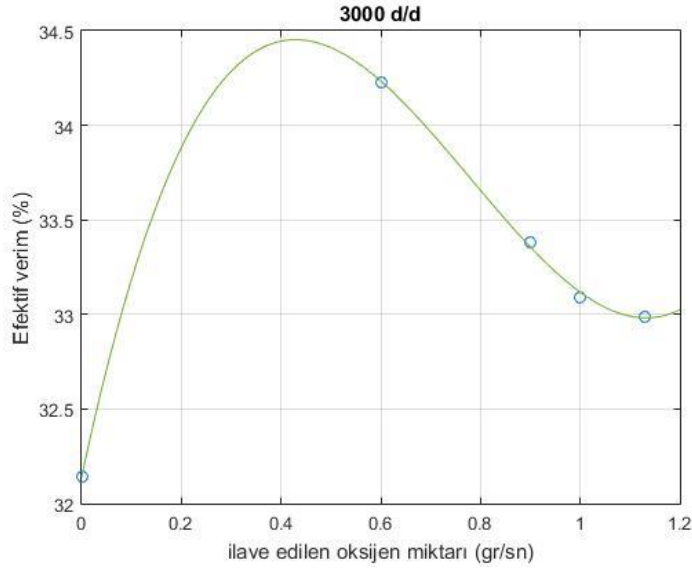
Şekil 4.31 4.32 4.33 4.34 ve 4.35’de %50 gaz kelebeği konumunda 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlere göre verilen ilave oksijenin kütleli debisinin artışı ile efektif verimdeki değişimler görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi efektif verimde %3-10 arası bir artış görülmektedir. Bu artış her devirde oksijen verilmesi ile sağlanmıştır. Ancak her oksijen basınç artışı için aynı olamamaktadır. Yine de tezin desteklediği üzere her devirde emme havasının oksijen ile zenginleşmesi ile efektif verimde artış sağlanmıştır.



Şekil 4.31. %50 GKK 2000 d/d’da efektif verimdeki değişimler

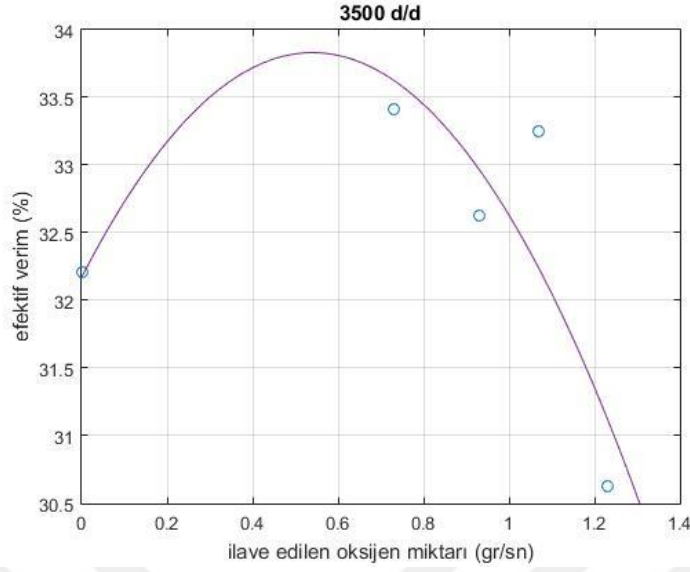


Şekil 4.32. %50 GKK 2500 d/d'da efektif verimdeki değişimler

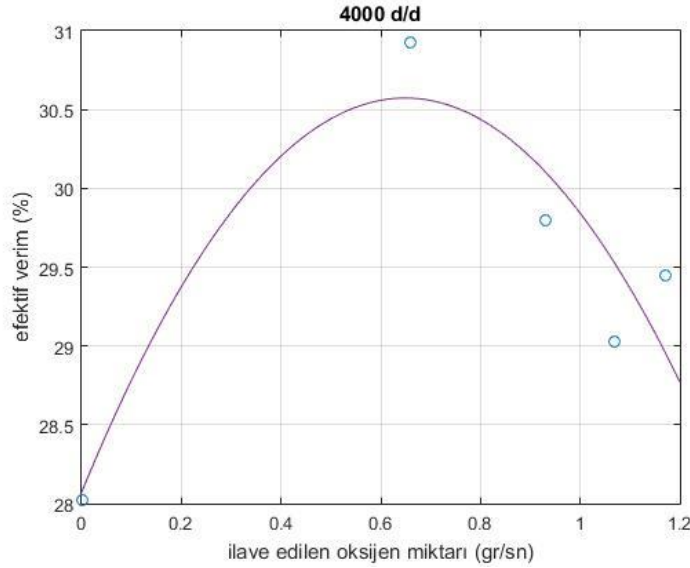


Şekil 4.33. %50 GKK 3000 d/d'da efektif verimdeki değişimler

Şekil 4.31 4.32 4.33 4.34 ve 4.35'de %50 gaz keleşi konumunda 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlere göre verilen ilave oksijenin kütleli debisinin artışı ile efektif verimdeki değişimler görülmektedir.



Şekil 4.34. %50 GKK 3500 d/d'da efektif verimdeki değişimler



Şekil 4.35. %50 GKK 4000 d/d'da efektif verimdeki değişimler

Çizelge 4.3'de %100 gaz kelebeği konumunda oksijen ilave edilmeyen ve 1,2 bar oksijen ilave edilmiş testlerde devir artışı ile efektif verimdeki değişimler görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi efektif verimde %3'e kadar bir artış görülmektedir. Ancak her oksijen basınç artışı için aynı olamamaktadır. Yine de literatürün desteklediği üzere her devirde emme havasının oksijen ile zenginleştirilmesi ile efektif verimde bir miktar artış sağlanmıştır.

Çizelge 4.3. %100 gaz kelebeği konumunda efektif verimdeki değişimler

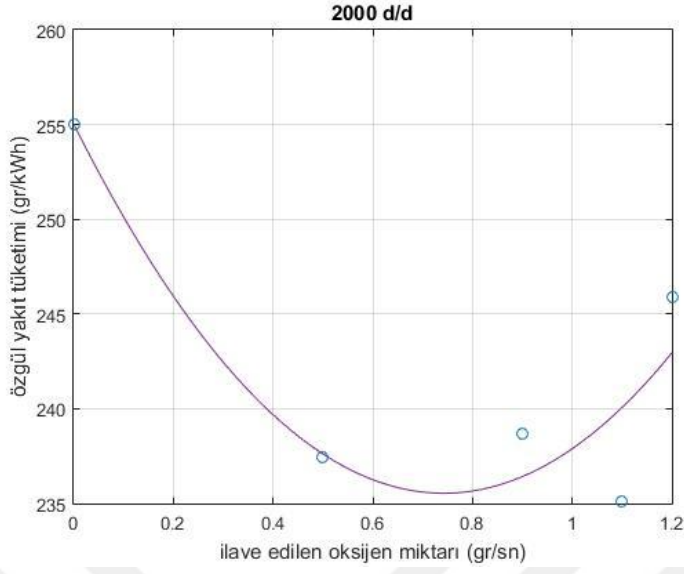
İLAVE O2 (bar)	İLAVE EDİLEN OKSİJEN MİKTARI (gr/s)	DEVİR (d/d)	EFEKTİF VERİM	EFEKTİF VERİM (%)
YOK	YOK	2000	0,332176	33,22
YOK	YOK	2500	0,33473	33,47
YOK	YOK	3000	0,346791	34,68
YOK	YOK	3500	0,338378	33,84
YOK	YOK	4000	0,283538	28,35
1,2	0,26	2000	0,331285	33,13
1,2	0,2	2500	0,345476	34,55
1,2	0,26	3000	0,353686	35,37
1,2	0,16	3500	0,342396	34,24
1,2	0,23	4000	0,28884	28,88

4.5. Efektif Özgül Yakıt Tüketimi

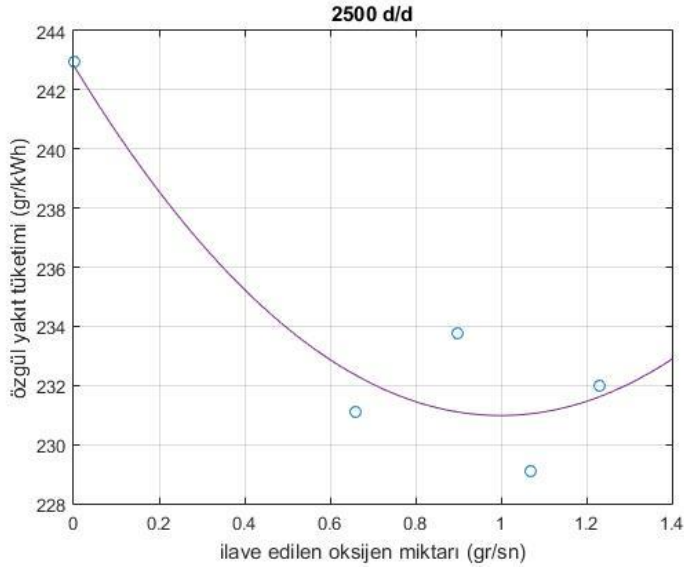
Yapılan testlerde motorun yakıt sarfiyatını deney tesisatında bir ölçüm cihazı terazi ile kütleli olarak tespit ettik. Daha sonra bu yakıt sarfiyatını deney süresine (60 saniye) bölerek yakıt sarfiyatının debisini hesapladık. Emme havasının oksijen ile zenginleştirilmesinin yakıt verimliliğini görmek adına efektif özgül yakıt tüketimini hesapladık. Efektif özgül yakıt tüketimi;

$$b_e = \frac{\dot{m}_y \times 3600}{P_e(\text{düzeltilmiş})} \quad (\text{gr/kWh}) \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$

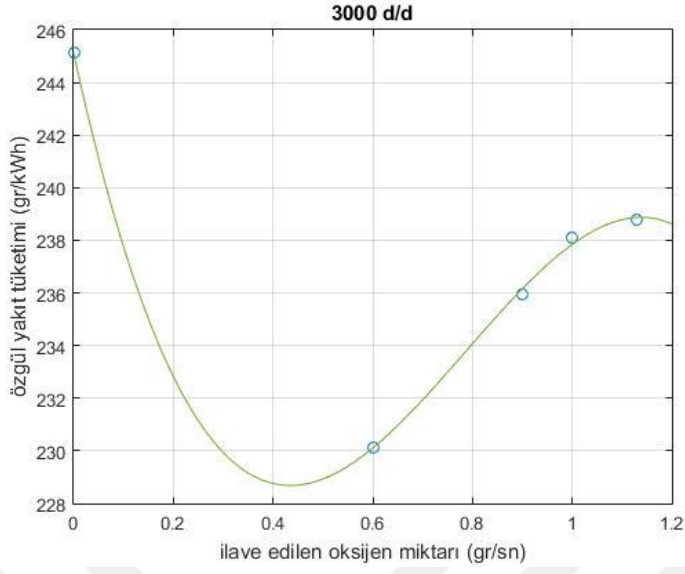
Bu hesap %50 çalışmanın tüm devirlerinde ve oksijen ilavesi 1,2 1,4 1,6 ve 1,8 barların tümünde tek tek yapılmıştır. Aynı %50 çalışmanın diğer grafiklerinde olduğu gibi 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlerinde çizdirilmiş ve oksijenin kütleli debisinin artışı dikkate alınmıştır. Şekil 4.36 4.37 4.38 4.39 ve 4.40'de %50 gaz kelebeği konumunda 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlere göre verilen ilave oksijenin kütleli debisinin artışı ile efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler görülmektedir. Grafiklerde görüldüğü gibi efektif özgül yakıt tüketimindeki ortalama %3-8 arası bir azalma görülmektedir.



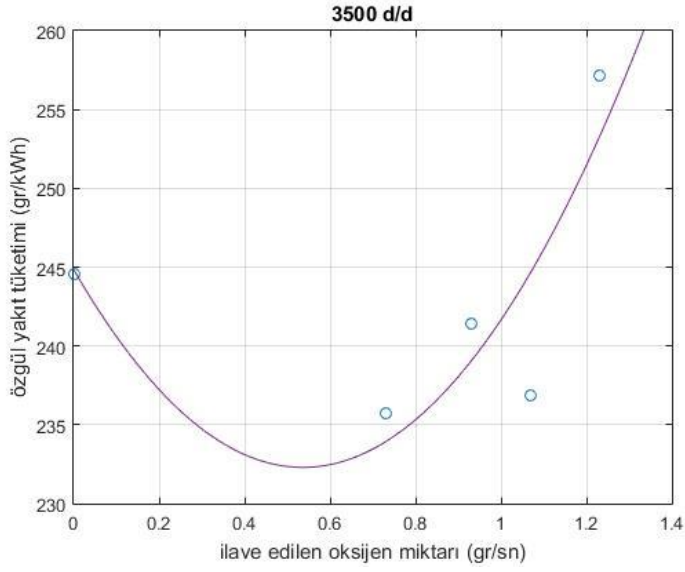
Şekil 4.36. %50 GKK 2000 d/d'da efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler



Şekil 4.37. %50 GKK 2500 d/d'da efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler

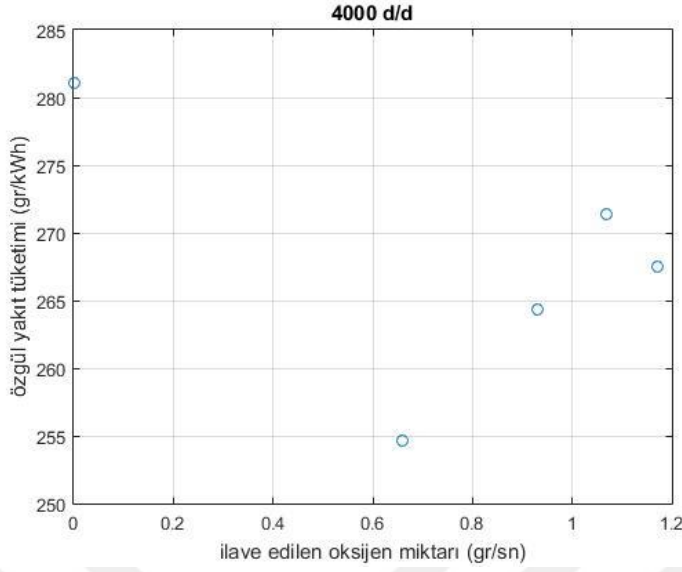


Şekil 4.38. %50 GKK 3000 d/d'da efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler



Şekil 4.39. %50 GKK 3000 d/d'da efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler

Şekil 4.36 4.37 4.38 4.39 ve 4.40'de %50 gaz keleşi konumunda 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 devirlere göre verilen ilave oksijenin kütleşel debisinin artışı ile efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler görölmektedir.



Şekil 4.40. %50 GKK 4000 d/d'da efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler

Çizelge 4.4'de %100 gaz kelebeği konumunda oksijen ilave edilmeyen ve 1,2 bar oksijen ilave edilmiş testlerde devir artışı ile efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler tablo halinde görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi özgül yakıt tüketimindeki %3'e kadar bir azalma görülmüştür.

Çizelge 4.4. %100 gaz kelebeği açıklığında efektif özgül yakıt tüketimindeki değişimler

İLAVE O ₂ (bar)	İLAVE EDİLEN OKSİJEN MİKTARI (gr/s)	DEVİR (d/d)	ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ (gr/kwh)
YOK	YOK	2000	237,1471025
YOK	YOK	2500	235,338065
YOK	YOK	3000	227,15311
YOK	YOK	3500	232,8005901
YOK	YOK	4000	277,8276848
1,2	0,26	2000	237,7853327
1,2	0,2	2500	228,0178838
1,2	0,26	3000	222,7245687
1,2	0,16	3500	230,0685602
1,2	0,23	4000	272,7272727

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma oksijen ile zenginleştirilmiş emme havasının LPG yakıtlı buji ateşlemeli bir motorun performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Bu tezdeki amacımız egzoz emisyonlarını azaltırken motorumuzda efektif güç ve moment artışı ile performansını artırmaktır.

LPG'nin gaz fazında yanma odasına sevk edilmesi nedeniyle karışımın elektriksel iletkenliği düşük olduğundan alev nüvesinin oluşumu daha uzun bir zaman almakta ve oluşan nüve güçlü bir şekilde yanmanın ilerlemesine katkı sağlayamamaktadır. Bu durumda yanma odasında bulunan iyonizasyon derecesi yüksek olan oksijen alev nüvesinin oluşmasına olumlu katkı sağlamaktadır. Emme havasının oksijence zenginleştirildiği durumda; güçlü alev nüvesi daha erken teşkil edilebilmekte, alev hızı artmakta, yanma sonu sıcaklıkları yükselmekte ve böylece yanma veriminde artış elde edilebilmektedir. Bu sayede LPG alternatif yakıt olarak kullanılmasının olumsuz sonuçları giderilerek daha etkili ve faydalı biçimde kullanılmasının önü açılmaktadır.

Sonuçları motor karakteristikleri efektif güç ve moment, egzoz emisyonları HC, CO, CO₂ ve NO_x ile efektif verim ve efektif özgül yakıt tüketimi açısından ele alarak inceleyeceğiz.

Literatür taramasında emme havasının oksijen ilavesiyle zenginleştirilmesi yanma verimini ve akış hızını arttığı görülmektedir. Bununla birlikte literatür taramasında görülen efektif güç ve moment artışı kimi çalışmalarda %2,9-3,2 (Karagöz ve ark. 2015a) arasında olurken bazı çalışmalarda %14'e (Wu ve Huang 2007) kadar çıktığı görülmüştür. Bu çalışmada efektif güç değerindeki artış ise %50 gaz kelebeği açıklığında çalışmada %1-11 arasında olduğu ve %100 gaz kelebeği açıklığında çalışmada %0,5-4 arasında olduğu görülmüştür. %50 gaz kelebeği açıklığında çalışmada efektif güç için çizilen grafikler dalgalı bir eğri halinde olurken %100 gaz kelebeği açıklığında çalışmada ise doğrusal bir grafik çizilmiştir. Efektif güç %100 çalışmada her devirde oksijen zenginleştirme ile artmıştır. Moment değişimi açısından da bakıldığında motorun momentinin oksijen zenginleştirme ile arttığı görülmektedir. Bu artış %50 gaz kelebeği açıklığında %0-20 arasında olurken %100 gaz kelebeği açıklığında %0,2-3 arasında olmuştur. Efektif güç eğrilerinde olduğu gibi %50 gaz

kelebeği açıklığında dalgalı ve değişken bir moment artışı elde edilmiştir. %100 gaz kelebeği açıklığında çalışmada ise moment artışı doğrusal olmuştur.

Grafikler ve sonuçlarda görüldüğü üzere %50 gaz kelebeği konumunda artış doğrusal olmasa da elde edilen efektif güç ve moment artışı %100 gaz kelebeği açıklığında çalışmaya oranla daha iyi olmuştur. Bunu sebebi olarak %100 gaz kelebeği açıklığında içeri alınan hava miktarı daha fazladır. Bu hava ile gerekli yanma verimi sağlanmaktadır. Yanma için gerekli oksijen bu havadan rahatlıkla sağlandığı için ilave ettiğimiz oksijenin efektif güç ve moment artışına etkisi küçük olmuştur. Ayrıca %100 gaz kelebeği konumunda içeri alınan dolgu da daha fazladır. Bu sebeplerden dolayı yanma hızı ve yanma verimi bir noktaya kadar artmış, paralelinde efektif güç ve moment artışı da daha az olmuştur.

Motor karakteristiklerindeki bu sonuçların nedenleri olarak daha yüksek alev sıcaklığı ve yanma hızı olabilir. Motora ilave oksijen verilmesi tutuşma gecikmesini kısaltmaktadır. Oksijen zenginleştirilmesiyle yanma iyileşmiş ve böylece motorun yanma verimi ve yanma hızı artmıştır. Bu sebeplerle de motorun efektif güç ve momentinde artış sağlanmıştır.

Yapılan testlerde HC egzoz emisyonlarında büyük bir azalma meydana gelmiştir. Özellikle ilk oksijen verilmesiyle %50 gaz kelebeği konumunda çalışmada her devirde %25 azalma sağlanmıştır. Bu azalma 1,2 1,4 ve 1,6 bar oksijen verilmesiyle devam ederken 1,8 bar oksijen ile yerini bir miktar artışa bırakmıştır. Ancak oksijensiz çalışmaya göre hala çok az durumdadır. %100 gaz kelebeği konumunda çalışmada ise %12-50 arasında olmuştur. Özellikle devir artışı ile azalma miktarı da artmıştır.

HC egzoz emisyonlarındaki azalmayı oksijen konsantrasyonunun artması nedeniyle yakıtın daha iyi oksitlenmesi ve egzozdaki oksijen konsantrasyonunun yüksek olması nedeniyle yanma sonrası bir oksidasyon gerçekleşmiş olmasına bağlayabiliriz. HC egzoz emisyonlarında daha eksiksiz yanma nedeniyle azalma meydana gelmiştir.

Literatür taramasında CO emisyonları emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile GKK'ların hepsinde ortalama %95,5 düştüğü, Neredeyse sıfır CO emisyon değerlerine ulaşıldığı, CO emisyonlarının düşüsün aksine CO₂ emisyonunda artış görülmüştür.

Oksijen ilavesi ile yanmanın iyileşmesi ve yanma veriminin artması bu azalmayı sağlamaktadır (Sönmez 2006).

Bu çalışmadaki deneylerde ise CO emisyonlarında azalma meydana gelirken CO₂ emisyonlarında artış meydana gelmiştir. %50 gaz kelebeği konumunda çalışmada CO emisyonları neredeyse %50 azalma göstermiştir. Bu azalma 1,2 ve 1,4 bar da devam ederken 1,6 ve 1,8 bar oksijen verilmesiyle bir miktar artmıştır. CO₂ emisyonları ise %3 kadar bir artış göstermektedir. %100 gaz kelebeği konumunda çalışmada ise CO emisyonları %50 civarlarında azalma gösterirken CO₂ emisyonları %2-11 arasında artış göstermiştir.

CO emisyonları azalırken CO₂ emisyonlarının artması silindir içinde artan oksijenin CO ile tepkimeye girmesi ve bir art yanma oluşturmasına bağlanabilir. CO emisyonlarında olduğu gibi ve HC emisyonları da daha eksiksiz yanma nedeniyle azalmıştır. Bu sonuçlar yanmanın iyileştiğine ve ısı verimin arttığını da göstermektedir.

Literatür taramalarında oksijenin ilave edilmesiyle, boшта çalışan motor çalışırken performansı arttırdı ve emisyonları azalttı, ancak yine de nitrojen oksitlerinin dramatik bir şekilde artması önlenemediği görülmektedir. Literatürde taramasında tutuşma gecikmesinin azaldığı ve yanma sonu sıcaklıklarının arttığı görülmektedir (Karagöz 2015a).

Bu çalışmadaki deneyler sonucunda da istenilmeyen tek sonuç NO_x egzoz emisyonlarından alınmıştır. Emme havasının oksijen ile zenginleşmesiyle NO_x emisyonlarında büyük bir artış görülmüştür. %50 gaz kelebeği konumunda çalışmada oksijen verilmesiyle beraber NO_x emisyonları iki ile üç katına çıkmıştır. Bu artış hem devir artışı ile artarken hem de verilen oksijenin basıncı arttıkça da artmıştır. %100 gaz kelebeği konumunda çalışmada ise %46-100 arası bir artış göstermiştir. %50 çalışmada olduğu kadar istikrarlı bir artış olmamıştır.

Bu durumun sebebi olarak oksijenle birlikte elde edilen yüksek yanma sıcaklığı ve yanmanın iyileşmesi gösterilebilir. Literatürlere göre emme havasının oksijence zenginleştirilmesi durumunda tutuşma gecikmesi de kısılacağı bilinmektedir. Tutuşma gecikmesi kısaldığından yanma sıcaklığı ve silindir basıncı artar. Sonuç olarak, silindir

içi sıcaklıklarının artışı ile NOx emisyonu da hızla artmaktadır. NOx artışı yanma sonu sıcaklıklarının da arttığını ispatlamaktadır.

Efektif verim farkı performans artışı hakkında en net değerlendirmeyi yapmamıza sağlayacağı için teze konulmuştur. Yapılan testlerde ve hesaplamalarda efektif verim artışı %4-11 arasında olduğu görülmüştür. Bu da motorumuzun performans artışının emme havasını oksijen ile zenginleştirilmesiyle yaklaşık %10'a kadar arttırılabileceğini bizlere göstermektedir.

Literatürde efektif özgül yakıt tüketiminin daha yüksek alev sıcaklığı ve yanma hızı sayesinde azaldığı görülmüştür (Wu ve Huang 2007). Bizim çalışmamızda ise efektif özgül yakıt tüketimi %50 gaz kelebeği açıklığındaki çalışmamızda %3-8 arasında bir azalma olurken, %100 gaz kelebeği açıklığında çalışmamızda %3'e kadarlık bir azalma olmuştur. Bu da emme havasını oksijen ile zenginleştirerek yanmanın iyileşmesi, yanma hızının artması ve daha yüksek alev sıcaklıklarına ulaşıldığını göstermektedir. Bu sayede yakıt verimliliğinin arttığı söylenebilir.

Dünyada egzoz emisyonlarına getirilen sınırlamaların sürekli artması, LPG yakıtını alternatif yakıt olarak kullanacak motorlarına ilave oksijen verilmesi ile ilgili çalışmaları arttırabilir. Bu çalışmada NOx emisyonu çıkmıştır. Aşırı çıkan NOx emisyonların azaltılması için bu deneyleri EGR veya katalitik konvertörler ile desteklenerek emme havasına oksijenle zenginleştirme çalışmalarına devam ettirilmelidir.

Motora ilave oksijen verilmesi ve bunun motora uyum çalışmaları özellikle LPG'yi alternatif yakıt olarak kullanan motorlarda devam ettirilmelidir. İlave oksijen verilerek motorun diğer parametrelerine etkileri, motor parçaları dayanımı, motor yağı sıcaklığı, silindir kapağı sıcaklığı, yanma verimi, silindir içi reaksiyonlar, motorun çalışma sıcaklığına ulaşma zamanı vb. incelenmelidir.

Bu çalışma bir araca uygulanacak olursa oluşabilecek sorunlar tartışılmalıdır. Örneğin oksijen tüpü yeri, araca ek olacak ağırlığı ve kaplayacağı alan hesap edilmeli ve çalışma da elde edilen performans artışı ile karşılaştırılmalıdır. Oksijen tüpü maliyetleri ve tekrar dolun sorunları göz önüne alınmalıdır. Oksijenin motora sevk edilmesinin nasıl olacağı, motora sevk koşullarını ve bu koşulların güvenlik tedbirlerinin nasıl olacağına bakılmalıdır.

Motora optimum oranda oksijen verebilmenin hesabı yapılarak, elektronik kontrol ünitesiyle ilave oksijen miktarı kontrol edilmelidir. Motora ilave oksijen verilmesi motor gücü ve momentini artırdığı için motor parçalarının dayanım hesapları yeniden yapılmalıdır, aksi halde motor parçaları zarar görebilir.



KAYNAKLAR

Anonim, 2015. LPG nedir? Microsoft power point sunumu.

Anonim, 2013. Motorlu araçlar teknolojisi, Motor işletim sistemleri. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

Anonim, 2011. Motorlu taşıtlar teknolojisi, LPG yakıt sistemleri (525MT0323). T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

Bulut, E. 2016. Direkt püskürtmeli motorlarda püskürtme karakteristiklerinin nümerik incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Callaghan, K., Nemser, S., Johanson, W. 1999. Oxygen enriching membranes for reduced cold start emissions. SAE Technical Paper Series, 1999-10-1232.

Caton, J.A. 2005. Use of a cycle simulation incorporating the second law of thermodynamics: results for spark-ignition engines using oxygen enriched combustion air. SAE Technical Paper Series, 2005-01-1130.

Dinler, N. 2001. Benzinli motorlarda yakıt olarak LPG kullanılması ve katalitik konvertör uygulamasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkisinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Erkuş, B. 2011. Otto motorlarının farklı yakıt tiplerinde optimum performanslarının araştırılması. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Erkuş, B., Karamangil, M.İ., Sürmen, A. 2015 Enhancing the heavy load performance of a gasoline engine converted for LPG use by modifying the ignition timings. Applied Thermal Engineering, 85: 188-194.

Gopalakrishnan, V., Loganathan, M. 2016. Experimental Investigation of a Two Stroke SI Engine Operated with LPG Induction, Gasoline Manifold Injection and Carburetion. International Journal of Scientific & Engineering Research, ISSN 2229-5518.

Kajitani, S., Sawa N., McComiskey, T., Rhee, K.T. 1992. A spark ignition engine operated by oxygen enriched air. SAE Technical Paper Series, 922174.

Kajitani, S., Clasen, E., Campbell, S., Rhee, K.T. 1993. Partial-load and start-up operations of spark-ignition engine with oxygen enriched air. SAE Technical Paper Series, 932802.

Karagöz, Y., Sandalcı, T., Dalkılıç, A.S. 2015a. Effects of hydrogen and oxygen enrichment on performance and emissions of an SI engine under idle operating condition. *Science Direct*, 40: 8607-8619.

Karagöz, Y., Yuca, N., Sandalcı, T., Dalkılıç A.S. 2015b. Effect of hydrogen and oxygen addition as a mixture on emissions and performance characteristics of a gasoline engine. *Science Direct*, 40: 8750-8760.

Karamangil, M.İ. 2017. Yakıtlar, yağlar ve emisyonlar ders notları. Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Maxwell, T.T., Setty, V., Jones, J.C., Narayan, R. 1993. The effect of oxygen enriched air on the performance and emissions of an internal combustion engines. SAE Technical Paper Series, 932804.

Ng, H.K., Sekar, R.R., Kraft, S.W., Stamper, K.R. 1993. The potential benefits of intake air oxygen enrichment in spark ignition engine powered vehicle. SAE Technical Paper Series, 932803.

Poola, R.B., Ng, H.K., Sekar, R.R., Baudino, J.H., Colucci, C.P. 1995. Utilizing intake-air oxygen-enrichment technology to reduce cold-phase emissions. SAE Technical Paper Series, 952420.

Poola, R.B., Stork, K.C., Sekar R., Callaghan, K., Nemser, S. 1998. Variable air composition with polymer membrane – A new low emissions tool. SAE Technical Paper Series, 980178.

Pu, G., Wang, W., Peng R., Zhu, W., Zhao, F., Fu, F., Long, Y. 2016. NO_x emission of co-combustion coal and biomass blends in an oxygen-enriched atmosphere. *Energy Sources*, ISSN: 1556-7036.

Sezer, K., Özdalyan, B., Çelik, M.B. 2005a. Karbüratörlü motora karışım içerisinde saf oksijen ilave edilmesinin motor karakteristiklerine etkisi. *Teknoloji*, 8(2): 139-145, Zonguldak.

Sezer, K., Özdalyan, B., Aktaş, A. 2005b. Karbüratörlü motora karışım içerisinde saf oksijen ilave edilmesinin egzoz emisyonlarına etkisi. *Teknoloji*, 8(1): 71-78, Zonguldak.

Shengqin, L. 2010. Emissions performance study of oxygen-enriched combustion on spark-ignition engine at cold-start. 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation.

Shyani, R.G., Caton, J.A. 2009. Results from a thermodynamic cycle simulation for a range of inlet oxygen concentrations using either EGR or oxygen enriched air for a spark-ignition engine. SAE International, 2009-01-1108.

Sönmez, İ. 2006. Dizel motorlarına ilave oksijen verilmesinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi. *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalında, Karabük.

Tira, H.S., Herreros, J.M., Tsolakis, A., Wyszynski, M.L. 2012. Characteristics of LPG-diesel dual fuelled engine operated with rapeseed methyl ester and gas-to-liquid diesel Fuels. *Energy* 47: 620-629.

Wu, Y.Y., Huang, K.D. 2007. Improving the performance of a small spark-ignition engine by using oxygen-enriched intake air. SAE International, 2007-32-0004.

EKLER

EK 1 %50 GKK Yapılan Testlerin Ham Sonuçları 1

EK 2 %50 GKK Yapılan Testlerin Ham Sonuçları 2

EK 3 %100 GKK Yapılan Testlerin Ham Sonuçları

EK 4 Yapılan %50 GKK Testlerin Efektif Verim Ve Efektif Özgül Yakıt Tüketimi Sonuçları

EK 5 Yapılan %100 GKK Testlerin Efektif Verim Ve Efektif Özgül Yakıt Tüketimi Sonuçları

EK 6 LPG'nin Özellikleri



EK 1 %50 GKK YAPILAN TESTLERİN HAM SONUÇLARI 1

DEVİR (d/d)	İLAVE O2 (Bar)	GÜÇ (kW)	MOMENT (Nm)	Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı	Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı	YAKIT TÜKETİMİ (gr/s)	OKSİJEN TÜKETİMİ (gr/s)	SEVK EDİLEN O2 KÜTLESEL DEBİSİ (gr/s)	Ortam Sıcaklığı
2000	YOK	18,63	89,24	75	80	1,35		4,82	39
2000	1,2	19,51	93,19	76	81	1,31	0,50	5,32	36
2000	1,4	19,29	92,17	76	80	1,30	0,90	5,72	35
2000	1,6	19,70	94,06	75	80	1,31	1,10	5,92	36
2000	1,8	19,19	91,72	71	78	1,33	1,20	6,02	34
2500	YOK	23,33	89,34	77	82	1,60		5,73	35
2500	1,2	23,03	87,97	77	83	1,51	0,66	6,39	38
2500	1,4	23,45	89,56	76	82	1,55	0,90	6,63	36
2500	1,6	22,53	86,08	78	84	1,46	1,07	6,8	36
2500	1,8	22,07	84,35	78	84	1,45	1,23	6,96	37
3000	YOK	23,87	76,02	76	81	1,66		6	38
3000	1,2	25,31	80,59	77	83	1,65	0,60	6,6	37
3000	1,4	23,30	74,18	78	83	1,56	0,90	6,9	38
3000	1,6	24,65	78,45	78	83	1,66	1,00	7	36
3000	1,8	23,65	75,30	76	82	1,60	1,13	7,13	37
3500	YOK	25,25	68,90	74	79	1,76		6,3	41
3500	1,2	26,36	71,91	73	79	1,78	0,73	7,03	44
3500	1,4	25,99	70,91	74	80	1,80	0,93	7,23	45
3500	1,6	26,84	73,23	75	81	1,83	1,07	7,37	47
3500	1,8	25,75	70,29	75	81	1,76	1,23	7,53	48
4000	YOK	17,90	42,74	75	80	1,45		5,26	48
4000	1,2	21,90	52,28	75	79	1,61	0,66	5,92	49
4000	1,4	20,74	49,72	75	80	1,58	0,93	6,19	48
4000	1,6	19,78	47,21	74	79	1,55	1,07	6,33	49
4000	1,8	19,40	46,32	75	79	1,50	1,17	6,43	50

EK 2 %50 GKK YAPILAN TESTLERİN HAM SONUÇLARI 2

DEVİR (d/d)	İLAVE O2 (Bar)	LAMBDA	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	NOx (ppm)	Manifold Basıncı (Dinamometre)	Manifold Basıncı (Fsa)	Ateşleme Avansı	Vuruntu Düzeltilme
2000	YOK	0,994	0,85	93	12,52	0,57	1815	-30	954	13	0
2000	1,2	1,075	0,512	82	12,77	2,10	3846	-60	950	13	0
2000	1,4	1,168	0,208	74	12,61	3,78	4537	-70	939	13	0
2000	1,6	1,161	0,333	73	12,82	3,81	4960	-40	958	12	0
2000	1,8	1,177	0,345	82	12,9	4,19	5311	-60	936	12	0
2500	YOK	0,996	0,725	101	12,2	0,54	2254	-120	880	20	0
2500	1,2	1,105	0,32	74	12,65	2,55	4660	-110	869	19	0
2500	1,4	1,115	0,179	67	12,39	3,40	4932	-130	880	20	0
2500	1,6	1,172	0,171	70	12,61	3,82	5347	-160	852	20	2-1
2500	1,8	1,194	0,176	72	12,58	4,27	5497	-160	843	19	2
3000	YOK	1,006	0,553	98	12,31	0,64	2688	-210	799	29	0
3000	1,2	1,101	0,271	69	12,6	2,40	4642	-170	828	26	0
3000	1,4	1,109	0,283	76	12,76	2,62	5324	-230	776	28	0
3000	1,6	1,126	0,206	69	12,62	3,31	5445	-160	806	27	0
3000	1,8	1,117	0,174	72	12,59	3,93	5440	-230	786	27	0
3500	YOK	0,997	0,589	96	12,28	0,47	2806	-280	741	32	0
3500	1,2	1,112	0,164	56	12,52	2,49	5030	-250	776	31	0
3500	1,4	1,116	0,243	57	12,15	2,59	5209	-270	758	35	0
3500	1,6	1,135	0,161	53	12,19	2,91	5401	-250	780	31	0
3500	1,8	1,117	0,279	55	12,54	2,72	5366	-300	751	31	0
4000	YOK	1,009	0,327	92	11,94	0,52	2817	-520	534	35	0
4000	1,2	1,115	0,208	61	12,3	2,57	5055	-450	601	33	0
4000	1,4	1,137	0,193	54	12,34	3,01	5434	-450	584	34	0
4000	1,6	1,161	0,175	55	12,35	3,49	5417	-450	571	34	0
4000	1,8	1,178	0,182	58	12,4	3,88	5419	-460	566	34	0

EK 3 %100 GKK YAPILAN TESTLERİN HAM SONUÇLARI

İLAVE O ₂ (Bar)	DEVİR (d/d)	EFEKTİF GÜÇ (kW)	MOMENT (Nm)	Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı	Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı	YAKIT TÜKETİMİ (gr/s)	OKSİJEN TÜKETİMİ (gr/s)	SEVK EDİLEN O ₂ KÜTLESEL DEBİSİ (gr/s)
YOK	2000	19,55	93,69	70	76	45	1,33		4,82
YOK	2500	25,84	98,76	74	80	47	1,75		6,31
YOK	3000	32,17	102,43	73	79	49	2,11		7,67
YOK	3500	39,31	107,35	74	80	46	2,63		9,53
YOK	4000	47,42	113,23	72	77	45	3,78		10,9
1,2	2000	19,91	95,29	72	78	46	1,36	0,26	5,08
1,2	2500	25,87	98,88	74	81	48	1,7	0,2	6,51
1,2	3000	32,3	102,9	73	80	50	2,08	0,26	7,93
1,2	3500	39,48	107,81	74	80	46	2,61	0,16	9,69
1,2	4000	49,2	117,54	75	80	45	3,85	0,23	11,13

İLAVE O ₂ (Bar)	DEVİR (d/d)	LAMBDA	CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	NO _x (ppm)	Manifold Basıncı (Dinamometre)	Manifold Basıncı (Fsa)	AA	Vuruntu Düzeltme
YOK	2000	1,009	0,642	56	12,32	0,71	1650	10	1006	10	0
YOK	2500	1,004	0,589	60	12,46	0,56	2028	17	1008	16	0
YOK	3000	1,011	0,463	43	12,5	0,59	2343	15	1000	17	0
YOK	3500	1,008	0,305	16	12,61	0,4	2292	12	995	17	0
YOK	4000	0,802	6,314	132	9,05	0,04	230	18	993	17	0
1,2	2000	1,087	0,396	50	12,62	2,18	3293	12	1008	10	0
1,2	2500	1,066	0,393	34	12,7	1,74	3318	14	1006	13	0
1,2	3000	1,058	0,337	25	12,72	1,5	3549	16	1000	17	0
1,2	3500	1,045	0,195	8	12,83	1,1	3298	16	995	17	0
1,2	4000	0,836	5,334	122	10,11	0,05	604	24	993	17	0

EK 4 YAPILAN %50 GKK TESTLERİN EFEKTİF VERİM VE EFEKTİF ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMLERİ SONUÇLARI

DEVİR (d/d)	İLAVE O ₂ (Bar)	SEVK EDİLEN O ₂ KÜTLESEL DEBİSİ (gr/s)	MOMENT (düzeltilmiş) (Nm)	EFEKTİF GÜÇ (düzeltilmiş) (kW)	YAKIT TÜKETİMİ (gr/s)	LPG ISIL DEĞER (kJ/kg)	ENERJİ (kJ)	EFEKTİF VERİM	EFEKTİF VERİM (%)	ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ (gr/kwh)
2000	YOK	4,82	91,31	19,06	1,35	45700	61,695	0,3089	30,89	254,9842602
2000	1,2	5,32	94,89	19,86	1,31	45700	59,867	0,3317	33,17	237,4622356
2000	1,4	5,72	93,7	19,61	1,30	45700	59,41	0,3301	33,01	238,6537481
2000	1,6	5,92	95,78	20,06	1,31	45700	59,867	0,3351	33,51	235,0947159
2000	1,8	6,02	93,09	19,47	1,33	45700	60,781	0,3203	32,03	245,9167951
2500	YOK	5,73	90,82	23,71	1,60	45700	73,12	0,3243	32,43	242,9354703
2500	1,2	6,39	89,86	23,52	1,51	45700	69,007	0,3408	34,08	231,122449
2500	1,4	6,63	91,19	23,87	1,55	45700	70,835	0,3370	33,70	233,7662338
2500	1,6	6,8	87,65	22,94	1,46	45700	66,722	0,3438	34,38	229,119442
2500	1,8	6,96	86,03	22,50	1,45	45700	66,265	0,3395	33,95	232
3000	YOK	6	77,66	24,38	1,66	45700	75,862	0,3214	32,14	245,11895
3000	1,2	6,6	82,19	25,81	1,65	45700	75,405	0,3423	34,23	230,1433553
3000	1,4	6,9	75,78	23,80	1,56	45700	71,292	0,3338	33,38	235,9663866
3000	1,6	7	79,88	25,10	1,66	45700	75,862	0,3309	33,09	238,0876494
3000	1,8	7,13	76,8	24,12	1,60	45700	73,12	0,3299	32,99	238,8059701
3500	YOK	6,3	70,72	25,91	1,76	45700	80,432	0,3221	32,21	244,5387881
3500	1,2	7,03	74,16	27,18	1,78	45700	81,346	0,3341	33,41	235,7615894
3500	1,4	7,23	73,25	26,84	1,80	45700	82,26	0,3263	32,63	241,4307004
3500	1,6	7,37	75,88	27,81	1,83	45700	83,631	0,3325	33,25	236,8932039
3500	1,8	7,53	72,95	24,64	1,76	45700	80,432	0,3063	30,63	257,1428571
4000	YOK	5,26	44,35	18,57	1,45	45700	66,265	0,2802	28,02	281,098546
4000	1,2	5,92	54,34	22,76	1,61	45700	73,577	0,3093	30,93	254,6572935
4000	1,4	6,19	51,6	21,52	1,58	45700	72,206	0,2980	29,80	264,3122677
4000	1,6	6,33	49,07	20,56	1,55	45700	70,835	0,2903	29,03	271,4007782
4000	1,8	6,43	48,22	20,19	1,50	45700	68,55	0,2945	29,45	267,4591382

EK 5 YAPILAN %100 GKK TESTLERİN EFEKTİF VERİM VE EFEKTİF ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMLERİ SONUÇLARI

İLAVE O ₂ (bar)	SEVK EDİLEN O ₂ KÜTLESEL DEBİSİ (gr/s)	DEVİR (d/d)	MOMENT (düzeltilmiş) (Nm)	EFEKTİF GÜÇ (düzeltilmiş) (kW)	YAKIT TÜKETİMİ (gr/s)	LPG ISIL DEĞER (kl/kg)	ENERJİ (kJ)	EFEKTİF VERİM	EFEKTİF VERİM (%)	ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ (gr/kwh)
YOK	4,82	2000	96,78	20,19	1,33	45700	60,781	0,332176	33,22	237,1471025
YOK	6,31	2500	102,3	26,77	1,75	45700	79,975	0,33473	33,47	235,338065
YOK	7,67	3000	106,47	33,44	2,11	45700	96,427	0,346791	34,68	227,15311
YOK	9,53	3500	111,06	40,67	2,63	45700	120,19	0,338378	33,84	232,8005901
YOK	10,9	4000	116,96	48,98	3,78	45700	172,75	0,283538	28,35	277,8276848
1,2	5,08	2000	98,59	20,59	1,36	45700	62,152	0,331285	33,13	237,7853327
1,2	6,51	2500	103,66	26,84	1,7	45700	77,69	0,345476	34,55	228,0178838
1,2	7,93	3000	107,12	33,62	2,08	45700	95,056	0,353686	35,37	222,7245687
1,2	9,69	3500	111,54	40,84	2,61	45700	119,28	0,342396	34,24	230,0685602
1,2	11,13	4000	121,42	50,82	3,85	45700	175,95	0,28884	28,88	272,7272727

EK 6 LPG'İNİN ÖZELLİKLERİ

ÖZELLİKLER	BİRİM	PROPAN	BÜTAN	MIKS LPG
Kapalı Kimyasal Formülü		C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	%30C ₃ H ₈ +%70C ₄ H ₁₀
Molekül Ağırlığı	gr/mol	44,09	58,12	53,91
LİKİT HALİNDE				
Normal Kaynama Noktası	°C	-42	-0,5	-13
Normal Erime Noktası	°C	-190	-138	-154
Normal Parlama Noktası	°C	-105	-60	-74
Normal Donma Noktası	°C	-188	-138	-153
Özgül Kütle (15°C'de)	kg/lt	0,508	0,584	0,560
Özgül Hacim (15°C'de)	lt/kg	1,969	1,712	1,786
1 kg Gazın Tam Yanması İçin Gerekli Özgül Hava Miktarı	Nm ³ /kg	12,15	12,02	12,06
Buharlaşma Gizli Isısı	kcal/kg	90,50	92,00	91,55
Üst Isıl Değeri	kcal/kg	11,945	11,735	11,798
Alt Isıl Değeri	kcal/kg	11,070	10,920	10,965
GAZ HALİNDE				
Özgül Kütle (15°C'de)	kg/Nm ³	2,019	2,703	2,28
Özgül Hacim (15°C'de)	lt/kg	0,538	0,407	0,439
Alev Sıcaklığı (Havada)	°C	1,980	2,008	2,000
Alev Sıcaklığı (Oksijen)	°C	2,850	2,800	2,815
Üst Isıl Değeri	kcal/Nm ³	22,218	28,868	26,899
Alt Isıl Değeri	kcal/Nm ³	20,590	26,863	25,000
1 m ³ Gazın Tam Yanması İçin Gerekli Özgül Hava Miktarı	Nm ³ hava/Nm ³ gaz	23,87	31,03	28,88
Gaz / Sıvı Hacim Oranı		272	238	248
Buharlaşma Basıncı (15°C)	kg/cm ²	6,51	0,82	2,53
Buharlaşma Basıncı (20°C)	kg/cm ²	8,95	1,85	3,98
Buharlaşma Basıncı (38°C)	kg/cm ²	12,30	2,60	5,51
Buharlaşma Basıncı (50°C)	kg/cm ²	17,50	4,10	8,91
DİĞER ÖZELLİKLER				
Patlama Limitleri %	alt limit	2,15	1,55	1,96
Patlama Limitleri %	üst limit	9,60	8,50	9,00
Tutuşma Sıcaklığı (Havada)	°C	510	430	454
Tutuşma Sıcaklığı (Oksijende)	°C	490	400	427
Maksimum Tutuşma Hızı (Hava ile)	m/s	0,32	0,25	0,27
Maksimum Tutuşma Hızı (Oksijen ile)	m/s	0,45	0,37	0,39
Tam Yanmadaki Baca Gazı İçerisindeki CO ₂ Hacimsel Oranı	%	13,8	14,1	14

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali ÇİÇEK

Doğum Yeri ve Tarihi : Çavdır, 28.06.1993

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Aksu Anadolu Öğretmen Lisesi (2011)

Lisans : Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, (2015)

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, (2018)

İletişim

Telefon : (507) 568 8475

Mail : turuncu.ali@gmail.com