

**FUZEL YAĞININ BUĞI İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA YAKIT
KARIŞIMI OLARAK KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSI
VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Alper CALAM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2010

ANKARA

Alper CALAM tarafından hazırlanan “FUZEL YAĞININ BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA YAKIT KARIŞIMI OLARAK KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Yakup İÇİNGÜR

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Sahir SALMAN

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Yakup İÇİNGÜR

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Can ÇINAR

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 12/01/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Alper CALAM

**FUZEL YAĞININ BUJİ İLE ATEŞLEMEŞLİ BİR MOTORDA YAKIT
KARIŞIMI OLARAK KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSI VE
EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**
(Yüksek Lisans Tezi)

Alper CALAM

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
Aralık 2010

ÖZET

Artan enerji ihtiyacı ve çevre kirliliği nedeniyle, buji ile ateşlemeli motorlarda etanol, metanol, doğal gaz, hidrojen ve LPG gibi alternatif yakıtlar kullanılmaktadır. Oktan sayısının yüksek olması ve biyokütle kaynaklardan üretilmesi nedeniyle alkoller alternatif yakıtlar arasında önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada etil alkol üretiminde yan ürün olarak elde edilen ve Türkiye’de değerlendirilmeyen fuzel yağı ile kurşunsuz benzin karışımlarının (F5, F10, F20, F30 ve F50) buji ile ateşlemeli bir motorda motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneyler dört zamanlı, tek silindirli, enjeksiyonlu ve buji ile ateşlemeli Hydra marka motorda gerçekleştirilmiştir. Kurşunsuz benzin-fuzel yağı karışımlarının etkilerini ve farklı motor çalışma parametrelerindeki değişimleri değerlendirebilmek için değişik gaz kelebek açıklıkları, motor hızları ve ateşleme avanslarında deneyler yapılmıştır. Değişik motor hızlarında ve maksimum motor momentini veren ateşleme zamanında yapılan deneylerde, fuzel yağı ilavesi ile motor momentinde artış olmuş ve en yüksek artış F10 yakıtı ile elde edilmiştir. Aynı deney şartlarında tüm yakıtlarda termik verim değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. Bütün motor hızlarında ve farklı ateşleme avanslarında gerçekleştirilen deneylerde özgül yakıt tüketimi,

karışımındaki fuzel yağı miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. En yüksek artış F50 yakıtında elde edilmiştir. Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanında, farklı yük ve motor hızlarında gerçekleştirilen deneylerde termik verim, karışımındaki fuzel yağı miktarına bağlı olarak artış göstermiş ve en yüksek artış F50 yakıtıyla elde edilmiştir. Farklı motor devri ve ateşleme avanslarında HC ve CO emisyonları kurşunsuz benzine göre diğer tüm yakıtlarda artış göstermiştir. NO_x emisyonları motor devrine ve karışımlardaki fuzel yağı miktarına bağlı olarak azalma göstermiştir. Maksimum motor momentini veren motor devrinde ve farklı ateşleme avanslarında gerçekleştirilen deneylerde kurşunsuz benzine göre tüm yakıtlarda NO_x emisyonları azalmıştır.

Bilim Kodu : 708.3.026
Anahtar kelimeler : Alternatif yakıt, fuzel yağı, motor performansı, alkol, egzoz emisyonları
Sayfa Adedi : 72
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Yakup İÇİNGÜR

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF USING FUSEL OIL AS FUEL
BLEND IN A SPARK IGNITION ENGINE ON ENGINE PERFORMANCE
AND EMISSIONS**

(M. Sc. Thesis)

Alper CALAM

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

December 2010

ABSTRACT

Due to the increasing energy demand and environmental pollution, alternative fuels such as ethanol, methanol, natural gas, hydrogen and LPG used in spark ignition engines. Alcohols have an important place in alternative fuels because of their's high octane numbers and production from biomass sources. In this study, in a spark ignition engine unleaded gasoline and fusel oil, that is obtained by product of production of ethyl alcohol and don't evaluated in Turkey, blends' (F5, F10, F20, F30 ve F50) effects on engine performance and exhaust emissions has investigated experimentally.

Experimental works have performed on four stroke, single cylinder, fuel injection and spark ignition Hydra engine. To evaluate effects of unleaded gasoline-fusel oil blends and changes in different engine operating parameters, experiments have conducted different throttle openings, engine speeds and ignition advances. The engine torque has increased by the addition of fusel oil in different engine speeds and maximum engine torque advance experiments and the highest torque increase has obtaines with the F10 fuel. At the same experimental conditions the thermal efficiency values have obtained close to each other. At the all engine speeds and different ignition advance experiments specific fuel consumption has increaseddepending on amaoun of oil in the

mixture. The highest increase has obtained in F50 fuel. At the maximum engine torque advance, different loads and engine speeds experiments thermal efficiency has increased depending on the amount of oil in the mixture and maximum increase has obtained with F50 fuel. HC and CO emissions has increased all blends according to unleaded gasoline at different engine speeds and ignition advances. NO_x emissions has increased depending on engine speed and amount of fusel oil in the blends. At the maximum engine torque and different ignition advance experiments NO_x emissions had reduced according to unleaded gasoline.

Science Code : 708.3.026
Key Words : Alternative fuel, fusel oil, engine performance, alcohol exhaust emissions
Page Number : 72
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Yakup İÇİNGÜR

TEŞEKKÜR

Tüm çalışmalarım esnasında, ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyip bana rehberlik eden, tecrübeleri ile bana yol gösteren saygıdeğer hocam Doç. Dr. Yakup İÇİNGÜR'e, tez konusunun belirlenmesinde destek olan ve çalışmalarına yön veren Prof. Dr. Metin GÜRÜ'ye, deneysel çalışmalarım için destek veren Prof. Dr. M.Sahir SALMAN'a, yakıtların kimyasal analizlerinde destek veren Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Kadir AYDIN'a ve yakıt analiz laboratuvarı çalışanlarına, tezi hazırlama süresince her zaman yanımda olan kıymetli arkadaşlarım Arş. Gör. Hamit SOLMAZ'a, Öğr. Gör. Seyfi POLAT'a ve Koray SEYMEN'e, maddi ve manevi her zaman beni destekleyen, yanımda olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	5
3. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR	10
3.1. Doğalgaz.....	10
3.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	12
3.3. Biyogaz.....	13
3.4. Hidrojen.....	14
3.5. Bitkisel Yağlar.....	15
4. ALKOLLER.....	17
4.1. Alkollerin Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Kullanımı	17
4.1.1. Metanol.....	18
4.1.2. Etanol.....	19
4.2. Fuzel Yağı	20

Sayfa

5. BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDAN KAYNAKLANAN EGZOZ EMİSYONLARI	22
5.1. Azot Oksitlerin (NO _x) Oluşumu	22
5.1.1. Hava/yakıt oranının etkisi	23
5.1.2. Art gazların etkisi	24
5.1.3. Ateşleme zamanının etkisi	24
5.2. Karbon Monoksit (CO) Oluşumu	24
5.3. Yanmamış Hidrokarbonların (HC) Oluşumu	25
6. MATERYAL METOT	26
6.1. Materyal	26
6.1.1. Deney motoru	26
6.1.2. Dinamometre ve kontrol paneli	27
6.1.3. Egzoz emisyonları ölçüm cihazı	30
6.1.4. Hava akışmetresi	31
6.1.5. Hassas terazi ve kronometre	31
6.1.6. Deney yakıtları	31
6.2. Metot	32
6.2.1. Motor momenti	32
6.2.2. Efektif güç	33
6.2.3. Ortalama efektif basınç	34
6.2.4. Özgül yakıt tüketimi	34
6.2.5. Termik verim	35
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	36

	Sayfa
7.1. Motor Momenti	36
7.2. Efektif Güç	38
7.3. Özgül Yakıt Tüketimi.....	38
7.4. Ortalama Efektif Basınç	41
7.5. Efektif Termik Verim.....	42
7.6. Egzoz Gaz Sıcaklığı	44
7.7. Egzoz Emisyonları	46
7.7.1. HC emisyonlarının değerlendirilmesi.....	46
7.7.2. CO emisyonlarının değerlendirilmesi.....	48
7.7.3. NO _x emisyonlarının değerlendirilmesi	50
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	61
EK-1 Deneysel Veriler.....	62
ÖZGEÇMİŞ	72

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünya fosil yakıt rezervleri	2
Çizelge 1.2. Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süresi	2
Çizelge 3.1. Doğalgaz bileşenleri ve miktarları	11
Çizelge 3.2. Doğalgazın bazı özellikleri	12
Çizelge 3.3. LPG ve benzin özelliklerinin karşılaştırılması.....	12
Çizelge 3.4. Biyogazın bileşimi	13
Çizelge 3.5. Ayçiçek yağı metil esterinin özellikleri	16
Çizelge 4.1. Benzin, metanol ve etanolün çeşitli özellikleri.....	17
Çizelge 4.2. Fuzel yağı bileşiminin fiziksel özellikleri.....	21
Çizelge 6.1. Deney motorunun teknik özellikleri	26
Çizelge 6.2. Kontrol panelinde yer alan göstergelerin ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri	30
Çizelge 6.3. Egzoz gaz analizörü teknik özellikleri.....	30
Çizelge 6.4. Test yakıtlarının çeşitli özellikleri	32

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. HFK'ya göre egzoz emisyonlarının değişimi	24
Şekil 7.1. Motor devrine bağlı olarak motor momentinin değişimi.....	36
Şekil 7.2. Ateşleme avansına bağlı olarak motor momentinin değişimi.....	37
Şekil 7.3. Motor devrine bağlı olarak efektif gücün değişimi.....	38
Şekil 7.4. Motor devrine bağlı olarak ÖYT'nin değişimi	39
Şekil 7.5. ÖYT'nin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi	40
Şekil 7.6. ÖYT'nin motor yüküne bağlı olarak değişimi.....	41
Şekil 7.7. OEB'nin motor devrine bağlı olarak değişimi.....	42
Şekil 7.8. Efektif termik verimin motor devrine bağlı olarak değişimi	43
Şekil 7.9. Efektif termik verimin motor yüküne bağlı olarak değişimi	44
Şekil 7.10. Egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağlı olarak değişimi	45
Şekil 7.11. Egzoz gaz sıcaklığının ateşleme avansına bağlı olarak değişimi.....	46
Şekil 7.12. HC emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi.....	47
Şekil 7.13. HC emisyonlarının ateşleme avansına bağlı olarak değişimi	48
Şekil 7.14. CO emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi.....	49
Şekil 7.15. CO emisyonlarının ateşleme avansına bağlı olarak değişimi	50
Şekil 7.16. NO _x emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi	51
Şekil 7.17. NO _x emisyonlarının ateşleme avansına bağlı olarak değişimi.....	52

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Deney motoru.....	27
Resim 6.2. Dinamometre ve deney düzeneği.....	28
Resim 6.3. Kontrol paneli	29
Resim 6.4. Egzoz gaz analizörü	30
Resim 6.5. Hava ve yakıt tüketimi için kullanılan cihazlar	31

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
K_d	Düzeltilme faktörü
P	Ortam basıncı, kPa
T	Ortam sıcaklığı, Kelvin
M_{δ}	Ölçülen motor momenti, Nm
M	Hesaplanan motor momenti, Nm
P_e	Efektif güç, kW
n	Motor hızı, 1/min
n_R	Her bir iş zamanı için krank mili devir sayısı İki zamanlı motorlar için $n_R = 1$ Dört zamanlı motorlar için $n_R = 2$
P_{me}	Ortalama efektif basınç, kPa
V_S	Kurs hacmi, m ³
m_y	Yakıtın debisi, g/h
η_t	Termik verim
Q_T	Motora yakıt ile verilen toplam ısı enerjisi, kW
H_u	Yakıtın alt ısıl değeri, kJ/kg
λ	Lamda
b_e	Özgül yakıt tüketimi, g/kWh
Kısaltmalar	Açıklama
AÖN	Alt ölü nokta
ÜÖN	Üst ölü nokta
HFK	Hava fazlalık katsayısı
OEB	Ortalama efektif basınç

Kısaltmalar	Açıklama
ÖYT	Özgül yakıt tüketimi
KMA	Krank mili açısı

1. GİRİŞ

İş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji, ülkelerin kalkınmasında, vazgeçilmez girdilerin en önemlileri arasındadır. Uzun yıllar kişi başına enerji tüketimi kalkınmışlığın ölçütü olarak kullanılmış olup, önemini devam ettirmektedir. Ancak içinde bulunduğumuz 21. yüzyılda enerji verimliliği ve daha az enerji tüketimiyle daha fazla iş üretimi yeni göstergeler olarak gündeme gelmektedir [1].

Enerji, ekonomik kalkınma ve modern yaşam için zorunlu bir girdidir. Aynı zamanda teminindeki güçlükler, ihtiyaç gösterdiği doğal ve finansal kaynaklar ve ayrıca yarattığı çevre sorunlarıyla kalkınmayı engelleyici bir etken de olabilmektedir.

Dünya enerji tüketimi; nüfus artışına, sanayileşmeye ve teknolojik gelişmelere paralel olarak hızlı bir şekilde artmaktadır. Günümüzde, dünya enerji gereksiniminin %84'ü kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlarca, geri kalan %16'sı da başta hidrolik ve nükleer enerji olmak üzere alternatif diğer enerji kaynaklarından karşılanmaktadır [2].

Çizelge 1.1'de dünya fosil yakıt rezervleri görülmektedir. Fosil yakıtlardan kömür rezervlerinin yüksek olması nedeniyle, gelecekte petrol rezervlerinin azalmasıyla daha fazla önem kazanabileceği görülmektedir. Dünya petrol rezervleri dağılımı incelendiğinde yaklaşık %65'lik bir pay ile Ortadoğu başı çekmektedir ve bu bölge dünya petrol ihtiyacına bağlı olarak ilerleyen yıllarda da önemini koruyacaktır [3,4].

Dünya enerji talebinin hızlı artışı kömür, doğalgaz ve petrol üretiminde büyük rakamlara ulaşılacağına işaret etmektedir ve bu alanda önemli yatırımlara ihtiyaç duyulacağı anlamına gelmektedir.

Çizelge 1.1. Dünya fosil yakıt rezervleri [5].

Bölge	Petrol (Milyar Ton)	Doğal gaz (Trilyon m ³)	Kömür (Milyar Ton)	
			Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	8	7,32	115,7	138,8
Orta ve Güney Amerika	14,4	7,1	7,7	-
Avrupa ve Avrasya	19	64,02	112,3	174,8
Eski SSCB Ülkeleri	16,5	58,51	94,5	132,74
Ortadoğu	100	72,83	0,4	-
Afrika	14,9	14,06	50,1	0,17
Asya ve Pasifik	5,5	14,21	192,6	104,3
Toplam	178,3	238,05	573,3	550,81

Bugün için dünya enerji gereksiniminin %84'ü fosil yakıt kaynaklarından karşılanmaktadır. Önümüzdeki 20 yıllık süreçte yeni teknolojiler alanında köklü değişikliklerin olmaması halinde, fosil kaynaklar önemini koruyacaktır. Dünya fosil yakıt tüketimi 2004 yılında; kömür tüketiminde %6,3 oranında, petrol tüketiminde %3,4 oranında, doğalgaz tüketiminde ise %3,3 oranında artış göstermiştir [6]. Çizelge 1.2'de dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri görülmektedir [5].

Çizelge 1.2. Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süresi [5].

Bölge	Petrol (Yıl)	Doğalgaz (Yıl)	Kömür (Yıl)
Kuzey Amerika	11,8	9,6	235
Orta ve Güney Amerika	40,9	55	290
Avrupa ve Avrasya	21,6	60,9	242
Ortadoğu	81,6	-	399
Afrika	33,1	96,9	204
Asya ve Pasifik	14,2	43,9	101
Eski SSCB Ülkeleri	28,9	78,9	102
Toplam	40,5	66,7	164

Motorlu taşıtlarda kullanılan petrol kökenli yakıtların yakın gelecekte ihtiyacı karşılayamayacak duruma gelecek olması nedeniyle, günümüzde alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve mevcut sistemlerin geliştirilmesi üzerine bir çok çalışma yapılmaktadır. Bunun yanısıra motorlu taşıtlardan kaynaklanan zararlı gazların oluşturduğu olumsuz etkiler de gözardı edilemez boyutlardadır. Bu nedenle alternatif yakıt araştırmalarında çevresel kaygıları azaltacak tedbirlerin de alınması kaçınılmaz olmaktadır.

Fosil kökenli enerji rezervlerinin yakın gelecekte tükenme ihtimali, fiyatlardaki istikrarsızlıklar, kullanım sonucu çevreye verilen zararlar ve temininde yaşanan belirsizlikler bir çok devletin yeni enerji politikaları oluşturmalarına neden olmuştur. Ayrıca, ülkelerin enerji gibi stratejik öneme sahip bir alanda bağımlı olmama ve süreklilik arz eden ekonomik yükten kurtulma arzusu da bu anlamda oldukça etkilidir. Yeni enerji politikaları oluşturulurken enerji üretiminde yerel, yenilenebilir ve daha çevreci kaynakların kullanımı, verimliliğin artırılması ve kaynak çeşitliliğinin sağlanması genellikle dikkate alınan en temel unsurları oluşturmaktadır.

Günümüzde tüketilen enerjinin büyük bir kısmı yakıt olarak içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. 1970'li yıllara kadar yüksek performans taşıt tasarımında önemli bir özellikken günümüzde performansın yanı sıra konfor, güvenlik ve gürültü düzeyinde kötüleşmelere neden olmaksızın egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisini iyileştirmek ve tüm bu özellikleri taşıt maliyetine yansıtmadan başarmak öncelikli özellikler durumuna gelmiştir. Bu durum, yapılacak olan çalışmaların yeni ve yenilenebilir yakıtlar üzerine olmasını gerekli kılmıştır.

Son yıllarda artan çevre bilinci ve gelişmiş ülkelerde hükümetlerin yaptırımları üretici firmaları çevreyi kirletmeyen, alternatif yakıtlı ürünlerin imalatına sevk etmiştir. Bu nedenle otomotiv sektörü, emisyonları azaltacak tedbirler almaya ve alternatif yakıtları kullanabilecek motorlar üretmeye başlamışlardır [7].

İçten yanmalı motorlarda kullanılacak yakıtlar, ucuz ve bol miktarda üretilebilmesi, ısı değerlerinin yüksek olması, kolayca depolanabilmesi ve

taşınabilmesi, yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya olanak vermesi ve düşük düzeylerde egzoz emisyonu oluşturması istenir. Alkoller otombillerin icat edildiği yıllardan beri motorlarda kullanılmaktadır. Alkollerden sadece metanol ve etanol petrol esaslı olmayan hammaddelerden güncel teknolojiyle pratik olarak üretilmektedir. Etanol yüksek oktan sayısına sahiptir ve tarımsal ürünlerden üretilmektedir. Etanol, bu özellikleri nedeniyle buji ile ateşlemeli motorlar için uygun bir yakittir ve motorlarda tek başına ya da benzinle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadır [8].

Ayrıca alkollerin daha düşük moleküler yapıya sahip olmaları, yapılarında oksijen bulundurmaları ve diğer yakıtlarda bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metalleri içermemelerinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etkilere sebep olmaktadır.

Bu tez çalışması, buji ile ateşlemeli bir motorda petrol kökenli yakıt olan kurşunsuz benzine alternatif bir enerji kaynağı olarak etanol üretim proseslerinden yan ürün olarak elde edilen fuzel yağının kullanımında, çalışma parametrelerinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmaya yöneliktir. Standart kurşunsuz benzin ile çeşitli oranlarda hazırlanan (%5, %10, %20, %30 ve %50 fuzel yağı içeren) fuzel yağı+kurşunsuz benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Türkiye’de bir miktarı ispirto yapımında kullanılan ve büyük çoğunluğu değerlendirilmeyen fuzel yağlarının buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Wu ve arkadaşları (2003), yaptıkları çalışmada %0, %5, %10, %20 ve %30 etanol içeren benzin-etanol karışımlarının performans ve emisyonlara etkisini değişik hava fazlalık katsayısı değerlerinde incelemiştir. E30 (%30 etanol içeren karışım) yakıtlı çalışmada motor momentinin yaklaşık %4 oranında arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, karışımdaki alkol miktarı arttıkça CO, HC ve CO₂ emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir [9].

Bayraktar (2005), yaptığı çalışmada, bir buji-ateşlemeli deney motorunda benzin-etanol karışımlarının kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Deneyler, benzine %1.5, %3, %4.5, %6, %7.5, %9, %10.5 ve %12 oranlarında etanol katılarak hazırlanan karışımlarla gerçekleştirilmiştir. Motor her bir karışımla 7,75:1 ve 8,25:1 sıkıştırma oranlarında ve çeşitli hızlarda çalıştırılmıştır. Bu çalışmaya göre yakıt içindeki alkol oranı arttıkça CO emisyonunun azaldığı ve özgül yakıt tüketiminin arttığı belirlenmiştir [10].

Abdel-Rahman ve arkadaşları (1997), çalışmalarında hacimce %10, %20, %30 ve %40 etanol içeren etanol-benzin karışımlarının farklı sıkıştırma oranlarında motor performansına etkilerini araştırmışlardır. Test Yakıtı olarak hazırlanan karışımlar 72 saat sonra incelendiğinde faz ayrışmasına rastlanmadığını söylemişlerdir. Gaz kelebeği tam açık iken ve motor devri 2150 min⁻¹ iken farklı sıkıştırma oranlarında indikatör diyagramındaki değişimi incelemiştir. Sıkıştırma oranının 10:1 olduğu durumda %10 etanol içeren karışımdan elde edilen indike basıncın benzine göre yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Diğer karışımlarda indike basınç değerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Kullanılan yakıtların oktan sayılarına göre elde ettikleri değerleri göze alarak her bir karışım için iyi sıkıştırma oranını %10 etanol içeren karışım için 8:1, %20 etanol içeren karışım için 10:1, %30 etanol içeren karışım için 12:1, %40 etanol içeren karışım için 12:1 olarak tespit etmişlerdir. Yaptıkları bu testler sonucunda, benzine etanol ilavesinin oktan ayısını arttırdığını, etanolün buharlaşma ısısının benzine göre daha yüksek olmasından dolayı etanol ilavesinin

karışımların ısııl değerini azalttığı için performansı olumsuz yönde etkilediğini söylemişlerdir [11].

Hsieh ve arkadaşları (2002), çalışmalarında hacimce %5, %10, %20 ve %30 etanol içeren benzin karışımlarını 1600 cm³ silindir hacmine ve 9,5:1 sıkıştırma oranına sahip buji ile ateşlemeli bir motorda yakıt olarak kullanmışlar, motor performansına ve egzoz emisyonlarının etkilerini incelemişlerdir. Motor momenti değerleri incelendiğinde, etanol-benzin karışımları kullanılarak elde edilen değerlerin sadece 1000, 2000, 3000 ve 4000 min⁻¹ motor devirlerinde benzin kullanılarak elde edilen değerlere yakın olduğunu, daha yüksek devirlerde moment değerinin düştüğünü göstermişlerdir. Bunun nedeninin, içeriğinde oksijen bulunan etanolün benzinle karışmasında dolayı silindire alınan yakıtın fakirleşmesinden kaynaklandığını söylemişlerdir. Egzoz emisyon değerlerini 3000 min⁻¹ sabit motor devrinde, değişken gaz kelebek açıklıklarında ölçmüşlerdir. CO ve HC emisyonlarının, karışımdaki etanol miktarının artması ile azaldığını, bunun nedeninin hava fazlalık katsayısının, karışımdaki etanol oranının artmasıyla doğru orantılı olarak yükselmekte ve böylece tam yanmanın gerçekleşmesinden dolayı belirtilen emisyon değerlerinin düşük olduğunu söylemişlerdir. NO_x emisyonlarındaki değişim ile yakıt tipi arasında bir ilişki kuramadıklarını, NO_x emisyonlarının motorun çalışma parametrelerine bağlı olarak değiştiğini söylemişlerdir [12].

Al Hasan (2003), çalışmasında kurşunsuz benzine hacimce %2,5-25 arasında ve her seferinde %2,5 oranında artırarak etanol ilave ederek motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir. 3/4 gaz kelebek açıklığında ve 1000, 2000, 3000, 4000 min⁻¹ yapmış olduğu deneyler sonucunda, etanol-benzin karışımlarının motor gücünde ortalama %8,3 oranında, ısııl verimde %9 oranında ve volümetrik verimde %7 oranında bir artış olduğunu söylemiştir. Ayrıca yakıt tüketiminde yaklaşık olarak %2,4 oranında bir azalma olduğunu belirtmiştir. Egzoz emisyonlarına bakıldığında, CO emisyonunda yaklaşık %46,5 oranında, HC emisyonunda %24,3 oranında bir azalma gözlenmiştir. CO₂ emisyonunda ise %7,5 oranında bir artış tespit edilmiştir. Yapmış olduğu bu çalışma sonucunda, hem motor performans değerleri

hem de egzoz emisyon değerleri bakımından en iyi sonuçların hacimce %20 etanol içeren karışımdan elde edildiği belirtilmiştir [13].

Topgöl (2006), çalışmasında %10, %20, %40 ve %60 oranında etanol içeren kurşunsuz benzin karışımlarını 15kW'lık dört zamanlı, Hydra marka, tek silindirli, buji ile ateşlemeli ve değişken sıkıştırma oranlı bir test motorunda yakıt olarak kullanmış, farklı motor devir ve yüklerinde; sıkıştırma oranı, ateşleme zamanı, hava fazlalık katsayısı ve giriş hava sıcaklıkları değişiminin motor performans ve emisyonlarına etkisini incelemiştir. Düşük sıkıştırma oranlarında en yüksek motor momentini veren ateşleme zamanı, yakıtlar arasında önemli bir farklılık göstermemiştir. Yüksek sıkıştırma oranlarında ve düşük motor devirlerinde motor performansı, karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. En yüksek motor momentini veren ateşleme zamanında hava/yakıt oranı ve giriş hava sıcaklığının motor performansı ve egzoz emisyonlarının değişimine etkileri tüm yakıtlarda benzer olduğu kaydedilmiştir. Isı kayıpları, etanol-benzin karışımları kullanıldığında kurşunsuz benzinle karşılaştırıldığında azalmıştır. Çalışmada kullanılan yatlar arasında en iyi vuruntu direncine sahip olan E60 yakıtında daha yüksek silindir basınçlarına ulaşılmıştır [4].

İmrağ (2006), çalışmasında %5, %10 ve %20 oranlarında etanol içeren kurşunsuz benzin karışımlarını dört silindirli, su soğutmalı, dört zamanlı, 72 beygir gücünde, sıkıştırma oranı 8:1 olan Land Rover marka motorda yakıt olarak kullanmış, motor tam yük durumunda 750, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 min⁻¹ parametrelerinde performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. En yüksek güç değişimi, 11 derecelik ateşleme avansı ile E10 yakıtında 3,8 beygir gücü olarak kaydedilmiştir. Motorun özgül yakıt tüketimi değerleri incelendiğinde, en yüksek yakıt tüketimi 11 derecelik ateşleme avansı ile E20 yakıtında 125,49 g/kWh olarak kaydedilmiştir. CO ve HC egzoz emisyon değerleri yakıt içerisindeki etanol miktarına bağlı olarak düşüş göstermiş, egzoz gazındaki O₂ oranı ise yakıttaki etanol miktarının artışıyla doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir [14].

Aktaş (2009), çalışmasında %5, %10, %15, %20 oranlarında etanol içeren kurşunsuz benzin, %5 ve %10 oranlarında soya biyodizel içeren kurşunsuz benzin içerisine ayrıca %5, %10, %15 ve %20 oranında etanol ilave ederek farklı deney yakıtları oluşturmuştur. Bu deney yakıtları tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı ve buji ile ateşlemeli bir test motorunda performans ve emisyon değerleri analiz edilmiştir. Benzine %10 oranında biyodizel karıştırılarak hazırlanan test yakıtıyla yapılan deneysel çalışmada tork ve güçte %10.5 oranında bir düşüş ve özgül yakıt tüketiminde %13 oranında artış kaydedilmiştir. Aynı zamanda, CO emisyonunun bir miktar düştüğü ve HC ile NO_x emisyonlarının bir miktar arttığı kaydedilmiştir. Benzin ve %20'lik etanol karışımı ile benzin, %5 biyodizel ve %20 etanol karışımlarının uygulandığı testlerde motor performansının yaklaşık %50 arttığı ve CO emisyonlarında %47 azalmanın meydana gelmesine rağmen NO_x emisyonlarında %46 oranında artış olduğu kaydedilmiştir. Oluşturulan test yakıtları içerisinde en iyi performansı %15-20 ile %10 biyodizel içeren yakıt harmanının sağladığı gözlenmiştir [15].

Bayındır (1998), çalışmasında %10, %20 ve %30 oranında etanol içeren normal benzin karışımlarını tek silindirli, dört zamanlı, hava ile soğutmalı, sıkıştırma oranı 6:1 olan Cussons marka motorda yakıt olarak kullanmış, 6:1, 7:1 ve 8:1 sıkıştırma oranlarında ateşleme avansı ve hava/yakıt oranını değiştirerek performans değerlerini incelemiştir. Motorun standar sıkıştırma oranında ve ateşleme zamanında etanol-benzin karışımlarıyla elde edilen motor momenti ve gücünün normal benzinden daha az gerçekleştiği görülmüştür. Motor momenti ve gücünün karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak azaldığı belirtilmiştir. Bunun yanısıra karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin de arttığı gözlenmiştir. Motorun sıkıştırma oranı arttırıldığında motor gücünde normal benzinle karşılaştırıldığında etanol-benzin karışımlarında daha fazla artış sağlanmıştır [16].

Çetinkaya ve Çelik (1997), çalışmalarında %30, %50 ve %75 oranlarında metanol içeren metanol-benzin karışımlarını; 7,3:1 sıkıştırma oranına sahip, dört silindirli, dört zamanlı, 1200 cm³ silindir hacmi olan, karbüratörlü Anadol marka motorda yakıt olarak kullanmışlardır. Motor tam yükte ve 2000-4500 min⁻¹ aralığında yapılan

çalışmada ateşleme zamanı maksimum motor momentini verecek şekilde ayarlanmıştır. Motor momentinin metanol miktarına bağlı olarak arttığı gözlenmiş, en yüksek moment saf metanollü çalışmada elde edilmiş ve ayrıca efektif güçte ortalama %10 oranında artış kaydedilmiştir. Özgül yakıt tüketimi karışımdaki metanol miktarına bağlı olarak artmakta ve saf metanolla yapılan deneylerde minimum özgül yakıt tüketimi 625 g/kWh olduğu gözlenmiştir. CO emisyonlarında en yüksek iyileşme (yaklaşık %50 düşüş) saf metanolla yapılan çalışmada görülmüştür. Karışımdaki metanol miktarı arttıkça HC emisyonlarında düşüş olduğu gözlenmiştir [17].

Yücesu ve arkadaşları (2006), çalışmalarında kurşunsuz benzin-etanol karışımlarının (E0, E10, E20, E40, E60) farklı sıkıştırma oranları ve ateşleme avansında motor performans ve emisyonları üzerine etkisini incelemiştir. Yapılan çalışma; tam yük şartlarında, 2000 1/min motor hızında, 8:1, 9:1 ile 10:1 sıkıştırma oranlarında ve 10-36° krank mili açısı (KMA) ateşleme avansı aralıklarında gerçekleştirilmiştir. 8:1 sıkıştırma oranında maksimum motor momenti 28° ateşleme avansında E0 yakıtı ile elde edilirken, 10° ateşleme avansında E60 yakıtında E0 yakıtına göre %1,95'lik bir artış gerçekleşmiş ve 36° ateşleme avansında E60 yakıtında E0 yakıtına göre %0,91'lik bir azalma gerçekleşmiştir. Sıkıştırma oranının 10:1 olduğu durumda yapılan deneylerde E0 yakıtında 26° ateşleme avansından itibaren vuruntu meydana gelmiş ve daha yüksek ateşleme avanslarında ölçüm yapılamamıştır. Karışımlarda etanol miktarının artırılmasıyla vuruntu direnci artmış ve E10 yakıtında 29°, E20 yakıtında 32° ateşleme avanslarında vuruntu gerçekleşmiş, E40 ve E60 yakıtlarında 36° ateşleme avansında dahi vuruntu gerçekleşmemiştir. 10:1 sıkıştırma oranında ve tüm ateşleme avanslarında en yüksek motor momenti E40 yakıtı ile elde edilmiştir. CO emisyonları etanol-kurşunsuz benzin karışımları kullanımında, 8:1 ve 10:1 sıkıştırma oranlarında E0 yakıtına göre azalmıştır. HC emisyonları silindir içi sıcaklıklarının azalmasıyla artış göstermiştir. Ancak HC emisyonlarında ateşleme avansının geciktirilmesiyle azalmalar kaydedilmiştir [49].

3. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

Günümüzde motorlarda kullanılabilen yeni veya yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği artmakta, bir kısmı ekonomik alternatiflik açısından değer kazanmakta, bir kısmı üzerinde ekonomik analizler yapılmakta ve her geçen gün yeni enerji kaynakları ortaya çıkmaktadır. Bu kaynakların neredeyse tamamının ortak yönü çevreye kısa ve uzun vadede olumsuz etki oluşturmamalarıdır.

İçten yanmalı motorlarda kullanılması uygun olan başlıca alternatif yakıtlar aşağıdaki gibidir [18].

a) Gaz yakıtlar

1. Doğalgaz; Sıvılaştırılmış Doğalgaz (Liquefied Natural Gas (LNG)) veya Sıkıştırılmış Doğalgaz (Compressed Natural Gas (CNG)).
2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas (LPG)).
3. Biyogaz (Metan (CH_4), CO_2 ve diğer gazların karışımı).
4. Hidrojen.

b) Sıvı Yakıtlar

1. Bitkisel Yağlar.
2. Alkoller (Metil Alkol (Metanol (CH_3OH)), Etil Alkol (Etanol (CH_4OH)) vb.).

Motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle bir bölümü buji ile ateşlemeli motorlarda, bir bölümü dizel motorlarında, bir bölümü ise hem buji ile ateşlemeli motorlarda hem de dizel motorlarında kullanılmaya uygundur.

3.1. Doğalgaz

Doğalgazın dünyadaki yaygın olarak kullanımı, 1973 petrol krizinden sonra gerçekleşmiştir. Doğalgaz yerli kaynaklara yönelme, enerjiyi daha verimli kullanma yönündeki çalışmalar sırasında petrolün yerini alabilecek en önemli enerji kaynağı

olarak görülmektedir. Bu sebeple hükümetler gaz kullanımını teşvik etmiş ve yoğun bir şekilde doğalgaz yatırımlarına yönelmişlerdir [19].

Yapısı itibarı ile yüksek oranda metan gazından (CH₄) oluşmaktadır. Diğer bileşenleri etan, propan, bütan, azot ve karbondioksit oluşturmaktadır. Bu gazlar haricinde helyum ve hidrojen sülfid bileşenleri de çok düşük oranlarda bulunabilmektedir [20]. Çizelge 3.1’de doğalgaz içeriğinde bulunan bileşenler ve miktarları, Çizelge 3.2’de ise doğalgazın bazı özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Doğalgaz bileşenleri ve miktarları [21]

Bileşenler	Kimyasal Formül	Hacimsel (%)
Metan	CH ₄	Min 92.98
Etan	C ₂ H ₆	Maks 4.04
Propan	C ₃ H ₈	Maks 1.17
Bütan	C ₄ H ₁₀	Maks 0.59
Azot	N ₂	Maks 1.62
Karbondioksit	CO ₂	Maks 1.19

Doğalgaz, çevresel ve ekonomik açıdan önemli avantajlara sahiptir. İçeriğindeki yüksek orandaki metan gazı sebebiyle enerji değeri yüksektir. Petrol kökenli yakıtlara göre daha temiz yanması, mevcut rezervlerinin yeterliliği ve fiyatının diğer yakıtlara oranla daha düşük olması doğalgazın önemli özellikleri arasında yer almaktadır. Bu özellikleri nedeniyle son yıllarda kullanımın giderek arttığı ifade edilmektedir. 2007 Nisan ayı itibarıyla doğalgazlı taşıt sayısının 6 milyonu aştığı belirtilmektedir [21].

Çizelge 3.2. Doğalgazın bazı özellikleri [22]

	Doğalgaz	Benzin	Dizel Yakıtı
C/H oranı	0,25	0,556	0,52
Yoğunluk (kg/m ³)	0,678	0,730	0,830
Isıl Değer (kJ/kg)	60000	43400	43100
Stokiyometrik H/Y Oranı	17,2	14,7	14,5
Tutuşma Sınırları (λ)	0,5-2	1,3-7,6	0,48-1,35
Kendi Kendine Tutuşma Sıc. (⁰ C)	500	257	250
Kaynama Derecesi (⁰ C)	-162,5	32-221	170-350

3.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Kolay bulunması, teknoloji ve endüstrideki ilerlemeler, ekonomik ve ekolojik zorluklar tüm dünyada ve Türkiye’de LPG’nin otomotiv sektöründe kullanımının hızla gelişmesine neden olmuştur. Bütan, propan ve izomerleri gibi hidrokarbonlardan veya belirli oranlardaki karışımlarından oluşmaktadır. Yüksek basınç altında sıkıştırılıp sıvılaştırılarak depolanabilir. Setan sayının düşük oluşu nedeniyle dizel motorlarında kullanımı tercih edilmemektedir. Buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranı 11:1 oranına kadar çıkarılabilir. Oktan sayısının yaklaşık 112 olması, egzoz emisyonlarının benzin ve dizel yakıtlarına göre daha düşük olması, karbon birikintisi oluşturmaması, yakıt maliyetlerinin benzin ve dizel yakıtına göre daha düşük olması LPG’nin motor yakıtı olarak kullanılmasına olanak sağlar [18]. LPG ve benzinin özellikleri Çizelge 3.3’te görülmektedir [23].

Çizelge 3.3. LPG ve benzin özelliklerinin karşılaştırılması [23]

Özellikler	LPG	Benzin
Kimyasal Formülü	C _{3,7} H _{9,4}	C _{6,93} H _{14,58}
Maksimum Laminer Yanma Hızı (m/s)	0,4	0,35
Stokiyometrik H/Y Oranı (kütlesel)	15,8	14,7
Kütlesel Alt Isıl Değeri (Mj/kg)	45,84	44,00
Atmosferik Basınçta Buharlaşma Sıcaklığı (⁰ C)	-42	20-200
Araştırma Oktan Sayısı	112	96

Dünyada genel olarak LPG'nin araçlarda kullanımının sağlanmasında sadece LPG yakıtı ile çalışan araç üretiminden ziyade, araçların LPG sistemine dönüştürülmesi yoluna gidilmektedir. Araçlara LPG sistemlerinin montajı sadece bazı özel parçaların sisteme ilave edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Aracın mevcut yakıt ve ateşleme sistemi aynen muhafaza edilmektedir. Dönüşüm işleminde kullanılan malzemeler, dönüştürülecek taşıtın sahip olduğu yakıt sistemine bağlı olarak değişmektedir. Karbüratörlü sistemlerde çok basit ekipmanlar kullanılırken, sıralı enjeksiyonlu sistemlerde elektronik kontrol ünitesi, enjektör gibi karmaşık ekipmanlar kullanılmaktadır [24].

3.3. Biyogaz

Çeşitli organik maddelerin (insan, hayvan ve bitki artıkları) oksijensiz şartlarda fermantasyonu sonucu oluşan yanıcı bir gaz karışımıdır. Bu gaz karışımı metan ve karbondioksitten oluşur. Havadan daha hafif, renksiz ve kokusuzdur. Biyogaz üretiminde atıklar tek başlarına kullanılabilirdiği gibi bunların belirli oranlardaki karışımları da kullanılabilir. Isıl değeri bileşimindeki metan gazının oranına göre 17-25 MJ/m³ arasında değişmektedir [25]. Çizelge 3.4'te biyogazın bileşim değerleri görülmektedir [25].

Çizelge 3.4. Biyogazın bileşimi [25]

Madde	Sembol	Hacimsel %
Metan	CH ₄	40-80
Karbondioksit	CO ₂	20-50
Hidrojen	H ₂	0-5
Azot	N ₂	0-3
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	0,0005-0,0002
Amonyak	NH ₃	0,0005-0,0001

Dünyada biyogaz ile çalışan ilk kara taşıtı (banliyö treni), İsveç'in Linköping ve Västervik şehirleri arasında (80km) çalışmıştır. İsveç, taşıt yakıtı için; gübre, yiyecek ve diğer atıkları dönüştüren en az 20 bin çeşit bitkiyi değerlendirmektedir [25].

Biyogaz, hava ile yalaşık 1/7 oranında karıştırıldığı zaman tam yanma gerçekleşmektedir. Oktan sayısı 110 gibi yüksek bir değerdir. Biyogaz, buji ile ateşlemeli motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek duyulmaksızın doğrudan kullanılabilirdiği gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir [18].

3.4. Hidrojen

Atomik sembolü 'H' olan hidrojenin atom ağırlığı 1,00797, atom sayısı 1 olan elementtir. Hidrojen doğada en çok bulunan element olmasına rağmen hafifliği sebebiyle atmosfere yükselip orada serbest kaldığından, yeryüzünde serbest halde çok az bulunmaktadır. Görünmez ve kokusuz bir gaz olan hidrojene yeryüzünde diğer elementlerle bileşik yapmış halde rastlanmaktadır. Yasma ısı oldukça yüksek ve zehirleyici etkisi bulunmamaktadır [26].

Hava-yakıt karışım oranları için, tutuşma sınırının çok geniş aralıkta olması, hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliklerinden birisidir. Çok geniş olan hidrojenin tutuşma sınırı hidrojen için 0,15-4,35 (λ) değerleri arasında iken, benzin için hava fazlalık katsayısı 0,3-1,7 arasında kalmaktadır. Hidrojen-hava karışımlarını ateşlemek için gerekli enerji miktarı da diğer yakıtlara oranla çok düşüktür. Bu durum tutuşma garantisi sağlanması açısından Otto prensibine göre çalışan motorlarda avantaj sağlamakla birlikte, erken tutuşma ve geri tutuşma gibi sorunlara neden olmaktadır [27].

Hidrojenin motorlarda yakıt olarak uygulanmasında hidrojen-hava karışımı birinci yöntem olarak, sabit bir oranda silindirlerin giriş manifolduna verilmekte olup, motor gücü hidrojen-hava karışımı miktarlarını değiştiren bir valf vasıtasıyla ayarlanmaktadır. Sisteme, özellikle yüksek hızlarda düzgün çalışmayı sağlamak için, hidrojen-hava karışımına su buharı ilave edilmektedir. İkinci bir yöntemde ise, hidrojen gazı basınçlı olarak silindire püskürtülmektedir. Hava ise emme manifoldundan silindire alınmaktadır. Böylece hidrojen-hava karışımı silindir içerisinde oluşması sağlanmaktadır. Bu yöntem, ilk tarif edilen sisteme göre daha

emniyetlidir. Burada motor gücü, hidrojen gazı basıncının değiştirilmesiyle ayarlanmaktadır [28].

Hidrojenin, motorlarda tek yakıt olarak kullanımında bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin başında, sıkıştırma oranına ve sıcak noktalara bağlı olarak erken ateşleme ve geri tutuşma gelmektedir. Yanma odasına gönderilen yakıt-hava karışımının silindire girmeden önce tutuşması sonucunda motorun emme manifoldu içerisinde alevin geriye doğru ilerlemesine geri yanma olarak tanımlanmaktadır. Bu olay emme sistemi elemanlarını tahrip etmektedir. Yanma odasına gönderilen karışımın sıcak noktalar tarafından tutuşturulması sonucu yanmanın istenilen zamandan önce başlaması da erken ateşleme olarak tarif edilmektedir. Bu problem, motorda güç ve verim düşüklüğüne sebep olmaktadır. Ayrıca vuruntu ve mevcut depolama yöntemlerinin ağırlıklarının fazla, depolanan hidrojen miktarının düşük olması, mevcut içten yanmalı motorlar üzerinde gereken düzenlemeler ve ilavelerin maliyetinin yüksek olması da diğer problemler olarak ortaya çıkmaktadır [29].

Hidrojenin tek başına kullanımında ortaya çıkan bu problemler aşılana kadar, benzine ilave yakıt olarak kullanılabilir ve böylece hidrojenin mükemmel yakıtsal özelliklerinden faydalanılabilir.

3.5. Bitkisel Yağlar

Bitkisel (kanola, soya vb bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizör eşliğinde bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda elde edilen türüdür. Günümüzde bu yöntemle üretilen en önemli alternatif yakıtlardan biri biyodizeldir. Dizel motorlarında motor yakıtına katılarak veya saf olarak kullanılabilir. Biyodizelin ısı değeri ve setan sayılarının yüksek olması, dizel yakıtına ilave edildiğinde egzoz emisyon değerlerini düşürmesi ve motor üzerinde yapısal değişikliğe gerek duyulmaması, maliyet açısından uygun olması ve üretim kolaylığı nedeniyle motor yakıtı olarak kullanılmasını çekici duruma getirmektedir

[18]. Çizelge 3.5'te bir biyodizel yakıtının (ayçiçek yağı metil esteri) fiziksel ve kimyasal özellikleri yer almaktadır [30].

Çizelge 3.5. Ayçiçek yağı metil esterinin özellikleri [30]

Özellikler	Dizel	Biyodizel Yakıtı
Kinematik Viskozite 40 ⁰ C'de (cst)	3,25	5,78
Alt Isıl Değeri (kj/kg)	42550	36660
Yoğunluk 15 ⁰ C'de (kg/l)	0,84	0,892
Alevlenme Noktası (⁰ C)	55	157,6
Donam Noktası (⁰ C)	-10	-6
Setan İndeksi (hesaplanmış)	46	46

Biyodizel yakıtı yüksek viskozite özelliği nedeniyle eksik yanma sonucu motor elemanlarında arızalara, enjektör memelerinde ve yakıt filtresinde tıkanmalara ve kurum birikintisi oluşumuna yol açabilmektedir. Bu nedenlerle biyodizel kullanımından kaynaklanan problemlerin çözülmesine yönelik çalışmalar sürmektedir [18].

Ülkemizin zengin biyokütle kaynaklarına sahip bir tarım ülkesi olduğu göz önüne alınırsa, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif motor yakıtı üretiminde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasının yaygınlaşması durumunda yağ bitkilerinin üretiminin artırılması imkânı her an mevcuttur. Burada yetiştirilecek bitki çeşitlerinin yağ bitkileri olması ileride oluşacak ihtiyacı fazlasıyla karşılayacak düzeydedir [31].

4. ALKOLLER

Alkoller, R-OH (R:alkil) genel formülüne sahiptirler ve alkanlardan (C_nH_{2n+2}) bir hidrojenin çıkarılarak, yerini hidroksil (-OH) grubunun almasıyla türeyen organik bileşiklerdir. Alkoller, doğada bulunan maddeler olup, günlük hayatta pek çok kullanım alanı bulunmaktadır. Dört karbon (C) atomuna kadar olan düşük moleküllü alkoller, büyük miktarlarda üretilmektedir [4].

4.1. Alkollerin Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Kullanımı

Çeşitli alkoller saf veya benzine karıştırılmış olarak, içten yanmalı motorların tarihi boyunca, değişik zamanlarda yakıt olarak kullanılmıştır. Günümüzde bir çok ülke, alkolü alternatif yakıt olarak değerlendirmektedir. Alkol kullanımının temel gerekçesi; genellikle bazı ülkelerdeki petrol yetersizliği, alkolün yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilirliği ve temiz bir yakıt olması şeklinde özetlenebilir.

Motorlarda kullanılan en yaygın alkoller etanol (C_2H_5-OH) ve metanol (CH_3-OH)'dür. Çizelge 4.1'de benzin, metanol ve etanolün çeşitli özellikleri görülmektedir [31].

Çizelge 4.1. Benzin, metanol ve etanolün çeşitli özellikleri [31]

	Benzin	Metanol	Etanol
Kimyasal Formül	C_8H_{18}	CH_3OH	C_2H_5OH
Molekül Kütlesi (kg/kmol)	114,2	32,01	46,07
C/H Kütle Oranı	5,3	3,0	4,0
%H Kütlesi	15,9	12,6	13,1
%C Kütlesi	84,1	37,5	52,1
%O Kütlesi	0	49,9	34,8
Donma Noktası ($^{\circ}C$, 0.1 MPa)	-56,5	-97	-17,8
Kaynama Noktası ($^{\circ}C$, 0.1 MPa)	125	65	78,5
Yoğunluk (kg/m^3)	702	796	794
Gizli Buharlaşma Isısı (kJ/kg)	302,4	1167	921,1
Alt Isıl Değeri (MJ/kg)	44,2	20	27
H/Y Oranı	15	6,44	8,96
Tutuşma Sınırları (hacimsel %)	1-6	7-36	4,3-18
Buhar Basıncı ($38^{\circ}C$, kPa)	80	32	21
Araştırma Oktan Sayısı	100	110	108
Motor Oktan Sayısı	100	94	94

4.1.1. Metanol

Metanol, fosil yakıtların yüksek sıcaklık altında su buharı ile ısıl işleme tabi tutulmaları, doğalgaza bir takım distilasyon işlemleri uygulanması, CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri gibi bir çok teknikle elde edilebilir. Renksiz ve hafif kokulu bir sıvıdır [18].

Metanolün ısıl değeri 20,1 MJ/kg'dır, yani benzine ve dizel yakıtına oranla oldukça düşüktür. Motorlarda saf metanol kullanıldığında alt ısıl değerlerinin düşük olması sebebiyle özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Kendi kendine tutuşma eğilimi düşük, buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu soğukta ilk hareket zorluğuna sebep olmaktadır. Nem tutma özelliği, içerisinde bulunabilecek su nedeniyle motor yakıt sistemlerinde korozyona sebep olur. Ayrıca nem tutma özelliğinden dolayı metanol-benzin karışımlarında faz ayrışmasına neden olur. Metanolün bir diğer olumsuz özelliği ise zehirleyici olmasıdır [18].

Otomobil üreticileri çalışmalarını, % 85 metanol % 15 benzin karışımı olan M85 yakıtı yakabilecek motorlar üzerinde sürdürmektedir. Metanole benzin karıştırılması ile soğuk havalarda yalnız metanol yakıtı kullanımı durumunda meydana gelebilecek sorunlar ortadan kaldırılmış olur. Benzin, buharlaşması az olan saf metanolün uçuculuğunu arttırarak, motorun soğuk havalarda çalışmasını kolaylaştırmaktadır [32].

Gizli buharlaşma ısısı çok yüksek olan metanol, emme manifoldunda buhar fazına geçerken, benzine göre yaklaşık 4 kat daha fazla ısı çekmektedir. Bu durum volümetrik verimi arttırıcı olmakla beraber, eğer emme manifolduna dışarıdan yeterli ısı verilmiyorsa bazı olumsuzluklara sebebiyet verecektir. Karbüratörden çıkışta buharlaşmak için yeterli ısıyı bulamayan metanol damlacıkları, silindir içerisine sıvı fazda gireceğinden bu durum hidrokarbon emisyonlarını arttıracaktır. Bununla beraber sıvı yakıtın silindir cidarlarındaki yağlama yağının özelliğini bozacağı kesindir [45].

Metanolün benzinle karıştırılarak kullanılmasındaki en önemli sorun, faz ayrışmasıdır. Alkollerin yapısal özelliklerinden dolayı, pratik olarak benzin+alkol+sudan oluşan üçlü bir karışım, motor yakıtı olarak kullanıldığında, homojen olması gereken sistemde, daima iki ayrı sıvı fazı oluşturmaktadır. Bu ayrışmada üst faz benzin, alt faz ise alkol bakımından zengin olmaktadır. Ayrışmış karışımla çalışan bir motorda, alkol fazı tek başına motora ulaştığında, gücün aniden düşmesine bağlı olarak motorda tekleme, sarsıntılar ve ilk hareket zorlukları meydana gelmektedir [45].

Metanolün yanması sonucu CO, CO₂ ve NO_x gazları oluşmaktadır. Ayrıca metanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanmanın iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki NO_x ve CO'nun azalmasını sağlamaktadır. Sera etkisini önemli ölçüde etkileyen CO₂ emisyonlarında % 7–15 azalma olmaktadır. Doğal gazdan üretilen metanol yandığında, benzine göre % 10 daha az CO₂ emisyonu verir. Kömürden üretildiğinde ise bu değer benzinin yaklaşık iki misli olur. Geniş kömür yataklarının varlığına rağmen kömürden metanol elde etmek fikri, çevresel şartlar gözönüne alındığında anlamsız gözükmemektedir. Zira proses sırasında ortaya çıkan CO₂ emisyonu egzoz gazlarından oluşan emisyonlardan çok daha fazla olacaktır. NO_x motor silindiri içinde yüksek sıcaklık ve basınç altında, havadaki azot ve oksijenin birleşmesi ile oluşur. Metanolün yanması ile oluşan ısı azdır; dolayısıyla çok fazla miktarda NO_x meydana gelmesi için gerekli koşul oluşmaz [32].

4.1.2. Etanol

Etanol 1880 ve 1890 yıllarında motorlu taşıtlarda, alkoller içerisinde kullanılan ilk yakıt katkısıdır. Henry Ford, otomobillerin ilk gelişme aşamasında yakıt olarak etanolü kullanmıştır. Etanol, dünya genelinde en çok kullanılan alternatif taşıt yakıtıdır [13]. Petrol esaslı ana yakıtlara alternatif olarak otomobillerde kullanılan muhtemel bir madde olan etanol; renksiz ve hafif kokuludur. Şeker, şekerle çevrilebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilen alkol türüdür [13,33].

Etanolün alt ısı değerinin benzininkinin yaklaşık %60'ı kadar olması nedeniyle, etanollü çalışmalardaki özgül yakıt tüketimi, karışımdaki etanol miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Benzinin kaynama noktası yaklaşık 32⁰C ile 217⁰C arasında değişen farklı yapılara sahip hidrokarbon moleküllerinden meydana gelmiş kompleks yapılı bir maddedir. Etanol ise tek bir sıcaklıkta kaynayan ve aynı yapıya sahip moleküllerden oluşmuş bir maddedir. Bu nedenle etanol, benzine göre daha homojen buharlaşır ve temiz yanar. Etanol yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması nedeniyle dizel motorlarında kullanımında bir takım sorunların doğmasına neden olmaktadır. Kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından etanolün Otto motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Etanolün buharlaşma ısısının yüksek oluşu soğukta ilk hareketi güçleştirmektedir [34].

Etanol benzin karışımlarında karışım oranı, ortam sıcaklığı, benzinin kimyasal yapısı ve etanolün saflık derecesine bağlı olarak faz ayrışması meydana gelebilir. Bu problemi çözmek ve homojen bir karışım elde edebilmek için çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. İzopropanol, tersiyer bütanol, siklohegzanol, izobütanol, n-bütanol ve okaliptus yağı faz ayrışma sıcaklığını düşürebilecek etkin katkı maddeleridir [5].

Yanma sonu sıcaklıklarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurması nedeni ile yanma ürünleri içinde daha düşük oranda NO_x ve CO bulunur. Türkiye'deki güncel yakıt fiyatları göz önüne alındığında, hacimsel olarak %4-6 etanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılabilmesi düşünülmektedir [18].

4.2. Fuzel Yağı

Fuzel yağı, fermantasyonla etil alkol üretim endüstrisinin damıtma basamağı yan ürünüdür ve amil alkollerin doğal kaynağıdır [35]. Bu yan ürün, rengi sarıdan koyu kahverengiye değişebilen, çok keskin, hoş olmayan ve öksürten kokuya sahip bir sıvı olup birçok ülkede genellikle fabrikanın enerji gereksinimini karşılamak için yakılmakta ya da atılmaktadır [36]. Türkiye'de ise, şeker üretiminde köpük söndürücü olarak ya da ispiroto yapımında kullanılmaktadır; bununla birlikte önemli

bir kısmı atılmaktadır [37]. Fuzel yağının bileşimi ve miktarı, fermentasyonla alkol üretim prosesinde kullanılan karbon kaynağının türü ve hazırlanma metodu ile fuzel yağının fermentasyon karışımından ayırma yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Fuzel yağı, başlıca düşük molekül ağırlıklı alkoller (i-amil alkol başta olmak üzere i-bütül alkol, n-propil alkol, n-bütül alkol, etil alkol ve n-amil alkol), az miktarda su ve eser miktarda aldehitler, serbest asitler ve onların esterleri, yüksek alkoller, terpenlerden oluşmaktadır [38]. Fuzel yağı bileşiminin kimyasal özellikleri Çizelge 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Fuzel yağı bileşiminin fiziksel özellikleri

Bileşen	Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kaynama Noktası (°C)	Donma Noktası (°C)	% Hacimsel	% Kütleli
i-amil alkol	C ₅ H ₁₂ O	88,148	0,8104	131,1	-117,2	63,93	61,52
i-bütül alkol	C ₄ H ₁₀ O	74,122	0,802	108	-108	16,66	15,87
n-bütül alkol	C ₄ H ₁₀ O	74,122	0,8098	117,73	-89,5	0,736	0,708
n-propil alkol	C ₃ H ₈ O	60,09	0,8034	97,1	-126,5	0,738	0,704
etanol	C ₂ H ₆ O	46,07	0,789	78,4	-114,3	9,58	8,98
su	H ₂ O	18	1	100	0	10,3	12,23

Fuzel yağı, alkol fabrikalarında yan ürün olarak elde edilmektedir. Ülkemizde, her 100 litre etil alkole karşılık 0,4-0,7 litre fuzel yağı açığa çıkmaktadır. 2006 yılı içinde üretilecek saf alkol miktarı 7,2 milyon litre, 2007 yılı için ise taleplere göre değişmek üzere 8 milyon litre olarak planlanmıştır. Sadece 2006 yılı için 28800-50400 litre fuzel yağı elde edildiği ve bu atığın ülkemizde etkin olarak değerlendirilemediği dikkate alınırsa ortaya çıkacak kirliliğin boyutları önemli olmaktadır [39].

5. BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDAN KAYNAKLANAN EGZOZ EMİSYONLARI

5.1. Azot Oksitlerin (NO_x) Oluşumu

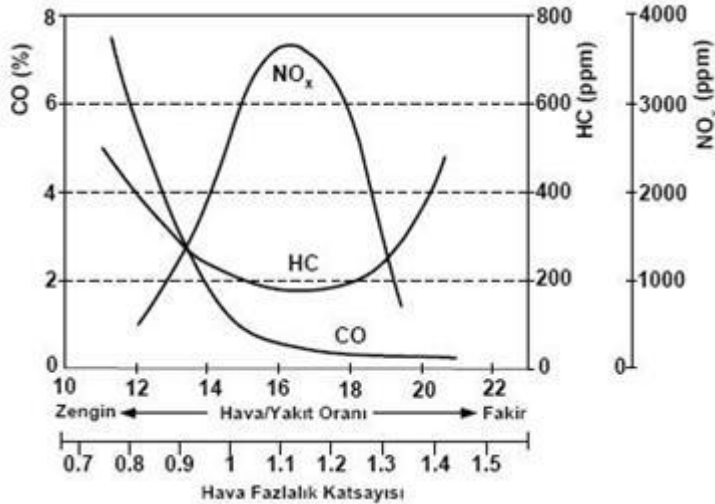
Havayı oluşturan bileşiklerin başında yer alan azot normal şartlar altında yanma olayı esnasında reaksiyona girmez. Yanma esnasında sıcaklığın 1600 °C'nin üzerine çıkması durumunda azot (N), ortamdaki oksijenle (O₂) tepkimeye girer ve NO_x'leri oluşturur. Genellikle azot oksitler NO, NO₂, NO₃ şeklinde olup bunlardan NO ve NO₂ en kirletici gazlardır. NO_x'ler içerisinde miktar olarak NO yüksek oranda bulunur. NO'nun ana kaynağı, motorlarda yakıcı olarak kullanılan emme havası içerisindeki moleküler azottur. Atmosferik azottan NO oluşumu Zeldovitch mekanizması olarak bilinir (47). Stokiyometrik oranda NO oluşum ve bozunum reaksiyonları Eş. 5.1, Eş. 5.2 ve Eş. 5.3'te görülmektedir.



Verilen reaksiyonlardan Eş. 5.3 reaksiyonu temel olarak çok zengin karışım şartlarında oluşur. NO hem alev cephesinin içinde hem de alevin geçtiği, alevin arka kısmında kalan bölgelerdeki gazın içerisinde oluşur. Yanmanın yüksek basınç altında gerçekleştiği motorlarda, alev içerisindeki reaksiyon bölgesi oldukça ince ve kısa ömürlüdür. Alev reaksiyon bölgesi oldukça ince olduğundan NO oluşumunun esas olarak alevin arkasındaki yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgesinde olduğu kabul edilebilir. NO_x emisyonlarını etkileyen en önemli faktörler hava/yakıt oranı, silindir içerisinde bir önceki çevrimden kalan yanmış art gazların miktarı ve ateşleme zamanıdır (47).

5.1.1. Hava/yakıt oranının etkisi

Benzinli motorlarda hava fazlalık katsayısının (HFK) değişimi yanma sırasında ulaşılan sıcaklıkları etkilerken, aynı zamanda silindirlerdeki mevcut O_2 miktarını belirlemektedir. NO_x 'lerin oluşumu hem sıcaklığın, hem de mevcut O_2 miktarının fonksiyonu olduğu için HFK'dan önemli ölçüde etkilenmektedir. Karışımın fakirleştirilmesi sonucunda yanma sıcaklığı düştüğü için, karışımın zenginleştirilmesi sonucunda da O_2 konsantrasyonu azaldığı için NO_x emisyonu azalma göstermektedir. Yanmış gazların maksimum sıcaklıkları, yaklaşık olarak HFK'nın 0,9 (az zengin) olduğu civara denk gelmektedir. Ancak bu şartlarda O_2 konsantrasyonu azdır. HFK artarken, O_2 'nin kısmi basıncındaki artmanın etkisi NO_x oluşumunu tetikleyen yanmış gazların sıcaklığının yükselmesine sebep olur. Böylece, maksimum NO_x emisyonları az fakir karışım bölgesi olan, HFK'nın yaklaşık 1,1 olduğu durumda görülür. Ancak, HFK artarsa ve karışım maksimum NO_x 'in ötesinde bir fakirliğe ulaştıkça, alev sıcaklığındaki düşmeden dolayı NO_x emisyonlarında azalma meydana gelecektir (47).



Şekil 5.1. HFK'ya göre egzoz emisyonlarının değişimi

5.1.2. Art gazların etkisi

Yanma oluşmadan önce, yanma odasındaki karışım içerisinde, yakıt buharı, hava ve bir miktar yanmış art gazları içerir. Bu yanmış gazlar, bir önceki çevrimden kalan art gazlar veya NO_x emisyonlarını kontrol etmek için yeniden silindir içerisine yollanmış yanmış egzoz gazlarıdır. Art gaz miktarı, motor yüküne, supap zamanlamasına ve subap bindirmesine bağlıdır. Yüksek supap bindirmesi süresi, karışımın seyreltilmesini artırır ve NO_x emisyonlarını azaltır. Art gazlar karışımda seyreltici olarak etki ederler ve art gaz miktarının artmasıyla yanma sonu sıcaklıkları düşer. Sonuç olarak art gaz miktarının artmasıyla NO_x emisyonlarında azalmalar meydana gelmektedir. Ancak bu durum silindir içerisinde yanmanın kötüleşmesine ve motorun istikrarsız çalışmasına sebep olmaktadır (48).

5.1.3. Ateşleme zamanının etkisi

Ateşleme avansının belirli bir değere kadar artırılmasıyla, çevrimde yanma daha erken gerçekleşir ve piston ÜÖN civarlarında iken maksimum basınç değerleri elde edilmiş olunur. Silindir içerisinde oluşan yüksek basınç, yanmış gazların maksimum sıcaklıklarını daha yüksek değerlere ulaştırır ve bu da yanmış gazların yüksek sıcaklıklarda daha uzun süre kalmasına neden olur. Bu durum NO_x oluşumunu arttırmaktadır (48).

5.2. Karbonmonoksit (CO) Oluşumu

Yakıtların tam olarak yanmamasından oluşan CO renksiz, kokusuz ve havanın ortalama molekül ağırlığına eşit bir gaz olup, kaynaklandığı yerin etrafında iyi dağılmayan ve varlığı fark edilemeyen zehirli bir yanma ürünüdür [42]. Zengin hava/yakıt karışımlarında silindir içerisinde yeterli oksijen bulamayan karbon tek oksijen ile birleşerek CO oluşturur. Ayrıca silindir içerisinde homojen karışım sağlanamaması da CO emisyonlarının artmasına neden olmaktadır (48).

5.3. Yanmamış Hidrokarbonların (HC) Oluşumu

Sıcaklıkların, oksijen miktarının veya zamanın yetersiz olması sonucu yanmanın tamamlanamaması, egzoz gazları içerisinde HC bulunmasına neden olmaktadır. Zengin karışımlarda ortamda yeterli oksijen bulunmaması, çok fakir karışımlarda ise sıcaklığın azalmasıyla birlikte oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlaması yanmanın tamamlanamamasına ve hidrokarbonların egzozdan atılmasına neden olmaktadır [43]. Ayrıca silindir içerisindeki ısı kayıpları nedeniyle soğuk cidarlara ulaşan alevin sönmesi HC emisyonu oluşumunu arttırır [44].

6. MATERYAL METOT

Deneyleyler, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

6.1. Materyal

6.1.1. Deney motoru

Deneyleyler Çizelge 6.1'de teknik özellikleri ve Resim 6.1'de görülen tek silindirli, enjeksiyonlu tip bir buji ile ateşlemeli Hydra marka motor kullanılmıştır. Deneyleyler, motorun sıkıştırma oranının 11:1 konumunda gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Markası	Hydra
Silindir sayısı	1
Çap X Kurs	80,26 X 88,9 (mm)
Maksimum devir	5400 (1/min)
Maksimum güç	15 (kW)
Sıkıştırma oranı	5/1 – 13/1
Yakıt sistemi	Enjeksiyonlu
Ateşleme zamanı uygulama aralığı	70° ÜÖN'dan önce - 20° ÜÖN'dan sonra



Resim 6.1. Deney motoru

6.1.2. Dinamometre ve kontrol paneli

Deneyleerde, 6500 1/min motor devrine ve 30 kW güce kadar frenleme yapabilen McClure marka elektrikli DC bir dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre ve deney düzeneği Resim 6.2’de görölmektedir.



Resim 6.2. Dinamometre ve deney düzeneği

Deneylerin uygulanması sırasında ölçüm verilerinin okunduğu ve çeşitli parametrelerin kontrol edilebildiği (hava/yakıt oranı, motor devri ve yükü, enjektör açık kalma miktarı, ateşleme zamanı) Resim 6.3'te görülen kontrol paneli kullanılmıştır.



Resim 6.3. Kontrol paneli

Deneylerin gerçekleştirilebilmesi öncelikle kontrol panelinin aktif hale gelmesiyle mümkün olmaktadır. Motor çalıştırılmadan önce, motorun yağ ve su pompaları kontrol panelindeki düğmeler yardımıyla çalıştırılmaktadır. Motorun çalışma sıcaklığına daha kısa sürede ulaştırılabilmesi için istenildiğinde su ve yağlama yağı ısıtıcıları da panel üzerinde yer alan düğmeler ile çalıştırılabilmektedir. Panelde sistem elemanlarının aktif olduğunu bildiren bir self kontrol düzeneği de yer almaktadır. Sistem herhangi bir arıza bildirmediği takdirde motor ve dinamometre aktif hale getirilebilir. Motor momenti ve motor devri kontrol paneli üzerinde yer alan analog ve dijital göstergeler yardımıyla ölçülebilmektedir. Ateşleme zamanı analog gösterge ile belirlenebilmektedir. Bu göstergelerin ölçüm aralığı ve hassasiyetleri Çizelge 6.2’de yer almaktadır [4].

Çizelge 6.2. Kontrol panelinde yer alan göstergelerin ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri

	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Hassasiyeti
Motor Momenti	0-80 Nm	0,01 Nm
Motor Devri	0-7000 1/min	1 1/min
Ateşleme Zamanı	70° ÜÖN'dan önce - 20° ÜÖN'dan sonra	1° KMA

6.1.3. Egzoz emisyonları ölçüm cihazı

Egzoz emisyonlarının ölçümünde Sun MGA 1500 gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Analiz cihazı, CO, HC, NO, O₂, CO₂ gazlarını ve λ (lambda) değerini infrared yöntemiyle ölçmekte ve yazıcısına aktarmaktadır. Resim 6.4'te görülmekte olan gaz analiz cihazının teknik özellikleri Çizelge 6.3'te görülmektedir.



Resim 6.4. Egzoz gaz analizörü

Çizelge 6.3. Egzoz gaz analizörü teknik özellikleri

Parametre	Ölçme Aralığı	Hassasiyet
CO	0 - 14 %	0,001 %
HC	0 - 9999 ppm	1 ppm
NO _x	0 - 5000 ppm	1 ppm
CO ₂	0 - 18 %	0,1 %
O ₂	0 - 25 %	0,01 %
λ	0 - 4	0,001

6.1.4. Hava akışmetresi

Hava tüketiminin ölçümünde Resim 6.5'te görülen 1mm su sütunu hassasiyetinde Go-Power M-5000 marka hava akışmetresi kullanılmıştır. Hava tüketiminin ölçümü için ventüri seçimi, motor gücüne uygun olacak şekilde cihazın kataloğundan belirlenmiştir. Daha hassas bir ölçüm yapabilmek için 1500-2500 1/min aralığında 0,75", 3000-5000 1/min aralığında 1,183" ventüri çapları kullanılmıştır.



Resim 6.5. Hava ve yakıt tüketimi için kullanılan cihazlar
a. Hava akışmetresi b. Elektronik terazi ve kronometre

6.1.5. Hassas terazi ve kronometre

Yakıt tüketimini ölçmek için 1g hassasiyetinde 30kg'a kadar ölçüm yapabilen Dikomsan JS-B marka bir elektronik terazi ve 0,01s hassasiyetinde Rucanor marka kronometre kullanılmıştır. Resim 6.5'da dijital terazi ve kronometre görülmektedir.

6.1.6. Deney yakıtları

Deneylerde kurşunsuz benzin ve kurşunsuz benzin-fuzel yağı karışımları kullanılmıştır. Kurşunsuz benzin Petrol Ofisi'ne bağlı bir benzin istasyonundan 95 oktan olarak temin edilmiştir.

Deneyselerde kullanılan yakıtlar;

F0 (%100 kurşunsuz benzin)

F5 (%95 kurşunsuz benzin-%5 fuzel yağı karışımı)

F10 (%90 kurşunsuz benzin-%10 fuzel yağı karışımı)

F20 (%80 kurşunsuz benzin-%20 fuzel yağı karışımı)

F30 (%70 kurşunsuz benzin-%30 fuzel yağı karışımı)

F50 (%50 kurşunsuz benzin-%50 fuzel yağı karışımı)

Deneysel çalışmalarda kullanılan yakıtların çeşitli özellikleri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Test yakıtlarının çeşitli özellikleri

	F0	F5	F10	F20	F30	F50	F100
Yoğunluk (g/cm ³)	0,745	0,748	0,754	0,759	0,766	0,784	0,849
Alt ısı değer (kj/kg)	43580	43175	42681	42124	41794	39581	29514
Motor oktan sayısı	86,51	87	87,08	87,09	87,10	89,30	103,61
Araştırma oktan sayısı	96,33	97,40	97,80	97,84	98,30	98,38	106,82
Donma noktası (°C)	-53	>50	>50	>50	>50	>50	>50

6.2. Metot

6.2.1. Motor momenti

Motor momenti, dinamometrenin kontrol paneli üzerinde yer alan dijital göstergeden alınarak kaydedilmiştir. Ayrıca deneyler esnasında ortam basıncı ve sıcaklığı kaydedilerek Eş 6.1 ile düzeltme faktörü hesaplanmıştır.

$$K_d = \left(\frac{99}{P}\right)^{1,2} \times \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6} \quad (6.1)$$

Eş. 6.1’de ifade edilen P , ortam basıncını ifade etmektedir ve birimi kPa’dır. Yine Eş. 6.1’de ifade edilen T , ortam sıcaklığını ifade etmektedir ve birimi K (Kelvin)’dir.

$$M = K_d \times M_{\delta} \text{ (Nm)} \quad (6.2)$$

Örnek Hesaplama: Motor tam yük konumunda, 3000 1/min’de F0 yakıtı kullanımı durumunda ve hava fazlalık katsayısının (HFK) 1 olduğu, 11/1 sıkıştırma oranına sahip 24° KMA ateşleme avansında dijital göstergeden ölçülen motor momenti 29,11 Nm’dir. Deneyin gerçekleştirilmesi durumunda ölçülen ortam basıncı 92,3 kPa, ve ortam sıcaklığı 25 °C’dir. Bu şartlar altında motor momenti Eş. 6.1 ve Eş. 6.2’ye göre;

$$K_d = \left(\frac{99}{P}\right)^{1,2} \times \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6} = \left(\frac{99}{92,3}\right)^{1,2} \times \left(\frac{298}{298}\right)^{0,6} = 1,0877$$

$$M = K_d \times M_{\delta} = 1,0877 \times 29,11 = 31,663 \text{ Nm olarak hesaplanmıştır.}$$

6.2.2. Efektif güç

Motorun volanından alınan güç olarak ifade edilir.

$$Pe = \frac{2 \times \pi \times M \times n}{60 \times 1000} \text{ kW} \quad (6.3)$$

Örnek Hesaplama: Motor tam yük konumunda, 3000 1/min’de F0 yakıtı kullanımı durumunda ve hava fazlalık katsayısının (HFK) 1 olduğu, 11/1 sıkıştırma oranına sahip 24° KMA ateşleme avansında motor momenti Eş. 6.1 ve Eş. 6.2 ile 31,663 Nm olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre Eş 6.3 kullanılarak motorun efektif gücü;

$$Pe = \frac{2 \times \pi \times 31,663 \times 3000}{60 \times 1000} = 9,947 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

6.2.3. Ortalama efektif basınç

Motorun gerçek çevriminde, efektif gücü verebilmesi için silindir içerisinde kurs boyunca piston üzerine etkimesi gereken sabit basınç olarak ifade edilir.

$$P_{me} = \frac{Pe \times n_R \times 60}{V_S \times n} \text{ (kPa)} \quad (6.4)$$

Eşitlikte yer alan kurs hacmi (V_S) de;

$$V_S = \frac{\pi \times D^2 \times L}{4} \text{ (m}^3\text{) ile hesaplanır.} \quad (6.5)$$

Örnek Hesaplama: Motor tam yük konumunda, 3000 1/min'de F0 yakıtı kullanımı durumunda ve hava fazlalık katsayısının (HFK) 1 olduğu, 11/1 sıkıştırma oranına sahip 24° KMA ateşleme avansında motor gücü Eş. 6.3 ile 9,947 kW bulunmuştur. Motorun piston çapı 80,26 mm ve kurs boyu 88,9 mm ise, Eş. 6.4 ve Eş.6.5'e göre motorun OFB;

$$V_S = \frac{\pi \times D^2 \times L}{4} = \frac{\pi \times 0,08026^2 \times 0,0889}{4} = 0,0004495 \text{ m}^3$$

$$P_{me} = \frac{9,947 \times 2 \times 60}{0,000495 \times 3000} = 885,16 \text{ kPa olarak bulunur.}$$

6.2.4. Özgül yakıt tüketimi

Birim zamanda kütleli olarak tüketilen yakıtın efektif güce oranı olarak ifade edilmektedir.

$$b_e = \frac{m_y}{Pe} \text{ (g/kWh)} \quad (6.6)$$

Örnek Hesaplama: Motor tam yük konumunda, 3000 1/min'de, F0 yakıtı kullanımı durumunda ve hava fazlalık katsayısının (HFK) 1 olduğu, 11/1 sıkıştırma oranına sahip 24° KMA ateşleme avansında motor gücü Eş. 6.3 ile 9,947kW olarak hesaplanmış ve motorun 30 gramlık yakıtı 37,32 saniyede tükettiği ölçülmüştür. Buna göre;

$$m_y = \frac{3600 \times 30}{37,32} = 2893,89 \text{ g/h'tir. Eş. 6.6 ile ÖYT;}$$

$$b_e = \frac{m_y}{Pe} = \frac{2893,89}{9,947} = 290,93 \text{ g/kWh olarak hesaplanmış olur.}$$

6.2.5. Efektif termik verim

Efektif gücün motora verilen ısı enerjisine oranı ile ifade edilir.

$$\eta_t = \frac{Pe}{Q_t} \quad (6.7)$$

Örnek Hesaplama: Motor tam yük konumunda, 3000 1/min'de, F0 yakıtı kullanımı durumunda ve hava fazlalık katsayısının (HFK) 1 olduğu, 11/1 sıkıştırma oranına sahip 24° KMA ateşleme avansında motor gücü Eş. 6.3 ile 9,947 kW, yakıtın debisi 2893,89 g/h olarak hesaplanmış ve yakıtın alt ısı değerinin 41417 J/kg olduğu biliniyorsa, termik verim;

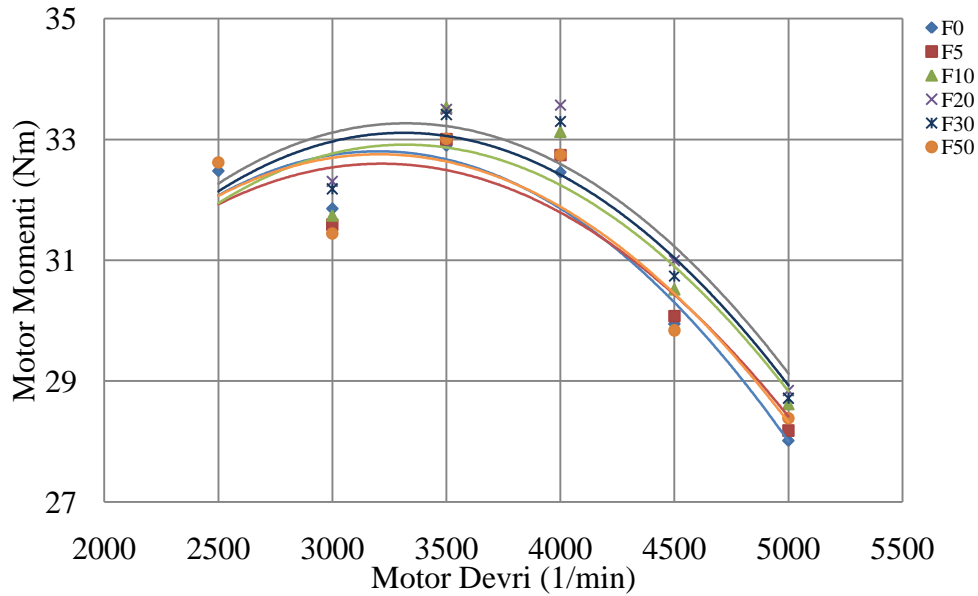
$$\eta_t = \frac{Pe}{m_y \times Hu} \times 1000 \times 3600 = \frac{9,947}{28,93 \times 41417} \times 1000 \times 3600$$

$\eta_t = 0,2988$ (%29,88) olarak hesaplanır.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. Motor Momenti

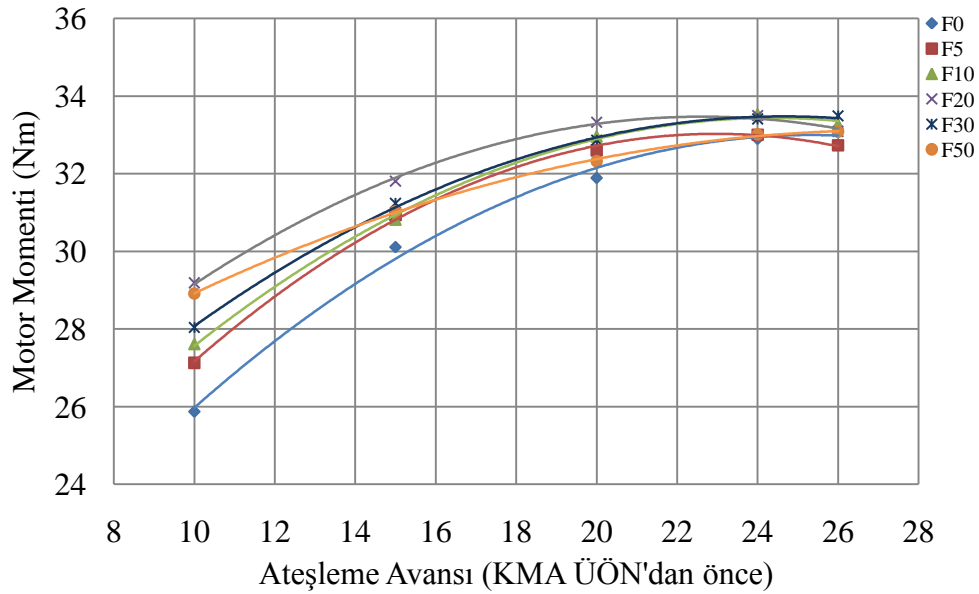
Gerçekleştirilen deneylerde elde edilen motor momenti değerlerinin motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 7.1’de görülmektedir. Motor tam yük konumunda, HFK’nın 1 olduğu durumda, farklı motor devirlerinde ve 24° ateşleme avansında yapılan deneylerde, en yüksek motor momenti 3500 1/min devrinde elde edilmiştir. Düşük ve yüksek motor devirlerinde momentin düştüğü, optimum motor devirlerinde ise maksimum noktaya çıktığı görülmektedir. Düşük ve yüksek motor devirlerinde volümetrik verimin düşük olması, motor momentini etkileyen en önemli parametredir. En yüksek motor momenti F10 yakıtı (33,53 Nm) kullanımında görülmüştür. 24° ateşleme avansında tüm yakıtlarda 1500 ve 2000 1/min’de vuruuntu sebebiyle ölçüm yapılamamıştır, deney sonuçları EK-1’de yer almaktadır.



Şekil 7.1. Motor devrine bağlı olarak motor momentinin değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 24° ateşleme avansı)

Şekil 7.2’de, motorun 3500 1/min olduğu durumda ve tam yük şartlarında motor momentinin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Maksimum motor momenti F0 yakıtında 26° ateşleme avansında elde edilirken (33,09 Nm),

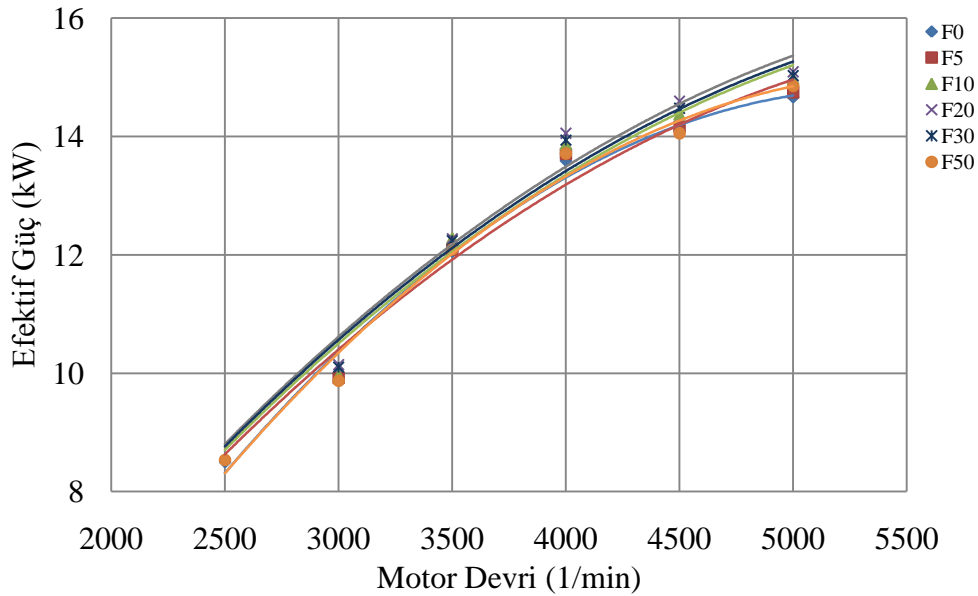
fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımları incelendiğinde en yüksek motor momenti 24° ateşleme avansında F10 yakıtı ile (33,53 Nm) elde edilmiştir. Tüm yakıtlarda en yüksek motor momenti 24° ve 26° 'lik ateşleme avanslarında elde edilirken aynı zamanda birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Yakıtlar arasındaki önemli farklılık, avans değerleri düşükçe kendini göstermektedir. 10° 'lik ateşleme avansında F0 yakıtına göre F5 yakıtında motor momenti %4,86 artarken, F50 yakıtında %11,76 daha iyi sonuç vermektedir. Alkollerin genel bir özelliği olan buharlaşma ısılarının yüksek oluşu, yakıt zerreciklerinin sıvı halden buhar haline geçebilmek için çevreden aldıkları ısı miktarını artırır. Fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımı yakıtlar silindir içerisine giren havanın sıcaklığını düşürmekte ve böylece havanın yoğunluğunu arttırmaktadır. Bu durum yanma sıcaklığını düşürerek kendi kendine tutuşma eğilimini azaltmakta ve ayrıca motor momenti ve efektif gücün bir miktar artmasına neden olmaktadır.



Şekil 7.2. Ateşleme avansına bağlı olarak motor momentinin değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 3500 1/min)

7.2. Efektif Güç

Deneylerin gerçekleştirildiği motorda, motor devrine bağlı olarak efektif güç değişimi Şekil 7.3'te görülmektedir. Motor devri arttıkça birim zamanda yapılan iş sayısı da arttığından efektif güç buna bağlı olarak yükselmektedir. Yüksek motor devirlerine çıktıkça artış eğilimi azalsa da efektif güç, tüm yakıtlarda 5000 1/min motor devrine kadar artış göstermiştir. Tüm yakıtların efektif güçleri her devirde birbirine yakın değerler vermiş ve en yüksek güç F20 yakıtıyla 5000 1/min motor hızında 15,1 kW olarak elde edilirken, F0 yakıtına göre %2,96 artış göstermiştir.

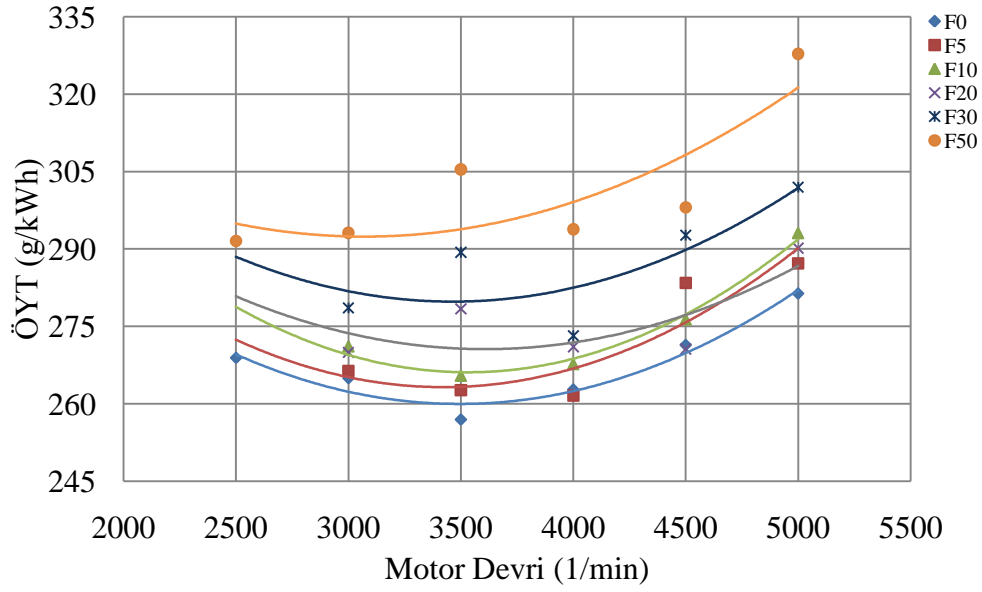


Şekil 7.3. Motor devrine bağlı olarak efektif gücün değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 24° ateşleme avansı)

7.3. Özgül Yakıt Tüketimi

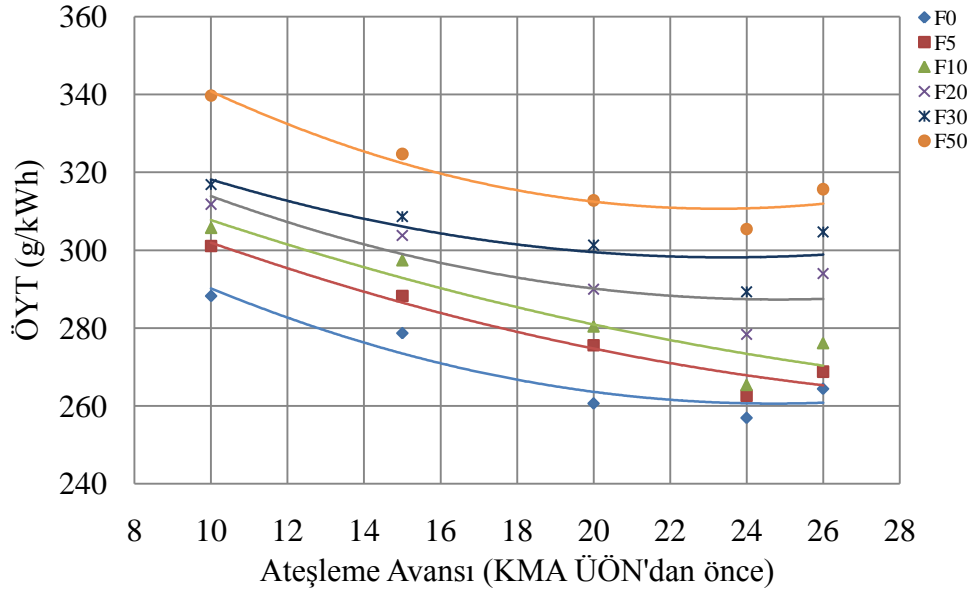
Motor devrine bağlı olarak tam yükte, HFK'nın 1 olduğu durumda ve ateşleme avansının 24° olduğu durumda yapılan deneylerde elde edilen özgül yakıt tüketimi (ÖYT) eğrileri Şekil 7.4'te görülmektedir. ÖYT, karışımlardaki fuzel yağı miktarına göre artış göstermiştir. Bu artışın en temel sebebi fuzel yağının düşük alt ısıl değere sahip olmasıdır. Hazırlanan yakıtlarda fuzel yağının miktarı arttıkça yakıtın alt ısıl değeri azalmaktadır. Motordan aynı şartlar altında kurşunsuz benzinle elde edilen

güce eşit miktarda bir güç üretmek için daha fazla fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımına ihtiyaç duyulmaktadır. F50 yakıtıyla maksimum motor momentinin elde edildiği 3500 1/min'de F0'a göre ÖYT %18,89 artmıştır.



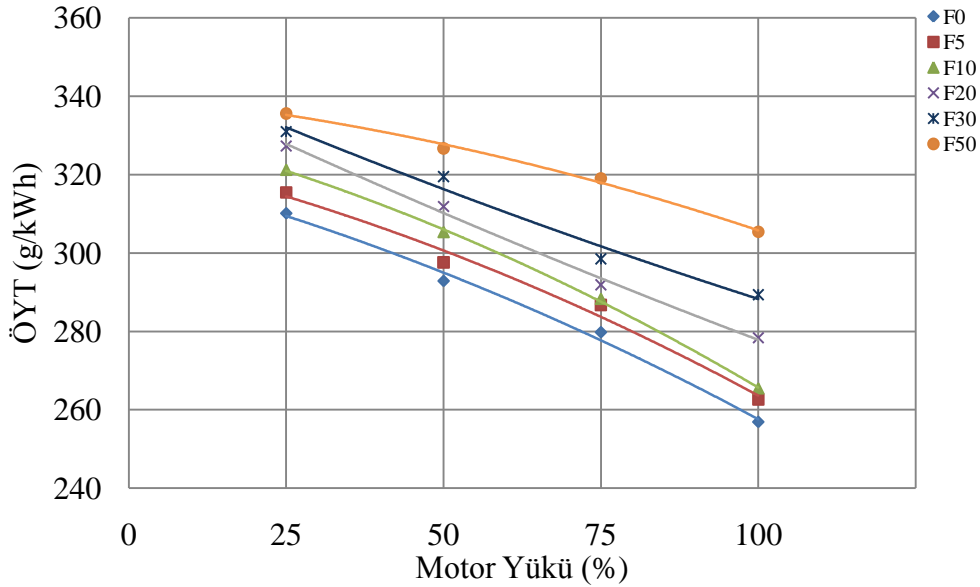
Şekil 7.4. Motor devrine bağlı olarak ÖYT'nin değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 24° ateşleme avansı)

Şekil 7.5'te ÖYT'nin ateşleme avansına bağlı olarak, tam yükte, HFK'nın 1 olduğu durumda ve 3500 1/min'deki değişimi yer almaktadır. Deney yakıtlarının ÖYT'i, ateşleme avansının artırılmasıyla azalma eğilimi göstermektedir. Tüm yakıtlar için minimum ÖYT, 24° 'lik ateşleme avansında elde edilmiştir. 20° ve 26° 'lik ateşleme avanslarında elde edilen ÖYT değerleri de 24° ateşleme avansında elde edilen değerlere yakın olsa da bir miktar artış sözkonusudur.



Şekil 7.5. ÖYT'nin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 3500 1/min)

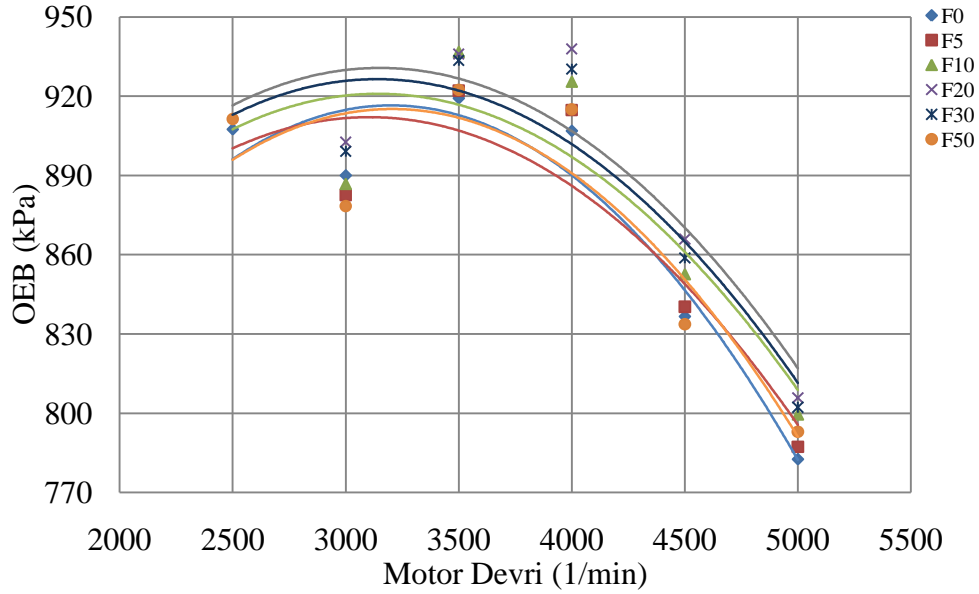
Buji ile ateşlemeli motorlarda kısmi yüklerdeki gerçek sıkıştırma oranı geometrik sıkıştırma oranından daha düşüktür. Motor performansı ve verimi açısından önemli bir parametre olan sıkıştırma oranının gaz kelebeği açıklığına bağlı olarak değişmesi kısmi yüklerde motor veriminin azalmasına sebep olmaktadır. HFK 1 durumunda, 3500 1/min motor devrinde ve 24° ateşleme avansında motor yüküne bağlı olarak yapılan deneylerde ÖYT'ni veren eğriler Şekil 7.6'da görülmektedir. Kısmi gaz kelebek açıklıklarında ÖYT değerleri tüm yakıtlarda artış göstermektedir. Tam yük ile kısmi yük eğrileri karşılaştırıldığında ÖYT, %25 gaz kelebek açıklığında en yüksek artışı %21 ile F10 yakıtında gerçekleşmiştir. Aynı şartlar altında F0 yakıtındaki artış %20,7, F5 yakıtında %20,1, F20 yakıtında %17,56, F30 yakıtında %17,40 ve F50 yakıtında %9,88 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 7.6. ÖYT'nin motor yüküne bağlı olarak değişimi ($\lambda=1$, 3500 1/min, 24° ateşleme avansı)

7.4. Ortalama Efektif Basıncı

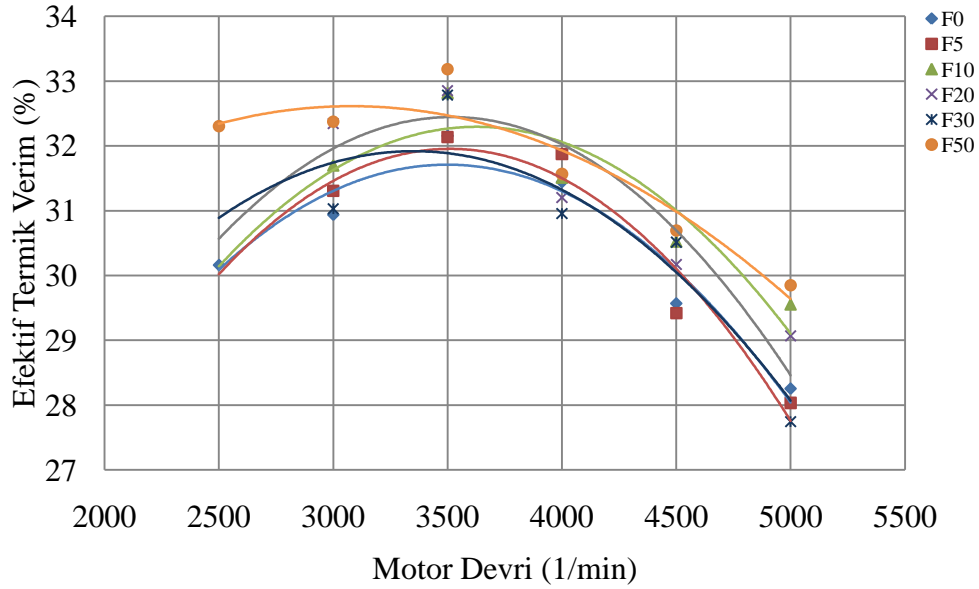
Düşük ve yüksek motor hızlarında volümetrik verimin azalmasından dolayı silindir içerisine daha az miktarda hava alınmakta ve sıkıştırma sonu basıncında bir miktar azalma meydana gelmektedir. Aynı zamanda silindir içerisine alınan hava miktarına göre yakıt enjeksiyon edildiğinden daha az yakıt silindir içerisine verilmekte ve yanma sonu basıncı düşmektedir. Bu nedenle düşük ve yüksek motor hızlarında ortalama çevrim basıncı optimum motor hızında elde edilen basınçtan daha düşük olmaktadır. Motor devrine bağlı olarak, tam yükte, HFK'nın 1 ve ateşleme avansının 24° olduğu durumda ortalama efektif basıncın (OEB) değişimi Şekil 7.7'de görülmektedir. 3500 1/min'de F0 yakıtına göre maksimum artış %1,92 ile F10 yakıtında (936,81 kPa) gerçekleşmiştir. Alkollerin buharlaşması için daha fazla ısıya ihtiyaç duymasından dolayı çevreden daha fazla ısı almasıyla silindir içerisine alınan havanın yoğunluğunu arttırmakta ve böylece volümetrik verimde az da olsa bir artış sağlamaktadır. Volümetrik verimdeki bu artış fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımlarının tümünde F0 yakıtına göre tüm devirlerde OEB'in artmasına neden olmaktadır.



Şekil 7.7. OEB'nin motor devrine bağlı olarak değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 24° ateşleme avansı)

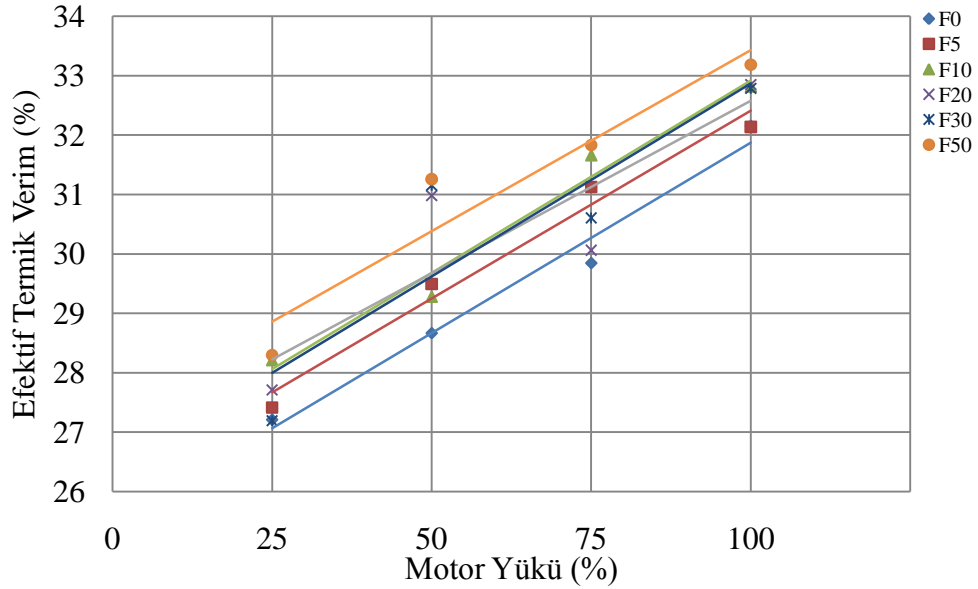
7.5. Efektif Termik Verim

Efektif termik verimin motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil7.8'de görülmektedir. Motorun tam yük şartlarında, HFK'nın 1 olduğu ve 24° ateşleme avansında yapılan deneylerde, fuzel yağı içeren yakıtlarda efektif termik verim; kurşunsuz benzin (F0) kullanımına göre, hazırlanan karışımlardaki fuzel yağı miktarına bağlı olarak artış göstermektedir. Düşük ve yüksek motor hızlarında efektif termik verimin düştüğü, optimum motor hızlarında ise efektif termik verimin yükseldiği görülmektedir. Efektif termik verimin maksimum olduğu motor hızı aynı zamanda özgül yakıt tüketiminin minimum, motor momentinin ise maksimum olduğu motor hızıdır. Motor hızının artması ile ısı kaybı azalmakta ve aynı miktardaki yakıtla daha fazla iş elde edilmektedir. Fuzel yağının düşük alt ısıl değerine sahip olmasına rağmen kurşunsuz benzine kıyasla daha yüksek motor momenti ve efektif güç sağlaması efektif termik verimin artmasını sağlamaktadır. F0 yakıtıyla karşılaştırıldığında efektif termik verimde en yüksek artış F50 yakıtında tüm motor devirlerinde ortalama %4,13 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 7.8. Efektif termik verimin motor devrine bağlı olarak değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 24° ateşleme avansı)

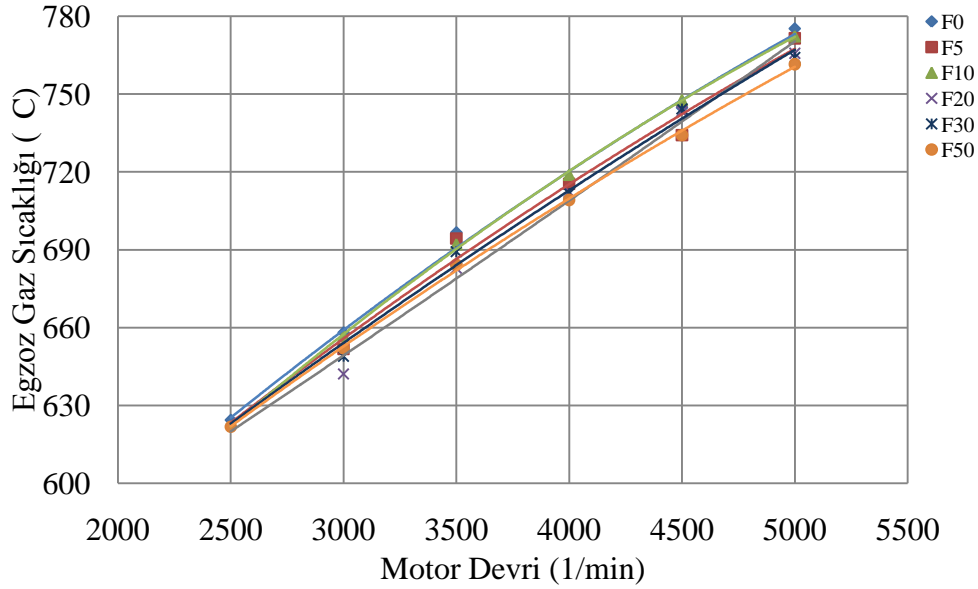
HFK'nın 1 olduğu durumda, 3500 1/min motor devrinde ve 24° ateşleme avansında motor yüküne bağlı olarak yapılan deneylerde efektif termik verimin değişimi Şekil 7.9'da görülmektedir. Motor yükünün artırılmasıyla elde edilen motor momenti ve efektif güç değerlerine bağlı olarak efektif termik verim de artış göstermektedir. Kurşunsuz benzine göre, fuzel yağı içeren yakıtlardaki fuzel yağı miktarına bağlı olarak efektif termik verim artış göstermektedir. Bu artış F0 yakıtına göre F5 yakıtında ortalama %1,97, F10 yakıtında %3,48, F20 yakıtında %3,20, F30 yakıtında %3,28 ve F50 yakıtında %5,72 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 7.9. Efektif termik verimin motor yüküne bağı olarak değışimi ($\lambda=1$, 3500 1/min, 24° ateşleme avansı)

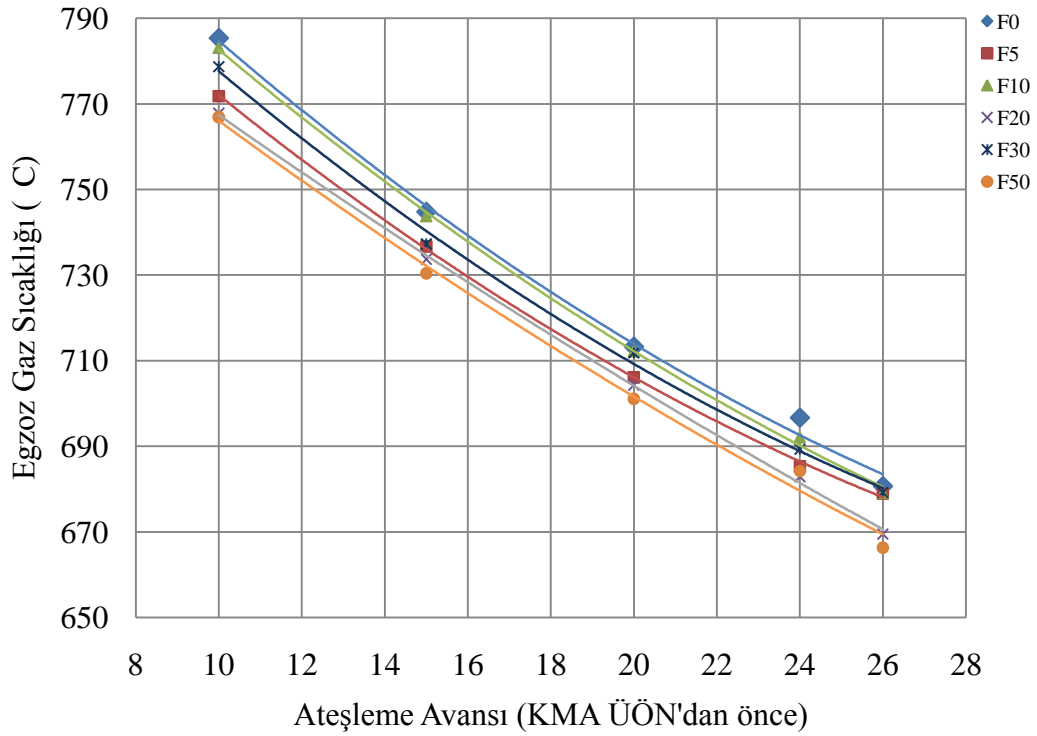
7.6. Egzoz Gaz Sıcaklığı

Egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağı olarak değışimi Şekil 7.10'da görülmektedir. Kullanılan tüm test yakıtlarında motor devrinin artışına paralel olarak egzoz gazı sıcaklıkları yükselmektedir. Ancak deney yakıtlarındaki fuzel yağı oranının artmasıyla F0 yakıtına göre daha düşük egzoz gaz sıcaklıkları elde edilmiştir. F0 yakıtıyla karşılaştırıldığında F5 yakıtında egzoz gaz sıcaklığı %0,34 azalırken, F50 yakıtında %1,83 azalma görülmüştür. Fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımı yakıtlarda, karışımdaki fuzel yağının artmasına bağı olarak elde edilen yeni yakıtın alt ısıl değeri kurşunsuz benzinden daha düşük olmaktadır. Alt ısıl değerin düşmesiyle silindir içerisine sürülen enerji miktarı da azalmaktadır ve buna bağı olarak yanma sonu sıcaklıkları fuzel yağı bulunan yakıtlarda kurşunsuz benzine göre daha düşük olmaktadır.



Şekil 7.10. Egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağlı olarak değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 24° ateşleme avansı)

Ateşleme avansı yanma olayının seyrine etki eden en önemli parametrelerden biri olup, egzoz gaz sıcaklığına direkt olarak etki etmektedir. Rötarlı ateşleme durumunda egzoz gaz sıcaklığı yükselmektedir. Şekil 7.11’de egzoz gaz sıcaklıklarının ateşleme avansına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Ateşleme avansının 10° krank mili açısından itibaren artırılmasıyla, egzoz gaz sıcaklığı azalmaktadır. Ateşlemenin daha erken yapılması, maksimum basıncın oluşma anının ÜÖN’ya yaklaşmasını ve işe dönüşen enerji miktarının artmasına neden olmaktadır. Böylece piston AÖN’ya doğru ilerlerken silindir içindeki gaz sıcaklığı azalmakta ve buna bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının da düşmesine neden olmaktadır. Rötarlı ateşleme durumlarında, maksimum basıncın pistonun ÜÖN’yı geçmesinden sonra elde edileceğinden, silindir içerisine sürülen enerjiden maksimum seviyede verim elde edilemeyecek ve bu kayıp verim ısı enerjisi olarak egzoz gazı ile atılacaktır. Fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımlarında, karışımdaki fuzel yağı miktarına bağlı olarak daha düşük egzoz gaz sıcaklıkları elde edilmiştir. F5 yakıtında F0 yakıtına göre egzoz gaz sıcaklığı ortalama %1,16, F50 yakıtında ise ortalama %2,02 azalma göstermektedir.



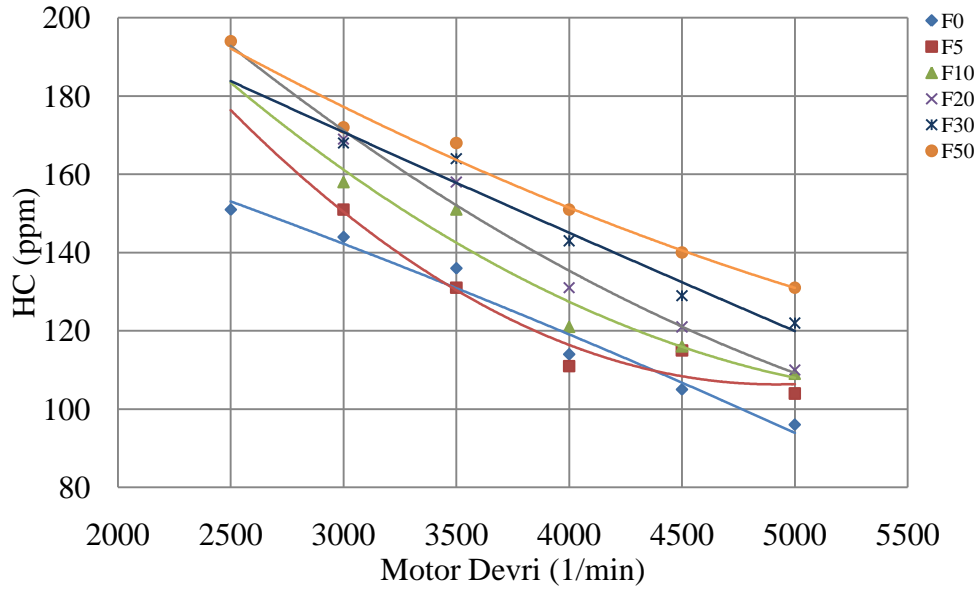
Şekil 7.11. Egzoz gaz sıcaklığının ateşleme avansına bağlı değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 3500 1/min)

7.7. Egzoz Emisyonları

7.7.1. HC emisyonlarının değerlendirilmesi

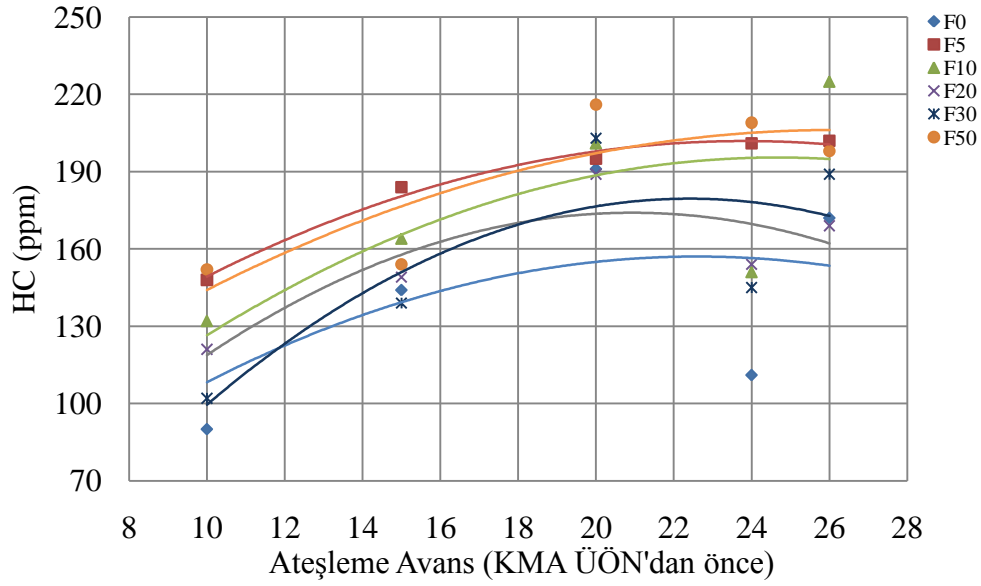
Hidrokarbon (HC) emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 7.12’de görülmektedir. Tüm motor devirlerinde, tam yük konumunda, HFK’nın 1 olduğu durumda ve 24° ateşleme avansında gerçekleştirilen deneylerde, HC emisyonu tüm yakıtlar için, artan devre bağlı olarak azalmaktadır. Motor devrinin artması yanma için gerekli olan sürenin azalmasına neden olsa da HC emisyonlarında azalma eğilimi görülmektedir. HC emisyonlarının oluşumunda zaman kadar silindir içerisindeki sıcaklık da büyük önem taşımaktadır. Silindir içerisindeki sıcaklığın artması, HC emisyonlarının oluşmasında önemli olan yanma reaksiyonlarını hızlandırdığından HC emisyonları azalmaktadır. Fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımlarında, silindir içerisinde elde edilen yanma sonu sıcaklıklarının F0 yakıtına göre daha düşük olmasından dolayı, kullanılan yakıtlarda fuzel yağı miktarına bağlı

olarak F0 yakıtına göre HC emisyonlarında artış kaydedilmiştir. En yüksek artış F0 yakıtına göre ortalama %39,64 ile F50 yakıtında görülmüştür.



Şekil 7.12. HC emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 24° ateşleme avansı)

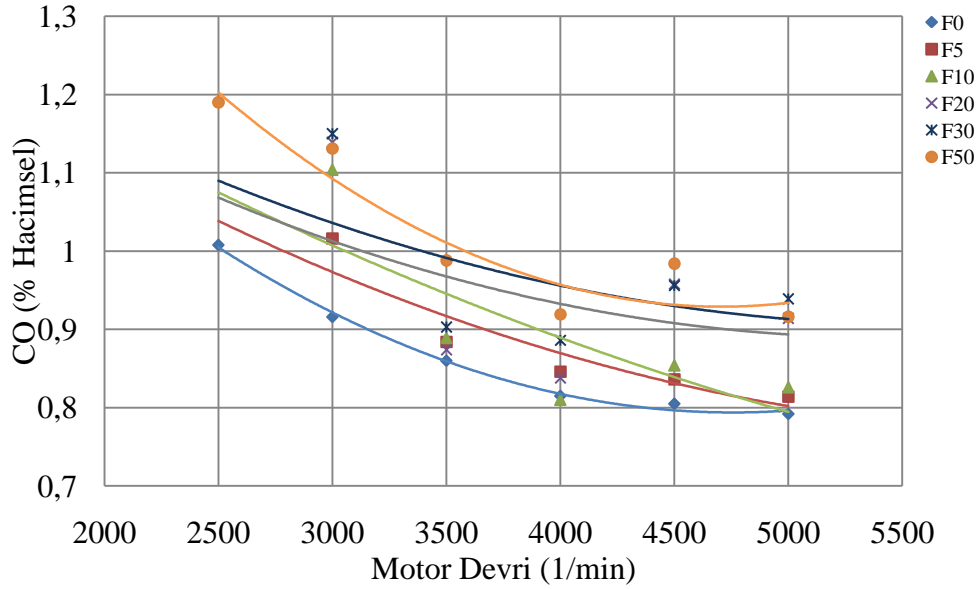
Şekil 7.13'te HC emisyonlarının ateşleme avansına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Motorun tam tük konumunda, HFK'nın 1 olduğu durumda ve 3500 1/min'de gerçekleştirilen deneylerde, ateşleme avansının artmasıyla HC emisyonlarının da artış gösterdiği görülmektedir. Genel olarak, yanma odasında son gaz bölgesi olarak adlandırılan soğuk cidarların yakın bölgelerinde alev sönmesinden dolayı HC emisyonları oluşmaktadır. Egzoz gaz sıcaklığının ateşleme avansının artmasına bağlı olarak düşmesiyle, silindir cidarlarındaki sıcaklık daha da düşecektir. Silindir cidarlarının daha düşük sıcaklıkta olmasından dolayı HC emisyonları artış göstermektedir. F0 yakıtına göre en yüksek kötüleşme ortalama %38,46 ile F50 yakıtında görülmüştür.



Şekil 7.13. HC emisyonlarının ateşleme avansına bağlı olarak değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 3500 1/min)

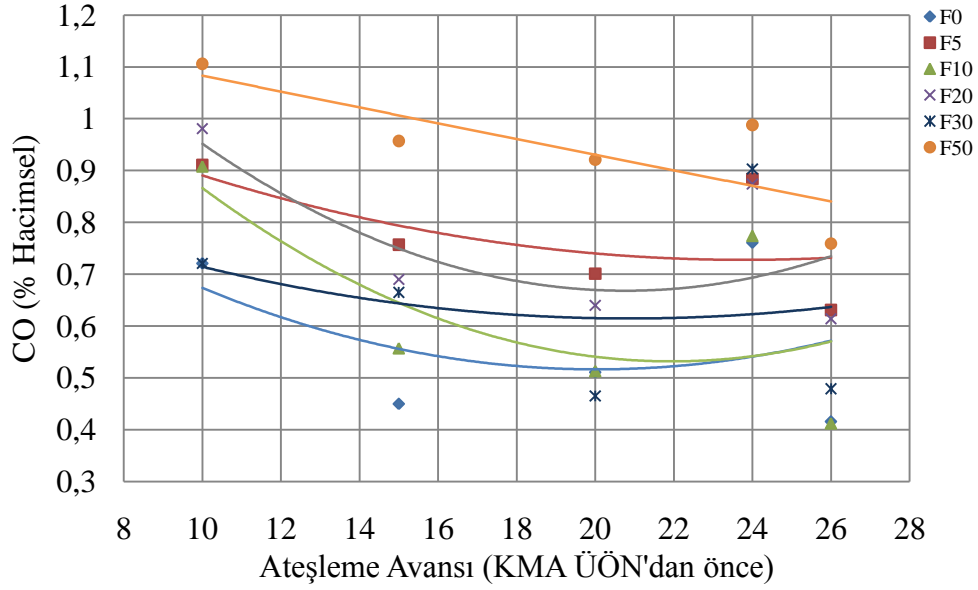
7.7.2. CO emisyonlarının değerlendirilmesi

Karbonmonoksit (CO) emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 7.14'te görülmektedir. Deney şartlarında HFK'daki küçük değişiklikler CO emisyon değerlerini etkilemektedir. Tüm motor devirlerinde, tam yük konumunda, HFK'nın 1 olduğu durumda ve 24° ateşleme avansında gerçekleştirilen deneylerde, motor devrinin artmasıyla CO emisyonlarının tüm yakıtlarda azaldığı görülmektedir. Silindir içerisinde yanma reaksiyonları sonucunda yeterli miktarda oksijen (O_2) bulunmaması CO emisyonlarının temel oluşum nedenini ortaya koymaktadır. F0 yakıtına göre, fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımı yakıtlar incelendiğinde, karışımdaki fuzel miktarına bağlı olarak CO emisyonunun arttığı görülmektedir. F0 yakıtına göre ortalama en yüksek artış, F50 yakıtında %16,94 oranında gerçekleşmiştir.



Şekil 7.14. CO emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 24° ateşleme avansı)

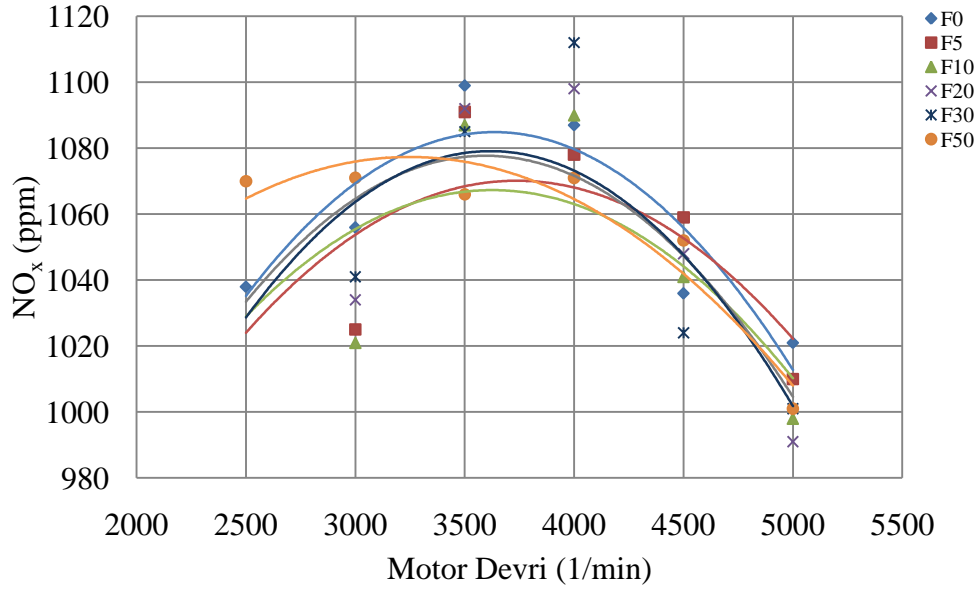
Ateşleme avansına bağlı olarak, 3500 1/min'de, HFK'nın 1 olduğu ve tam yük şartlarında CO emisyonlarının değişimi Şekil 7.15'te görülmektedir. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni O_2 yetersizliğidir. Bunun yanısıra, silindir içerisinde hava-yakıt karışımının homojen olmaması durumunda, zengin hava-yakıt karışımının bulunduğu kısmi bölgelerde CO emisyonu oluşmaktadır. En yüksek CO emisyonları tüm deney yakıtları için 10° 'lik ateşleme avansında oluşmaktadır. Ateşleme avansının 10° 'den 26° 'ye arttırılması durumunda; F0 yakıtına göre F5, F10, F20, F30 ve F50 yakıtlarında sırasıyla %43,91, %44,37, %46,69, %59,77, %50,52 ve %45,72 CO emisyonu azalmaktadır.



Şekil 7.15. CO emisyonlarının ateşleme avansına bağlı olarak değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 3500 1/min)

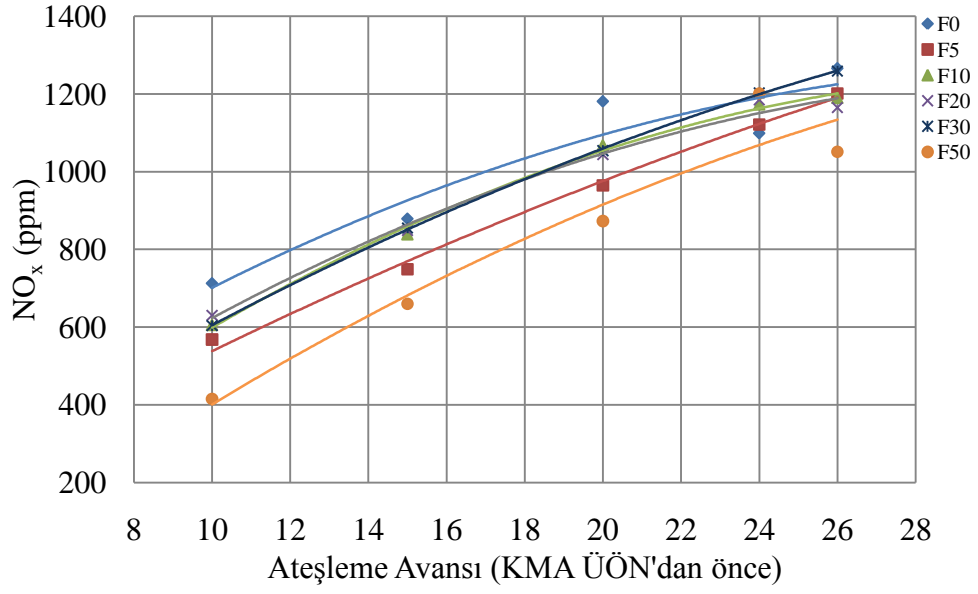
7.7.3. NO_x emisyonlarının değerlendirilmesi

Azotoksit (NO_x) emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 7.16'da görülmektedir. Tüm motor devirlerinde, tam yük konumunda, HFK'nın 1 olduğu durumda ve 24° ateşleme avansında gerçekleştirilen deneylerde NO_x emisyonları F0 yakıtına göre F5, F10, F20, F30 ve F50 yakıtlarında sırası ile ortalama %2,22, %2,76, %2,27, %2,28 ve %4,31 oranlarında azalma meydana gelmiştir. NO_x oluşumunun en temel sebebi silindir içerisinde yanma sonu sıcaklıklarının çok yüksek değerlere ulaşmasıdır. Fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımı yakıtlarda, yanma sonu sıcaklıklarının F0 yakıtına göre daha düşük olması NO_x emisyonlarının azalmasına neden olmuştur.



Şekil 7.16. NO_x emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 24° ateşleme avansı)

Ateşleme avansına bağlı olarak NO_x emisyonlarının değişimi Şekil 7.17’de görülmektedir. Ateşleme avansının artırılması, çevrimde yanmanın daha erken olmasına neden olur ve maksimum basınç değerlerini yükseltir. Bunun nedeni, yakıtın büyük bir bölümü piston ÜÖN’da iken ya da hemen öncesinde yakıldığı içindir ve yanma sonucu oluşan basınç pikleri de yanma odasının daha küçük olduğu pistonun ÜÖN civarında oluşur. Yüksek silindir basınçları, yanmış gazların maksimum sıcaklıklarının daha yüksek değerlere ulaştırır ve bu da yanmış gazların yüksek sıcaklıklarda daha uzun süre kalmasına neden olur. Bu durum NO_x oluşumunu arttırmaktadır. Ancak ateşleme avansındaki azalma, yakıtın büyük bir kısmı pistonun ÜÖN’yu geçmesinden sonra yakılacağı için, maksimum basınç ve sıcaklık değerlerini düşürür. Bu durum NO_x oluşumunu azaltsa da, motorun gücünü düşürmekte ve ÖYT’ni arttırmaktadır. 3500 1/min’de, HFK’nın 1 olduğu ve tam yük şartlarında yapılan deneylerde F0 yakıtına göre, ateşleme avansına bağlı olarak tüm yakıtlarda NO_x’lerin azaldığı görülmektedir. En büyük azalma ortalama %30,29 ile F50 yakıtında görülmüştür.



Şekil 7.17. NO_x emisyonlarının ateşleme avansına bağlı olarak değişimi (Tam yük, $\lambda=1$, 3500 1/min)

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Etil alkol üretiminde yan ürün olarak elde edilen fuzel yağı, farklı alkol türlerinin karışımından meydana gelmektedir. Ülkemizde etkin olarak değerlendirilmeyen fuzel yağı, kimyasal ve fiziksel özellikleri incelendiğinde buji ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak değerlendirilebileceği görülmüştür. Literatür araştırmalarında fiziksel olarak benzer özellik gösteren etanol incelendiğinde, soğukta ilk hareket zorluğu problemi nedeniyle bu çalışmada fuzel yağı çeşitli oranlarda kurşunsuz benzinle karıştırılarak kullanılmıştır. %5, %10, %20, %30 ve %50 fuzel yağı içeren fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımları hazırlanmıştır. Yapılan deneylerde motor momenti, efektif güç, termik verim, özgül yakıt tüketimi, ortalama efektif basınç, egzoz gaz sıcaklığı ve egzoz emisyonları değerleri 1500-5000 1/min motor devirlerinde ve 10-24° KMA ateşleme avansı aralıklarında birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Deneylerde elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Motor tam yük konumunda ve HFK'nın 1 olduğu şartlarda farklı motor devirlerinde ve 24° ateşleme avansında gerçekleştirilen deneyler incelendiğinde en yüksek motor momenti tüm yakıtlarda 3500 1/min'de elde edilmiştir. En yüksek motor momenti F10 yakıtı kullanımında 33,53 Nm ölçülmüştür. 24° ateşleme avansında tüm yakıtlarda 1500 ve 2000 1/min motor devirlerinde vuruş sebebiyle ölçüm yapılamamıştır.

Ateşleme avansına bağlı olarak 3500 1/min motor devrinde ve HFK'nın 1 olduğu şartlarda motor momenti incelendiğinde tüm yakıtların 24° ve 26° ateşleme avanslarında maksimum değerlere ulaştığı görülmektedir. Yakıtlar arasındaki önemli farklılık avans değerleri düştükçe kendini göstermektedir. 10°'lik ateşleme avansında F0 yakıtına göre F5 yakıtında motor momti %4,86 artarken, F50 yakıtında %11,76 daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Aynı deney şartlarında efektif güç değerleri incelendiğinde, yüksek motor devirlerine çıkıldıkça artış eğilimi azalsa da, tüm yakıtlarda efektif güç 5000 1/min motor

devrine kadar artış göstermiştir. Tüm yakıtlardan elde edilen efektif güç değerleri her motor devrinde birbirine yakın sonuçlar vermiş ve en yüksek efektif güç 5000 1/min motor devrinde, F20 yakıtıyla 15,1 kW elde edilirken, F0 yakıtına göre %2,96 artış göstermiştir.

Motorun tam yük şartlarında, HFK'nın 1 olduğu durumda ve 24°'lik ateşleme avansında değişken motor devirlerinde özgül yakıt tüketimi değerleri incelendiğinde, karışımdaki fuzel yağı miktarlarına bağlı olarak artış göstermektedir. Fuzel yağının alt ısııl değeri kurşunsuz benzinden yaklaşık %41 daha düşüktür. hazırlanan karışımlarda fuzel yağı miktarı arttıkça karışımın ısııl değeri azalmakta ve yakıt tüketimi artış göstermektedir. Motordan aynı miktarda güç elde edebilmek için daha fazla fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımına ihtiyaç duyulmaktadır. F50 yakıtıyla maksimum motor momentinin elde edildiği 3500 1/min'de F0 yakıtına göre ÖYT % 18,89 artış göstermiştir.

Motor devrine bağlı olarak, tam yükte, HFK'nın 1 ve ateşleme avansının 24° olduğu durumda ortalama efektif basınç değerleri incelendiğinde, tüm yakıtlarda maksimum motor momentinin elde edildiği devirde OEB'in da maksimum değeri vermektedir. 3500 1/min'de F0 yakıtına göre maksimum artış %1,92 ile F10 yakıtında (936,81 kPa) gerçekleşmiştir.

Efektif termik verim, yalnızca kurşunsuz benzin kullanımına göre fuzel yağı içeren yakıtlarda daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bu artış özellikle 3000-3500 1/min devirlerinde daha belirgindir. F0 yakıtıyla karşılaştırıldığında ortalama efektif termik verimde en yüksek artış %4,13 ile F50 yakıtında görülmüştür. Kurşunsuz benzine kıyasla daha yüksek motor momenti ve efektif güç sağlaması efektif termik verimin artmasına neden olmaktadır.

Motorun tam yük konumunda, HFK'nın 1 ve ateşleme avansının 24° olduğu durumda, motor devrine bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi incelendiğinde tüm yakıtlarda artan motor devriyle beraber HC emisyonları azalmaktadır. Motor devrinin artması, yanma için gerekli olan sürenin azalmasına neden olsa da, silindir

içerisindeki sıcaklığın artmasıyla HC emisyonlarının oluşmasında önemli olan yanma reaksiyonlarını hızlandırdığından HC emisyonları azalmaktadır. F0 yakıtına göre fuzel yağı-kurşunsuz benzin karışımları incelendiğinde HC emisyonları artış göstermiştir. En yüksek artış F50 yakıtında ortalama %39,64 ile gerçekleşmiştir.

Ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi incelendiğinde, ateşleme avansının artmasıyla HC emisyonları da artmaktadır. Genel olarak, yanma odasında son gaz bölgesi olarak adlandırılan soğuk cidarların yakın bölgelerinde alev sönmesinden dolayı HC emisyonları oluşmaktadır. Egzoz gaz sıcaklığının ateşleme avansının artmasına bağlı olarak düşmesiyle, silindir cidarlarındaki sıcaklık daha da düşecektir. Silindir cidarlarının daha düşük sıcaklıkta olmasından dolayı HC emisyonları artış göstermektedir. F0 yakıtına göre en yüksek kötüleşme ortalama %38,46 ile F50 yakıtında elde edilmiştir.

CO emisyonu, genel olarak deney esnasında HFK'da meydana gelen küçük değişimlerden etkilenmektedir. Artan motor devrine bağlı olarak tüm yakıtlarda CO emisyonları azalmaktadır. Kurşunsuz benzin kullanımına göre fuzel yağı içeren yakıtlar incelendiğinde, yakıt içerisindeki fuzel yağı miktarına bağlı olarak CO emisyonları artış göstermiştir. Bu artış ortalama olarak en yüksek %16,94 ile F50 yakıtında elde edilmiştir.

Ateşleme zamanına bağlı olarak CO emisyonu tüm test akıtlarında 10° krank mili açısında diğer ateşleme zamanlarına göre biraz daha yüksek değer almaktadır. Ateşlemenin geciktirilmesiyle yanmanın tamamlanması için tanınan sürenin azalması, CO emisyonunun bir miktar artmasına neden olmaktadır. Ateşleme avansının 10°'den 26°'ye artırılması durumunda F0 yakıtına göre en ortalama en yüksek azalma %59,77 ile F20 yakıtında gerçekleşmiştir.

NO_x emisyonları F0 yakıtına göre F5, F10, F20, F30 ve F50 yakıtlarında sırası ile ortalama %2,22, %2,76, %2,27, %2,28 ve %4,31 oranlarında azalma meydana gelmiştir. NO_x oluşumunun en temel sebebi silindir içerisinde yanma sonu sıcaklıklarının çok yüksek değerlere ulaşmasıdır. Fuzel yağı-kurşunsuz benzin

karışımı yakıtlarda, yanma sonu sıcaklıklarının F0 yakıtına göre daha düşük olması NO_x emisyonlarının azalmasına neden olmuştur.

Kurşunsuz benzin-fuzel yağı karışımlarının en önemli dezavantajı özgül yakıt tüketiminin, karışımdaki fuzel yağı miktarına bağlı olarak artmasıdır. Bu özellik nedeniyle buji ile ateşlemeli motorlarda fuzel yağı içeren yakıtların kullanımında yakıt sisteminin motora daha fazla yakıt sağlayacak şekilde düzenlenmesini gerektirmektedir.

Yapılan bu çalışmada sıkıştırma oranı 11 olan bir deney motoru kullanılmıştır ve bu nedenle tam yük şartlarında yapılan deneylerin bazılarında motorun 1500 ve 2000 1/min durumlarında ölçüm yapılamamıştır. Daha düşük sıkıştırma oranına sahip bir motor ile fuzel yağının kullanılabilirliği araştırılabilir.

Hava fazlalık katsayısındaki küçük değişikliklerin CO emisyonlarını fazlasıyla etkilediği görülmektedir. bu çalışmada tüm deneyler HFK'nın 1 olduğu şartlarda gerçekleştirilmiştir. Farklı HFK değerlerinde emisyonların değişkenliği incelenebilir.

Fuzel yağının ülkemizde yıllık eldesi yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir. Fuzel yağının benzin ile yakıt karışımı olarak kullanımı durumunda ekonomik olarak yılda sağlayacağı getirinin analizi incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Fidan, A., "Türkiye'de enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara, 2-8 (2006).
2. Önal, G., "21. Yüzyılın güvenilir enerji kaynağı kömür", *Türkiye 9. Enerji Kongresi*, İstanbul, 5-8 (2003).
3. Sher, E., "Handbook of Air Pollution From Internal Combustion Engines Pollutant Formation and Control", *Academic Press*, San Diego, 124 (1998).
4. Topgül, T., "Buji ile ateşlemeli motorlarda etil alkol-benzin karışımı kullanımında optimum çalışma parametrelerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5,6,11,44 (2006).
5. Taylor, A.B., Moran, D.P., Bell, A.J., Hodgson, N.G., "Gasoline-alcohol blends; exhaust emissions, performance and burn-rate in a multi-valve production engine", *SAE Paper*, No:961988 (1996).
6. Ateşok, G., "Enerjinin stratejik önemi ve Türkiye", *Türkiye 9. Enerji Kongresi*, DEKTMK Yayını, İstanbul, 8 (2003).
7. Sayın, C., Çanakçı, M., Kılıçaslan, İ. ve Özsezen, N., "Çift yakıt (benzin + LPG) kullanımının motor performansı ve emisyonlar üzerine etkisinin deneysel analizi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (4): 483-490 (2005).
8. Çolak, A., "Buji ateşlemeli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 12-14 (2006).
9. Wu, C.W., Chen, R.H., Qu, J.Y. ve Lin, T.H., "The influence of air-fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels", *Atmospheric Environment*, 38:7093-7100 (2003).
10. Bayraktar, H., "Experimental and theoretical investigation of using gasoline ethanol blends in spark ignition engines", *Renewable Energy*, 30:1733-1747 (2005).
11. Abdel-Rahman, A.A., Osman, M.M., "Experimental investigation on varying the compression ratio of SI engine working under different ethanol-gasoline fuel blends", *International Journal of Energy Research*, 21:31-40 (1997).
12. Hsieh, W.D., Chen, R.H., Wu, T.L., Lin, T.H., "Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels", *Atmospheric Environment*, 36:403-410 (2002).

13. Al Hasan, M., “Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions”, *Energy Conversion and Management*, 44:1547-1561 (2003).
14. İmrağ, H., “Benzinli motorlarda biyoetanol kullanımının motor karakteristik değerlerine ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 8-11, 14-16 (2006).
15. Aktaş, A., “Benzin biyodizel ve benzin-biyodizel-etanol karışımlarının buji ateşlemeli motor performans ve emisyonlarına etkisi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6:43-53 (2009).
16. Bayındır, H., “Etanol-benzin karışımlarının benzinli motorlarda motor karakteristikleri ve hava kirliliğine etkileri”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 76, 128-130 (1998).
17. Çetinkaya, S. ve Çelik, M. B., “Buji ile ateşlemeli motorlarda yakıt olarak metanol-benzin karışımlarının kullanılması”, *5. Yanma Sempozyumu*, Bursa, 255-266 (1997).
18. Akyaz, S., “Benzin-tersiyer bütül alkol ve benzin-naftalin karışımlarının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 8-16 (2007).
19. Yücesu, H.S., “Doğalgazın benzin motorlarında kullanımı amaca uygun gaz karıştırıcının tasarımı ve imalatı”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-13 (1991).
20. Bayka, D., “Doğalgazın taşıtlarda yakıt olarak kullanımı”, *III. LPG-CNG Kongresi ve Sergisi*, Ankara, 9-11 (2007).
21. Karabektaş, M., Ergen, G., “Taşıtlarda doğalgaz kullanım teknolojileri”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 1-3 (2009).
22. Mohamed, Y., Selim, E., “Sensitivity of duel fuel engine combustion and knocking limits to gaseous fuel combustion”, *Energy Conversion and Management*, 45:411-425 (2004).
23. Sayın, C., Çanakçı, M., Kılıçarslan, İ., “Benzinli bir motorda benzin+LPG kullanımının performans ve emisyonlara etkisi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Kayseri, 21:117-127 (2005).

24. Karamangil, M.I., "Development of the autogas and LPG-powered vehicle sector in Turkey: a statistical case study of the sector for Bursa", *Energy Policy*, Bursa, 35:640-649 (2007).
25. Koca, A., "Yenilenebilir bir enerji kaynağı: biyogaz", *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, Elazığ, 32-34 (2007).
26. Ciniviz, M., Haşimoğlu, C., Uçar, G., "Günümüzde içten yanmalı motorlarda hidrojen yakıtının kullanılması", *Selçuk Üniversitesi On-Line Dergisi*, 1-3 (2002).
27. Arsan, E., Soruşbay, C., "Hidrojenin içten yanmalı motorlarda yanma performansı", *Mühendis ve Makine Dergisi*, 29:23-28 (1988).
28. Kim, Y.T., Kim, J.M., Lee, J.T., Lee, S.Y., "A study on developing the hydrogen fueled engine of the direct injection method", *KHES*, 1-15 (1992).
29. Jorach, R., Enderle, C., Decker, R., "Development of low-NO_x truck hydrogen engine with high specific power output", *International Journal of Hydrogen Energy*, 22:423-427 (1997).
30. Haşimoğlu, C., Özsert, İ., İçingür, Y., "Biyodizel yakıtlı düşük ısı kayıplı bir dizel motorunun tam yük egzoz emisyon karakteristikleri", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6:11-18 (2009).
31. Baliç, F., "Dizel motorunda etil alkol fumigasyonunun motor performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 12,13 (2007).
32. Valenti, M., "Alternative fuels: paving the way to energy independence", *Journal of Mechanical Engineering*, 42-46 (1991).
33. Salman, M. S., Sümer, M., "Buji ateşlemeli motorlarda etanol ve etanol-benzin karışımlarının motor performansına etkileri", *Politeknik Dergisi*, 2:27-35 (1999).
34. Ayhan, V., "Metanol-benzin karışımlarının MgO-ZrO₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 15,16 (2006).
35. Kirk, R.E., Othmer, D.F., "Encyclopedia of chemical technology", *New York: Wiley*, 2:709-728 (1992).
36. Welsh, F.W., Williams, R.E., "Lipase mediated production of flavor and fragrance esters from fusel oil", *Journal of Food Science*, 54:1565-1568 (1989).

37. Erdem, F., Durukan, E., “Füzel yağının fraksiyonlarına ayrılması ve değerlendirilmesi”, *Şeker Enstitüsü Raporu*, 21 (1991).
38. Patil, A.G., Koolwal, S.M., Butala, H.D., “Fusel oil: composition, removal and potential utilization”, *International Sugar J.*, 104:51-58 (2002).
39. Güvenç, A., Aydoğan, Ö., Kapucu, N., Mehmetoğlu, Ü., “Fuzel yağından izoamil asetat üretimi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4):801-808 (2007).
40. Sunay,Ç., “İnsanlık geleceği ile mi oynuyor? İklim değişiyor”, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 392:22 (2000).
41. Heywood, J.B., “Internal Combustion Engines Fundamentals”, *Mc Graw Hill Company*, 147 (2000).
42. İlkılınç, C., Behçet, R., “Hava kirliliğinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkisi”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 66-72 (2006).
43. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen A., “Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara, 24 (1992).
44. Soruşbay, C. ve Gökten, A. G., “Motorlu taşıtlardan kaynaklanan çevre kirliliği ve kontrolü”, *İTÜ 1. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu*, 157-166 (1993).
45. Buğdaycıoğlu, C., “Adaption of a dual carburetor system to an automotive SI engine and its performance analysis with different methanol-gasoline mixtures”, Master Thesis, *METU*, Ankara, 40-42 (1979).
46. Çelik B., Balcı, M., “Buji ile ateşlemeli bir motorun sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi ve kısmi yüklerde performansa etkisinin araştırılması”, *6. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, İstanbul, 323-348 (1999).
47. Al-Fareyedhi, A., “Effects of octane number on exhaust emissions of a spark ignition engine”, *International Journal of Energy Research*, 26(4): 279-289 (2002).
48. Fanick, E. R., Whitney, K. A. And Bailey, B. K., “Particulate characterization using five fuels”, *SAE Paper*, 961089:1-9 (1996).
49. Topgül, T., Yücesu, H.S., Çınar, C., Koca, A., “The effects of ethanol-unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions”, *Renewable Energy*, 31(1): 2534-2542 (2006).

EKLER

EK-1 Deneysel veriler

Çizelge 1.1. Motor devri ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi ($\lambda:1$, Tam yük)

Motor Momenti (Nm) (Avans 10°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	29,655116	30,816895	30,764095	31,226102	30,668481	29,51037
2000	29,819258	31,709755	31,719367	31,923648	31,505336	30,046532	
2500	28,834402	30,350139	30,123629	30,637547	29,990243	28,824082	
3000	27,217748	28,147953	28,094902	28,831841	28,066827	26,949312	
3500	25,8702	27,128639	27,615523	29,190068	28,03832	27,912277	
4000	25,20615	27,269575	27,187695	28,20478	27,631751	27,147532	
4500	23,378705	24,001609	23,30947	24,08715	23,709493	26,012331	
5000	20,13836	20,006262	19,876167	21,470725	20,778494	21,743524	
Motor Momenti (Nm) (Avans 15°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	30,432058	30,377438			31,108134	30,571971
2000	32,17197	32,586927	32,967734	33,177052	33,106391	31,965993	
2500	31,373143	31,994836	32,272991	32,490405	32,257509	31,204643	
3000	29,578516	30,536538	31,05719	31,226102	30,817634	29,54254	
3500	30,109867	30,937781	30,818606	31,80621	31,236702	31,032541	
4000	29,721981	30,419564	30,634963	31,111467	30,665566	30,318321	
4500	27,051723	27,674766	27,363761	27,934555	27,601613	27,450253	
5000	24,250638	24,367869	24,066337	25,162029	25,036027	24,386022	
Motor Momenti (Nm) (Avans 20°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	26,372262					
2000	31,843685	32,718503				32,255521	
2500	32,390827	32,926831	33,195696	33,395035	33,503969	32,577218	
3000	30,550236	31,317719	31,890931	32,197003	32,053348	31,247006	
3500	31,893053	32,599396	32,959023	33,325961	32,862117	32,323747	
4000	31,870422	32,303285	32,542442	32,926371	32,702787	32,185664	
4500	29,471337	29,560685	29,726896	30,179782	29,882827	29,266575	
5000	26,811103	26,97165	27,258456	27,881363	27,796219	27,191877	
Motor Momenti (Nm) (Avans 24°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	2500	32,47837					32,620111
3000	31,854628	31,589103	31,740805	32,305557	32,182292	31,44082	
3500	32,89922	33,002666	33,529696	33,499647	33,411254	33,01286	
4000	32,457532	32,740999	33,12626	33,569422	33,296206	32,747859	
4500	29,945144	30,076023	30,517736	30,993854	30,736931	29,839581	
5000	28,012415	28,180155	28,618116	28,842413	28,715191	28,383553	
Motor Momenti (Nm) (Avans 26°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	3000		31,565858	31,752478			31,333145
3500	33,087143	32,730186	33,271278	33,088677	33,486626	33,077465	
4000	32,664463	32,467427	33,028957	31,781959	33,083014	32,799892	
4500	30,469645	29,85673	30,571903	30,939249	30,942348	30,05581	
5000	28,341974	28,443829	28,835662	28,962544	28,758437	28,448553	

EK-1 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 1.2. Motor devri ve ateşleme avansına bağlı olarak efektif güç değişimi ($\lambda:1$, Tam yük)

Efektif Güç (kW) (Avans 10°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	4,6558532	4,8382525	4,829963	4,902498	4,8149515	4,6331281
	2000	6,2421647	6,6379087	6,6399209	6,6826837	6,5951169	6,2897408
	2500	7,5450019	7,9416197	7,8823496	8,0168248	7,8474469	7,5423016
	3000	8,2323729	8,8384573	8,8217992	9,0531981	8,8129837	8,4620839
	3500	9,4771165	10,304458	10,116486	10,693295	10,271371	10,225197
	4000	10,552975	11,416862	11,382582	11,808401	11,568493	11,365767
	4500	11,01137	11,304758	10,97876	11,345048	11,167171	12,251808
	5000	10,539075	10,469944	10,401861	11,236346	10,874078	12,949111
Efektif Güç (kW) (Avans 15°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	4,7778331	4,7692578			4,883977	4,7997995
	2000	6,7346658	6,82153	6,9012456	6,9450629	6,9302712	6,6915479
	2500	8,2093057	8,3719821	8,4447659	8,5016559	8,440715	8,1652149
	3000	9,2876539	9,5884729	9,7519577	9,804996	9,676737	9,2763575
	3500	11,030248	11,333541	11,289883	11,651675	11,443045	11,368254
	4000	12,443603	12,735657	12,825838	13,025334	12,83865	12,693271
	4500	12,741361	13,034815	12,888331	13,157175	13,00036	12,929069
	5000	12,691167	12,752518	12,594716	13,168129	13,102187	12,762018
Efektif Güç (kW) (Avans 20°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	4,1404451					
	2000	6,6659447	6,8490732				6,7521557
	2500	8,4755998	8,6158541	8,6862072	8,7383676	8,7668718	8,5243721
	3000	9,5927741	9,8337637	10,013752	10,109859	10,064751	9,81156
	3500	11,683488	11,942246	12,073989	12,20841	12,038489	11,841266
	4000	13,343083	13,524309	13,624436	13,785174	13,691567	13,475065
	4500	13,881	13,923082	14,001368	14,214677	14,074812	13,784557
	5000	14,031144	14,115163	14,265259	14,591247	14,546688	14,230415
Efektif Güç (kW) (Avans 24°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	2500	8,4985069					8,5355958
	3000	10,002353	9,9189783	9,9666128	10,143945	10,10524	9,8724173
	3500	12,052081	12,089976	12,283045	12,272037	12,239656	12,093711
	4000	13,588887	13,707565	13,868861	14,054398	13,940012	13,710437
	4500	14,104163	14,165807	14,373854	14,598105	14,477095	14,054443
Efektif Güç (kW) (Avans 26°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	3000		9,9116795	9,9702782			9,8386077
	3500	12,120923	11,990158	12,188378	12,121485	12,267267	12,117378
	4000	13,675522	13,59303	13,828123	13,306047	13,850755	13,732222
	4500	14,351203	14,06252	14,399366	14,572386	14,573846	14,156287
5000	14,8323	14,885604	15,090663	15,157065	15,050249	14,888076	

EK-1 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 1.3. Motor devri ve ateşleme avansına bağlı olarak ortalama efektif basınç değişimi ($\lambda:1$, Tam yük)

Ortalama Efektif Basınç (kPa) (Avans 10°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	828,55155	861,01117	859,53598	872,44425	856,86454	824,50742
	2000	833,13763	885,95732	886,22588	891,9334	880,24592	839,48757
	2500	805,62115	847,97021	841,64162	856,00027	837,91486	805,33283
	3000	732,51293	786,44206	784,95982	805,5496	784,17543	752,95251
	3500	722,80258	785,90242	771,56617	815,55831	783,37895	779,85735
	4000	704,24931	761,90054	759,61284	788,02976	772,01959	758,49071
	4500	653,19124	670,59494	651,25686	672,98492	662,43335	726,77366
	5000	562,65737	558,96661	555,33182	599,88308	580,54244	691,32374
Ortalama Efektif Basınç (kPa) (Avans 15°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	850,25899	848,73294			869,14826	854,16811
	2000	898,87142	910,46513	921,10472	926,95298	924,97875	893,1165
	2500	876,5525	893,92235	901,69388	907,76834	901,26134	871,84469
	3000	826,41138	853,17812	867,72492	872,44425	861,03182	825,40623
	3500	841,25712	864,38869	861,05898	888,65223	872,74041	867,03623
	4000	830,41973	849,90991	855,92808	869,2414	856,78312	847,08124
	4500	755,81383	773,22139	764,53206	780,47979	771,17753	766,94859
	5000	677,55269	680,82809	672,40341	703,01659	699,49613	681,33526
Ortalama Efektif Basınç (kPa) (Avans 20°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	736,82997					
	2000	889,69926	914,1413				901,20578
	2500	904,98619	919,9619	927,4739	933,04334	936,0869	910,19387
	3000	853,56084	875,00399	891,01928	899,57082	895,55716	873,02831
	3500	891,07858	910,81352	920,86135	931,11343	918,15382	903,11198
	4000	890,44628	902,54028	909,22224	919,94907	913,70222	899,25402
	4500	823,41684	825,91318	830,55707	843,21051	834,91371	817,69588
	5000	749,09103	753,57662	761,58989	778,99364	776,61474	759,72968
Ortalama Efektif Basınç (kPa) (Avans 24°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	2500	907,4321					911,39228
	3000	890,005	882,58634	886,82484	902,60377	899,1598	878,44337
	3500	919,19046	922,08069	936,8057	935,96614	933,4965	922,36554
	4000	906,84989	914,76983	925,53387	937,91563	930,2821	914,96152
	4500	836,65481	840,31152	852,65279	865,95533	858,77702	833,70544
Ortalama Efektif Basınç (kPa) (Avans 26°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	3000		881,93689	887,15099			875,435
	3500	924,44095	914,46774	929,58562	924,48382	935,60235	924,17056
	4000	912,63146	907,12636	922,81526	887,97467	924,3256	916,41529
	4500	851,30915	834,18457	854,1662	864,42968	864,5163	839,74679
5000	791,86292	794,70871	805,65634	809,20138	803,49872	794,84069	

EK-1 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 1.4. Motor devri ve ateşleme avansına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi ($\lambda:1$, Tam yük)

Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh) (Avans 10°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	280,8306	269,65582	270,51077	236,80088	259,48788	309,36145
	2000	282,70735	269,19564	265,12232	226,728	228,55202	296,86755
	2500	290,93723	277,93258	297,08366	252,70433	243,84192	322,86892
	3000	319,97413	299,86079	331,9523	272,86107	262,2998	338,08778
	3500	288,21	301,10	305,78	311,81	316,86	339,73
	4000	342,27696	309,5449	321,96069	299,28111	295,0601	332,94389
	4500	344,14189	344,27025	347,48061	296,65229	327,06137	350,77699
	5000	378,13943	390,13773	413,16186	375,60241	365,41119	351,02445
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh) (Avans 15°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	267,50757	270,906			239,94278	281,47285
	2000	238,63736	267,6623	270,09577	207,36918	226,34431	295,27558
	2500	269,03481	266,80809	271,58604	232,70576	245,91821	299,65657
	3000	274,90166	279,83912	296,0358	244,93647	256,56981	300,68442
	3500	278,66	288,26	297,45	303,81	308,65	324,73
	4000	278,17816	280,61309	288,17599	274,10029	261,89599	313,84897
	4500	294,31706	291,94867	309,32716	291,183	270,16138	342,34712
	5000	316,35151	334,60749	333,01065	332,99314	295,76241	375,61525
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh) (Avans 20°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	340,96931					
	2000	277,52234	259,56472				287,05836
	2500	286,99236	266,02358	259,7348	241,29808	234,24802	292,12716
	3000	266,78849	274,56425	269,83157	255,26025	251,00628	303,06784
	3500	260,61	275,59	280,45	289,98	301,29	312,81
	4000	255,33379	261,82363	277,5537	258,73527	254,70027	297,61618
	4500	270,15346	280,43756	273,72363	290,87981	255,52055	314,27416
	5000	292,11244	289,71398	285,6921	292,09542	300,70354	331,26922
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh) (Avans 24°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	2500	268,88178					291,55085
	3000	264,93813	266,34585	271,11441	269,9519	278,58675	293,12888
	3500	256,91	262,63	265,44	278,39	289,35	305,42
	4000	262,73292	261,58238	267,69437	271,03066	273,19533	293,81613
	4500	271,36205	283,41978	276,33846	270,6006	292,65663	298,07614
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh) (Avans 26°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	3000		260,61316	266,21271			293,50703
	3500	264,37	268,80	276,17	294,02	304,70	315,68
	4000	266,89159	267,33676	263,32335	256,28704	249,19811	283,71985
	4500	273,3564	275,56474	278,099	260,41032	257,22094	306,63663
5000	280,81011	277,13262	293,30915	279,09871	255,19065	324,27927	

EK-1 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 1.5. Motor devri ve ateşleme avansına bağlı olarak efektif termik verim değişimi ($\lambda:1$, Tam yük)

Efektif Termik Verim (%) (Avans 10°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	29,41513	30,92149	31,18052	35,61924	33,19491	29,40015
	2000	29,21986	30,97435	31,81425	37,2017	37,68804	30,63748
	2500	28,39331	30,00065	28,39155	33,37761	35,32484	28,17017
	3000	25,81668	27,80677	25,40927	30,91195	32,83905	26,90211
	3500	25,87831	26,80233	25,65406	29,2046	29,21289	26,77222
	4000	24,13446	26,93683	26,19781	28,18309	29,19296	27,31774
	4500	24,00367	24,21981	24,27378	28,43284	26,33658	25,92893
	5000	21,84557	21,37235	20,41492	22,45637	23,57256	25,91065
Efektif Termik Verim (%) (Avans 15°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	30,88014	30,77879			35,89888	32,31314
	2000	30,616	31,15179	31,22843	31,67464	31,05564	30,80266
	2500	30,70484	31,25152	31,05707	32,24606	32,02659	30,35232
	3000	30,04955	29,79626	28,49205	34,43614	33,57245	30,24857
	3500	32,05977	29,64527	28,3563	33,49642	30,58305	30,24373
	4000	29,69561	29,71408	29,26915	30,77219	32,88969	28,97978
	4500	28,06725	28,56036	27,26778	28,96689	31,88345	26,5674
	5000	26,11231	24,91922	25,32852	25,32985	29,12363	24,21433
Efektif Termik Verim (%) (Avans 20°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	24,22702					
	2000	29,76578	32,12362				31,6844
	2500	28,78359	31,34368	32,47415	32,95538	32,77161	31,13464
	3000	30,96337	30,3687	31,259	32,0434	32,31658	30,01068
	3500	31,69752	31,75379	31,41955	33,8765	33,87391	31,60184
	4000	32,35244	31,84647	30,38931	32,5996	33,81888	30,56041
	4500	30,5777	29,73267	30,81454	28,99708	33,71031	28,94057
	5000	28,27908	28,78066	29,52363	28,87641	28,64508	27,45583
Efektif Termik Verim (%) (Avans 24°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	2500	30,161444					32,304193
	3000	30,936674	31,305758	31,695639	32,344942	31,028239	32,374031
	3500	32,153631	32,13601	32,814995	32,851892	32,784801	33,184004
	4000	31,44132	31,875842	31,508568	31,203341	30,955662	31,565964
	4500	29,569764	29,419819	30,522955	30,170169	30,513254	30,692366
Efektif Termik Verim (%) (Avans 26°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	3000		31,99439	31,68394			30,98826
	3500	31,60489	32,34404	32,92613	32,87196	32,08716	32,17545
	4000	30,95141	31,18972	32,03159	32,91101	32,56558	32,05723
	4500	30,21941	30,25844	30,32973	32,38991	32,48746	29,6614
5000	29,41728	30,08725	28,75692	30,22109	32,75389	28,04765	

EK-1 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 1.6. Motor devri ve ateşleme avansına bağlı olarak egzoz gazı sıcaklığı değişimi ($\lambda:1$, Tam yük)

Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C) (Avans 10°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	561,7	560,4	576,1	556,6	548,4	560,5
	2000	632,6	628,5	633,1	626,5	629,6	630,1
	2500	692,5	676,3	696,8	688,6	699,6	697,1
	3000	733,1	727,1	733,1	715,6	730,9	732,8
	3500	781,4	771,8	783,1	767,8	778,7	776,9
	4000	816,7	801,1	809,7	798,8	800,8	798,1
	4500	847,8	842,3	852,9	840,3	843,8	826,4
	5000	879,9	885,1	890,1	873,6	889,1	866,7
Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C) (Avans 15°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	528,5	524,6			536,2	541,2
	2000	613,8	606,3	612,2	606,8	604,5	605,3
	2500	669,4	661,6	670,2	664,6	667,9	667,7
	3000	707,9	694,4	699,2	688,6	695,7	697,3
	3500	744,8	736,7	743,8	733,7	737,3	730,4
	4000	774,8	766,8	772,5	765,7	764,3	758,7
	4500	810,5	804,8	816,9	806,4	802,6	792,4
	5000	838,4	838,9	845,6	831,4	824,8	821
Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C) (Avans 20°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	456,1					
	2000	574,8	583,6				581,8
	2500	637,4	632,8	633,3	626,1	642,5	637,5
	3000	670,5	667,8	673,3	665,7	669,4	666,4
	3500	713,3	706,1	712,2	704,3	711,8	701,1
	4000	733,8	732,3	743,6	733,8	733,1	727,4
	4500	765,1	770,6	775,6	769,4	767,8	754,5
	5000	798	798,9	801,2	787,6	786,2	783,7
Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C) (Avans 24°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	2500	624,4					621,8
	3000	658,1	651,8	656,8	642,1	648,9	652
	3500	696,7	694,3	692,1	682,9	689,3	684,2
	4000	716,9	715,4	718,9	712,3	711,7	709,2
	4500	744,8	734,2	747,7	743,3	744,3	734,2
5000	775,3	771,5	772,3	765,7	764,1	761,5	
Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C) (Avans 26°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	3000		641,5	650,2			641,8
	3500	680,7	678,9	679,1	669,5	679,2	676,3
	4000	701,1	703,2	707,2	698,2	703,8	703,6
	4500	733,5	725,7	740,9	730,1	730,6	721,1
5000	763,6	761,8	761,2	753,7	751,9	752,1	

EK-1 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 1.7. Motor devri ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonları değişimi ($\lambda:1$, Tam yük)

HC Emisyonları (ppm) (Avans 10°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	260	237	209	230	196	292
	2000	250	221	182	228	217	346
	2500	184	185	109	170	146	262
	3000	129	176	158	134	138	236
	3500	90	148	132	99	102	152
	4000	74	155	159	93	102	141
	4500	66	144	164	75	91	129
	5000	44	39	166	61	70	112
HC Emisyonları (ppm) (Avans 15°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	269	248			187	301
	2000	260	234	190	220	216	357
	2500	194	189	168	180	166	271
	3000	171	197	188	151	150	244
	3500	144	184	164	127	127	154
	4000	136	187	191	113	126	158
	4500	124	167	192	94	110	85
	5000	107	59	184	81	102	72
HC Emisyonları (ppm) (Avans 20°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	180					
	2000	198	234				297
	2500	165	177	176	173	151	261
	3000	214	200	207	151	150	243
	3500	191	195	201	140	142	162
	4000	186	202	209	132	141	166
	4500	151	194	214	114	131	98
	5000	135	86	201	98	119	94
HC Emisyonları (ppm) (Avans 24°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	2500	151					194
	3000	144	151	158	169	168	172
	3500	136	131	151	158	164	168
	4000	114	111	121	131	143	151
	4500	105	115	116	121	129	140
HC Emisyonları (ppm) (Avans 26°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	3000		203	194			174
	3500	172	202	225	131	147	176
	4000	136	216	230	120	144	174
	4500	118	117	242	122	144	103
5000	102	107	210	112	127	101	

EK-1 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 1.8. Motor devri ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonları değişimi ($\lambda:1$, Tam yük)

CO Emisyonları (% Hacimsel) (Avans 10°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	0,665	0,974	0,819	0,719	0,859	0,521
	2000	0,603	0,856	0,742	0,642	0,629	0,38
	2500	0,778	0,782	0,596	0,685	0,522	0,53
	3000	0,618	0,885	0,649	0,742	0,585	0,415
	3500	0,605	0,631	0,412	0,614	0,479	0,571
	4000	0,553	0,683	0,613	0,604	0,484	0,517
	4500	0,547	0,598	0,439	0,588	0,562	0,426
	5000	0,526	0,446	0,289	0,415	0,471	0,451
CO Emisyonları (% Hacimsel) (Avans 15°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	0,789	1,214			0,982	0,787
	2000	0,612	0,958	0,754	0,734	0,912	0,379
	2500	0,594	0,811	0,622	0,826	0,519	0,442
	3000	0,615	0,923	0,655	0,729	0,611	0,514
	3500	0,511	0,701	0,513	0,64	0,465	0,483
	4000	0,526	0,745	0,661	0,642	0,548	0,514
	4500	0,597	0,737	0,543	0,68	0,641	0,658
	5000	0,583	0,615	0,418	0,515	0,486	0,633
CO Emisyonları (% Hacimsel) (Avans 20°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	1,815					
	2000	0,556	0,705				0,448
	2500	0,628	0,99	0,919	0,964	0,743	0,701
	3000	0,535	0,952	0,823	0,804	0,74	0,686
	3500	0,45	0,757	0,557	0,69	0,665	0,557
	4000	0,525	0,81	0,694	0,796	0,566	0,528
	4500	0,54	0,836	0,611	0,761	0,731	0,637
	5000	0,642	0,702	0,692	0,614	0,535	0,744
CO Emisyonları (% Hacimsel) (Avans 24°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	2500	1,008					1,19
	3000	0,916	1,016	1,104	1,139	1,15	1,131
	3500	0,86	0,884	0,889	0,874	0,903	0,988
	4000	0,815	0,846	0,81	0,838	0,886	0,919
	4500	0,805	0,836	0,854	0,958	0,956	0,984
	5000	0,792	0,814	0,826	0,914	0,939	0,916
CO Emisyonları (% Hacimsel) (Avans 26°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	3000		0,769	0,66			0,613
	3500	1,017	0,701	0,908	0,981	0,721	0,657
	4000	0,983	0,691	0,962	0,889	0,743	0,689
	4500	1,132	0,984	0,784	1,037	0,989	0,704
5000	0,882	0,86	0,796	0,698	0,627	0,783	

EK-1 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 1.9. Motor devri ve ateşleme avansına bağlı olarak NOx emisyonları değişimi ($\lambda:1$, Tam yük)

NOx Emisyonları (ppm) (Avans 10°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	1185	761	770	786	710	729
	2000	1082	771	824	807	811	732
	2500	882	702	745	709	721	608
	3000	792	578	629	650	656	532
	3500	713	568	606	630	604	415
	4000	686	559	595	615	615	354
	4500	611	495	517	524	426	287
	5000	487	346	416	471	398	236
NOx Emisyonları (ppm) (Avans 15°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	997	858			767	759
	2000	1016	862	938	926	874	910
	2500	936	810	915	853	935	784
	3000	851	742	844	852	889	731
	3500	879	749	839	849	855	660
	4000	873	772	824	822	768	629
	4500	731	694	719	716	645	521
	5000	607	526	611	657	601	392
NOx Emisyonları (ppm) (Avans 20°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	1500	859					
	2000	1080	1036				1078
	2500	1139	946	1008	986	1038	904
	3000	1230	899	947	998	1042	898
	3500	1217	965	1068	1044	1054	873
	4000	1215	1001	1053	1041	1031	869
	4500	1107	890	1011	975	889	746
	5000	904	785	1022	936	895	615
NOx Emisyonları (ppm) (Avans 24°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	2500	1038					1070
	3000	1056	1025	1021	1034	1041	1071
	3500	1099	1091	1087	1092	1085	1066
	4000	1087	1078	1090	1098	1112	1071
	4500	1036	1059	1041	1048	1024	1052
5000	1021	1010	998	991	1001	1001	
NOx Emisyonları (ppm) (Avans 26°)	Motor Devri(1/min)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	3000		1149	1211			1010
	3500	1097	1201	1190	1165	1259	1051
	4000	1093	1248	1221	1172	1222	1054
	4500	1024	1097	1231	1170	1111	1008
5000	1003	1030	1079	1198	1177	899	

EK-1 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 1.10. Motor yüküne bağlı olarak motor momenti, özgül yakıt tüketimi ve termik verimin değişimi ($\lambda:1$, 3500 1/min, 24° ateşleme avansı)

Motor Momenti (Nm)	Motor Yüğü (%)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	25		18,128893	22,499453	23,065193	22,718478	23,053012
50		26,596039	27,518342	27,768016	28,567721	27,970119	28,145217
75		30,749899	31,613885	32,272422	32,272881	32,045116	31,569412
100		32,89922	33,002666	33,529696	33,499647	33,411254	33,01286
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Motor Yüğü (%)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	25		310,15655	315,46337	321,19937	327,29325	330,99038
50		292,89014	297,60704	305,30977	311,85701	319,50317	326,67192
75		279,80618	286,72879	288,27401	291,89321	298,50377	319,02698
100		256,91	262,63	265,44	278,39	289,35	305,42
Efektif Termik Verim (%)	Motor Yüğü (%)	F0	F5	F10	F20	F30	F50
	25		27,211322	27,412945	28,210192	27,709321	27,194174
50		28,666805	29,493881	29,27842	30,980532	31,15218	31,258307
75		29,845703	31,127793	31,657821	30,063086	30,60651	31,831722
100		32,153631	32,13601	32,814995	32,851892	32,784801	33,184004

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : CALAM, Alper
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 09.04.1985, İZMİR
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 844 32 00
Cep Tel : 0 505 643 51 72
E-mail : acalam@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Fen Bilimleri Enstitüsü/Makine Eğitimi	-
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Teknik Eğitim Fakültesi/Otomotiv Öğretmenliği	2007
Lise	İzmir Anadolu Denizcilik Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009	Gazi Üniversitesi ATAMYO	Uzman
2008-2009	Borusan Oto Ankara	Parça Satış Danışmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Otomobil, opera, yüzme