



**FARKLI ALKOL İÇERİKLERİNİN BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTOR
KAYNAKLI EMİSYONLARA VE KONVERTÖR VERİMİNE ETKİSİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Hasan YILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2023

ETİK BEYAN

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

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

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

Hasan YILDIZ

26/07/2023

FARKLI ALKOL İÇERİKLERİNİN BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTOR KAYNAKLI EMİSYONLARA VE KONVERTÖR VERİMİNE ETKİSİNİN DENEYSEL

İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hasan YILDIZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2023

ÖZET

Enerji, insanoğlunun vazgeçilmez ihtiyaçlarından biridir. Günümüzde bu ihtiyacın öncelikle çevre dostu bir şekilde karşılanması büyük önem taşımaktadır. Ekosistemlerin sağlıklı bir şekilde varlığını sürdürmesi ve soluduğumuz havanın kalitesinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için gerekli çabanın gösterilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu bağlamda, halen önemli ölçüde kullanılan petrol ve petrol türevi enerji kaynaklarının yerini alabilecek veya kullanımını azaltabilecek yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. İçten yanmalı motorlar, özellikle ulaşım alanında hız ve konfor sağlamak için güç gereksinimlerini karşılamakta ancak yanma sistemleri içerdikleri için kaçınılmaz olarak kirletici egzoz emisyonlarına neden olmaktadır. Bu yüzden alternatif yakıtların kullanımı, yanma kontrolü ve emisyon kontrol sistemleri ile çevreye salınan kirletici emisyonları önemli ölçüde azaltabilir. Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarını kontrol etmek için etkin bir şekilde kullanılan üç yollu katalitik konvertörün verimliliği alternatif yakıtlar kullanılarak deneysel olarak araştırılmıştır. Buji ile ateşlemeli motorlar için alternatif yakıt olarak literatürde de sıkça dikkate alınmış olan alkoller kullanılmıştır. Esasen alkolün çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri, buji ile ateşlemeli motorlarda tek başına veya benzinle karıştırılarak kullanılmasına izin vermektedir. Genel olarak düşük alkol içeriğine sahip alkol/petrol karışımları kullanıldığında, benzinle çalışmak üzere tasarlanmış motorlarda herhangi bir değişiklik yapılması gerekmemektedir. Bu nedenle, bu çalışmada hacmen %10 ve %20 alkol içeren karışımlar tercih edilmiştir. Alkol olarak metanol, etanol, propanol ve bütanol kullanılmıştır. Alkol-benzin karışımlarının kullanımı hem motor hem de egzoz (katalitik konvertör sonrası) kirletici egzoz emisyonlarını özellikle de CO emisyonlarını %100'e yakın ölçüde iyileştirmiştir. Bu iyileştirmenin esas olarak alkolün hava-yakıt oranı üzerindeki fakirleştirici etkisinden kaynaklandığı düşüncesi ileri sürülebilir.

Bilim Kodu : 93008

Anahtar Kelimeler : Buji ile ateşlemeli motor, alternatif yakıt, egzoz emisyonları, katalitik konvertör verimi

Sayfa Adedi : 47

Danışman : Prof. Dr. Tolga TOPGÜL

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT ALCOHOL
CONTENTS ON SPARK IGNITION ENGINE EMISSIONS AND CONVERTER
EFFICIENCY

(M. Sc. Thesis)

Hasan YILDIZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2023

ABSTRACT

Energy is one of the indispensable needs of human beings. Today, it has gained significant importance to meet this necessity by considering the environment. It is essential to make the necessary effort to ensure the sustainability of a healthy ecosystem and the air quality we breathe. When viewed from this aspect, there is a need for renewable and sustainable energy sources that can be an alternative to or reduce the use of petroleum and petroleum-based energy sources, which are still in significant use. Although internal combustion engines meet the power requirement for speed and comfort, especially in transportation, they inevitably cause pollutant exhaust emissions due to the containing a combustion system. For this reason, pollutant exhaust emissions released to the environment can be significantly reduced via the use of alternative fuels, combustion control, and emission control systems. In this study, the efficiency of the three-way catalytic converter which is used effectively in the exhaust emission control in spark ignition engines has been investigated experimentally with alternative fuel. Alcohols which are also considered an alternative fuel for spark ignition engines in the literature have been used. In principle, the various physical and chemical properties of alcohols allow them to be used alone or blended with gasoline in spark ignition engines. Generally, in the use of alcohol-gasoline blends with a low percentage of alcohol, there is no requirement to make any modifications to the engine designed to run on gasoline. For this reason, blends containing 10% and 20% alcohol by volume have been preferred in this study. Methanol, ethanol, propanol, and butanol have been used as alcohol. In the use of alcohol-gasoline blends, up to 100% improvements have been achieved in pollutant emissions, especially CO emissions, both at the engine-out and tailpipe (after the catalytic converter). It can be argued that this improvement is mainly due to the leaning effect of alcohol on the air/fuel ratio.

Science Code : 93008

Key Words : Spark ignition engine, alternative fuel, exhaust emissions, catalytic converter efficiency

Page Number : 47

Supervisor : Prof. Dr. Tolga TOPGÜL

TEŞEKKÜR

İlk olarak, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Tolga TOPGÜL'e içten teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Saygın rehberliği, destekleyici yönlendirmeleri ve önerileri olmadan bu çalışmayı tamamlamak mümkün olmazdı. Sabrı ve değerli bilgileri sayesinde tezimdaki eksiklikleri ve hataları düzeltmek için önemli bir rehber oldu. Belki de ailesi ile geçireceği zamandan fedakarlık ederek her zaman desteğini ve yardımlarını esirgemediği için teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bu tezin ve deneylerin gerçekleştirilmesinde katkıda bulunan Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı'na teşekkür etmek istiyorum. İmkanlarını ve kaynaklarını paylaştıkları için minnettarım.

Ayrıca, tez çalışmamın değerlendirme sürecinde emeği geçen jüri üyelerine teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Değerli zamanlarını ayırarak tezimi dikkatle değerlendirdikleri ve geribildirimlerini sundukları için minnettarım.

Son olarak, aileme ve sevdiklerime sonsuz teşekkürlerimi iletmek istiyorum. Beni her zaman destekleyen ve teşvik eden sevgi dolu ortamınız için minnettarım. Sevgili eşime, ona ayırdığım zamandan fedakarlık etmeme rağmen beni desteklediği için ayrıca teşekkür etmek istiyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK ALKOL KULLANIMI.....	3
2.1. Buji ile Ateşlemeli Motorlardan Kaynaklanan Kirletici Emisyonlar.....	4
2.2. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Emisyon Kontrol Yöntemi Olarak Katalitik Konvertör Kullanımı	6
2.3. Üç Yollu Bir Katalitik Konvertörde Meydana Gelen Kimyasal Reaksiyonlar...	9
2.4. Literatür Özetleri	10
3. MATERYAL METOT	17
3.1. Materyal	17
3.2. Metot	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	47

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Katalitik konvertörsüz orta büyüklükteki aracın ortalama egzoz gazı içeriği	5
Şekil 2.2. Eşdeğerlik oranına bağlı olarak buji ile ateşlemeli bir motorda egzoz emisyonlarının değişimi.....	6
Şekil 2.3. Üç yollu katalitik konvertörün veriminin H/Y oranına bağlı olarak değişimi	8
Şekil 2.4. Bir katalitik konvertörün sıcaklığa bağlı verim değişimi.....	9
Şekil 3.1. Test düzeneği şematik gösterimi.....	18
Şekil 4.1. Tam yükte HFK'nin motor devrine bağlı değişimi.....	25
Şekil 4.2. CO emisyonunun ve konvertör veriminin motor devrine bağlı değişimi.....	27
Şekil 4.3. HC emisyonunun ve konvertör veriminin motor devrine bağlı değişimi.....	29
Şekil 4.4. NO emisyonunun ve konvertör veriminin motor devrine bağlı değişimi.....	31
Şekil 4.5. Konvertör öncesindeki ve sonrasındaki oksijen konsantrasyonunun motor devrine bağlı değişimi.....	32
Şekil 4.6. Tam yük koşullarında motor gücünün motor devrine bağlı değişimi.....	33
Şekil 4.7. Konvertör öncesindeki ve sonrasındaki özgül emisyonların motor devrine bağlı değişimi.....	34
Şekil 4.8. HFK'nin motor yüküne bağlı değişimi.....	35
Şekil 4.9. CO emisyonunun ve konvertör veriminin motor yüküne bağlı değişimi.....	36
Şekil 4.10. HC emisyonunun ve konvertör veriminin motor yüküne bağlı değişimi.....	38
Şekil 4.11. NO emisyonunun ve konvertör veriminin motor yüküne bağlı değişimi.....	39
Şekil 4.12. Konvertör öncesindeki ve sonrasındaki özgül emisyonların motor yüküne bağlı değişimi.....	40

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Benzin ve çeşitli alkollerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	3
Çizelge 3.1. Motor özellikleri.....	18
Çizelge 3.2. Bosch BEA 060 cihaz özellikleri.....	19

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Katalitik konvertör iç yapısı.....	8
Resim 3.1. Test laboratuvarı ve ekipmanları.....	17
Resim 3.2. Bosch BEA 060 emisyon ölçüm cihazı.....	19
Resim 3.4. Meriam Z50MC2-4F hava akışmetresi ve sönümleyici tank.....	20
Resim 3.5. Kontrol paneli ve gösterge.....	20
Resim 3.6. Yakıt tüketim ölçümü cihazı.....	21

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
cc	Santimetre küp
kg	Kilogram
kW	Kilowatt
L	Litre
m³	Metreküp
mm	Milimetre
nm	Nanometre
µm	Mikrometre
Nm	Newton metre
ppm	Milyonda bir
rpm	Bir dakikadaki devir sayısı
K_d	Düzeltilme faktörü
M_D	Deney sonucu elde edilen motor moment (Nm)
M_m	Düzeltilmiş motor moment (Nm)
n	Motor devri (rpm)
P	Atmosferik basınç (kPa)
P_e	Motor gücü (kW)
T	Çevre sıcaklığı (°C)
CO	Karbon monoksit
CO_{özgül}	Özgül karbon monoksit emisyonu (g/kWh)
CO₂	Karbon dioksit
H₂	Hidrojen
HC	Hidrokarbon
HC_{özgül}	Özgül hidrokarbon emisyonu (g/kWh)
H₂O	Su
NO	Azot oksit
NO_{özgül}	Özgül azot oksit emisyonu (g/kWh)

Simgeler**Açıklamalar****NO_x**

Azot oksit bileşikleri

O₂

Oksijen

N₂

Azot

λ

Hava fazlalık katsayısı

Φ

Eşdeğerlik oranı

Kısaltmalar**Açıklamalar****B10**

Hacmen %10 bütanol-%90 KB karışımı

B20

Hacmen %20 bütanol-%80 KB karışımı

E10

Hacmen %10 etanol-%90 KB karışımı

E20

Hacmen %20 etanol-%80 KB karışımı

FOEB

Fren ortalama efektif basınç

FÖYT

Fren özgül yakıt tüketimi

GKA

Gaz kelebek açıklığı

KB

Kurşunsuz benzin

HFK

Hava fazlalık katsayısı

H/Y

Hava-yakıt oranı

M10

Hacmen %10 metanol-%90 KB karışımı

M20

Hacmen %20 metanol-%80 KB karışımı

P10

Hacmen %10 propanol- %90 KB karışımı

P20

Hacmen %20 propanol-%80 KB karışımı

ÜÖN

Üst ölü nokta

1. GİRİŞ

Ekosistemin varlığını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmesi ve soluduğumuz hava kalitesinin azalmaması için gerekli çabanın sarf edilmesi son yıllarda daha fazla önem kazanmıştır. Bu nedenle insanoğlu enerji ihtiyacını daha çevreci kaynaklardan sağlamak zorundadır. Bu süreçte enerji kullanımının ilk aşamasından nihai noktasına kadar çevreyi ön planda tutarak gelecek nesillere yaşanabilir bir Dünya mirası bırakmak her bireyin öncelikli sorumluluğu olmalıdır.

Günümüzde konforlu, hızlı, ekonomik ve çevreye duyarlı ulaşım sistemlerine daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle elektrikli taşıt kullanımı günden güne popülerlik kazanmaktadır. Bu gelişmeye rağmen bir yanma sistemini içeren içten yanmalı motorların ulaşım sektöründe kullanımı halen yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bu açıdan araştırmacılar ve üreticiler içten yanmalı motorların çevreye olan zararlı etkilerini mümkün olduğunca azaltmak için çaba sarf etmektedirler. Bu çabalar yanma odası, yakıt sistemi ve emisyon kontrol yöntemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ayrıca araştırmacılar alternatif yakıt kullanımını da değerlendirmektedirler.

Bir yanma sisteminde yanma odasında hava ve yakıtın uygun oranlarda ve yanma verimini en yüksek seviyeye çıkartacak şekle getirilmesi durumunda bile kirletici emisyonların tamamen bertaraf edilmesi mümkün olamamaktadır. Bu açıdan emisyon kontrol yöntemlerinin kullanılması emisyon salınımında dikkate değer iyileştirmeler sağlamaktadır. Ancak günümüzde bu sistemlerin de verimliliğinin daha yüksek olduğu belirli çalışma aralıkları vardır. Petrole olan bağımlılığın azaltılması ve fosil kaynaklı yakıtların daha az kullanılması için değerlendirilen alternatif yakıtların emisyon kontrol yöntemlerine olan etkisi göz ardı edilmemelidir.

Bu çalışmada buji ile ateşlemeli bir motorda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmaksızın kullanılabilecek oranlarda hazırlanan alkol-benzin karışımlarının özellikle egzoz emisyonlarına ve katalitik konvertör verimine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada yakıt olarak sadece kurşunsuz benzin ve hacimsel olarak %10 ile %20 alkol içeren karışımlar (M10, E10, P10, B10, M20, E20, P20 ve B20) kullanılmıştır. Motor tam

ve kısmi yüklerde olmak üzere farklı işletme koşullarında çalıştırılarak söz konusu yakıtların etkisinin daha geniş bir perspektifte değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

2. BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK ALKOL KULLANIMI

Alkoller özellikle düşük karbonlu olan metanol ve etanol alternatif motor yakıtı olarak literatürde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Direkt kullanım açısından alkollerin çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri sıkıştırma ile ateşlemeli motorlardan ziyade buji ile ateşlemeli motorlar için daha uygundur. Alkollerin benzine kıyasla daha düşük buhar basıncı ve daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olması (Çizelge 2.1.) soğukta ilk hareket ve ısınma sürecinde motor performansı açısından olumsuz etkiye neden olmaktadır. Bu yüzden genellikle tek başlarına değil benzin ile olan karışımları daha fazla tercih edilmektedir. Literatürde M85 ve E85 gibi düşük oranda benzin içeren benzin-alkol karışımları bu problemin üstesinden gelebilmek için sıklıkla tercih edilmektedir. Alkollerin düşük enerji yoğunluğu nedeniyle benzin ile karşılaştırıldığında eşdeğer enerji miktarı için çok daha fazla miktarda motora verilmesi gerekir. Bu da taşıtın yakıt ekonomisini olumsuz etkiler. Benzin ile çalışmak üzere dizayn edilen buji ile ateşlemeli bir motorun yüksek oranda alkol içeren karışımlarla çalıştırılabilmesi için yakıt sisteminde birtakım düzenlemelerin yapılması gerekir. Bununla birlikte literatürde “gasohol” olarak adlandırılan ve %10 alkol içeren (genellikle etanol) benzin-alkol karışımlarının kullanımında genellikle ilave bir modifikasyon ihtiyacı duyulmaz.

Çizelge 2.1. Benzin ve çeşitli alkollerin fiziksel ve kimyasal özellikleri [1-4]

	Benzin	Metanol	Etanol	Propanol	Bütanol
Kimyasal formül	C ₅ -C ₁₂	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₃ H ₇ OH	C ₄ H ₉ OH
Yoğunluk (kg/m ³)	720-775	792	789	803	810
Buhar basıncı (kPa @20 °C)	45-90	13,02	5,95	1,99	0,67
Buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg)	310	1109	918,4	727,9	585,4
Alt ısı değeri (MJ/kg)	44,5	19,66	26,9	30,6	33,3
Stokiyometrik H/Y oranı	14,6	6,45	9,01	10,4	11
Araştırma oktan sayısı	80-99	136	129	112	96
Motor oktan sayısı	81-84	88,6	85,6	86	84,6
Kendi kendine tutuşma (°C)	228-470	465	420	350	345

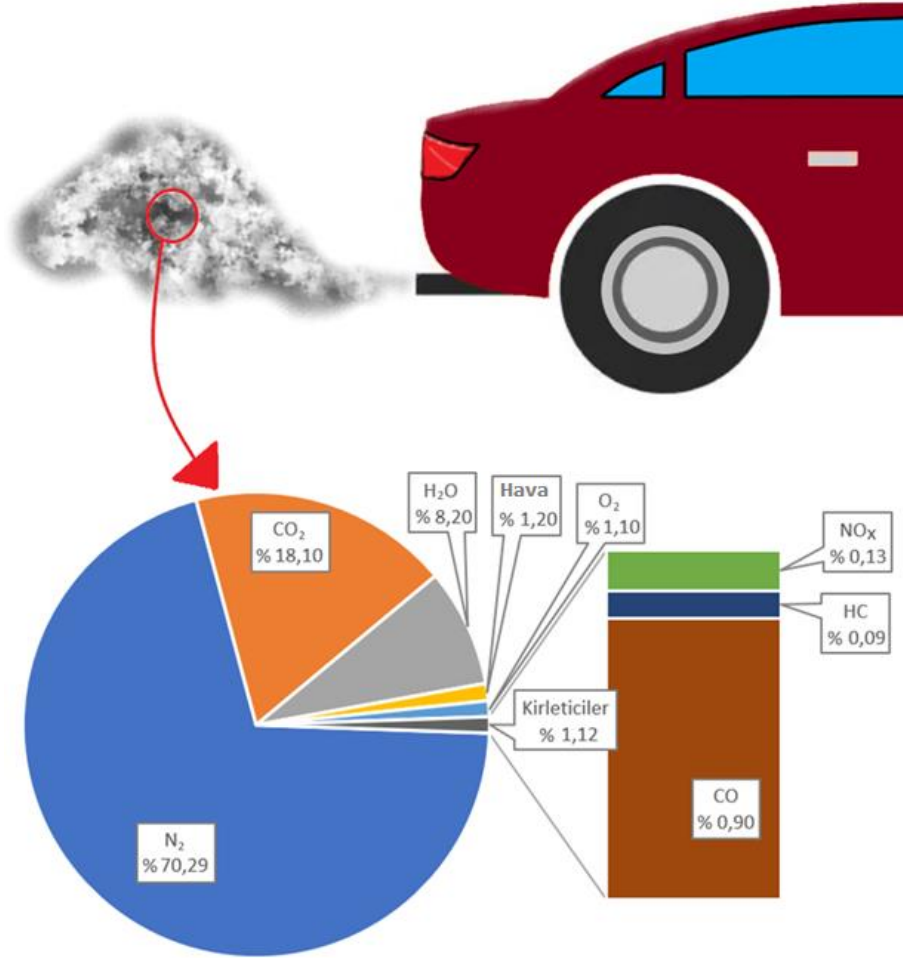
Çizelge 2.1.’de görüldüğü gibi alkollerin yüksek oktan sayıları benzine kıyasla daha yüksek vuruntu dirençlerine sahip olmalarını sağlar. Bu da özellikle motor performansı ve termik verim açısından daha yüksek sıkıştırma oranlarında motorun çalışmasına müsaade ederler ya da benzinle aynı sıkıştırma oranlarında çalıştırıldıklarında çeşitli motor işletme koşullarında vuruntu yapma ihtimalinin azalmasına imkân sağlarlar [5].

Kirletici egzoz emisyonları açısından alkollerin etkisi dikkate alındığında genellikle içerdikleri oksijen ve düşük stokiyometrik H/Y oranına sahip olmaları sayesinde fakirleştirici yönü ortaya çıkmaktadır. Motorda yakıt olarak kullanımı esnasında fakirleştirici yönünün ortaya çıkması alkollerin daha düşük CO ve HC salınımına neden olmalarını sağlar.[6-9] Ayrıca motorun işletme koşullarına bağlı olarak (eşdeğer enerji) düşük alev sıcaklığı NO_x emisyonlarının azaltılmasında fayda sağlar.

Literatürde alkollerin benzine kıyasla daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmaları özelliği hem volümetrik verimi olumlu etkilediği hem de giriş hava sıcaklığını düşürerek yanma esnasındaki pik sıcaklığın dolayısıyla daha düşük NO_x emisyonlarına neden oldukları ifade edilmektedir [10, 11].

2.1. Buji ile Ateşlemeli Motorlardan Kaynaklanan Kirletici Emisyonlar

Katalitik konvertörsüz orta büyüklükteki bir taşıtın Avrupa seyir çevrimi testine göre ortalama egzoz kompozisyonu Şekil 2.1.'de görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi kirletici olarak tanımlanan ana egzoz emisyonları CO, HC ve NO_x emisyonlarıdır.



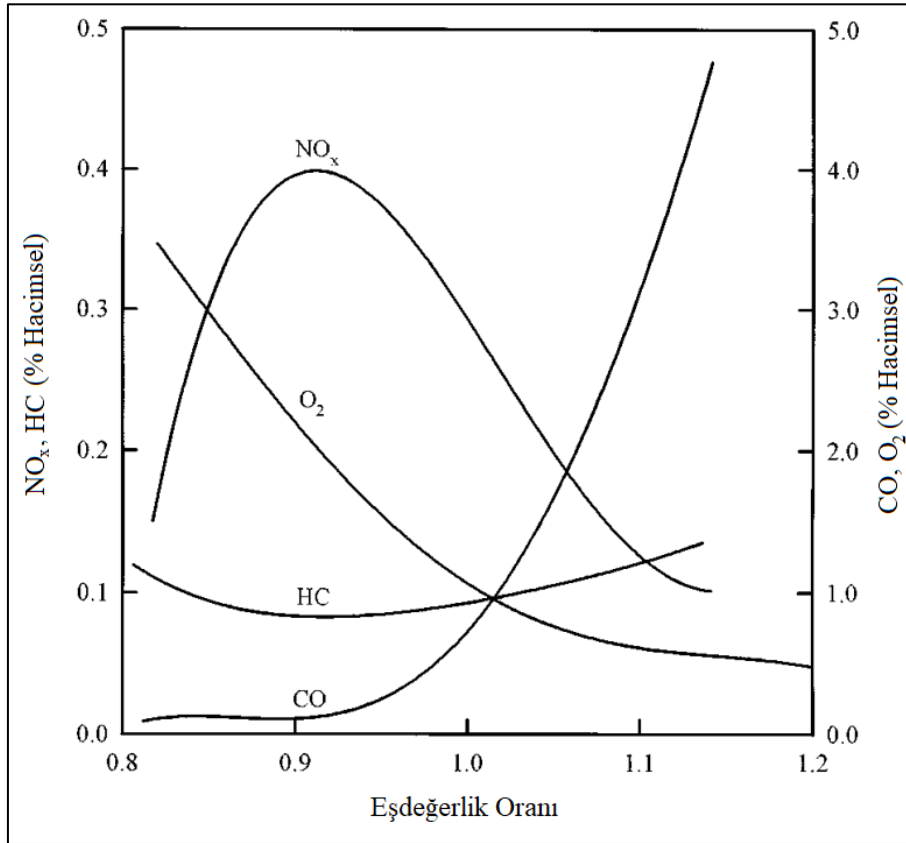
Şekil 2.1. Katalitik konvertörsüz orta büyüklükteki aracın ortalama egzoz gazı içeriği [12]

Buji ile ateşlemeli bir motorda eşdeğerlik oranına bağlı olarak egzoz emisyonlarının değişimi Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Şekilde yer alan CO emisyonu esas olarak hava/yakıt oranından etkilenir. Oksijenin yetersiz olduğu hava/yakıt oranlarında ($\lambda < 1$ veya $\Phi > 1$) karbon moleküllerinin CO₂'ye yeterince dönüşmemesi nedeniyle yüksek miktarda ortaya çıkar. Hava miktarı arttıkça CO konsantrasyonu azalır. CO oluşumu su gazı eşitliği (Denklem 2.1) ile tanımlanır. Bu eşitlik oksijen yetersizliğinin olduğu hava/yakıt oranları için geçerlidir. Ekstra havanın olduğu hava/yakıt oranlarında CO oluşumu önemli ölçüde Denklem 2.2 ile ifade edilir [12-14].



HC emisyonları birincil olarak hidrokarbon esaslı yakıtın tam olarak yanamaması yüzünden oluşur. Sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması HC oluşumunun ana nedeni olarak ifade

edilebilir. Silindir içerisinde nispeten soğuk cidarlara doğru alevin ilerleyemediği ve söndüğü bölgeler yanmamış HC oluşumunda etkilidir. Bu bölgeler buji ile ateşlemeli bir motorda yanma odası içerisinde yer alan silindir kapak contası, piston üst yüzeyi, segman ve bujinin bulunduğu boşluklar olarak ifade edilebilir. HC oluşumuna neden olan bir başka etki ise tutuşma limitlerinin dışındaki fakir veya zengin karışım oranlarıdır. Ayrıca yağ filmi tarafından yanmamış HC'lerin absorbe edilmesi de bir diğer HC kaynağını oluştur [12-14].



Şekil 2.2. Eşdeğerlik oranına bağlı olarak buji ile ateşlemeli bir motorda egzoz emisyonlarının değişimi [13]

2.2. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Emisyon Kontrol Yöntemi Olarak Katalitik Konvertör Kullanımı

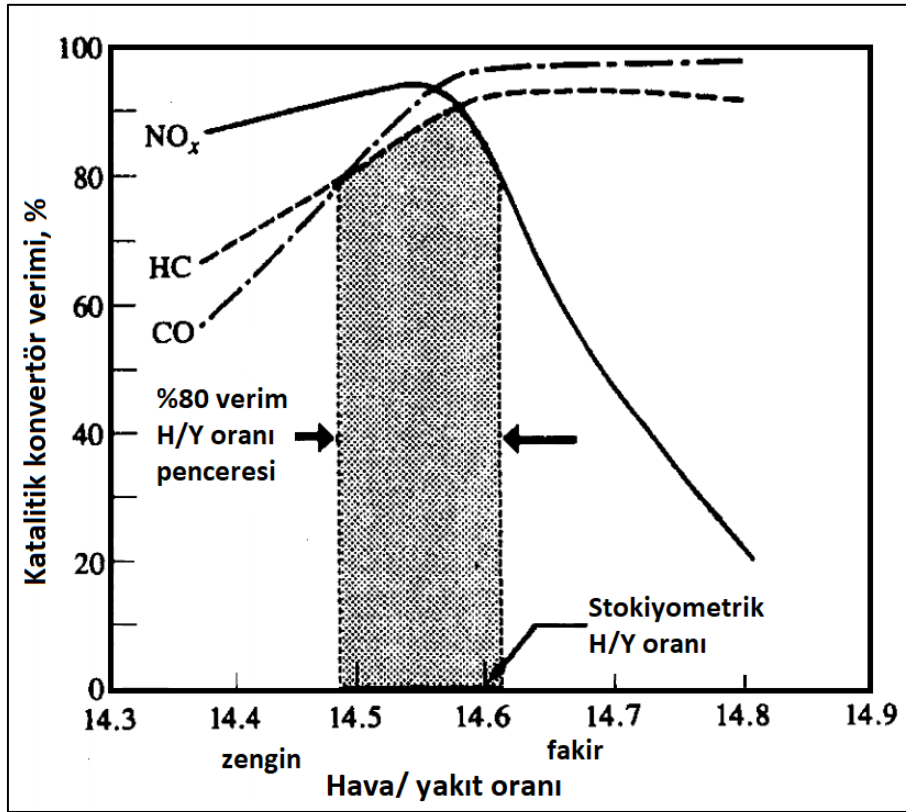
Buji ile ateşlemeli motorlarda yanma sonucu oluşan ve kirletici olarak tanımlanan CO, HC ve NO_x emisyonlarını aynı anda %90-95'e varan oranlarda zararsız hale dönüştürebilen, günümüz emisyon standartlarının sağlanmasında kullanılan üç yollu katalitik konvertörler etkin ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. NO_x'lerin indirgenmesinden elde edilen

oksijenlerin yardımı ile CO ve HC'lerin oksidasyonları sağlanarak, CO₂ ve H₂O'ya dönüştürülür.

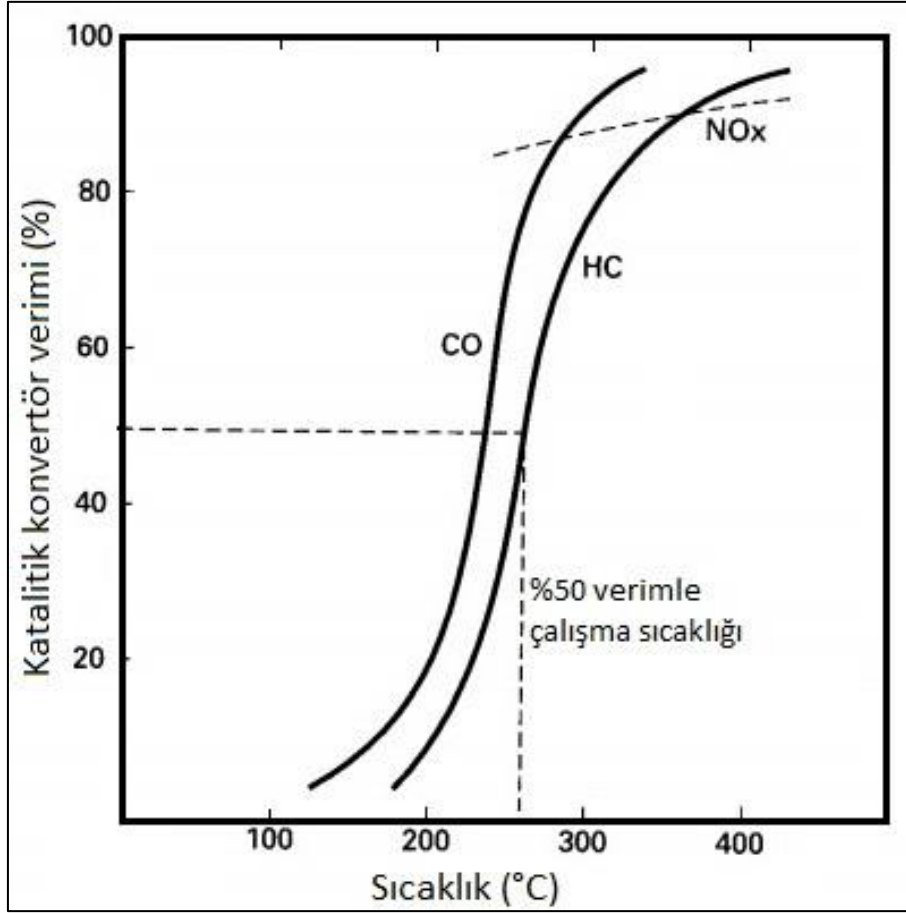
Katalitik konvertörlerin bu işlevi yerine getirebilmesi için motorun stokiometrik hava/yakıt oranına yakın ($\lambda=1$) dar bir hava/yakıt oranı aralığında çalışması ve yeterince ısınması gerekir. Şekil 2.3.'te de katalitik konvertör veriminin stokiometrik orana yakın değerlerde en yüksek olduğu görülmektedir. Literatürde kirleticilerin bileşenleri ve konvertör tasarımına bağlı olarak %50 dönüştürme veriminin elde edildiği sıcaklık yaklaşık olarak 260°C-280°C aralığında olduğu belirtilmektedir. Yaklaşık 300 °C'de CO emisyonunun %90'ının oksidasyonu gerçekleşirken yanmamış HC'ler için aynı seviyeye ulaşması 350-370°C sıcaklıkları bulmaktadır. Şekil 2.4.'te de CO emisyonunun HC'lere kıyasla daha düşük sıcaklığa ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. 400°C ve üzeri sıcaklığa erişen bir konvertör CO emisyonlarının %98-%99, NO_x emisyonlarının %95'ini ve HC emisyonlarının %95'inden fazlasını dönüştürebilir. Konvertörlerin dönüştürebilme işlemini efektif bir şekilde gerçekleştirebilmeleri için egzoz gazı ile mümkün olduğunca çok etkileşime girecek bir yapıya sahip olması gerekir. Kirleticilerin azaltılmasında katalizör olarak platin (Pt), paladyum (Pd) ve rodyum (Rh) gibi soy metaller kullanılır. Konvertörlerin yapısı petek şeklinde geniş yüzey alanına sahip seramik veya metalden yapılmış taşıyıcı elemandan oluşmaktadır. Resim 2.1.'de de katalitik konvertörün peteksi yapısı görülmektedir. Petek yapıdaki kanalların sayısı yaklaşık olarak 60-70 kanal/cm² kadardır ve yüzey pürüzlü ara tabaka (Mg-Al₂O₃) ile kaplıdır. Bu yapı sayesinde yaklaşık bir litrelik bir hacim başına 20.000 m²'ye ulaşan bir yüzey alanı elde edilir [12, 15-20].



Resim 2.1. Katalitik konvertör iç yapısı [21]



Şekil 2.3. Üç yollu katalitik konvertörün veriminin H/Y oranına bağlı olarak değişimi [17, 18]



Şekil 2.4. Bir katalitik konvertörün sıcaklığa bağlı verim değişimi [19]

2.3. Üç Yollu Bir Katalitik Konvertörde Meydana Gelen Kimyasal Reaksiyonlar

Üç yollu bir katalitik konvertörde egzoz emisyonlarının azaltılması aşamasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar; oksidasyon reaksiyonları, indirgeme reaksiyonları, buhar reformu reaksiyonları ile su gazı reaksiyonlarıdır [18, 22].

Oksidasyon reaksiyonları



İndirgeme reaksiyonları



Buhar reformu reaksiyonları



Su gazı reaksiyonları



gibidir [22].

2.3. Literatür Özetleri

Topgül ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [23] buji ile ateşlemeli bir motorun soğukta ilk hareket ve ısınma sürecinde alkol (metanol ve etanol) içeren yakıtların kirletici egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada motorda bir modifikasyon yapma ihtiyacı duyulmaması için hacimsel olarak %10 oranında metanol veya etanol içeren kurşunsuz benzin–alkol karışımları (M10 ve E10) ile saf kurşunsuz benzin kullanılmıştır. Araştırmacılar soğuktan ilk hareketin ardından alkolün emisyonlar üzerindeki etkisinin ilk 150 s içinde daha net bir şekilde gözlemlenmiştir. E10 yakıtı ile konvertör öncesindeki CO emisyonu benzine göre % 34,5, HC emisyonu ise; % 23,2 azalırken bu iyileşme M10 yakıtında sırasıyla %44,8 ve %25 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca araştırmacılar konvertör öncesindeki NO emisyonunda yakıt tipine göre anlamlı bir farklılık görememişlerdir.

Balki ve arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmada [24] düşük güçlü bir tek silindirli motorun performansı, emisyonları ve yanma karakteristikleri alkollü (etanol ve metanol)

yakıt kullanımıyla incelenmiş ve sonuçlar kurşunsuz benzin kullanımıyla karşılaştırılmıştır. Testler tam gaz açıklığında farklı motor hızlarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, alkol yakıtlarının motor torkunu, FÖYT, termal verimliliği ve yanma verimliliğini artırdığını göstermektedir. Ayrıca, CO₂ emisyonu artarken HC, CO ve NO_x emisyonu azalmıştır.

Saf etanol ve metanol kullanımı durumunda, FÖYT değeri, kurşunsuz benzin kullanımı ile karşılaştırıldığında sırasıyla %58 ve %84 artmıştır. Çalışma, etanol ve metanol kullanımının yanma verimini artırdığını ve CO, NO ve HC emisyonlarını azalttığını göstermiştir. Metanol ve etanol yakıt olarak kullanıldığında, NO_x, CO ve HC emisyonlarının sırasıyla %49; %47,6; %22,6 ve %21,25; %21,6; %19,13 oranlarında azaldığı, CO₂ emisyonlarının ise sırasıyla %4,4 ve %2,51 oranlarında arttığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, alkollü yakıt kullanımının yanma verimini artırdığını, FÖYT'ü düşürdüğünü ve emisyonları azalttığını göstermiştir. Alkol yakıtların düşük güçlü motorlarda benzin yerine kullanılmasının, başta NO_x, HC ve CO emisyonlarında azalmaya ve yanmanın iyileştirilmesi nedeniyle CO₂ emisyonlarında artışa neden olduğu görülmüştür [24].

Pratama ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği bu çalışmada [25] benzin-metanol karışımlarının içten yanmalı motorlardaki performansını incelemeyi amaçlamaktadır. Ateşleme zamanlaması ve enjeksiyon süresi gibi motor ayar parametrelerinin optimize edilmesiyle motor performansının ve emisyon kalitesinin artırılması hedeflenmektedir. Deneylerde motor torku, gücü ve özgül yakıt tüketimi gibi performans parametreleri ölçülmüş ve yanma sürecini değerlendirmek için karbon dioksit, karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbon gibi emisyon parametreleri ölçülmüştür. Sonuçlar, optimize edilmiş, yanma zamanlaması ve enjeksiyon süresi ayarlarının motor torkunu ve gücünü %2,94 ve %1,72, artırdığını ve özgül yakıt tüketimini ise %7,29 azalttığını göstermektedir. Ayrıca, egzoz emisyonlarında karbon monoksit azalırken yanmamış hidrokarbon oranında hafif bir artış olduğu görülmüştür. Bu çalışma benzin-metanol karışımlarının motor performansını artırmak için ateşleme zamanlaması ve enjeksiyon süresi ayarlarının optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Optimize edilmiş motor ayarlarıyla motor torkunda %2,94, güçte %1,72 artış ve özgül yakıt tüketiminde %7,29 azalma sağlanmaktadır. Ayrıca karbon monoksit seviyesinde azalma görülürken, yanmamış hidrokarbon emisyonunda hafif bir artış gözlenmiştir. Araştırmacılar metanolün benzinle karıştırılmasıyla farklı özelliklere sahip bir yakıt elde edildiği için motor ayarlarının değiştirilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır [25].

Şimşek ve arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmada [26] buji ateşlemeli bir motorda n-propanol ve izo-propanol alkol kullanımının motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneylerde KB, 20 n-pro (%80 benzin + %20 n-propanol) ve 20 izo-pro (%80 benzin + %20 izo-propanol) yakıt karışımları kullanılmıştır. Deneyler tam gaz pozisyonunda altı farklı motor hızında (1500-4000 rpm) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, izo-propanol alkol ilavesinin özgül yakıt tüketiminde %2,23 artışa neden olduğunu ancak motor momenti ve gücünde önemli değişikliklere yol açmadığını göstermektedir. Emisyon sonuçlarında ise HC ve CO emisyonlarının sırasıyla %10,42 ve %4,41 azaldığı, CO₂ ve NO_x emisyonlarının ise sırasıyla %17,38 ve %15,24 arttığı belirlenmiştir.

Hışır tarafından yapılan deneysel çalışma [27] içten yanmalı tek silindirli bir motorda benzine katılan bütanolün egzoz emisyonuna ve motor performansına olan etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Deneyler tam ve kısmi yüklerde gerçekleştirilmiş olup, B5, B10 ve B20 karışım oranlarına sahip yakıtlar kullanılmıştır. Deneyler sonucunda maksimum motor momentinde B5, B10 ve B20 için sırasıyla %3,84, %2,88 ve %6,73 düşüş olmuştur. Bütanol ilavesi özgül yakıt tüketimini arttırırken, CO, HC ve NO emisyonlarında azalma gözlenmiştir [27].

Geo ve arkadaşlarının yaptığı bu deneysel çalışma [28] buji ile ateşlemeli bir motorda alkol-benzin karışımının motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, düşük dereceli alkol olan (mono alkol) etanol ve yüksek dereceli alkol (primer) olan benzil alkol, hacmen %10 ve %20 oranında benzinle karıştırılmıştır. Testler çok nokta yakıt enjeksiyon sistemine sahip iki silindirli 624 cc'lik benzin motorunda gerçekleştirilmiştir. Karışımlar, %20'den %100'e kadar farklı yük koşullarında test edilmiştir. Sonuç olarak benzil-benzin karışımları tam yükte KB ile karşılaştırıldığında fren termal verimliliğinde artış sağlamıştır (BN10'da %32,8, BN20'de %33,2 ve KB'de %29,77). Etanol karışımlarında ise hafif bir iyileşme (E10'da %30,41 ve E20'de %31,1) kaydedilmiştir. CO, HC, NO_x ve CO₂ emisyonları benzinle karşılaştırıldığında alkol içeren karışımlarda azalmıştır. Performans, emisyon ve yanma özellikleri dikkate alınarak, optimum yakıt olarak araştırmacılar benzil-benzin karışımı olduğu sonucuna varmışlardır.

Eyidoğan ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği bu çalışmada [29] kurşunsuz benzin, etanol-benzin (E5, E10) ve metanol-benzin (M5, M10) karışımlarının yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde dört

silindirli dört zamanlı buji ile ateşlemeli motora sahip taşıt kullanılmıştır. Deneyler; şasi dinamometresi kullanılarak 80 km/h taşıt hızında ve 5, 10, 15 ve 20 kW sabit güç şartlarında gerçekleştirilmiştir. E5, E10, M5 ve M10 karışımlarından elde edilen sonuçlar, referans olarak kullanılan kurşunsuz benzin yakıtıyla karşılaştırılmıştır. Deneylerin sonucunda, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının fren özgül yakıt tüketimini arttırdığı görülmüştür. Silindir içi basınç ve ısı yayma oranının benzin kullanımında alkol-benzin karışımlarına göre daha erken arttığı ve neredeyse tüm test koşullarında en düşük ısı yayma oranı benzin kullanımında elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, motorun alkol karışımlarını kullandığında genellikle CO, HC, CO₂ ve NO_x emisyonlarının azaldığı görülmüştür.

Elfasakhany'nin yaptığı çalışmada [30] benzinin yerine geçebilecek alternatif yakıtların emisyon ve performans değerlerinin benzinle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Etanol (E), metanol (M), n-bütanol (nB), izobütanol (iB) ve aseton (AC) olmak üzere beş farklı alternatif yakıt benzinle hacimsel olarak çeşitli oranlarda (%3, %7 ve %10) karıştırılarak deneysel olarak aynı motor çalışma koşullarında test edilmiştir. Karşılaştırmalar fren gücü, tork ve hacimsel verimlilik üzerinden performans ve karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve yanmamış hidrokarbonlar (HC) üzerinden emisyonlar üzerinde odaklanmıştır. Sonuçlar, nB ve iB alternatiflerinin diğer alternatiflere ve saf benzine kıyasla fren gücü, tork ve hacimsel verimlilikte önemli ölçüde düşüşe neden olduğunu göstermiştir. En yüksek motor performansı ise etanol ve metanol ile elde edilmiştir. AC, tüm test yakıtları arasında orta düzeyde bir performans göstermiştir. Emisyonlar açısından, AC en düşük CO ve HC emisyonlarını gösterirken, nB ve iB en yüksek emisyonları sergilemiştir.

Alasfour'un yaptığı çalışmada [31] %30 izo-bütanol içeren alkol-benzin karışımının buji ile ateşlemeli bir motorda farklı giriş hava sıcaklıklarında NO_x emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. 1500 rpm motor devrinde eşdeğerlik oranı 0,7-1,1 aralığında değiştirilerek gerçekleştirilen deneyde her iki yakıt için de NO_x emisyonu bilindik değişim eğrisini oluşturmuştur. Maksimum NO_x emisyonu stokiyometrik hava yakıt oranından biraz daha fakir (0,9-0,95) eşdeğerlik oranında elde edilirken alkol karışımının yer aldığı yakıtta yaklaşık %9 oranında NO_x emisyonunun düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca NO_x emisyonu giriş hava sıcaklığının 40 °C'den 60 °C'ye yükseltilmesi durumunda yaklaşık %10 artmıştır.

Alasfour tarafından yapılan bir diğer çalışmada [32] %30 izo-bütanol içeren alkol-benzin

karışımlarının farklı ateşleme zamanlarında NO_x emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Ateşleme zamanının rötara alınması egzoz gaz sıcaklığını arttırmaktadır. Ateşleme zamanının avansa alınmasıyla yanma süreci daha çok ÜÖN yakınlarında oluşmasına neden olmakta ve bu durum silindir içi gaz sıcaklığı arttığından NO_x seviyesi artmaktadır. Araştırmacı ayrıca NO_x in pik noktasının daha fakir noktaya doğru kaydığını ifade etmiştir.

Varol ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [33] kütleli olarak %10 alkol (metanol, etanol veya n-bütanol) içeren karışımların buji ile ateşlemeli bir motorda egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçları alkol içeren karışımların kullanımında CO ve HC emisyonlarının KB'ye göre azaldığı ve CO_2 'in arttığını göstermektedir. CO emisyonunda en fazla iyileşme M10 yakıtında görülürken HC emisyonunda n-bütanol daha etkin iyileşme sağlamıştır. Ayrıca alkol karışımlarında yakıt tüketimi artmıştır.

Al Hasan tarafından yapılan çalışmada [11] etanol-benzin karışımlarının motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Test yakıtları %0-%25 aralığında %2,5 artan oranlarda etanol içerecek şekilde önceden hazırlanarak deneylerde kullanılmıştır. %75 GKA'da 1000, 2000, 3000 ve 4000 rpm motor devirlerinde gerçekleştirilen deneylerde kütleli yakıt tüketimi etanol yüzdesine bağlı olarak artmıştır. Bu artış 1000 rpm'de yaklaşık %11 iken 4000 rpm'de %9 olarak gerçekleşmiştir. Fren torku ve gücü tüm motor devirlerinde %20 etanol karışımlarına kadar artarken, bu noktadan sonra azalmıştır. Motor gücünde yaklaşık %8,3 artış elde edilirken etanolün düşük ısı değeri nedeniyle yakıt tüketimi ortalama olarak %5,7 artmıştır. Egzoz emisyonlarına etanol-benzin karışımlarının etkisi dikkate alındığında önemli iyileşmeler sağlandığı görülmüştür. Ortalama olarak CO emisyonu %46,5 ve HC emisyonu %24,3 azalırken CO_2 emisyonu yaklaşık %7,5 artmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyonları açısından en iyi sonuçlar %20 etanol içeren karışımda elde edilmiştir. Araştırmacı, deneyler esnasında %25 etanol kullanımında herhangi bir problem ile karşılaşmamıştır.

He ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [10] etanol-benzin karışımlarının elektronik yakıt enjeksiyon sistemine sahip bir motorda egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çeşitli yük ve motor hızlarında motor çıkışındaki CO emisyonları etanol içeren karışımlarda daha düşük elde edilmiştir. Tam yükte KB ile elde edilen değerler

ile karşılaştırıldığında 2000 rpm’de E10 yakıtında CO emisyonu %4,7, 3000 rpm’de ise %5,7 azalmıştır. E30 da ise sırasıyla %5,8 ve %3,1 iyileşmeler elde edilmiştir. Araştırmacılar bu sonuçta etanolün O₂ içeriğinin yanmayı iyileştirmesinin etkili olduğu kanaatine varmışlardır. Egzoz çıkışındaki (konvertör sonrası) CO emisyonu dikkate alınarak dönüştürme verimleri karşılaştırıldığında etanolün kısmi yüklerde daha etkin olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca egzoz çıkışındaki CO emisyonunun motor çıkışındaki emisyon miktarına, motor devri ve yüküne, karışımdaki etanol miktarına ve (hava fazlalık katsayısına) HFK bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Motor çıkışındaki toplam HC emisyonları sadece benzine kıyasla 2000 rpm’de E10 yakıtında %6-%13, 3000 rpm de ise %5-%15,3 arasında azalmıştır. E30 yakıtında ise bu azalmalar sırasıyla %15-%29,5 ve %22,1-%25,8 arasında gerçekleşmiştir. Egzoz hat çıkışındaki toplam HC emisyonları dikkate alınarak belirlenen dönüştürme verimlerinin E10 ve E30 karışımlarında KB’ye göre birçok çalışma şartlarında daha düşük olduğu görülmüştür. Araştırmacılar motor çıkışındaki HC’lerin etanol kullanımında düşük değerlere sahip olmasının bu sonucu etkilediğini ileri sürmüşlerdir. NO_x emisyonlarının değişimi incelendiğinde motor çıkışındaki değerlerinin alkol kullanımında azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmacılar etanol kullanımında eşdeğer güç için elektronik kontrol ünitesinin daha fazla yakıt püskürtmesinin bir sonucu olarak giriş hava sıcaklığının ve buna bağlı olarak yanma sıcaklığının azalmasının bu sonuçta etkili olduğu kanaatine ulaşmışlardır. Zira buharlaşma gizli ısı benzine kıyasla etanolün daha yüksektir. NO_x dönüştürme verimi E10 ve E30’da birçok çalışma şartlarında daha düşük olmasına rağmen egzoz çıkış hattındaki NO_x emisyonlarının her üç yakıt için birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Şimşek ve arkadaşlarının yapmış olduğu bu çalışmada [34] tek silindirli buji ile ateşlemeli motorlarda benzin-izopropanol karışımlarına küçük miktarlarda hekzan (C₆H₁₄) eklenmesinin motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, benzine %20 oranında n-propanol ve izopropanol ilave edilmiş ve motor performansı değerlendirilmiştir. Bu aşamada, izo-propanol eklenen yakıtın n-propanol eklenen yakıtı göre daha iyi bir motor performansı sağladığı gözlenmiştir. İkinci aşamada ise, izo-propanol içeren karışıma %1-3 oranlarında hekzan eklenmiş ve motor performansı ve emisyonların değişimi incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki; izo-propanol içeren yakıtı %1 hekzan ilavesi, motor torku ve gücünde önemli bir değişiklik yapmamış ancak özgül yakıt tüketiminde (ÖYT) iyileşme sağlamıştır. Ancak hekzan miktarının artmasıyla motor performansının olumsuz etkilendiği

belirlenmiştir. Emisyon sonuçlarına bakıldığında ise, %1 hekzan ilavesinin hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksit (CO) emisyonlarını azalttığı, karbondioksit (CO₂) emisyonlarını artırdığı ve azotoksit (NO_x) emisyonlarında ise değişiklik yapmadığı görülmüştür.

Costagliola ve arkadaşlarının çalışmasında [35] biyoyakıtların motorun yanma verimliliği ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler, 1,6 litrelik port enjeksiyonlu buji ile ateşlemeli bir motorda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde yakıt olarak benzin, %10, %20, %30 ve %85 oranlarında biyo-etanol içeren alkol-benzin karışımları ile %10 oranında n-bütanol içeren karışımlar kullanılmıştır. Yanma gelişimi, yanma odasında ölçülen basınç döngülerinin ısı salım analizi yoluyla incelenmiştir. Egzoz emisyonları, diğer organik maddeler (polisiklik aromatik hidrokarbonlar, karbonil bileşikler ve uçucu organik bileşikler) ve partikül ölçülmüştür. Partiküller, 7 nm ila 10 µm arasında toplam parçacık sayısı ve boyut dağılımı açısından karakterize edilmiştir. Deneyler stokiyometrik koşullarda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Ateşleme avansı aynı tepe basınç konumunu elde etmeyi sağlayan bir kalibrasyon yazılımıyla optimize edilmiştir. Egzoz emisyonları genel olarak alkol içeren karışımlarda azalmıştır. En fazla azalma E85 karışımı ile elde edilmiştir. E85 kullanımında toplam HC %20, CO ve NO_x emisyonları ise yaklaşık %15 azalmıştır. Partikül miktarında ise yaklaşık %90 azalma alkol içeren karışımlar ile elde edilmiştir.

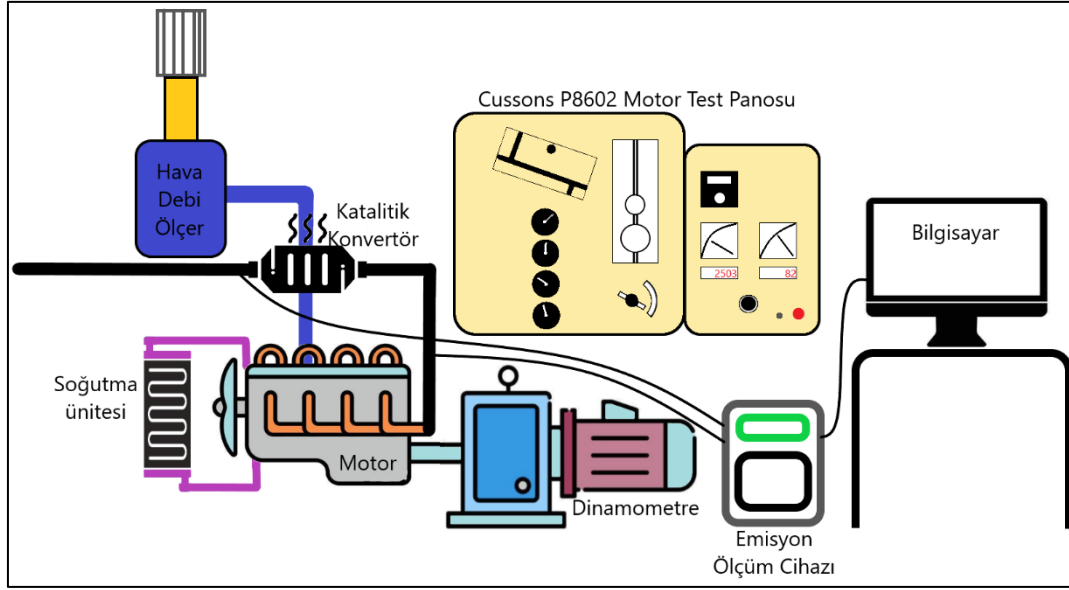
3. MATERYAL METOT

3.1. Materyal

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında gerçekleştirilen deneylerde Cussons P8602 motor test sistemi kullanılmıştır. Eddy akımlı su soğutmalı dinamometreye sahip olan bu test sistemi, maksimum 8000 rpm devir, 165 kW güç ve 475 Nm torka kadar kullanılabilir. İlgili test sistemi, ortam sıcaklığı, yakıt sıcaklığı, motor yağ sıcaklığı, egzoz manifold sıcaklığı, soğutucu sıvı giriş ve çıkış sıcaklığı gibi değerleri termokupllar vasıtasıyla okuyarak panel üzerindeki ekrana yansıtabilmektedir. Bütün test ekipmanları Resim 3.1.'de gösterilmektedir. Test ekipmanlarının şematik gösterimi Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Resim 3.1. Test laboratuvarı ve ekipmanları



Şekil 3.1. Test düzeneği şematik gösterimi

Deneylelerde, dört silindirli, su soğutmalı, buji ile ateşlemeli ve çok nokta yakıt enjeksiyon sistemine sahip olan Ford MVH 416 MPI marka dört zamanlı motor kullanılmıştır. Bu motor fabrika çıkışında ikincil hava enjeksiyon sistemine standart olarak sahiptir. Motorun özellikleri Çizelge 3.1.’deki gibidir.

Çizelge 3.1. Motor özellikleri

Motor Marka & Model	Ford MVH 416 MPI Benzinli Motor
Silindir Sayısı	4
Çap x Strok (mm)	76 x 88
Toplam Kurs Hacmi (L)	1,6
Supap Yapısı ve Sayısı	DOHC 16 V
Sıkıştırma Oranı	10,3:1
Maksimum Motor Torku (Nm) (@3500 rpm)	138
Maksimum Motor Gücü (kW) (@5250 rpm)	66

Egzoz emisyonlarının ölçümü için Bosch BEA 060 model bilgisayar destekli egzoz emisyon ölçüm cihazı (Resim 3.2.) ve cihazın kendi bilgisayar yazılımı olan BEA-PC UNI V1.30 programı kullanılmıştır. Ölçüme ait veriler bilgisayar ekranına yansıtılmakta (Resim 3.3.) ve bilgisayara kaydedilebilmektedir. Cihaza ait özellikler Çizelge 3.2.’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bosch BEA 060 cihaz özellikleri

Ölçüm Parametreleri	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Hassasiyeti
CO (% Hacimsel)	0 - 10	0,001
HC (ppm)	0 - 9999	1
NO (ppm)	0 - 5000	1
O ₂ (% Hacimsel)	0 - 22	0,01
CO ₂ (% Hacimsel)	0 - 18	0,01
HFK	0,5 - 1,8	0,001



Resim 3.2. Bosch BEA 060 emisyon ölçüm cihazı

Motorun hava tüketimini ölçmek için Meriam Z50MC2-4F akışmetresi, basınç dalgalanmalarını önlemek amacıyla hava tankı ile birlikte kullanılmıştır. Cihaz havanın hacimsel akış miktarının yanı sıra yoğunluğunu da ölçebilmektedir. Cihaz ile ilgili görseller Resim 3.4. ve 3.5.'te verilmiştir.



Resim 3.3. Meriam Z50MC2-4F hava akışmetresi ve sönümleyici tank



Resim 3.4. Kontrol paneli ve gösterge

Yakıt tüketimi hacimsel olarak Okuda-Koki marka FC-9521 model ölçüm cihazı (Resim 3.6.) kullanılarak ölçülmüştür.



Resim 3.5. Yakıt tüketim ölçümü cihazı

3.2. Metot

Deneysel çalışmada veriler alınırken ortam şartları da (atmosferik basınç ve çevre sıcaklığı) dikkate alınarak ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan ekipmanların kalibrasyonları kontrol edilerek ölçüme hazır hale getirilmiştir. Veriler alınmadan önce motor, belirli bir süre çalıştırılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Burada, motor soğutma suyunun, motor yağının ve egzoz gaz sıcaklıklarının stabil hale gelmesi amaçlanmıştır. Deneyler esnasında ortam şartları sürekli kontrol edilmiştir.

Deneyler, tam yük ve kısmi yük olmak üzere iki farklı motor çalışma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Tam yük deneyleri 1500-5000 rpm motor devri aralığında, kısmi yük deneyleri ise 2500 rpm motor devrinde yapılmıştır. Yakıt olarak kurşunsuz benzin (KB) ve hacimsel olarak %10 ve %20 alkol içeren (metanol, etanol, 2-propanol ve 2-bütanol) alkol-benzin karışımları kullanılmıştır. Her bir test yakıtında aynı ölçüm yöntemi uygulanmıştır. Verinin alınacağı motor devri ve yükünde motorun düzgün çalıştığı ve değerlerin stabil olduğu anda ölçme işlemine geçilmiştir. Ölçülen her bir parametre için en az üç defa değerleri alınarak ortalamaları kullanılmıştır.

Deneylerde ölçülen motor torkunun ortam şartlarını dikkate alarak düzeltilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla TSE standardı [36] dikkate alınarak motor momenti, Denklem 3.1 'de hesaplanan düzeltme faktörünün Denklem 3.2'de yerine koyulmasıyla bulunmaktadır.

$$K_d = \left(\frac{99}{P} \right)^{1,2} \times \left(\frac{T + 273}{298} \right)^{0,6} \quad (3.1)$$

$$M_m = K_d \times M_D \quad (3.2)$$

Denklem 3.3 kullanılarak efektif motor gücü hesaplanabilir.

$$P_e = \frac{2\pi \times n \times M_m}{60 \times 1000} \quad (3.3)$$

Deneyleerde yakıt tüketimi hacimsel olarak belirlendiğinden Denklem 3.4 kullanılarak yakıt tüketimi kütsel hale dönüştürülebilir. Ardından fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) Denklem 3.5 ile (FÖYT) hesaplanabilir.

$$\dot{m}_{yakıt} = \dot{V}_{yakıt} \times \rho_{yakıt} \quad (3.4)$$

$$FÖYT = \frac{\dot{m}_{yakıt}}{P_e} \quad (3.5)$$

Aynı şekilde ölçülen hacimsel hava debisi kütsel hava debisine çevirmek için Denklem 3.6 kullanılabilir.

$$\dot{m}_{hava} = \dot{v}_{hava} \times \rho_{hava} \quad (3.6)$$

Denklem 3.4 ve 3.6 kullanılarak elde edilen kütsel veriler Denklem 3.7’de yerine konarak gerçek hava/yakıt oranı belirlenebilir.

$$(H/Y)_{gerçek} = \frac{\dot{m}_{hava}}{\dot{m}_{yakıt}} \quad (3.7)$$

Hava fazlalık katsayısı (λ) Denklem 3.8 ile gerçek hava/yakıt oranının stokiyometrik hava/yakıt oranına bölünmesi ile hesaplanabilir.

$$\lambda = \frac{\left(\frac{H}{Y} \right)_{gerçek}}{\left(\frac{H}{Y} \right)_{stokiyometrik}} \quad (3.8)$$

Özgöl emisyon değlerleri, literatürdeki çalışmalar [37-39] dikkate alınarak denklem 3.9, 3.10 ve 3.11 ile belirlenebilir.

$$CO_{\text{özgöl}} = \frac{CO}{100} \times \frac{28,01}{28,97} \times \frac{\dot{m}_{hava} + \dot{m}_{yakıt}}{P_e} \quad (3.9)$$

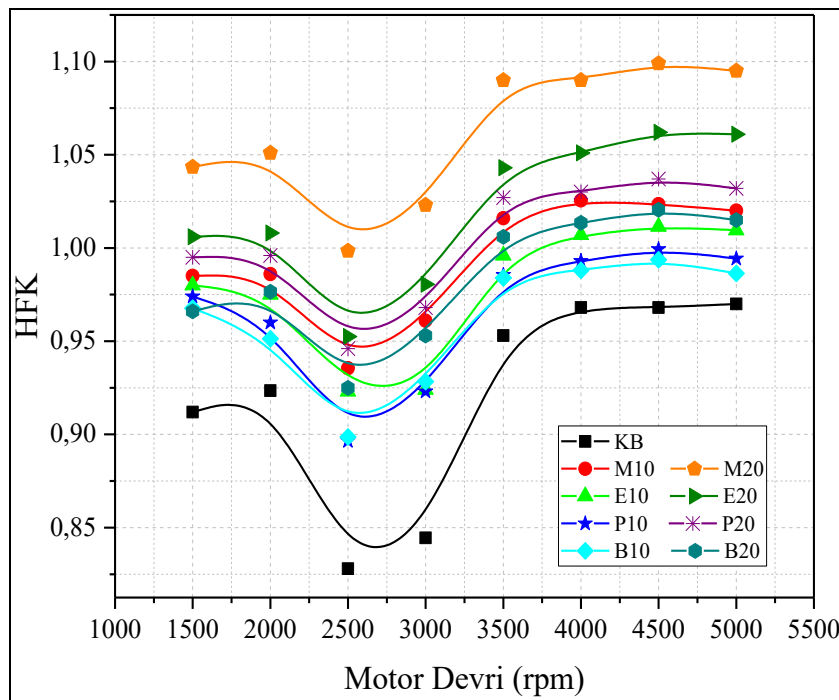
$$HC_{\text{özgöl}} = \frac{HC}{10^6} \times \frac{13,02}{28,97} \times \frac{\dot{m}_{hava} + \dot{m}_{yakıt}}{P_e} \quad (3.10)$$

$$NO_{\text{özgöl}} = \frac{NO}{10^6} \times \frac{30}{28,97} \times \frac{\dot{m}_{hava} + \dot{m}_{yakıt}}{P_e} \quad (3.11)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada buji ile ateşlemeli motor tam yük ve kısmi yük olmak üzere iki farklı çalışma koşullarında test edilmiştir. Çok nokta port enjeksiyon sistemine sahip olan bu motorda kullanılan her bir test yakıtında enjektörlerin püskürtme sürelerine herhangi bir müdahalede bulunulmamış ve bu süre motor kontrol ünitesince belirlenmiştir.

Şekil 4.1.'de HFK'nin tam yük koşullarında motor devrine bağlı olarak değişimi görülmektedir. Tam yük koşulları genel olarak içten yanmalı motorlarda güç modunun etkin olduğu çalışma koşullarıdır. Bu nedenle deneylerin gerçekleştirildiği buji ile ateşlemeli ve port enjeksiyonlu bu motorda da en yüksek motor gücünün elde edilebilmesi için motorun zengin hava/yakıt oranlarında çalıştırılması söz konusudur. Elektronik kontrol ünitesinin tam yük koşullarındaki püskürtme karakteristiğinin bir sonucu olarak tüm motor devirlerinde yalnızca kurşunsuz benzin (KB) kullanımında motorun stokiyometrik hava/yakıt oranından daha zengin ($\lambda < 1$) karışımlarla çalıştığı şekilde görülmektedir. Bu yakıt hazırlama stratejisi hem motor tarafından salınan egzoz emisyonlarına hem de katalitik konvertörün çalışma verimliliğine etki etmektedir.



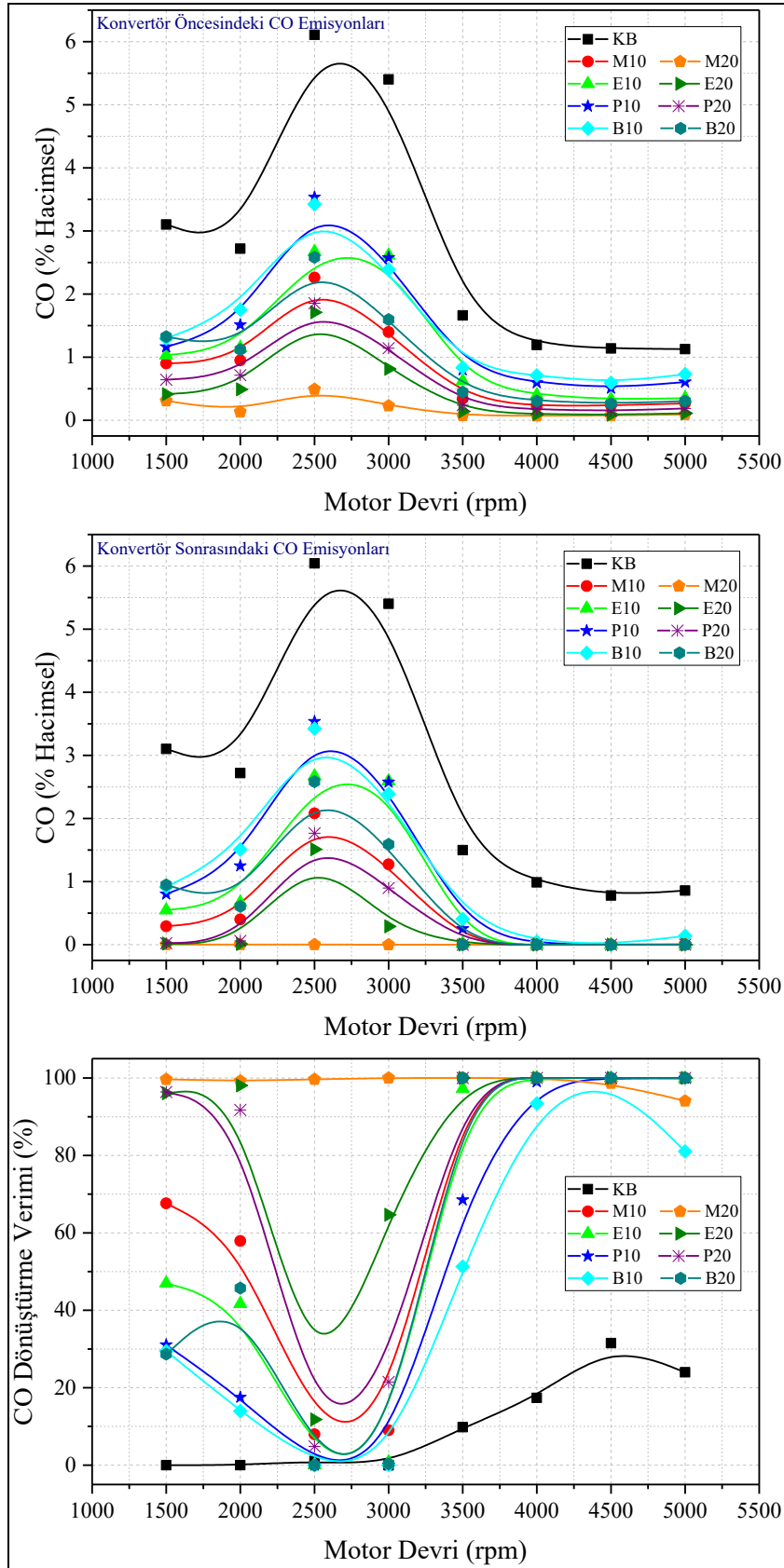
Şekil 4.1. Tam yükte HFK'nin motor devrine bağlı değişimi

Alkol içeren karışımların HFK'ye etkisi Şekil 4.1.'de net bir şekilde görülmektedir. Karışımda yer alan alkolün çeşidine ve oranına bağlı olarak HFK motor kontrol ünitesinin püskürtme karakteristiğine uyumlu bir şekilde artış göstermiştir. Bu artış deneylerde kullanılan alkoller içerisinde en düşük stokiyometrik hava/yakıt oranına sahip olan metanolde daha fazla (M20 yakıtında ortalama %15,4) gerçekleşmiştir.

KB'nin yanı sıra P10 ve B10 yakıtı kullanımında tüm motor devirlerinde motor stokiyometrik hava/yakıt oranından daha zengin karışımlarla çalışmıştır. Bununla birlikte P10 ve B10 karışımlarında özellikle 3500 rpm motor devrinden itibaren HFK 1 değerine oldukça yaklaşmıştır. M20 karışımında ise; 2500 rpm dışında motor hep fakir karışımla ($\lambda > 1$) çalışmıştır. Diğer test yakıtlarında ise; KB ile M20 yakıtları arasında elektronik kontrol ünitesinin püskürtme karakteristiğine uyumlu bir şekilde HFK değişim göstermiştir. HFK'deki değişimin literatürde yer alan çalışmalarda da [23, 40-42] belirtildiği gibi oksijen içeren yakıtların fakirleştirici etkisine bağlı olarak ortaya çıktığı ifade edilebilir.

Şekil 4.2.'de motor çıkışındaki (konvertör öncesi) ve konvertör sonrasındaki CO emisyonunun değişimi ile konvertör veriminin değişimi görülmektedir. CO emisyonu motor devrinden ziyade özellikle o devirdeki hava/yakıt oranından etkilenmektedir. İçten yanmalı motorlarda CO emisyonunun oluşumunda ana etken HFK'dır. Bu nedenle zengin karışımlarda CO emisyonu dikkate değer şekilde artış göstermektedir. Motor çıkışındaki CO emisyonu değerleri KB ile kıyaslandığında ortalama olarak sırasıyla B10, P10, E10, B20, M10, P20, E20 ve M20 yakıtlarında %45,9, %50,6, %62,7, %67,8, %73,7, %80,4, %86,5 ve %93,5 azalmıştır. Bu sonucun alkol içeren karışımların fakirleştirici etkisiyle ortaya çıkan bir durum olduğu ifade edilebilir.

Konvertör sonrasındaki CO emisyonu değerleri konvertörün çalışma verimliliğinden doğrudan etkilenmektedir. HFK'nin 1'in üzerinde olduğu çalışma şartları CO için konvertör verimliliğinin daha yüksek olduğu çalışma şartları olduğundan en iyi sonuçlar M20 yakıtı ile elde edilmiştir. Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi M20 karışımında CO dönüştürme verimi çoğu zaman %100'e yaklaşırken konvertör çıkışındaki emisyon değeri sıfırlanmıştır. Diğer test yakıtlarında fakirleştirici etkilerine bağlı olarak değişim KB ile M20 arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca stokiyometrik hava/yakıt oranına daha yakın çalışmanın gerçekleştiği 3500 rpm motor devrinin üzerindeki devirlerde dönüştürme veriminde dikkate değer artışlar elde edilmiştir.

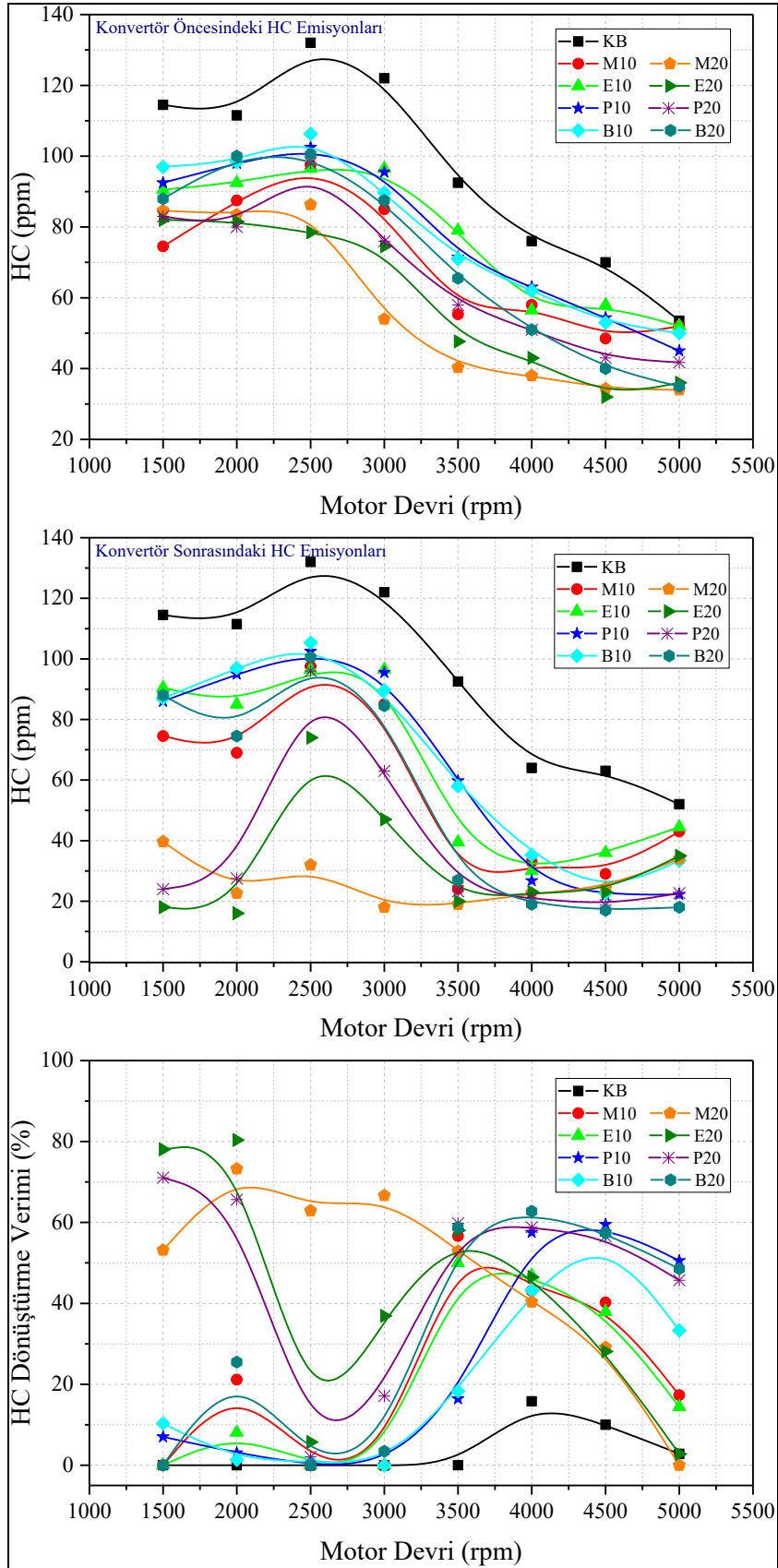


Şekil 4.2. CO emisyonunun ve konvertör veriminin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 4.3.'te HC emisyonunun ve konvertör veriminin motor devrine bağlı değişimi verilmiştir. HC emisyonu da CO emisyonuna benzer şekilde motorun yakıt püskürtme stratejisi ile ortaya çıkan HFK değişiminden etkilenmiştir. Bu nedenle Şekil 4.3.'te görülen motor devrine bağlı HC emisyonu değişimi Şekil 4.2.'deki CO emisyonu değişim eğrisine oldukça benzemektedir.

Yanma odasındaki yetersiz oksijen konsantrasyonunun yanı sıra sıcaklıkların yetersiz olması veya alev cephesinin silindir içerisinde nispeten soğuk cidarlara doğru ilerleyemediği ve söndüğü bölgeler de HC oluşumunda etkili olmaktadır. Ayrıca yağ filmi tarafından yanmamış HC'ların absorbe edilmesi ya da salınımı da HC oluşum nedenleri arasında değerlendirilir [12, 13, 43-45]. Bu açıdan HC emisyonlarının değişimi değerlendirildiğinde özellikle 3500 rpm motor devrinden sonra HFK'nın izlediği yatay seyre bağlı olarak CO emisyonunun da nispeten yatay bir seyir izlediği HC emisyonunun ise motor devrindeki artışa bağlı olarak bir miktar daha azaldığı anlaşılmaktadır. Motor devrindeki artış birim zamandaki çevrim sayısının artırdığından yanma odası cidar sıcaklıkları daha da artmakta ve bu durum alevin sönmelerini geciktirerek HC emisyonlarının iyileşmesine katkıda bulunmaktadır. CO emisyonlarında olduğu gibi KB'ye kıyasla motor çıkışındaki HC emisyonlarında en fazla iyileşme (ortalama %41,9) M20 yakıtında elde edilmiştir.

Konvertör sonrasındaki HC emisyonu konvertör verimine bağlı olarak değişim göstermiştir. CO emisyonuna kıyasla daha düşük dönüştürme veriminin elde edildiği HC emisyonlarında en yüksek verim ortalama olarak %47,3 ile M20 yakıtında elde edilmiştir.

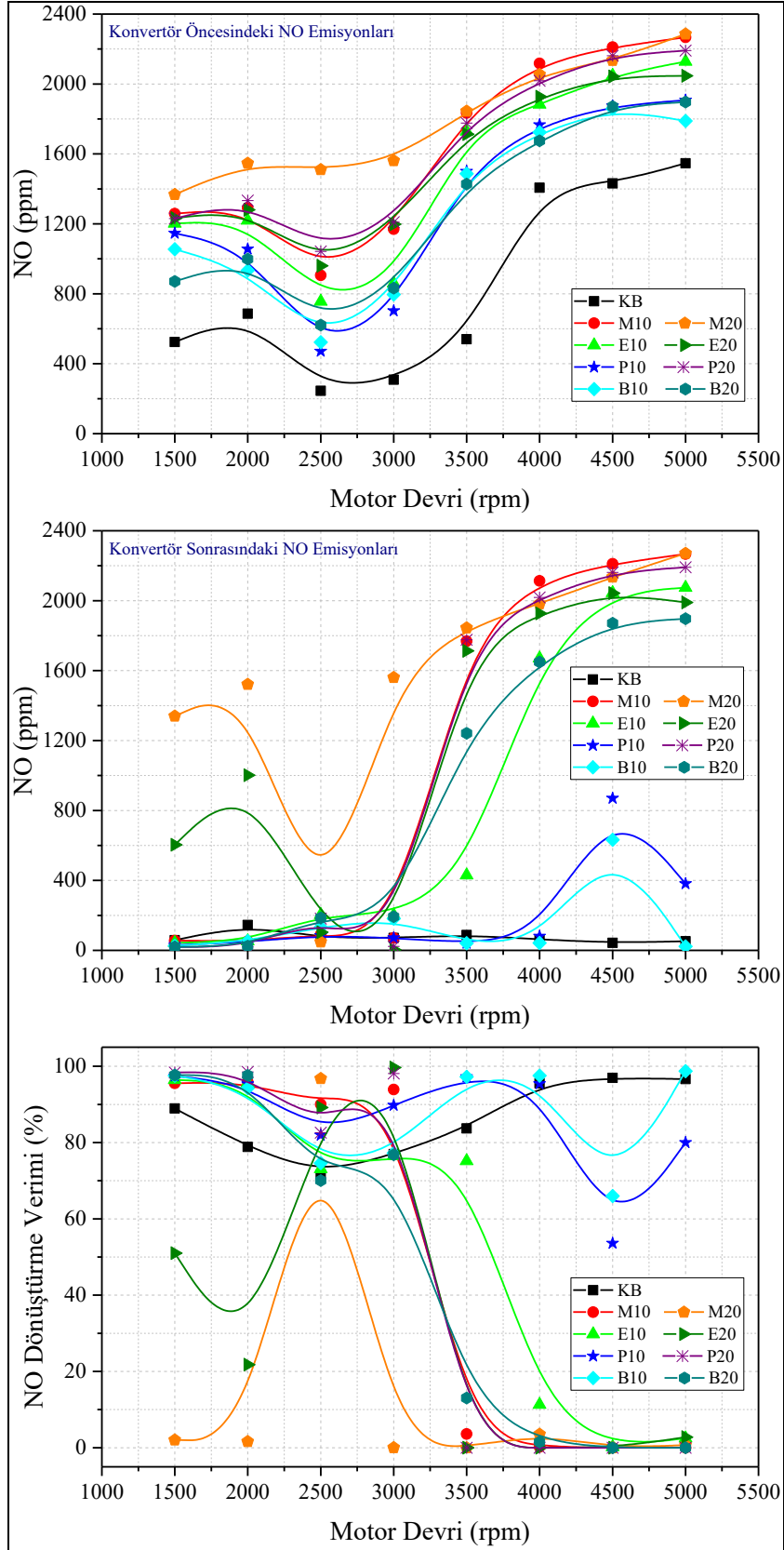


Şekil 4.3. HC emisyonunun ve konvertör veriminin motor devrine bağlı değişimi

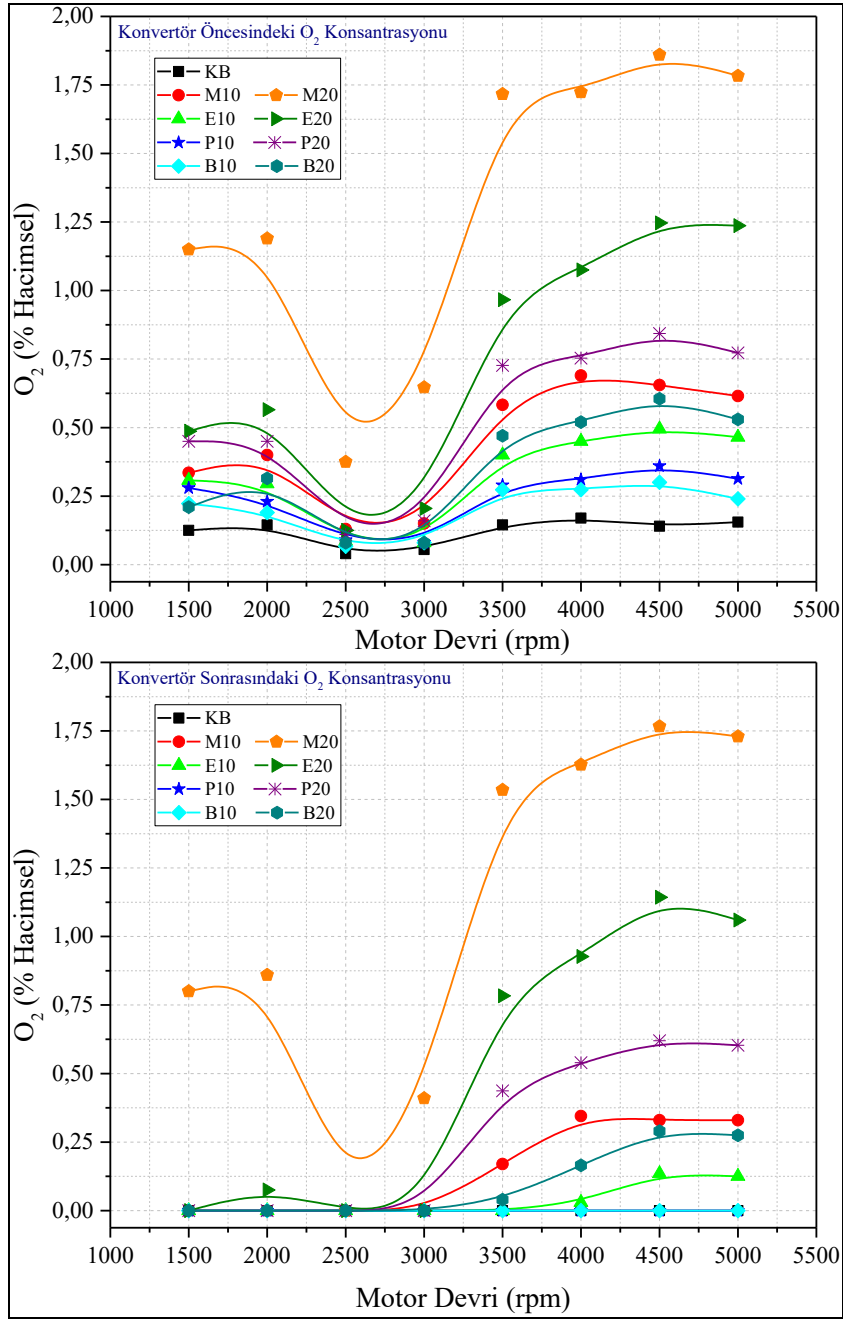
NO emisyonunun ve konvertör veriminin motor devrine bağılı değişimi Şekil 4.4.'te verilmiştir. NO emisyonunun HFK'ye bağılı değişimi dikkate alındığında CO ve HC oluşumuna kıyasla nispeten zıt bir değişime sahip olduğu görülür. NO oluşumu için yüksek sıcaklıklara (1600 °C'nin üzerinde) ve yeterli oksijene ihtiyaç vardır. Bu nedenle yüksek yanma sıcaklıklarının elde edildiği ve oksijen konsantrasyonunun yeterli olduğu stokiyometrik hava/yakıt oranından nispeten fakir karışım oranlarında ($\lambda=1,05-1,1$) NO en yüksek değerine ulaşır [12, 13, 15, 31].

Konvertör öncesindeki NO emisyonunun motor devrine göre değişimi CO ve HC emisyonlarında görülen değişime oldukça zıt bir değişime sahip olduğu Şekil 4.4.'te görülmektedir. Bu nedenle en düşük CO ve HC emisyonlarının görüldüğü ve en yüksek dönüştürme verimlerinin elde edildiği M20 yakıtında motor çıkışındaki NO emisyonlarının diğer test yakıtlarından daha yüksek (ortalama olarak yaklaşık KB'nin iki katı) ve NO emisyonu dönüştürme veriminin en düşük olduğu Şekil 4.4.'te net bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte M20 yakıtında en yüksek dönüştürme verimi (yaklaşık %97) sadece 2500 rpm motor devrinde elde edilmiştir. Diğer motor devirlerinde ise; dönüşüm verimi sıfıra yaklaşmaktadır. 2500 rpm motor devrinde M20 yakıtı kullanımında hava/yakıt oranının stokiyometrik oranda olduğu diğer devirlerde ise motorun fakir hava/yakıt oranlarında çalıştığı Şekil 4.1.'den anlaşılmaktadır. Bu sonuçla birlikte oksijen içeren yakıtların fakirleştirici etkisinin NO emisyonuna olumsuz yansımaması ve konvertörün yüksek dönüştürme verimine sahip olması için motorun stokiyometrik hava/yakıt oranında çalıştırılmasının önemi öne çıkmaktadır.

Şekil 4.5.'te katalitik konvertör öncesindeki ve sonrasındaki oksijen konsantrasyonunun motor devrine bağılı değişimi verilmiştir. Genel olarak test yakıtlarında konvertör girişindeki oksijen miktarının çıkışta azaldığı görülmektedir. Bu durum konvertör tarafından CO ve HC emisyonlarının dönüşümünde bir miktar oksijenin kullanıldığı şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca şekilde görüldüğü üzere fakirleştirici etkisi daha fazla olan yakıtlarda çıkışta da görülen oksijen konsantrasyonunun dönüşümde kullanılamayan ekstra oksijen konsantrasyonu olduğu ifade edilebilir. İlave olarak bu durumun M20 gibi daha fazla fakirleştirici etkiye sahip yakıtlarda NO emisyonu dönüştürme veriminin neden daha düşük olduğunun da bir göstergesi olduğu ifade edilebilir.



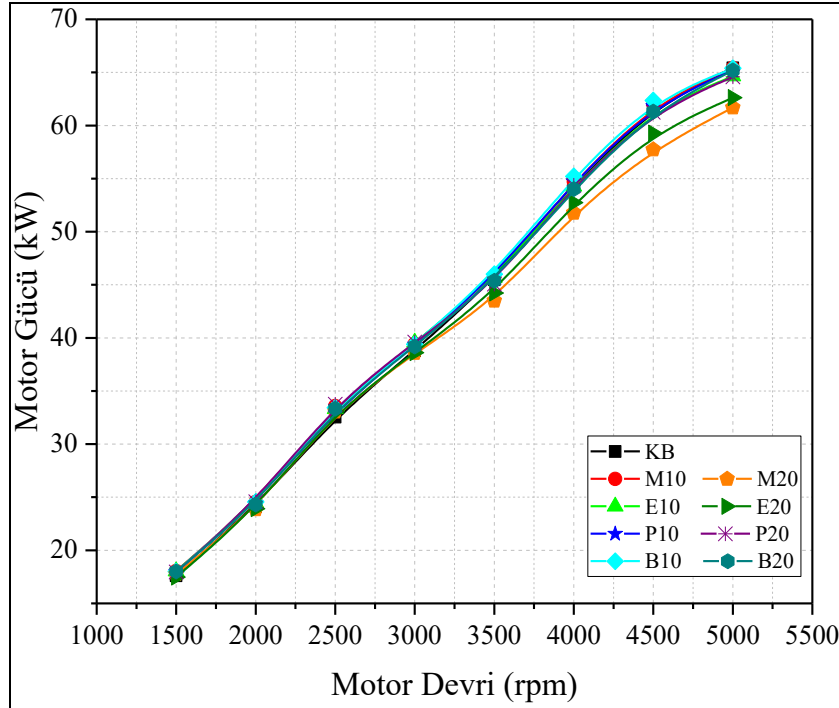
Şekil 4.4. NO emisyonunun ve konvertör veriminin motor devrine bağlı değişimi



Şekil 4.5. Konvertör öncesindeki ve sonrasındaki oksijen konsantrasyonunun motor devrine bağlı değişimi

Çeşitli motor devirlerinde elde edilen motor gücü Şekil 4.6.'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi tam yük şartlarında KB ve diğer test yakıtlarında elde edilen efektif güç birbirine oldukça yakındır. KB'ye kıyasla ortalama olarak en fazla artış %1,5 ile B10 yakıtında görülürken en fazla düşüş %2,6 ile M20 yakıtında elde edilmiştir. Alkollerin alt ısı değerlerinin KB'den daha düşük olmasına rağmen test yakıtlarında düşük oranda kullanılmaları ve hava/yakıt oranının stokiometrik orana yaklaşmasıyla birlikte yanma

veriminin artması güçteki kaybın önlenmesine yardımcı olabileceği düşüncesi ileri sürülebilir.



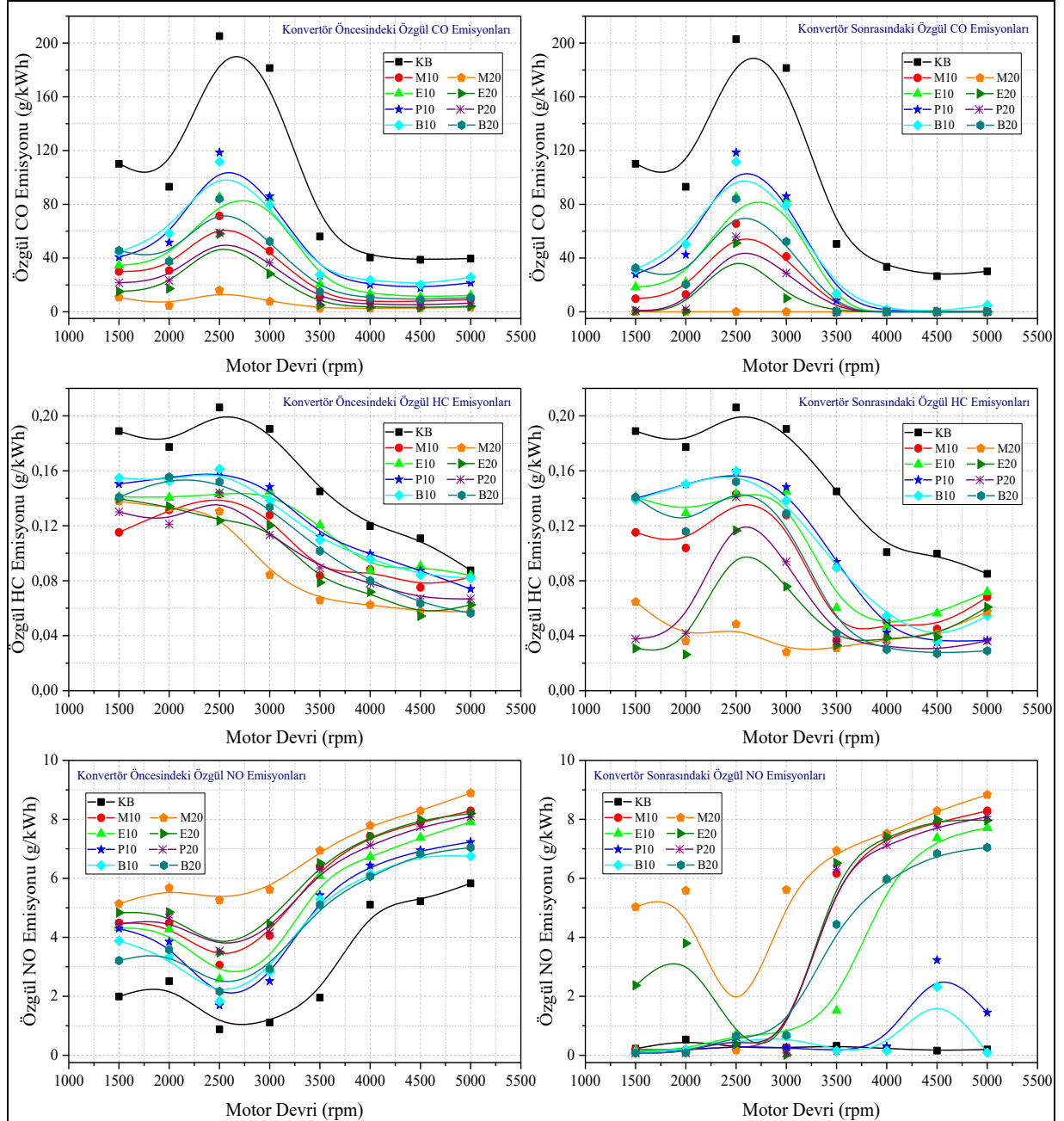
Şekil 4.6. Tam yük koşullarında motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

Şekil 4.7.'de birim efektif motor gücü üretimi başına konvertör öncesindeki ve sonrasındaki ana kirletici emisyonların değişimi verilmiştir. Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi motor gücünde KB'ye kıyasla önemli değişimlerin olmamasının bir sonucu olarak özgül egzoz emisyonları deneyler esnasında alınan egzoz emisyon ölçüm sonuçlarına oldukça yakın bir değişim göstermiştir.

Konvertör öncesindeki değerler KB ile kıyaslandığında CO ve HC emisyonlarında en fazla iyileşme sırasıyla ortalama olarak %93,4 ve %41,1 ile M20 yakıtında elde edilirken NO emisyonundaki en fazla artış da (%200,7) yine aynı karışımda görülmüştür. Diğer karışımlarda karışımda kullanılan alkolün çeşidine ve karışımdaki oranına bağlı olarak özgül emisyonların değişim gösterdiği görülmüştür. Örneğin en düşük fakirleştirme etkisine sahip olan B10 yakıtında özgül CO ve özgül HC emisyonları ortalama olarak sırasıyla %46,7 ve %19,5 azalırken özgül NO emisyonu %78,4 artış göstermiştir.

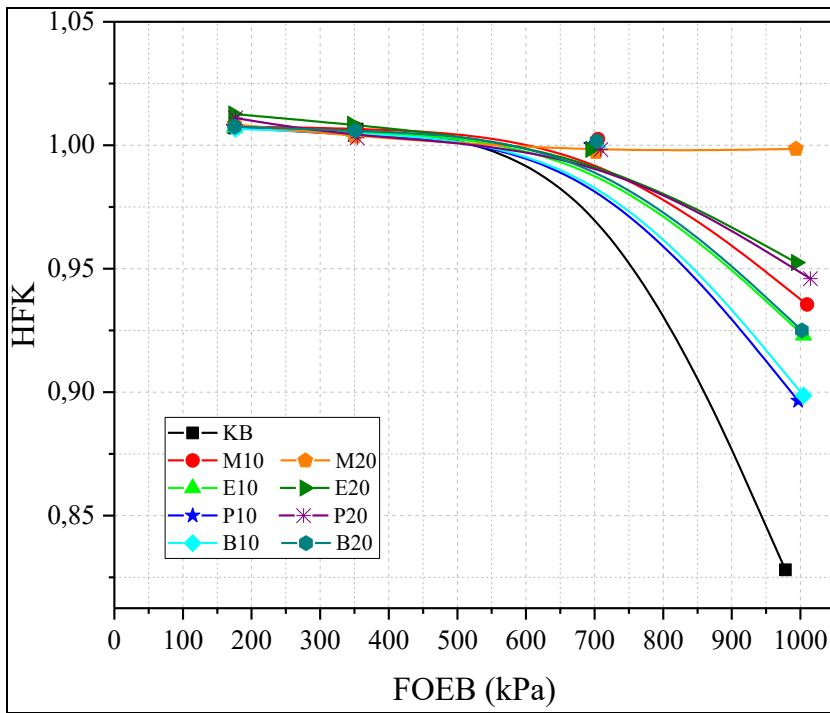
Katalitik konvertör sonrasındaki özgül emisyonların tamamı için en iyi sonuçlar 4000 rpm'den itibaren yüksek motor devirlerinde özellikle B10 yakıtında elde edilmiştir. Özgül

CO, özgül HC ve özgül NO emisyonları birlikte değerlendirildiğinde stokiyometrik orana yakın çalışmanın elde edildiği bu devirler katalitik konvertörün dönüştürme verimliliği açısından avantaj sağlamıştır. 4000-5000 rpm motor devri aralığında B10 yakıtında özgül CO emisyonlarında ortalama %100'e yakın azalma sağlanırken bu değerler özgül HC ve özgül NO emisyonları için sırasıyla ortalama %55,9 ve %76,3 olarak gerçekleşmiştir.



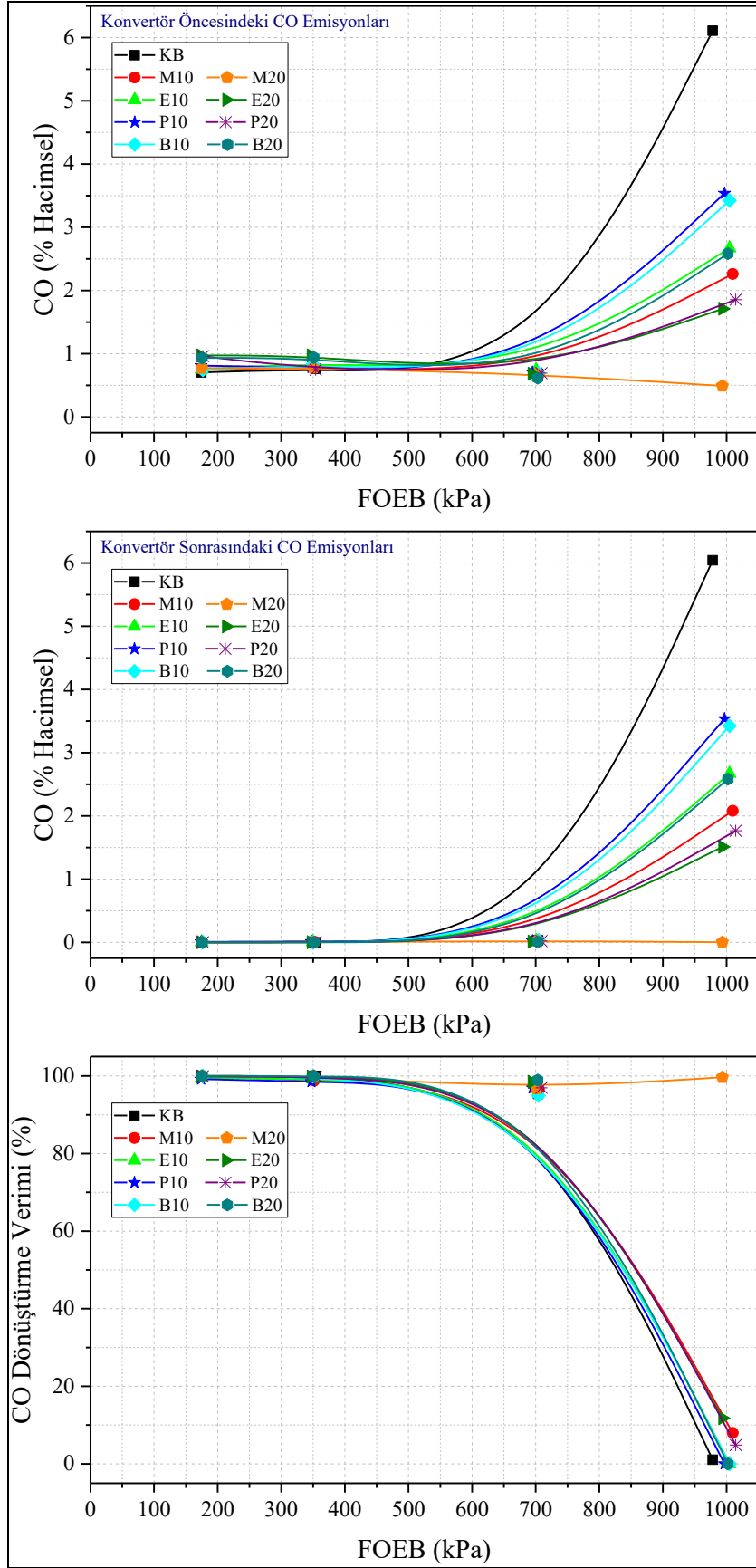
Şekil 4.7. Konvertör öncesindeki ve sonrasındaki özgül emisyonların motor devrine bağlı değişimi

Kısmi yüklerde test yakıtlarının egzoz emisyonlarına ve konvertör verimine etkisi 2500 rpm motor devrinde incelemiştir. Motor yüküne bağlı olarak HFK'nın değişimi Şekil 4.8.'de verilmiştir. Tam yükteki deneylerden farklı olarak kısmi yüklerde tüm test yakıtlarında birbirine oldukça yakın HFK değerleri elde edilmiştir. Grafikte bu durum net bir şekilde kendisini göstermektedir. Kısmi yüklerde alkol içeren karışımların fakirleştirici etkisi görülmezken KB kullanımında da hava/yakıt oranının stokiyometrik orana yakın olduğu tespit edilmiştir. Yakıt tüketim değerleri dikkate alındığında kısmi yüklerde en fazla artış ortalama olarak %5,1 ile M20 yakıtında görülmüştür.



Şekil 4.8. HFK'nın motor yüküne bağlı değişimi

Şekil 4.8.'de görülen değişim tam yüktekinden farklı olarak hem KB hem de alkol içeren tüm yakıtlarda egzoz emisyonlarında ve konvertör dönüştürme verimlerinde benzer bir eğilimin ve iyileşmenin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Şekil 4.9.'da görüldüğü gibi konvertör öncesindeki CO emisyonu tam yükte alkol içeren karışımlarda karışımdaki alkolün çeşidine ve oranına bağlı olarak değişirken kısmi yüklere gelindiğinde bu ayrımı yapmanın pek mümkün olmadığı ve birbirine oldukça yakın değerlerin elde edildiği görülmüştür. Konvertör dönüştürme veriminin de birbirlerine oldukça yakın ve yüksek olması konvertör sonrasındaki CO emisyonlarında da benzer bir durumu ortaya çıkarmıştır.

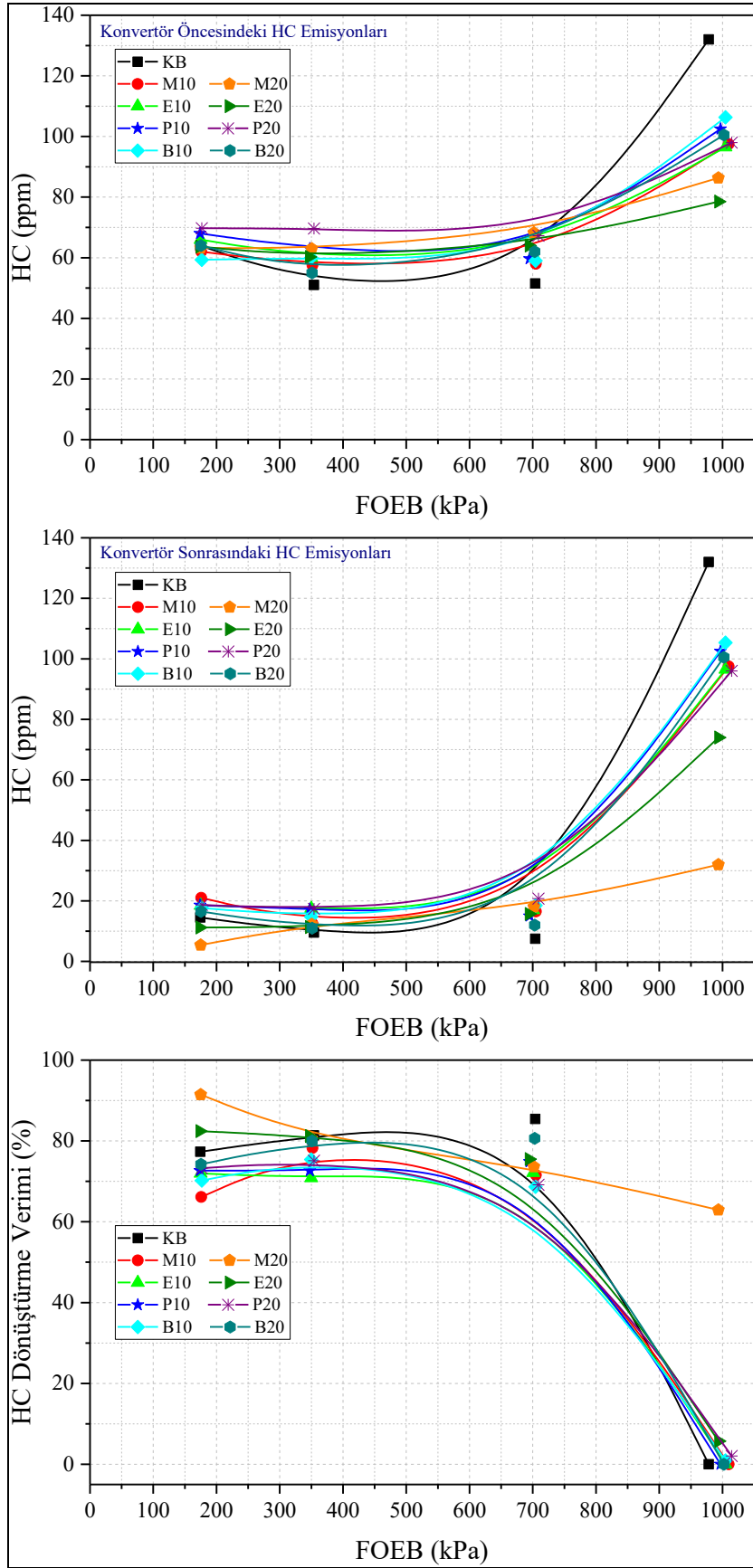


Şekil 4.9. CO emisyonunun ve konvertör veriminin motor yüküne bağlı değişimi

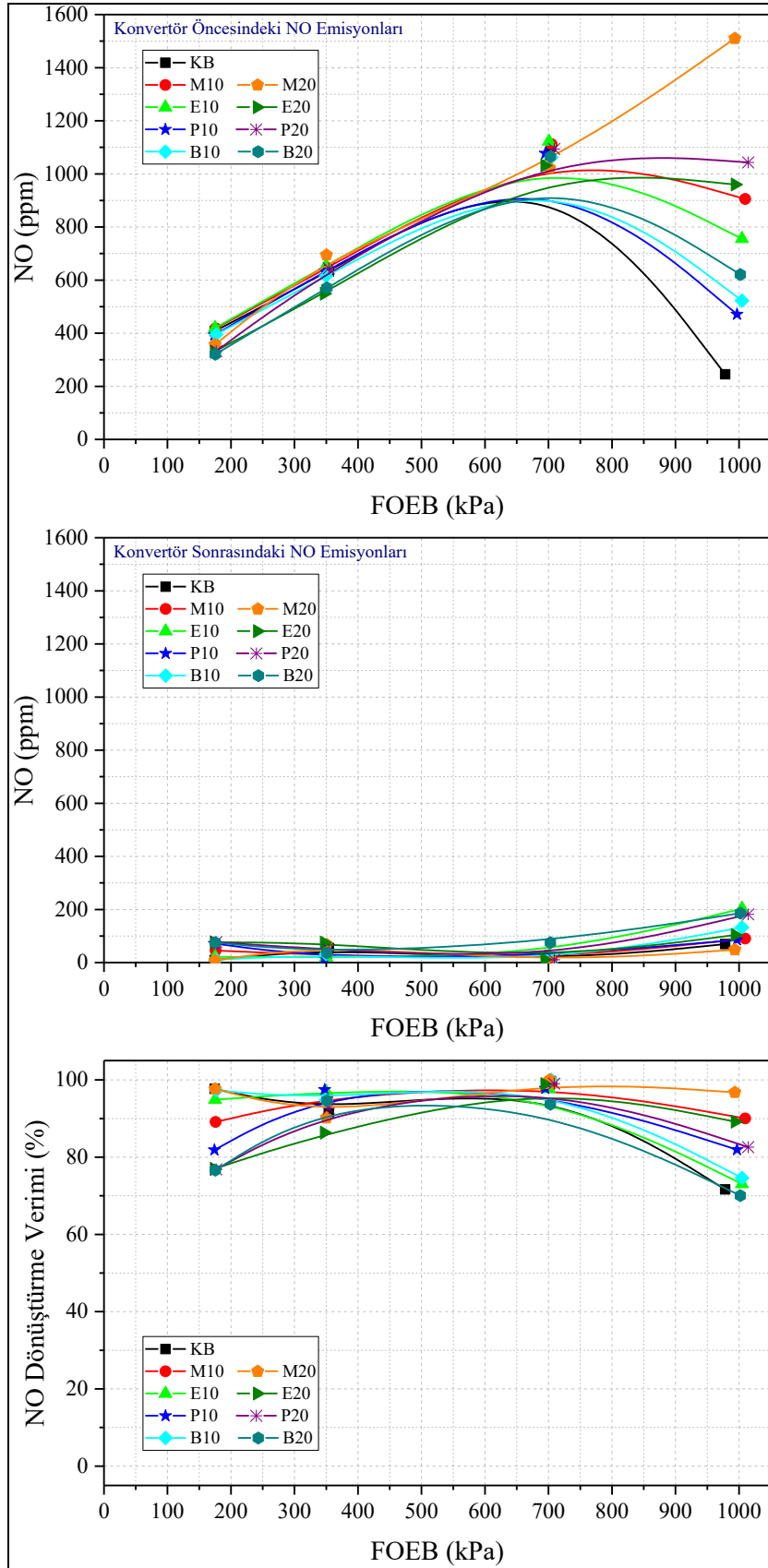
Şekil 4.10. ve 4.11.'de sırasıyla motor yüküne bağlı olarak HC ve NO emisyonlarının konvertör öncesindeki ve sonrasındaki değişimleri ile konvertör dönüştürme verimleri verilmiştir. Kısmi yükte motor çıkışındaki (konvertör öncesi) HC emisyon değerleri karşılaştırıldığında yakıt tipine bağlı olarak belirgin bir değişim gözlenmezken ortalama değerden $\pm 9,7$ ppm bir değişim olduğu gözlemlenmiştir. Konvertör sonrasındaki HC emisyonlarının değişimi ve dönüştürme veriminde de yakıt tipine bağlı bir değişim görülmemiştir.

Söz konusu NO emisyonları olduğunda da konvertör öncesindeki değerleri arasında yakıt tipine bağlı belirgin bir fark görülmemiştir. Kısmi yüklerde stokiyometrik hava/yakıt oranına yakın oranlarda motorun çalışması nedeniyle CO ve HC emisyonlarında elde edilen yüksek dönüştürme verimlerine NO emisyonunda da ulaşılmıştır.

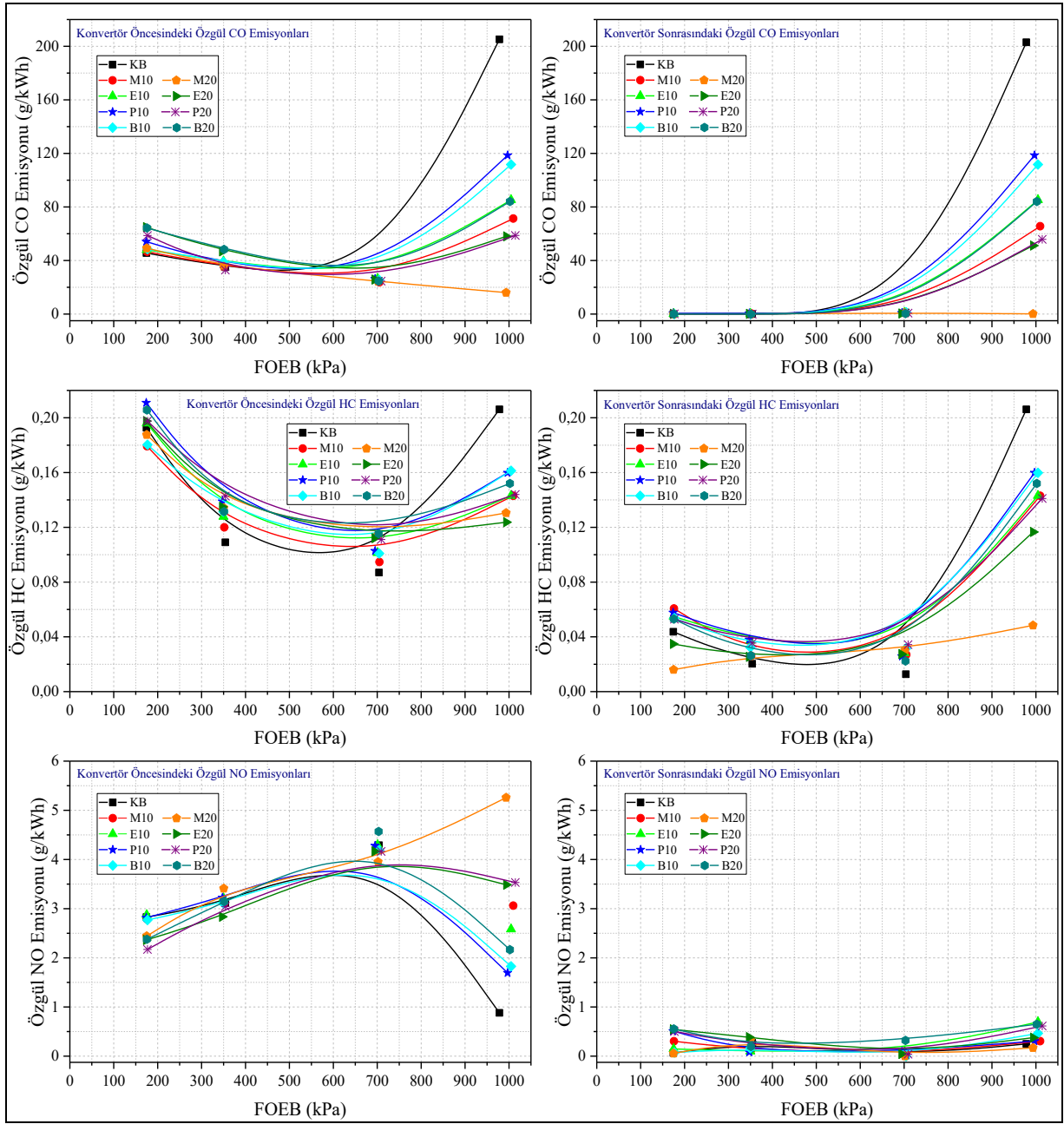
Şekil 4.12.'de özgül emisyonların motor yüküne bağlı değişimleri görülmektedir. Kısmi yüklerde tüm yakıtlarda elde edilen efektif gücün birbirine oldukça yakın olması (Kısmi yük grafiklerinde FOEB değerlerinin tüm yakıtlar için birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.) özgül emisyonların da birbirine yakın ve ölçüm sonuçlarına daha uyumlu olmasını kaçınılmaz bir sonuç olarak ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 4.10. HC emisyonunun ve konvertör veriminin motor yüküne bağlı değişimi



Şekil 4.11. NO emisyonunun ve konvertör veriminin motor yüküne bağlı değişimi



Şekil 4.12. Konvertör öncesindeki ve sonrasındaki özgül emisyonların motor yüküne bağlı değişimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında %10 ve %20 oranda alkol (metanol, etanol, izo-propanol veya izo-bütanol) içeren karışımların buji ile ateşlemeli bir motorda özellikle egzoz emisyonları ve katalitik konvertör verimine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler tam yük ve kısmi yük olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışma dört silindirli, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli bir motorda gerçekleştirilmiştir. Tam yükte 1500-5000 rpm motor devri aralığında ve kısmi yükte 2500 rpm motor devrinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre özellikle tam yükte alkol içeren karışımların fakirleştirici etkisinin egzoz emisyonları ve katalitik konvertör verimine etkisi net bir şekilde gözlemlenmiştir.

Tam yükte gerçekleştirilen deneylerde genel olarak en yüksek fakirleştirici etkinin görüldüğü M20 yakıtında CO ve HC emisyonlarında hem motor çıkışında hem de konvertör sonrasında dikkate değer iyileşmeler elde edilmiştir. Bu iyileşmede konvertörün yüksek dönüştürme verimine sahip olduğu bölgede çalışmasının ve HFK'nin KB'ye oranla yüksek seyretmesinin etkisi büyüktür. NO emisyonları söz konusu olduğunda CO ve HC emisyonlarında görülen etkinin tamamen zıttı bir durumu ile karşılaşmıştır. NO emisyonu M20 yakıtı ile motor çıkışında artış gösterdiği gibi konvertörün NO emisyonu açısından verimsiz çalıştığı bölgede çalışması konvertör sonrasındaki emisyonların KB'ye kıyasla çok daha yüksek elde edilmesine neden olmuştur.

Kısmi yükte gerçekleştirilen deneylerde ise kullanılan alkoller ile emisyon değerleri arasında tam yükte olduğu gibi marjinal farklar görülmemektedir. Bunun nedeni tam yüklerde HFK'nin alkol içeren yakıtlarda alkolün çeşidine ve kullanılan orana bağlı olarak daha yüksek değerlere çıkmasına bağlanabilir. Kısmi yüklerde HFK değerlerinin bütün alkollerde yakın değerler seyrettiği gözlemlenmiştir. Kısmi yüklerde alkollerin fakirleştirici etkisinin çok daha az olması ya da görülememesi CO ve HC emisyonlarında konvertör öncesinde kayda değer bir iyileşme sağlamamıştır. Ancak H/Y'nin bütün alkol-benzin karışımlarında stokiyometrik değere yakın seyretmesi konvertör verimini olumlu etkilemiştir.

Yapılan bu çalışma buji ile ateşlemeli motorlarda etkin emisyon kontrolünde kullanılan katalitik konvertörlerin hava/yakıt oranı açısından ne kadar hassas olduğunu deneysel olarak ortaya koymaktadır. Bu açıdan elektronik kontrol ünitesinin motorun hava/yakıt oranını kontrolünün mümkün olduğunca hassas ve kullanılan yakıtı göre esnek bir şekilde yapılması gerektiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. Xudong Z. and Yang W. (2015). Numerical analysis on original emissions for a spark ignition methanol engine based on detailed chemical kinetics , *Renewable Energy*, 81, 43-51
2. Alasfour, F.N. (1997). Butanol-A single-cylinder engine study: availability analysis. *Applied Thermal Engineering*, 21(1), 21-30.
3. Săpunaru, O. V., Sterpu, A. E., Brînzei, M., Pascu, S. and Koncsag, C. I. (2023) Etherification of olefins from catalytic cracking gasoline to increase its octane number. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 188, 109374
4. Yusri, I. M., Mamat, R., Najafi, G., Razman, A., Awad, O. I., Azmi, W. H. And Shaiful, A. I. M. (2017). Alcohol based automotive fuels from first four alcohol family in compression and spark ignition engine: A review on engine performance and exhaust emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 169-181
5. Li, X., Zhen, X., Wang, Y., and Tian, Z. (2022). Numerical comparative study on performance and emissions characteristics fueled with methanol, ethanol and methane in high compression spark ignition engine. *Energy*, 254, 124374.
6. Wu, C.-W., Chen, R.-H., Pu, J.-Y., and Lin, T.-H. (2004). The influence of air–fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline-blended fuels. *Atmospheric Environment*, 38(40), 7093-7100.
7. Kumbhar, S. V. and Khot, S. A. (2023). Experimental investigations of ethanol-gasoline blends on the performance, combustion, and emission characteristics of spark ignition engine spark ignition (S.I) engine with partial addition of n-pentane. *Materials Today: Proceedings*, 77, 647-653.
8. Yu, X., Hu, Z., Guo, Z., Li, D., Wang, T. and Li, Y. (2022). Research on combustion and emission characteristics of a hydrous ethanol/hydrogen combined injection spark ignition engine under lean-burn conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(63), 27223-27236.
9. Qian, Y., Guo, J., Zhang, Y., Tao, W., and Lu, X. (2018). Combustion and emission behavior of N-propanol as partially alternative fuel in a direct injection spark ignition engine. *Applied Thermal Engineering*, 144, 126-136.
10. He, B.-Q., Jian-Xin Wang, Hao, J.-M., Yan, X.-G., and Xiao, J.-H. (2003). A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels. *Atmospheric Environment*, 37(7), 949-957.
11. Al-Hasan, M. (2003). Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission. *Energy Conversion and Management*, 44(9), 1547-1561.

12. Schäfer, F., and Basshuysen, van R. (1995). *Reduced Emissions and Fuel Consumption in Automotive Engines*. Warrendale, PA United States: SAE International, 225.
13. Abdel-Rahman, A. A. (1998). On the emissions from internal-combustion engines: a review. *International Journal of Energy Research*, 22(6), 483-513.
14. Mondt, J.R. (2000). *Cleaner Cars: The History and Technology of Emission Control Since the 1960s*. Society of Automotive Engineers, 262.
15. Kutlar, O. A., Ergeneman, M., Arslan, H., ve Mutlu, M. (1998). *Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 112.
16. Koltsakis, G. C., and Stamatelos, A. M. (1997). Catalytic automotive exhaust aftertreatment. *Progress in Energy and Combustion Science*, 23(1), 1-39.
17. Heywood, John B. (1988) *Internal Combustion Engine Fundamentals*. United States: McGraw-Hill, 930.
18. Bhattacharyya, S. and Das, R. K. (1999). Catalytic control of automotive NO_x: A review. *International Journal of Energy Research*, 23, 351-369
19. Pulkrabek, W. W. (2004). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 411.
20. Sher, E. (1998). *Handbook of air pollution from internal combustion engines : pollutant formation and control* (C. Chapter 8 Milton,B.E). Academic Press.
21. İnternet: Saraiwan. (2021). busting the myths in catalytic converter recycling. Web: <https://www.ecotradergroup.com/en/blog/Myths-in-catalytic-converter-recycling>. Son erişim tarihi: 19.06.2023
22. Gong, C., Huang, K., Deng, B. and Liu, X. (2011). Catalyst light-off behavior of a spark-ignition LPG (liquefied petroleum gas) engine during cold start. *Energy*, 36(1), 53-59.
23. Topgül, T., Cinar, C. ve Ozdemir, A. O. (2021). the variations of the exhaust emissions at low ambient temperature for E10 and M10 fueled si engine. *Isı Bilimi Ve Teknigi Dergisi/ Journal of Thermal Science and Technology*, 41(2), 227-237.
24. Balki, M. K., Sayin, C. and Canakci, M. (2014). The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine. *Fuel*, 115, 901-906.
25. Pratama, R. F., Wibowo, C. S., Fathurrahman, N. A. and Hartulistiyo, E. (2021). An experimental investigation of gasoline-methanol (M5-M10) blends on performance in SI engine. *Uluslararası Yakıtlar Yanma Ve Yangın Dergisi*, 9(1), 30-41.
26. Şimşek, D., Yılmaz Çolak, N. and Oral, F. (2018). The Effect on Performance and Emissions the Spark Ignition Engines of n-propanol and iso-propanol/Gasoline Fuel Blends. *BEU Journal of Science*, 7.

27. Hışır, V. (2010). Bütanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorların performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 499-507
28. Edwin Geo, V., Jesu Godwin, D., Thiyagarajan, S., Saravanan, C. G. and Aloui, F. (2019). Effect of higher and lower order alcohol blending with gasoline on performance, emission and combustion characteristics of SI engine. *Fuel*, 256, 115806.
29. Eyidoğan, M., Özsezen, A., Alptekin, E., Türkcan, A., Kılıçaslan, İ. ve Çanakcı, M. (2011). Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorun yanma parametrelerine ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 499-507.
30. Elfasakhany, A. (2017). Investigations on performance and pollutant emissions of spark-ignition engines fueled with n -butanol-, isobutanol-, ethanol-, methanol-, and acetone-gasoline blends: A comparative study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 404-413.
31. Alasfour, F. N. (1998b). NO_x Emission from a spark ignition engine using 30% Iso-butanol-gasoline blend: Part 1—Preheating inlet air. *Applied Thermal Engineering*, 18(5), 245-256.
32. Alasfour, F. N. (1998a). NO_x Emission from a spark ignition engine using 30% iso-butanol-gasoline blend: part 2—ignition timing. *Applied Thermal Engineering*, 18(8), 609-618.
33. Varol, Y., Öner, C., Öztop, H. F. and Altun, Ş. (2014). Comparison of Methanol, Ethanol, or n-Butanol Blending with Unleaded Gasoline on Exhaust Emissions of an SI Engine. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 36(9), 938-948.
34. Şimşek, D., Oral, F. ve ÇOLAK, N. Y. (2019). Tek silindirli buji ateşlemeli motorlarda benzin-propanol-hekzan yakıt karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisi. *J. of Thermal Science and Technology*, 39, 81-89.
35. Costagliola, M. A., De Simio, L., Iannaccone, S. and Prati, M. V. (2013). Combustion efficiency and engine out emissions of a S.I. engine fueled with alcohol/gasoline blends. *Applied Energy*, 111, 1162-1171.
36. Türk Standardı (TS 1231). (2010) *İçten yanmalı motorlar-Muayene ve deney esasları*. Türkiye: Türk Standartları Enstitüsü, 28.
37. Karagöz, Y., Balcı, Ö. and Köten, H. (2019). Investigation of hydrogen usage on combustion characteristics and emissions of a spark ignition engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(27), 14243-14256.
38. Ağbulut, Ü., Sarıdemir, S. and Albayrak, S. (2019). Experimental investigation of combustion, performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with diesel-biodiesel-alcohol blends. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(9), 389.

39. Guillin-Estrada, W., Maestre-Cambronel, D., Bula-Silvera, A., Gonzalez-Quiroga, A. and Duarte-Forero, J. (2021). Combustion and Performance Evaluation of a Spark Ignition Engine Operating with Acetone–Butanol–Ethanol and Hydroxy. *Applied Sciences*, 11(11), 5282.
40. Hsieh, W.-D., Chen, R.-H., Wu, T.-L. and Lin, T.-H. (2002). Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment*, 36(3), 403-410.
41. Masum, B. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Rizwanul Fattah, I. M., Palash, S. M. and Abedin, M. J. (2013). Effect of ethanol–gasoline blend on NO_x emission in SI engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 209-222.
42. Topgül, T. (2015). The effects of MTBE blends on engine performance and exhaust emissions in a spark ignition engine. *Fuel Processing Technology*, 138, 483-489.
43. Hochgreb, S. (1998). Combustion-Related Emissions in SI Engines. İçinde *Handbook of Air Pollution From Internal Combustion Engines*, 118-170.
44. Shayler, P. J., Chick, J., Darnton, N. J. and Eade, D. (1999). Generic functions for fuel consumption and engine-out emissions of HC, CO and NO_x of spark-ignition engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 213(4), 365-378.
45. Yu, S. and Min, K. (2002). Effects of the oil and liquid fuel film on hydrocarbon emissions in spark ignition engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 216(9), 759-771.



Gazili olmak ayrıcalıktır