

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ MgO-ZrO₂
TERMAL BARIYER ÇEMBERLİ BİR MOTORDA
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vezir AYHAN

Enstitü Anabilim Dalı	:	MAKİNA EĞİTİMİ
Tez Danışmanı	:	Doç. Dr. Adnan PARLAK

Temmuz 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ MgO-ZrO₂
TERMAL BARIYER ÇEMBERLİ BİR MOTORDA
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vezir AYHAN

Enstitü Anabilim Dalı	:	MAKİNA EĞİTİMİ
-----------------------	---	----------------

Bu tez 25 / 07 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr.Adnan PARLAK	Prof.Dr.İsmet ÇEVİK	Yrd.Doç.Dr.S.Hakan SOYHAN
Jüri Başkanı	Üye	Üye

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın hazırlanması sırasında çalışmalarımı teővik eden, her türlü yardımlarını esirgemeyen danışmanım Doç.Dr.Adnan PARLAK' a minnet borçluyum. Deneyler sırasında yardımcı olan Arş.Gör. Murat KAPSIZ' a, Arş.Gör. İdris CESUR' a, Hasan Hüseyin GENCER' e, Mustafa ÇELİK' e, ve Halil zkan AKKOYUNLU' ya teőekkürlerimi sunarım. Deneyler sırasında her türlü yardımlarını esirgemeyen Hasan GREL, ve Sadi YAPICIOĞLU Őukranlarımı sunarım. Deney motorunun bakımı ve gerekli ayarlarının yapılmasında yardımcı olan VARLIK (VARKUT) Motor Yenileştirme Atölyesi İşverenleri ve Personeline, METİN CONTA' ya gösterdikleri yakın ilgiden dolayı Őukranlarımı sunarım. Seramik kaplama işleminde benimle yakından ilgilenen Ebubekir CEBECİ' ye teşekkür ederim. Tez yazım aşamasında bana yardımcı olan Aileme ve tüm arkadaşlarıma teőekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2006

Vezir AYHAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR.....	8
2.1. Metanolün İçten Yanmalı Motorlarında Kullanımı	8
2.1.1. Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	10
2.1.2. Karışım oluşturulması ve motor performansına etkisi	10
2.1.3. Yanma performansı	13
2.1.4. Egzoz emisyonu	13
2.2. Etanolün İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı.....	14
2.2.1. Etanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	15
2.2.2. Yanma performansı.....	16
2.2.3. Egzoz emisyonu.....	16
2.3. Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı.....	16
2.3.1. Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	17
2.3.2. Karışımın oluşturulması ve motor performansına etkisi.....	18
2.3.3. Yanma performansı.....	19

2.3.4. Egzoz emisyonu.....	19
2.4. Sıvılaştırılmış Petrol Gazının (LPG) İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı.....	20
2.4.1. Motor performansı	21
2.4.2. Egzoz emisyonları.....	21
2.5. Doğalgazın İçten Yanmalı Motorlarında Kullanımı.....	21
2.5.1. Doğalgazın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	22
2.5.2. Egzoz emisyonu.....	23
2.6. Alternatif Yakıt Tiplerinin Karşılaştırılması.....	24
2.6.1. Alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından karşılaştırılması.....	24
2.6.2. Alternatif yakıtların performansları yönünden karşılaştırılması.....	26
2.6.3. Egzoz Emisyonu Yönünden Karşılaştırılması	26

BÖLÜM 3.

EMİSYON OLUŞUM MEKANİZMALARI	28
3.1. Yanmamış HC Emisyonları.....	28
3.1.1. Benzin motorlarında HC emisyonu.....	30
3.1.1.1. Alev sönme bölgeleri.....	33
3.1.1.2. Boşluk hacimlerinde (Crevice Volume) HC oluşumu.....	34
3.1.1.3. Piston üst çevresel boşluğunun etkisi.....	36
3.1.1.4. Depozitler (Birikintiler).....	36
3.1.1.5. Yanma kalitesi.....	38
3.1.1.6. Egzoz manifoldunda oksidasyon.....	38

BÖLÜM 4.

MATERYAL VE METOD.....	40
4.1. Buji Ateşlemeli Motorlarda Termal Bariyer.....	40
4.1.1. Plazma Kaplama Sistemi.....	40
4.2. Deney Donanımı ve Deneylerin Yapılışı.....	42
4.3. Deney Düzeneği.....	43
4.3.1. Deney motoru.....	44

4.3.2. Motor Tarafından Üretilen Gücün Tespiti.....	44
4.3.3. Hava debi ölçeri.....	45
4.3.4. Yakıt debi ölçeri.....	46
4.4. Deneysel Çalışma.....	46
4.5. Hesaplamalarda Kullanılan formüller.....	47
4.5.1. Döndürme momenti ve efektif güç.....	48
4.5.2. Ortalama efektif basınç.....	48
4.5.3. Özgül yakıt sarfiyatı.....	49
4.5.4. Efektif verim.....	50
4.5.5. Volümetrik verim.....	50
4.5.6. Hava fazlalık katsayısı.....	51
4.5.7. Hava Debisi Ölçümü.....	51
4.5.8. Emisyon Ölçümü.....	52

BÖLÜM 5.

DENEY SONUÇLARI	53
5.1. STD ve TBÇ Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının Özgül Yakıt Sarfiyatına Etkisi	53
5.1.1. Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının Özgül Yakıt Sarfiyatına Etkisini Gösteren Eş Eğriler.....	56
5.2. STD ve TBÇ Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının Motor Gücüne Etkisi	59
5.2.1. Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının Motor Gücüne Etkisini Gösteren Eş Eğriler.....	65
5.3. STD ve TBÇ Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının Döndürme Momentine Etkisi.....	68
5.4. STD ve TBÇ Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının Efektif Verime Etkisi.....	73
5.5. STD ve TBÇ Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının HC Emisyonlarına Etkisi.....	79
5.5.1. Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının HC Emisyonuna Etkisini Gösteren Eş Eğriler.....	81

5.6. STD ve TBC Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının CO Emisyonlarına Etkisi.....	84
---	----

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	90
---------------------------	----

KAYNAKLAR	93
-----------------	----

ÖZGEÇMİŞ	98
----------------	----

SİMGELER ve KISALTMALAR

b_e	: Özgül yakıt tüketimi
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
CH ₃ OH	: Metil Alkol
CH ₂ O	: Aldehit
C ₃ H ₈	: Propan
C ₂ H ₅ OH	: Etanol
C ₂ H ₄	: Etan
C ₃ H ₆	: Propan
C ₂ H ₂	: Asetilen
CH ₄	: Metan
CH ₃ CHO	: Formaldehit
C ₄ H ₁₀	: Bütan,
C ₅ H ₁₂	: Pentan
C ₈ H ₁₈	: Benzin
Cu	: Bakır
d/d	: Devir / Dakika
d_q	: Alev sönme mesafesi
F	: Fren terazi kuvveti
H	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
HC	: Hidrokarbon
Hu	: Alt ısı değer
H _{min}	: Minimum hava miktarı

H/Y	: Hava yakıt oranı
i	: Bir devirdeki çevrim sayısı
kPa	: Kilo Pascal
K	: Kelvin
l	: Moment kolu uzunluğu
M_d	: Döndürme momenti
$M_{yakıt}$: Yakıtın mol kütlesi
mmSS	: Milimetre su sütunu
ms	: Mili saniye
\dot{m}_y	: Kütleli debi
n	: Motor devri
$n_ç$: İş yapan devir sayısı
N_2	: Azot
NO_x	: Azot oksitler
Ni-Al	: Nikel-Alüminyum
P_e	: Efektif güç
P_{me}	: Ortalama efektif basınç
P_{mi}	: İndike ortalama basınç
P_{max}	: Maksimum silindir basıncı
ZrO_2	: Zirkonyum Oksit
ρ_y	: Yakıt yoğunluğu
ΔV	: Tüketilen yakıt hacmi
Δt	: Yakıt tüketme süresi
Φ	: Eşdeğerlik oranı
δ	: Klerens
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı
TBC	: Termal Bariyer Çember
CFR	: Corporatif Fuel Research
EGR	: Egzoz Gazı Resirkülasyonu
ESA	: Egzoz supabı açılması
ESK	: Egzoz supabı kapanması
HFK	: Hava fazlalık katsayısı

HP	: Beygir Gücü
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
M0	: Benzin
M5	: %5 Metanol+%95 Benzin
M10	: %10 Metanol+%90 Benzin
M15	: %15 Metanol+%85 Benzin
M20	: %20 Metanol+%80 Benzin
M30	: %30 Metanol+%70 Benzin
M50	: %50 Metanol+%50 Benzin
M75	: %75 Metanol+%25 Benzin
M100	: Metanol
ppm	: Milyonda bir partikül
PSZ	: Plazma Sprey Kaplama
RON	: Araştırma Oktan Sayısı
SR-O	: Sealed-Ring Orifice
STD	: Standart motor
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Buji ateşlemeli motorlarda eşdeğerlik oranı ile emisyonların değişimi	4
Şekil 3.1.	Bir benzin motorunda HC Oluşum mekanizmaları.....	31
Şekil 3.2.	Yanma, genişleme ve egzoz işlemi esnasında krank açısının bir fonksiyonu olarak silindir duvarı yakınından ölçülen HC konsantrasyonları	34
Şekil 3.3.	Egzoz işlemi esnasında egzoz supabındaki HC kütle akış hızı ve HC konsantrasyonunun değişimi	35
Şekil 3.4.	(a) Piston çevresel boşluk hacmi (b) çevresel boşluk hacmini arttırmanın egzozdaki HC konsantrasyonuna etkisi ($r_c=6$ mm, 885 d/d, H/Y=13, Maksimum tork için ateşleme zamanı).....	36
Şekil 3.5.	Şekil 3.5 Piston çevresel boşluğunda biriken ve yağ filmi tarafından absorbe edilen hidrokarbonların egzoz prosesi esnasındaki oluşumu	37
Şekil 4.1.	Deney Motoru Test Düzeneginin Şematik Görünümü	43
Şekil 4.2.	Deney motorunun görünüşü	44
Şekil 4.3.	Deneylerde kullanılan dinamometrenin görünüşü.....	44
Şekil 4.4.	Orifis	45
Şekil 4.5.	TBÇ' li piston.....	47
Şekil 5.1.	STD M10' da Sıkıştırma Oranı ve Devir Sayısındaki Değişimlere Bağlı Olarak Özgül Yakıt Sarfiyatındaki Değişimler.....	56
Şekil 5.2.	STD M15' de Sıkıştırma Oranı ve Devir Sayısındaki Değişimlere Bağlı Olarak Özgül Yakıt Sarfiyatındaki Değişimler.....	56
Şekil 5.3.	STD M20' de Sıkıştırma Oranı ve Devir Sayısındaki Değişimlere Bağlı Olarak Özgül Yakıt Sarfiyatındaki Değişimler.....	57
Şekil 5.4.	TBÇ M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Özgül Yakıt Tüketimindeki Değişim.....	57
Şekil 5.5.	TBÇ M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Özgül Yakıt Tüketimindeki Değişim.....	58
Şekil 5.6.	TBÇ M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Özgül Yakıt Tüketimindeki Değişimi.....	58

Şekil 5.7.	TBÇ M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Özgül Yakıt Tüketimindeki Değişim.....	59
Şekil 5.8.	STD M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim.....	61
Şekil 5.9.	STD M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişimi.....	61
Şekil 5.10.	STD M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim.....	62
Şekil 5.11.	STD M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim.....	62
Şekil 5.12.	TBÇ M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim.....	63
Şekil 5.13.	TBÇ M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim.....	63
Şekil 5.14.	TBÇ M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim.....	64
Şekil 5.15.	TBÇ M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim.....	64
Şekil 5.16.	STD M10' un Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi	65
Şekil 5.17.	STD M15' in Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi.	65
Şekil 5.18.	STD M20' in Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi.	66
Şekil 5.19.	TBÇ M0' in Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi...	66
Şekil 5.20.	TBÇ M10' un Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi	67
Şekil 5.21.	TBÇ M15' in Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi.	67
Şekil 5.22.	TBÇ M20' in Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi.	68
Şekil 5.23.	STD M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim.....	69
Şekil 5.24.	STD M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki	70
Şekil 5.25.	STD M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim.....	70
Şekil 5.26.	STD M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim.....	71
Şekil 5.27.	TBÇ M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim.....	71
Şekil 5.28.	TBÇ M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim.....	72

Şekil 5.29.	TBÇ M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim.....	72
Şekil 5.30.	TBÇ M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim.....	73
Şekil 5.31.	STDM0'da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Efektif Verimdeki Değişimi.....	75
Şekil 5.32.	STD M10'un Efektif Verime Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi	75
Şekil 5.33.	STD M15' in Efektif Verime Etkisinin STD M0'a Göre Değişimi	76
Şekil 5.34.	STD M20' in Efektif Verime Etkisinin STD M0'a Göre Değişimi	76
Şekil 5.35.	TBÇ M0' ın Efektif Verime Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi.	77
Şekil 5.36.	TBÇ M10'un Efektif Verime Etkisinin STD M0'a Göre Değişimi	77
Şekil 5.37.	TBÇ M15' in Efektif Verime Etkisinin STD M0' a Göre Değişim	78
Şekil 5.38.	TBÇ M20' in Efektif Verime Etkisinin STD M0'a Göre Değişimi	78
Şekil 5.39.	STD M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak HC Emisyonundaki Değişim.....	81
Şekil 5.40.	STD M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak HC Emisyonundaki Değişim.....	81
Şekil 5.41.	STD M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak HC Emisyonundaki Değişim.....	82
Şekil 5.42.	TBÇ M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak HC Emisyonundaki Değişim.....	82
Şekil 5.43.	TBÇ M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak HC Emisyonundaki Değişim.....	83
Şekil 5.44.	TBÇ M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak HC Emisyonundaki Değişim.....	83
Şekil 5.45.	TBÇ M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak HC Emisyonundaki Değişim.....	84
Şekil 5.46.	STD M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim.....	85
Şekil 5.47.	STD M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim.....	86
Şekil 5.48.	STD M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim.....	86
Şekil 5.49.	STD M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim.....	87
Şekil 5.50.	TBÇ M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim.....	87

Şekil 5.51. TBÇ M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim.....	88
Şekil 5.52. TBÇ M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim.....	88
Şekil 5.53. TBÇ M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim.....	89

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	10
Tablo 2.2.	Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	15
Tablo 2.3.	Hidrojenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	17
Tablo 2.4.	Doğal Gazın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	22
Tablo 2.5.	Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Olarak Karşılaştırılması.....	25
Tablo 2.6.	Alternatif Yakıtları Kullanan Araçların Performansları.....	26
Tablo 3.1.	Benzin motor egzozunun HC kompozisyonu.....	28
Tablo 3.2.	HC Kaynak ve Oksidasyon Mekanizmalarının Aşamaları.....	32
Tablo 4.1.	Deney Motorunun Teknik Özellikleri.....	43
Tablo 4.2.	Motor Testlerinde Ölçülen Parametreler ve Ölçüm Cihazları.....	46
Tablo 4.3	Deneylerde kullanılan C ₈ H ₁₈ ve saf CH ₃ OH yakıtlarının özellikleri	50

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Emisyonlar, hidrokarbon (HC), bariyer çemberi, termal bariyer, motor performansı, sıkıştırma oranı, alternatif yakıtlar, metanol-benzin karışımları,

Hidrokarbon esaslı yakıtların kullanıldığı taşıt sayısının her geçen gün artması dünyayı önemli çevre sorunlarıyla karşı karşıya bırakmaktadır. Diğer taraftan enerji kullanımı arttıkça, sınırlı olan enerji kaynakları kendilerini yenilenebilir, tarımsal ve diğer petrole dayanmayan kaynaklardan elde edilebilen, çevre dostu yakıtlara bırakmaktadır. İçten yanmalı motorlarda petrol esaslı yakıtlara alternatif olabilecek başlıca motor yakıtları; alkoller (etanol, metanol), doğalgaz, biyogaz, hidrojen ve bitkisel yağlardır. En yaygın kullanılanları, alkol ve alkol-benzin karışımlarıdır. İçten yanmalı motorlarda petrol esaslı yakıtlara alternatif olarak kullanılacak yakıtlardan biride metanoldür. Biokütle, kömür ve doğal gazdan elde edilebilen metanol, benzinli motorlarda fazla bir değişiklik yapılmadan saf olarak veya benzinle karıştırılarak kullanılabilir.

Bilinen motor yakıtlarına alternatif olarak alkollerin kullanılmasının bir nedeni de, kirlenici egzoz emisyon değerlerini düşürmeleridir. Özellikle metanol, hava kirliliği açısından alternatif temiz yakıtlar arasında ilk sıralarda bulunmaktadır.

Günümüzde trafikte kullanılan araçların çoğunluğunu benzin motorlu araçlar oluşturmaktadır. Bu araçların egzozundan kaynaklanan emisyonların kontrolü çevre ve insan sağlığı açısından önemlidir. Buji ateşlemeli motorların egzozundan kaynaklanan emisyonların oluşum mekanizmaları ve azaltma yöntemlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Buji ateşlemeli motorlarda hidrokarbon emisyonlarının oluşum mekanizmalarının en önemli olanlarından biri de yanma odası cidarlarıdır (alev sönme bölgesi). Bu bölgelerde ısı arttırılabildiği oranda HC emisyonlarında azalmalar meydana gelmektedir.

Bu çalışmada, metanolün çeşitli hacimsel oranlarda (%10, 15, 20) kurşunsuz benzine katılmasının, motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Aynı zamanda, motorun egzozundaki hidrokarbon (HC) emisyonlarının azaltılması için piston üzerine bariyer çember oluşturulmuştur. Deneyler, tam gaz durumunda, değişken devir sayılarında ve farklı sıkıştırma oranlarında gerçekleştirilmiştir. Standart ve bariyer çemberli motor için moment, güç, efektif verim, hava fazlalık katsayısı, özgül yakıt sarfiyatı ve emisyon değerleri karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda, buji ateşlemeli motorlarda uygulanan termal bariyer uygulaması ve metanol-benzin karışımlarının kullanılması ile, HC emisyonlarında %50' ye varan azalmalar, tespit edilmiştir. Aynı zamanda, motor performans ve efektif verimde olumlu sonuçlar alınmıştır.

THE EFFECT OF DIFFERENT METHANOL-GASOLINE BLENDS ON PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS OF A SI ENGINE HAVING PISTON WITH THERMAL BARRIER LAYER

SUMMARY

Keywords: Emissions, hydrocarbon (HC), thermal barrier, thermal barrier, engine performance, compression rate, alternative fuels, methanol-gasoline blends

The increment of vehicles which operates with HC based fuels bring about serious environmental threats to the world. On the other hand when the use of energy increases, edible, agricultural and environmental fuels produced from the other sources which don't consist of petrol replace the sources of energy limited. In internal combustion engines basic alternative automotive fuels are alcohols, natural gas, biogas, hydrogen and vegetal oils. The most common used of them are alcohol and alcohol-gasoline mixtures. Methanol is one of the alternatives for petroleum fuel used in internal combustion engines. Methanol can be derived from biomass, coal and natural gas and can be used in gasoline engines with minimum modifications.

A reason for using alcohols as alternative to known engine fuels is that it reduces exhaust emissions. Especially methanol is the first alternative fuel for reducing the pollution of the air. Most of vehicles are powered with gasoline engines at present traffic. Emission control of these vehicles are important with respect to environment and human health. It is necessary to know the emission formation mechanism and emission reduction methods.

In spark ignition engines one of the most important formation mechanism of hydrocarbon emission is the flame quenching at the walls. The reductions occur as much as the temperature can be increased in these areas.

This thesis investigates that, the effect of different methanol-gasoline blends on performance and exhaust emissions of a SI engine having piston with thermal barrier layer. The thermal barrier layer (TBL) was deposited on the top surface of a piston near the crevice. It was observed that HC emission was reduced up to 50 %. The performance and exhaust emission characteristics were measured at WOT. The engine was tested at three compression ratios of 8.2, 7.2 and 6.2.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ekonomik ve toplumsal kalkınmanın en önemli girdilerinden olan enerji 1970' li yıllardan itibaren tüm dünya ülkelerinde önemli gündem maddesi olarak yerini almıştır[1]. Petrol kaynaklarının hızla azalması, var olan kaynakların ise sınırlı olması, ekonomik ve politik farklılıklar, dış ülkelere bağımlılık ve hava kirliliği tüm ülkeler için geçerli problemlerdir. Dünya nüfusunun hızla artması, teknolojik gelişmelerin getirdiği hızlı sanayileşme, enerji ihtiyacını günden güne arttırmaktadır. Jeopolitik açıdan çok önemli konumda olan ülkemiz, 1971 petrol krizi ve 1991 Körfez savaşı gibi dönemlerde ekonomik açıdan çok ağır bedeller ödemiştir. Bu art arda yaşanan petrol krizleri ve bunlara bağlı olarak fiyatların artması, çeşitli önlemlerin alınması gerekliliği ile birlikte alternatif yakıtlara yönelmeyi zorunlu kılmıştır. Petrole bağımlılığın azaltılması ve gelecekte yaşanabilecek petrol krizlerinin en az sıkıntıyla atlatılabilmesi düşüncesi, alternatif yakıt arayışlarına ve bunların motor yakıtı olarak iyileştirilmesi çalışmalarının yoğunlaşmasına sebep olmuştur[2, 3]. Motorlu taşıtların tümü, petrolden üretilen yakıtlar ile çalışmaktadır. Ancak, Dünyadaki petrol rezervlerinin 41 yıl içerisinde tükeneceği beklenmektedir. Sınırlı enerji kaynakları ileride potansiyel bir enerji yokluğunun olabileceğini ikaz etmektedir. Fosil yakıtların kullanımı ve çevresel bilinç, mühendislere ve bilim adamlarına temiz, yenilenebilir ve güçlendirilebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesinin lazım geldiği düşüncesine yönlendirmektedir[4].

Petrole alternatif olabilecek başlıca motor yakıtları; alkoller (etanol, metanol), doğalgaz, biyogaz, hidrojen ve bitkisel yağlardır. En yaygın kullanılanları, alkol ve alkol-benzin karışımlarıdır. Gerek etanol gerekse metanol, Brezilya ve A.B.D. başta olmak üzere, birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır[5]. Alkol kullanımının temel gerekçeleri, genellikle bazı ülkelerdeki petrol yetersizliği, yenilenebilir ve temiz bir yakıt olmasıdır. Alkol kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen faktörler

ise; petrol üretiminin henüz talebi karşılayamayacak düzeye inmemiş olması ve birim kütleinin ısı değeri düşük, enerji fiyatının benzine göre yüksek olmasıdır. Bilinen motor yakıtlarına alternatif olarak alkollerin kullanılmasının bir nedeni de, kirletici egzoz emisyon değerlerini düşürmeleridir. Özellikle metanol, hava kirliliği açısından alternatif temiz yakıtlar arasında ilk sıralarda bulunmaktadır[2].

Buji ateşlemeli motorlarda kullanılan hidrokarbon (HC) kökenli yakıtların ideal koşullar altında hava ile tam yanması sonucu elde edilen yanma ürünleri, CO_2 , H_2O ve N_2 den oluşmaktadır. Karbondioksit (CO_2) doğrudan çevre ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere sahip değildir. Ancak yanma sonucu üretilen CO_2 'in yaklaşık % 50' si atmosferde birikerek CO_2 konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Atmosferde mevcut CO_2 miktarının hava şartlarını (iklimi) etkileme özelliği bulunduğundan, bu artış sonucunda "Sera Etkisi" olarak adlandırılan atmosferin giderek ısınması olayı meydana gelmektedir[6]. Yanma sırasındaki ara ürünler ve ayrışma reaksiyonları sonucunda oluşan ürünlerde, ortaya çıkan kirletici maddeleri belirlemektedir. Hava-yakıt karışımının stokiyometrik olmaması sonucunda veya karışımın tam sağlanamaması nedeniyle zengin veya fakir karışım oranlarının yerel olarak mevcudiyeti yanma ürünleri arasında belirtilen zararlı maddelerin bulunmasına neden olmaktadır. Sonuçta, buji ateşlemeli motorlarda hidrokarbon yakıtların yanması sonucu oluşan başlıca zararlı maddeler şunlardır;

- Yanmamış hidrokarbonlar (HC)
- Karbon monoksit (CO)
- Azot oksitler (NO_x)
- Aldehitler (HCHO vb.)[7]

Kirletici emisyonların büyük bir bölümü, yanma sonucu oluşmaktadır. Emisyonların kontrolünde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar yanma öncesi alınan önlemler, yanma sırasında alınan önlemler ve yanma sonrası alınan önlemler olarak sıralanmaktadır.

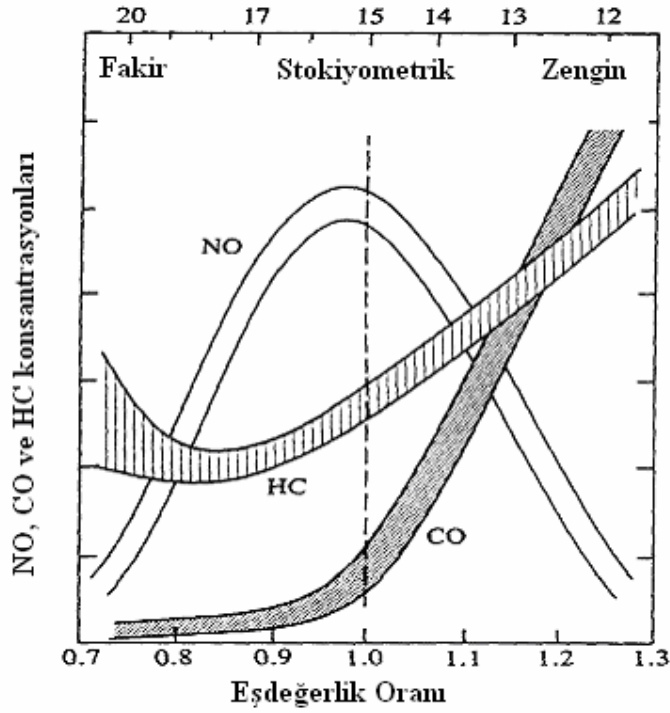
Yanma öncesi alınan önlemler, yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, alternatif yakıt kullanımı gibi yöntemlerdir. Buji ateşlemeli motorlarda, kirletici emisyonları azaltmak için LPG, alkoller, hidrojen gibi yakıtlar kullanılmaktadır.

Yanma sırasında alınan önlemler çoğunlukla yapısal nitelikli önlemlerdir. Buji ateşlemeli motorlarda motor tasarımına ilişkin çeşitli parametrelerin değişimi egzoz gazları içerisindeki HC, CO ve NO_x miktarlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu parametreler: Yanma odası şekli, yanma odası yüzey/hacim oranı, sıkıştırma oranı, emme manifoldu şekli, supap zamanlaması ve ateşleme sisteminin verimliliğidir.

Buji ateşlemeli motorlar da emisyon miktarını etkileyen en önemli parametre hava fazlalık katsayısıdır. HFK ayrıca motorun performansını ve özgül yakıt tüketimini de etkilemektedir. Buji ateşlemeli motorlarda egzoz gazı emisyonları büyük ölçüde motor ayarlarına bağlı olduğundan, motor ayarlarında oluşan herhangi bir bozukluk emisyon değerlerini istenilen sınırların dışına taşımaktadır.

Buji ateşlemeli motorlarda emisyonların belirlenmesinde önemli parametrelerden biriside yakıt/hava eşdeğerlilik oranıdır (Φ). Şekil 1.1' de NO, CO ve HC emisyonlarının bu parametre ile nasıl değiştiği gösterilmektedir. Buji ateşlemeli motorlarda düzgün ve emniyetli çalışmanın sağlanabilmesi için, motorun normalde stokiometrik karışımda veya bir miktar zengin karışımda çalışması gerekmektedir. Şekil 1.1' de karışım fakirleştikçe HC emisyonunun hızlı bir şekilde arttığı ve motorda teklemelerin başladığı, yanma bozulması meydana gelinceye kadar emisyonlarda düşme meydana geldiği görülmektedir.

Eğrilerin şekli emisyon kontrolünün kompleksliğini göstermektedir. Soğuk bir motorda yakıt buharlaşması geç olduğundan yakıt miktarı silindirde kolaylıkla yanabilir duruma gelmesi için zenginleştirilir. Bu sebepten dolayı, motor ısınmaya ve zenginleştirme işlemi kaldırılıncaya kadar CO ve HC değerleri yüksektir. Kısmi yükte çalışma durumunda ise HC ve CO emisyonlarını azaltmak ve NO emisyonunu makul seviyeye çekmek için fakir karışım kullanılabilir[7].



Şekil 1.1. Buji ateşlemeli motorlarda eşdeğerlik oranı ile emisyonların değişimi[8]

Buji ateşlemeli motorlarda hidrokarbon (HC) emisyonlarının azaltılması amacıyla günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Egzoz gazlarında kirlenici bir gaz olarak bulunan hidrokarbon, motor işletme parametrelerinden ve motor dizayn parametrelerinden kaynaklanmaktadır.

Aynı zamanda yanmamış hidrokarbon emisyonlarının farklı birkaç kaynağı daha mevcuttur.

Sıkıştırma ve yanma esnasında artan silindir basıncı silindir içerisindeki yanmamış gazların bir kısmını yanma odasındaki çiziklere ve piston çevresel boşluğuna girmeye zorlamaktadır. Bu yanmamış karışım bölgesi, alevin ulaşamayacağı kadar dar bir bölge olduğundan yanma işlemine katılmamaktadır. Bu boşlukları dolduran yanmamış karışımlar genişleme ve egzoz işlemi esnasında yanmadan dışarı atıldığı için hidrokarbon emisyonunun birinci kaynağını oluşturmaktadır.

Diğer bir kaynak ise, yanma odası cidarlarıdır (alev sönme bölgesi). Alevin silindir duvarına ulaşmasıyla alev soğuduğu ve yanma tam gerçekleşmediği için silindir cidarlarında yanmamış ve kısmen yanmış yakıt-hava karışımında oluşan bir soğuma filmi oluşur. Silindir cidarlarının temiz ve pürüzsüz olması durumunda bu ince film tabakası (≤ 0.1 mm) hızlı bir şekilde yanmasına karşın cidarların pürüzlü olması HC emisyonlarında aşırı bir artma meydana gelmektedir.

HC emisyonlarının üçüncü kaynağı silindir duvarlarında, piston ve muhtemelen silindir başlığı üzerinde kalan ince yağ filminden kaynaklanmaktadır. Bu yağ katmanları sırasıyla yanmadan önce ve sonra yakıt hidrokarbon bileşenlerini absorbe etmekte ve böylece yakıtın bir kısmının yanma işlemine katılmadan yanma odasından atılmasına sebep olmaktadır.

Motorlarda HC emisyonlarını dördüncü kaynağı ise, yanmanın özellikle yavaş seyrettiği geçici motor çevrimlerinde (transient engine operation) hava/yakıt oranı, ateşleme zamanı ve EGR oranının tam ayarlanmaması sebebiyle yanmanın tam gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır[9].

Ayrıca püskürtme sonunda yakıt püskürtme hızı düştüğü için bu esnada silindire gönderilen yakıt miktarının fazla olması HC emisyonunu arttırmaktadır[10].

Buji ateşlemeli motorlarda metanol-benzin karışımlarını yakıt olarak kullanılmasına yönelik araştırmacılar bir takım çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda genellikle motor emisyon ve performans parametrelerindeki değişimler incelenmiştir.

Çetinkaya ve Çelik[2], deneyleri, silindir hacmi 1200 cm^3 , sıkıştırma oranı 7.3/1 olan, Anadol marka, dört zamanlı, dört silindirli, karbüratörlü bir benzin motorunda yakıt olarak M30, M50, M75 metanol- benzin karışımlarını kullanarak yapmışlardır. Motor öz değerlinin tespiti için ilk deneyler benzin ile yapılmış, daha sonra metanol-benzin karışımı ve metanollü deneylere geçilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, metanol ve yüksek metanol oranlı karışımlar kullanıldığında, motorun ilk harekete geçişi zorlaştığı, yüksek devirlerde motorun daha düzensiz çalıştığı tespit edilmiştir. Deneyler, benzinle karıştırılan metanol miktarı arttıkça motor torkunun da arttığını

göstermiştir. Torkun artmasıyla birlikte, aynı devir için güçte onunla orantılı olarak artmaktadır. Benzin yerine metanol kullanıldığında güçte % 10 artma olduğu tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi açısından, karışımdaki metanol miktarı arttıkça özgül yakıt tüketimi de artmıştır. Egzoz emisyonu ölçümünde, karışımdaki metanol miktarının artmasıyla CO emisyonlarının azaldığı, saf metanolde minimum seviyeye indiği görülmüştür. HC emisyonları, karışımdaki metanol miktarının artması ile azalmış ancak saf metanol kullanıldığında artmıştır.

Sezer ve Bilgin[11], deneyleri, tek silindirli, su soğutmalı, dört zamanlı, değişken sıkıştırma oranlı bir benzin motorunda yakıt olarak normal benzin-metanol karışımlarını (M5, M10, M15, M20), kullanarak yapmışlardır. Deneyler tam (1/1) gaz durumunda, değişken devir sayılarında, farklı sıkıştırma oranı ve farklı ateşleme avanslarında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; özellikle yüksek sıkıştırma oranı ve ateşleme avansı değerlerinde metanol katkısı efektif verimde iyileşme, özgül yakıt tüketiminde azalma, ortalama efektif basınçta dolayısıyla döndürme momenti ve efektif güçte artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Assanis ve ark.[12], 2.5 lt' lik bir benzin motoru üzerinde ince seramik kaplama uygulaması yapmışlar, bu çalışma sonucunda düşük devir kısmi yükte, normal motora göre efektif güçte % 18 artma, yakıt sarfiyatında % 10' a varan iyileşme tespit etmişlerdir. Gaz kelebeğinin tam açık olduğu konumda her iki motor için benzer karakteristik gösterirken, yüksek devirlerde normal motor daha iyi performans göstermiş fakat yakıt sarfiyatı seramik kaplı olana göre yüksek tespit edilmiştir.

Poola ve ark.[13], yanma odası elamanlarının 0.5 mm PSZ ile kapladıkları 2 stroklu karbüratörlü bir benzin motorunda benzin ve metanolü yakıt olarak kullanarak yaptıkları çalışmada, benzinde kısmi yük ve orta yük şartlarında performansta iyileşme tespit etmişler; fakat yakıt olarak metanol kullanıldığında performansta çoğu çalışma koşullarında normal motora göre çok daha iyi sonuçlar elde edildiğini ve vuruntunun oluşmadığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, buji ateşlemeli, su soğutmalı, sıkıştırma oranı ve statik avansı değiştirilebilen bir benzin motorunda, farklı oranlardaki metanol-benzin karışımlarının (M0, M10, M15 ve M20), farklı sıkıştırma oranlarında (8,2:1, 7,2:1, 6,2:1), piston tepesinde, piston dış üst yüzeyinden 10mm genişliğinde 0.5mm derinliğinde talaş kaldırılmış ve daha sonra bu kısım MgO–ZrO₂ seramik malzemesi ile kaplanmış bir bariyer çemberli pistonun kullanılması ile motor performans parametreleri ve egzoz emisyonları (HC, CO ve CO₂) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca standart ve MgO–ZrO₂ Bariyer çemberli motor tam yük şartlarında, farklı sıkıştırma oranlarında, benzin ve farklı metanol-benzin karışım oranlarında ayrı ayrı denenmiştir. Motor performans parametreleri ve emisyonlar her durum için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

2.1. Metanolün İçten Yanmalı Motorlarında Kullanımı

Bir alternatif yakıt olarak alkol kullanımına ve özellikle metanole ilgi ilk olarak Amerika da başladı[14]. Gerek etanol gerekse metanol, Brezilya ve A.B.D. başta olmak üzere, birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır[5]. Alkol kullanımının temel gerekçeleri, genellikle bazı ülkelerdeki petrol yetersizliği, yenilenebilir ve temiz bir yakıt olmasıdır. Alkol kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen faktörler ise; petrol üretiminin henüz talebi karşılayamayacak düzeye inmemiş olması ve birim kütesinin ısı değerinin düşük, enerji fiyatının benzine göre yüksek olmasıdır[15, 16].

Kömür, çeşitli ham malzemeler, doğal gaz veya biokütleden üretilen metanol, benzinli motorlarda fazla bir değişiklik yapılmadan saf olarak (M100 olarak bilinen) veya benzinle farklı oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. En yaygın kullanımı % 85 Metanol ve % 15 Benzin karışımıdır[17].

Ülkemizin bir tarım ülkesi olması ve ayrıca, zengin linyit rezervlerine sahip olması, alkol üretimi için gerekli hammaddenin yerli kaynaklardan sağlanabileceğini göstermektedir[18].

Metanol renksiz, saydam, hafif kokulu, toksik, higroskopik bir sıvıdır[19]. Metanolün içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıtılmaları yolu ile doğal gaza bir takım distilasyon işlemleri uygulanarak ve CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilir[20]. Ülkemizde alkol fiyatları, benzinle kıyaslandığında bugün için oldukça yüksektir. Ancak, petrolün tükenbilir bir enerji kaynağı olmasının doğal sonucu olarak fiyatının sürekli artması,

bugün için yüksek olan alkol fiyatlarını gelecekte petrolden daha ekonomik hale getirebilecektir.

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. Gizli buharlaşma ısının yüksek olmasının ortaya koyacağı aşırı soğutma özelliğinden gelen bu dezavantaj iyileştirildiğinde yani metanolün silindirlere girmeden buhar fazına geçmesi için gerekli önlemler alındığında, metanol, yarış arabası sürücülerinin gözde yakıtı olmaktadır[21, 22]. Bu özelliklerinin yanında metanolün önemli bir alternatif yakıt yapan kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tablo 2.1. Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri[20].

	Metanol
Kimyasal denklemi	CH ₃ OH
C/H Oranı	0.25
Molekül Ağırlığı	32.04
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³) sıvı	0.79
Isıl değeri (MJ/kg)	20.1
(MJ/lt)	15.9
Stokiyometrik Karışım hava/ yakıt (kütleli)	6.44
hava/ yakıt (hacimsel)	7.14
Buharlaşma ısısı (MJ/kg)	1.10
Tutuşma sınırları % (hacimsel), hava fazlalık katsayısı λ	6 – 37 0.24 – 2.22
Laminar alev hızı (m/s)	0.52
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1878
Kaynama noktası (°C)	65.1
Donma noktası (°C)	-97.6
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	470
Oktan sayısı ROS (Araştırma oktan sayısı)	110

2.1.2. Karışım oluşturulması ve motor performansına etkisi

Metanol yakıtının içten yanmalı motorlarda kullanılması durumunda hava yakıt karışımının hazırlanması için mevcut taşıtlarda kullanılan karbüratör ve yakıt püskürtme sistemleri kullanılabilir. Gerek karbüratör gerekse püskürtme sisteminin kullanılması durumunda metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alınarak karbüratör ve püskürtme sistemlerinde gerekli değişiklikler yapılır. Ayrıca metanol karbüratöre ve emme sübapına gerek duyulmadan silindire doğrudan püskürtülebilir. Metanol, oktan sayısı yüksek olduğundan, sıkıştırma fazının ilk dönemlerinde, yani sıkıştırma basıncının düşük olduğu zamanda bile püskürtülebilmektedir. Bu da basit ve ucuz bir yakıt sistemi ve aynı zamanda değişik yüklerde motorun verimli olarak çalıştırılabilmesi için, püskürtme zamanının ayarlanabilmesi demektir.

Yapılan ilk metanollü prototiplerde benzin motorları metanol yakabilecek şekilde değiştirilmekteydi. Daha sonraları metanol yakıtı kullanabilecek yeni motorlar tasarlanmıştır. Yapılan araştırmalarda, metanol yakıtlı taşıtların, gelişmiş teknolojiye sahip benzinli taşıtlara göre veriminin % 5–10 oranında daha fazla olduğu görülmüştür[20].

Metanolün belirli bir hacimdeki enerji yoğunluğu benzine göre daha düşük olduğundan benzin ile kat edilen bir mesafeyi kat etmek için daha fazla metanol kullanımına ihtiyaç vardır. 1.7 litre metanol 1 litre benzinin verdiği enerjiye eşit miktarda enerji vermektedir. Bu da yakıt tanklarının daha geniş ve ağır olması demektir. Böylece hem taşıtlardaki depoların büyütülmesi gerekecek ve yer kaybına neden olunacak, hem de taşıtta benzine göre daha fazla bir yükün taşınmasına neden olacaktır. Ayrıca standart yakıt pompalarının kullanılması durumunda dizel yakıtın verdiği enerjiye eşdeğer enerjiyi metanol yakıtından elde etmek için, daha fazla miktarda metanol yakıtın püskürtülmesi gerekmektedir. Bu sebeple pompa ve enjektörden geçen yakıt miktarı önemlidir.

Metanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Metanolün buharlaşmasına yardım etmek amacı ile su ile ısıtılan emme manifoldu, 10 °C' tan düşük sıcaklıklarda ilk harekete yardımcı yakıt sistemleri kullanılmaktadır.

Metanolün benzinle karıştırılarak kullanılmasındaki en önemli sorun, faz ayrışmasıdır. Alkollerin higroskopik özelliklerinden dolayı, pratik olarak benzin + alkol + sudan oluşan üçlü bir karışım, motor yakıtı olarak kullanıldığında, homojen olması gereken sistemde, daima iki ayrı sıvı fazı oluşmaktadır. Bu ayrışmada, üst faz benzin, alt faz ise alkol bakımından zengin olmaktadır. Ayrışmış karışımla çalışan bir motorda, alkol fazı tek başına motora ulaştığında, yakıt yetersizliği ve gücün aniden düşmesine bağlı olarak, motorda tekleme, sarsıntılar ve ilk hareket zorlukları olmaktadır. Metanollü benzinlerde faz ayrışması; alkol, su miktarı, ortam sıcaklığı ve benzinin bileşimine bağlı olarak değişmekte ve genel olarak sıcaklık düştükçe faz ayrışması olasılığı artmaktadır. % 5–20 metanol içeren alkollü

karişımların faz ayırşma sıcaklığının değişimi üzerinde yapılan bir incelemede; uğlı karişımdaki su miktarının artması ile faz ayırşma sıcaklığının yükseldiği, benzinin iğerisindeki aromatik hidrokarbonların artması ile faz ayırşma sıcaklığının dūřtūđü, ayrıca metanol miktarının artması ile faz ayırşma sıcaklığının yükseldiği belirlenmiştir[15].

Faz ayırşma sıcaklığını dūřürmek amacıyla alkollü benzinlere çeşitli katkı maddeleri katılmaktadır. Izopropanol, tersiyer bütanol, siklohegzanol, izobütanol ve n-bütanol, faz ayırşma sıcaklığını dūřürebilecek etkin katkı maddeleridir[16].

Yapılan ęalıřmalar sonucu metilalkolün otto motorlarda daha verimli kullanılabilmesi için bazı değişikliklere gerek olduğu belirlenmiştir. Bunlar[20];

Metil alkolün alt ısıl değer benzine nazaran ęok daha dūřüktür. Aynı gücü elde edebilmek için yakıt tüketimi artmaktadır. Metil alkol için gerekli hava – yakıt oranı 8.5:1 olduğundan istenilen performans değerlerine erişmek için yakıt meme ęapı büyütülmelidir.

Metil alkolün buharlaşmasında benzine göre daha fazla ısıya gerek vardır. Buharı da daha dūřük sıcaklıklarda yoğuşmaktadır. Bunun sonucu, motorun ilk harekete geğmesi için sıcak havaya, buharın yoğuşması için de yüksek ısı gerekmektedir.

Metil alkolün saflık derecesinin yüksek olması tercih nedenidir. Saflık derecesi arttıķça enerji kapasitesi artar. Saflığın derecesinin yeterli olmadığı durumunda karbüratörde korozyon oluşmaktadır.

Sıkıştırma oranı 8.5:1 olan bir motorda, metil alkolün yakıt olarak kullanılması dūřünüyor ise sıkıştırma oranı 11' e yükseltilmelidir.

Metil alkol kullanılması durumunda yanma odasına gönderilen yakıt miktarının fazla olması nedeniyle volümetrik verimi arttırmak için emme subapı ęaplarının büyütülmesi gereklidir.

2.1.3. Yanma performansı

Metanolün yanma sıcaklığının düşük olması, silindirden kaçan ısının azalmasına dolayısıyla verimin artmasına sebep olur. Düşük sıcaklıkta oluşan yanma reaksiyonu, soğutma sistemlerinde basitleştirmeye gidilmesini sağlar. Seramik gibi termal bariyerlerin silindirlerde kullanılması gerçekleşirse, radyatör ve vantilatör kullanılmayabilir.

Kendi kendine ateşleme dirençlerinden dolayı metanol Otto çevrimli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu özelliği bu yakıtın dizel motorlarında kullanılmasını güçleştirmektedir. Metanol yakıtı dizel motorlarında yüksek enerji bujileri ile beraber kullanılmalıdır.

Birçok otomobil üreticisi çalışmalarını % 85 metanol + % 15 benzin karışımı olan M85 yakıtı yakabilecek motorlar üzerinde sürdürmektedirler. Metanole benzin karıştırılması ile soğuk havalarda yalnız metanol yakıtı kullanımı durumunda meydana gelebilecek çalışmama durumu ortadan kaldırılmış olur. Benzin, buharlaşması az olan saf metanolün uçuculuğunu arttırarak, motorun soğuk havalarda çalışmasını kolaylaştırır. İyi bir yanma için zengin yakıt hava karışımı temin eder[5].

2.1.4. Egzoz emisyonu

Metanol gazının yanması sonucu oluşan, bazı egzoz gazları emisyonları benzinle aynı olmaktadır. Metanolün yanması sonucu CO, CO₂ ve NO_x gazları oluşmaktadır. Ayrıca metanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanmanın iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azot oksitlerin NO_x ve CO' nin 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 anlamsız gözükmemektedir. Zira proses sırasında ortaya çıkan CO₂ emisyonu egzoz gazlarından oluşan emisyonlardan çok daha fazla olacaktır. Metanol

benzinin aksine yanmamış hidrokarbonlar üretmez. Metanolün motorda yanması tam olarak gerçekleşmekte, parçacık oluşmamaktadır. 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. Diğer taraftan metanol yandığında benzine göre iki kat daha fazla formaldehit üretilir. Bu madde daha önceleri biyolojik maddeleri korumak, saklamak için kullanılıyordu; ancak kanserojen madde olduğu anlaşıldı. Bazı araştırmacılar, formaldehit emisyonu olayının metanolün kullanılmasının yaygınlaşmasına engel olacağını söylerken, bazıları da bunların kontrol altına alınarak azaltılabileceğini iddia ediyorlar. Araştırmacılar formaldehit emisyonunun motorun çalışmaya başlaması ile ilk iki dakika içerisinde oluştuğunu ve katalitik konvertörle azaltılabileceğini belirtmektedirler. Fakat katalitik konvertörlerin ısıtılması gereklidir. Isıtma işlemi aküden alınacak elektrik enerjisi ile mümkün olabilir[5].

2.2. Etanolün İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

Etanol, 1880 ve 1890' larda güç taşıtlarında 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[17]. Petrol esaslı ana yakıtlara alternatif olarak otomobillerde kullanılan muhtemel bir madde olan etanol; renksiz, saydam, hafif kokulu, higroskopik, içerisinde etil alkol bulunan, şeker, şekeri çevrilebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilen alkol türüdür. Etanol, mısır, patates, tahıllar, şeker kamışı, şeker pancarı, yaş ve kuru meyve, gibi ürünlerden de elde edilir[23, 20, 3, 24]. Ayrıca etanolü selülozik madde ve artıklardan da üretiminin ekonomik olduğu da bilinmektedir[25, 3]. Etanolün kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıdaki tabloda görülmektedir[20].

2.2.1. Etanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tablo 2.2. Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri[20].

	Etanol
Kimyasal denklemi	C_2H_5OH
C/H Oranı	0.333
Molekül Ağırlığı	46.07
Özgül Ağırlığı (gr/cm^3) sıvı	0.79
Isıl değeri (MJ/kg)	26.9
(MJ/lt)	21.3
Stokiyometrik Karışım hava/ yakıt (kütleli)	8.96
hava/ yakıt (hacimsel)	14.3
Buharlaşma ısısı (MJ/kg)	0.856
Tutuşma sınırları % (hacimsel), hava fazlalık katsayısı λ	3.5 – 19 0.29 – 1.92
Adyabatik alev sıcaklığı ($^{\circ}C$)	1924
Kaynama noktası ($^{\circ}C$)	78.7
Donma noktası ($^{\circ}C$)	-117.7
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı ($^{\circ}C$)	392
Oktan sayısı ROS (Araştırma oktan sayısı)	106

Etanolün alt ısıl değerinin benzinin yaklaşık % 60 kadar olması nedeniyle, etanolü çalışmalarındaki özgül yakıt tüketimi karışımdaki etanol miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Benzin, kaynama noktaları yaklaşık 32 °C ile 217 °C 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 alkoller, benzine göre daha komple buharlaşırlar ve temiz yanarlar[26]. Etanol su ile her oranda karıştırılabilmektedir[22, 20, 27, 28, 29]. Etanol yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile 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.

Alkollerin parlama noktası ve kendi kendine tutuşma sıcaklığı gibi yanma karakteristikleri benzinin özelliklerinden daha yüksek olması, taşınmasını ve depolanmasını daha güvenli yapmaktadır[27].

2.2.2. Yanma performansı

Etanolün buharlaşma ısısının yüksek oluşu soğukta çalışmayı güçleştirmektedir. Kendi kendine ateşleme direncinden dolayı etanol otto çevrimli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu özelliği bu yakıtın dizel motorlarında kullanılmasını güçleştirmektedir. Etanol yakıtı metanol gibi dizel motorlarında yüksek enerji bujileri ile beraber kullanılmalıdır. Yanma enjeksiyon zamanlamasına bağlıdır. Enjeksiyon zamanlamasının iyi olmaması karışımın erken yanmasına neden olabilir.

2.2.3. Egzoz emisyonu

Etanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanma işleminin iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azot oksitlerin NO_x ve CO' nin azalmasını sağlamaktadır.

2.3.Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

Hidrojenin, termik motorlarda kullanımı ile ilgili araştırmalar ve çalışmalar 1900' lü yılların başlarında başlanmıştır[23]. Günümüzde yakıt seçiminde ölçüt olarak alınan ulaştırma yakıtı olma özelliği, çok yönlü kullanıma uygunluk, kullanım verimi, çevresel uygunluk, emniyet ve maliyet açısından yapılan değerlendirmeler hidrojen lehine sonuç vermektedir[30]. Egzoz emisyon değerlerinin düşük olması, petrole olan bağımlılığı azaltması hidrojenin uzun yıllar önceden tespit edilmiş olan avantajlarıdır[31]. Bu önemli özelliklerinin yanında hidrojeni önemli bir alternatif yapan kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tablo 2.3. Hidrojenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri[20].

	Hidrojen
Kimyasal denklemi	H ₂
C/H Oranı	0
Molekül Ağırlığı	2.016
Yoğunluk (kg/m ³)	0.0838
Yoğunluk (kg/m ³) sıvı	70.8
Isıl değeri (MJ/kg)	119.90(Hu) 141.90 (Ho)
(MJ/m ³)	10.05 (Hu) 11.89(Ho)
Kritik nokta	Değeri
Sıcaklık(⁰ K)	32.94
Basınç (bar)	12.84
Yoğunluk(kg/m ³)	31.40
Stokiyometrik Karışım hava/ yakıt (hacimsel)	29.53
Buharlaşma ısısı (MJ/kg)	0.447
Tutuşma sınırları % (hacimsel), hava fazlalık katsayısı	4.0 – 75.0 0.15 – 4.35
Laminar alev hızı (m/s)	2.91
Difzyon katsayısı (cm ² /s)	0.61
Kaynama noktası (⁰ K)	20.36
Donma noktası (⁰ K)	14
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (⁰ K)	858

Atomik sembolü “H” olan hidrojenin atom ağırlığı 1,00797, atom sayısı 1 olan en basit ve en hafif elementtir[32]. Kokusuz, renksiz ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen, hava ya da oksijen içerisinde kolayca parlar, patlayarak yanar ve su oluşturur. Çok kolay tepkimeye girdiğinden başka elementlerle birleşmiş halde bulunur. Bir litresi 0 °C ve 1 atmosfer basınç altında 0,0838 gram gelir. Havada hacimsel olarak % 0,00005 kadar saf halde hidrojen vardır[20]. Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksektir ve zehirli etkisi yoktur. Yanma sonucunda ise sadece su buharı meydana gelir. Aynı ağırlıktaki benzine göre sıvı hidrojenin enerjisi 2,75 kat daha fazladır[33].

Hidrojen çok amaçlı bir yakıttır. Hava ya da oksijen ile birlikte yakılarak ısıtma amaçlı olarak kullanılabilir. Motor ya da gaz türbiniyle bir jeneratörü tahrik ederek veya yakıt pili olarak kullanılmasıyla yüksek bir verim ile elektrik üretilebilir. Taşıtlarda; basınç altında, sıvı halde ve metal hidrid şeklinde depo edilerek motor yakıtı olarak yararlanılır. Kimya endüstrisinde ham madde olarak kullanılır[34].

Hidrojen sahip olduğu birim enerji başına üretilmesi en ucuz sentetik yakıttır ve yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkması nedeni ile çevreye zararı yoktur[20, 35]. Ayrıca çevreyi hemen hemen hiç kirletmez ve sentetik yakıtlar (metanol, amonyak vb.) içerisinde en temiz olanıdır[36].

Hidrojeni geleneksel olmayan birincil enerji kaynakları ile karşılaştırdığımızda, şu farklı üstünlükleri görürüz; kolay taşınabilir, tükenmezdir, yenilenebilir, depolanması mümkündür, ekonomik şekilde üretilebilir, en az kirlilik oluşturandır, birincil enerji kaynaklarına bağımlı değildir, üretiminde en uygun bileşik çok bol olan sudur, hidrojenin yüksek alevlenme hızı ve geniş tutuşma aralığı, hafifliği ve yakıt olarak ideal özellikleri nedeniyle hidrojen taşıtlar için iyi bir yakıttır[37].

2.3.2. Karışımın oluşturulması ve motor performansına etkisi

Yakıt besleme sistemleri açısından hidrojen motorları 4 kategoriye ayrılmaktadır. Karbürasyon, emme manifolduna püskürtme, emme supabının arkasına püskürtme ve doğrudan silindir içine püskürtmedir[38].

Hidrojen ile hava karışımı, sırasıyla dahili ve harici olarak adlandırabileceğimiz yöntemlerle motorun yanma odası içerisinde veya motorun emme manifoldunda hazırlanmaktadır. Harici karışım hazırlama yönteminde, basit bir gaz karıştırıcı içerisinde düşük basınçlarda hava ile karıştırılması veya hidrojenin yine düşük basınçlarda motorun emme manifolduna sürekli veya kesikli olarak gönderilmesi mümkündür. Kesikli olarak yakıt gönderme durumunda, dizel ilkesi ile çalışan motorlardaki gibi yüke göre karışım ayarı yapılabilir. Bu durumda karbüratördeki gaz kelebeği ortadan kalkacağı için motorun kısılma kayıpları da kaldırılacak ve hacimsel verim dolayısıyla motorun maksimum gücü artacaktır[39, 40].

Hidrojenin sıkıştırma oranı yüksek olan motorlarda kullanılması ile de sebep olduğu güç kaybı azaltılabilir. Ayrıca aşırı doldurma uygulanarak ilave güç sağlanabilir. Sıkıştırma oranının artırılması ve fakir karışım ile hidrojen motorunun ısı veriminde, benzinli motora göre % 25' lik bir artış sağlanabilir. Fakir karışım ile alev tepmesi önemli miktarda azaltılır[33].

2.3.3. Yanma performansı

Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olmasına rağmen, hidrojen-hava karışımlarının tutuşturulabilmesi için gerekli enerji miktarı düşüktür. Tutuşma aralığının geniş olması, hidrojenin daha geniş karışım aralığında düzgün yanmasını sağlar ve yanma sonucunda daha az kirletici oluşur. Hidrojen motorları, maksimum yanma sıcaklığını azaltacak biçimde fakir karışım ile çalıştırılabilirler. Böylece daha az NO_x oluşurken, HC ve CO emisyonları oluşmaz. Alev hızının yüksek olması ise Otto motorlarında ideale yakın bir yanmanın oluşmasını sağlayarak, ısı verimi artırır. Geniş tutuşma aralığı sayesinde, gaz keleşine gerek kalmadığından, karışımın silindirlere kısılmadan gönderilmesi sonucu pompalama kayıpları azaltılmış olur[31].

Hidrojenin yüksek sıkıştırma oranlarında, fakir karışım ile yanabilmesi yakıt tüketimini azalttığı gibi, yanma sonucu oluşan maksimum sıcaklığı da azaltır. Yanma sonucu partikül madde oluşmadığından bujiler kirlenmez. Alev parlaklığının düşük olması, diğer karbon esaslı yakıtlara göre radyasyon yolu ile olan ısı kaybını azaltacağından daha yüksek verim sağlar[41].

Hidrojenin alev hızının yüksek olması, buji kıvılcımından sonra karışımın başka noktalardan tutuşma (detenasyon) ihtimalini azaltır. Bu durum sıkıştırma oranının artırılmasını sağlayacağından motorun gücü de artar[31].

2.3.4.Egzoz emisyonu

Hidrojenin hava ile yanmasının sonucu da, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile yanma ürünleri arasında CO, CO₂, HC' ler mevcut olmayacak, sadece motorun

yağlama yağının yanması nedeni ile oluşan HC' ler egzoz gazları arasında bulunacaktır. Ayrıca yüksek yanma sıcaklıkları nedeniyle havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler oluşacaktır[39].

Hidrojenin yanma ürünü su buharıdır ve sınırlı maksimum sıcaklıklardaki NO_x emisyonları ihmal edilebilir. Nitekim hidrojenle çalışan bir içten yanmalı motor, günümüz taşıt motorlarından çok daha az NO_x emisyonuna neden olmaktadır[42, 43, 44, 45].

2.4. Sıvılaştırılmış Petrol Gazının (LPG) İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

İlk olarak Amerika Birleşik Devletlerinde San Gas-electric Company tarafından denenen sıkıştırılmış petrol gazı ile motorların çalıştırılması, otomotiv endüstrisinde son derece faydalı bir iş olarak kabul edilmektedir. Uzmanların bu yakıtı, yer yüzünde rezervinin çok fazla olması nedeni ile büyük ümitler bağladıkları bilinmektedir[46, 47].

Sıvılaştırılmış petrol gazı ve doğal gaz gibi, normal atmosferik koşullarda gaz halinde bulunan yakıtlara gaz yakıtlar denilmektedir[48, 49]. Metan, Etan, Propan, Bütan, Hava gazı, Doğal gaz, Hidrojen, Asetilen ve Su gazı gibi yakıtlar bu gruptadır.

Gaz yakıtlar, doğal veya üretilen gaz yakıtlar olmak üzere de sınıflandırılmaktadır. Doğal gaz yakıtlardan en önemlisi doğal gaz, üretilen gaz yakıtlardan en önemlisi ise sıvılaştırılmış petrol gazıdır. Gaz yakıtlar, depolama hacmini küçültmek amacıyla, orta ve yüksek basınçlarda ($\approx 20 \dots 200$ bar) sıkıştırılarak sıvılaştırılmaktadırlar[49].

Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG); propan, propilen, bütan, bütlen, büten, etan, etilen ve bu gazların oluşturduğu hidrokarbon karışımlarıdır. Normal şartlar altında (15 °C ve 1 atm basınçta) gaz halinde bulunan LPG, basınç uygulandığında sıvı fazına geçer. Sıvı halinde taşınan, depolanan ve ölçülen LPG, basınç kaldırıldığında tekrar gaz fazına geçer ve gaz fazında tüketilir[50]. LPG basınçla depolanınca sıvı hale gelen ticari Propan ve Bütan için kullanılan genel isimdir. Bu gazlar basınç altında sıvılaştırılarak belli oranlarda karıştırılır ve LPG' yi oluşturur. Bu karışımın

yüzde oranı, çeşitli parametrelere göre farklılık gösterir. Türkiye’ de otomobil yakıtı olarak özel bir LPG bulunmadığı için, sanayi ve mutfakta kullanılan ve % 30 Propan, % 70 Bütan ihtiva eden LPG bu alanda da kullanılmaktadır[51].

2.4.1. Motor performansı

Yapılan iyi bir dönüşümde araç performansındaki kayıp % 2’ yi geçmemektedir. Bunun yanında egzoz emisyonlarında oldukça fazla iyileşme görülmektedir, benzinli bir araçta benzine göre LPG kullanımı HC emisyonlarında % 55, CO emisyonlarında ise % 95 azalma sağlayabilmektedir. Parasal olarak düşünüldüğünde LPG benzine göre şu an Türkiye de % 50 daha ekonomik görünüyor.

2.4.2. Egzoz emisyonları

Ülkemizde de araçlardan kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak için yeni araçların belirli bir program dahilinde Avrupa emisyon normuna uyması istenmektedir. Trafikteki, mevcut araçların emisyon değerlerinin azaltılması için ise herhangi bir çalışma yapılmamaktadır. Özellikle hava kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerimizde ticari arabalarda LPG kullanımı araçların hava kirliliğine etkisini büyük ölçüde azaltacaktır[51].

2.5. Doğalgazın İçten Yanmalı Motorlarında Kullanımı

Doğalgazın taşıtlarda benzin ve motorine düşük emisyonlu bir alternatif olarak yaygınlaşması özellikle son senelerde dikkat çekmektedir. Doğalgazın birçok ülkede zengin kaynaklarının olması, diğer birçok ülkede ise boru hatları ile yaygınlaştırılmasına rağmen taşıtlarda yakıt olarak kullanılması, diğer uygulamalarına göre biraz yavaş kalmıştır. Son senelerde ise gerek doğalgazın yaygınlaşması, gerekse ekonomik ve çevresel faktörlerin tercihi, taşıtlarda doğalgaz kullanımını bir alternatif olarak gündeme getirmiştir.

Ülkemizde de Ankara ve İstanbul ‘da taşımacılıkta kullanılan belediye otobüslerinin egzoz gazlarının neden olduğu hava kirliliğini azaltmak için birtakım projeler geliştirilmekte ve doğalgaza dönüşümleri tamamlanan otobüslerin kullanılmasına başlanmıştır[20].

2.5.1 Doğalgazın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tablo 2.4. Doğal Gazın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri[20].

	Doğalgaz
Kimyasal denklemi	CH ₄
C/H Oranı	0.25
Molekül Ağırlığı	16.04
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³) Sıvı:	0.424
Gaz:	0.78*10 ⁻³
Isıl değeri (MJ/kg), (MJ/lt)	50.8, 20.8
Stokiyometrik Karışım hava/ yakıt (kütleli) hava/ yakıt (hacimsel), KJ/lt	17.2 9.53, 3.4
Mol _{ürün} /mol _{reaktant}	1.00
Buharlaştırma ısı (MJ/kg)	0.509
Tutuşma sınırları % (hacimsel), hava fazlalık katsayısı	5.5 – 15.4 0.59 – 2.0
Laminar alev hızı (m/s)	0.37
Difüzyon katsayısı (cm ² /s)	0.16
Kaynama noktası (°C)	-161.3
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	632
Oktan sayısı ROS (Araştırma oktan sayısı)	130
MOS	105

Doğalgazın büyük bölümünü % 90–96 CH₄ (metan) gazı oluşturmaktadır. Geri kalan bölümünü ise % 2.411 C₂H₆ (etan), % 0.736 C₃H₆ (propan), % 0.371 C₄H₁₀ (bütan), % 0.776 N₂ (azot), % 0.164 C₅H₁₂ (pentan) ve % 0.085 CO₂ (karbondioksit) oluşturmaktadır[52]. Doğalgazın, Otto motorlarında yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliği oktan sayısının yüksek oluşudur (saf metan için, RON=130)[53]. Ayrıca ısıl değerinin benzin ve alkole göre yüksek olması da bir avantaj sağlamaktadır. Doğalgaz benzine oranla daha yüksek hava fazlalık katsayısı değerlerinde tutuşma olanağına sahiptir. Böylece motorun fakir karışımla çalıştırılıp,

yakıt ekonomisi ve egzoz gazları emisyonu açısından yarar sağlanması da mümkün olmaktadır.

Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine göre çalışan motorlarda doğalgaz, ortam içerisine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşturulabilmektedir. Bu özelliği nedeniyle doğalgaz, benzin ve dizel motorlarında önemli değişiklik yapılmadan kullanılabilir.

Doğalgaz motorlarında sıkıştırma oranının yüksek tutulması önemlidir. Sıkıştırma oranının artırılması daha fazla termik verim sağlar. Termik verimin artması yakıt tüketiminde azalma demektir. Sıkıştırma oranında bir değişiklik yapılmadan doğalgazın benzin motorlarında kullanılması durumunda güçte % 7' lik kayıp meydana gelecektir. Sıkıştırma oranını artırılması ile motorda benzin yerine doğalgaz yakılması sonucu oluşacak güç kayıplarının üstesinden gelinebilir. Doğalgaz daha hafif moleküler yapıya sahiptir ve silindire giren havanın % 10' u teşkil etmektedir. Hava miktarının azaltılması genellikle güç kaybına neden olurken sıkıştırma oranının artırılması bu durumu azaltabilir. Ayrıca doğalgazın yanması sonucu oluşan maksimum basınç ve sıcaklıklar benzin motorlarından daha düşük olduğundan, sıkıştırma oranının artırılması sonucu artacak olan basınç ve sıcaklıklar tehlikeli boyutlara ulaşmayıp, ancak benzin motorlarındaki değerlere gelecektir. Dizel motorlarının yüksek sıkıştırma oranlarında çalışması ve doğalgazın oktan sayısının yüksek olması nedeni ile sıkıştırma oranının yüksek tutulabilmesinden dolayı, eğer dizel motorlarında uygun değişiklikler yapılırsa, doğalgazın dizel motorlarında rahatlıkla kullanılabilmesine yaygın olarak inanılmaktadır

İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığın düşmesi NO_x emisyonlarında azalma sağlayacaktır. Bunun yanında doğalgazın kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde azalmalar temin edecektir[54].

2.5.2. Egzoz emisyonu

Motorlu taşıtlarda yakıt olarak doğal gazın kullanılmasıyla veya az miktarda devreye ilave edilmesiyle egzoz emisyonlarında azalmalar olmaktadır. Doğalgazın yakıt olarak motorlu taşıtlarda kullanımı, özellikle şehir trafiğinde seyreden, dizel motorlarında NO_x ve HC emisyonlarında azalmalar, benzin motorlarında da CO ve HC emisyonlarında azalmalar temin edecektir. Doğalgazın karbon oranının, diğer petrol yakıtlarına göre, düşük olması egzoz gazlarındaki karbondioksit oranının azalmasına sebep olacaktır. Ayrıca doğalgaz kullanımı, benzinli taşıtların egzoz emisyonlarındaki zehirli kurşun türevlerini tamamen yok edecektir.

2.6. Alternatif Yakıt Tiplerinin Karşılaştırılması

2.6.1. Alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından karşılaştırılması

Tutuşma sınırları bir yakıtın içten yanmalı motorlarda kullanımında önem teşkil etmektedir. Tutuşma sınırları sayesinde bir yakıtın fakir karışımlarda ve zengin karışımlarda motorda kolaylıkla yanıp yanamayacağı sonucuna varılabilir. Yukarıdaki verilere göre hidrojen gazının farklı hava yakıt karışım oranları için tutuşma sınırlarının çok geniş olduğu ve bunun da hidrojenin motorlarda kullanılması durumunda yarar sağlayacak önemli bir özellik olduğu sonucuna varılabilir.

Benzin motorlarında iyi bir yanma ve yanma sonu basıncı elde edebilmek için karışımın sıkıştırılması ve sıkıştırıldıktan sonra ateşlenmesi gerekir. Sıkıştırılma anında meydana gelen ısı, yakıt ve havayı daha iyi karıştırarak yanmanın düzgün ve kolay olmasını sağlar. Aynı zamanda silindir içerisinde bulunan karışımdan en fazla yanma sonu basınca elde edebilmek için karışımın sıkıştırılabildiği kadar sıkıştırılması gerekir. Fakat benzin motorlarında sıkıştırma oranı istenildiği kadar arttırılamaz. Çünkü yükselen sıcaklık nedeni ile yakıt kendi kendine tutuşmaya başlayabilir. Bu bakımdan benzin motorlarında kullanılacak yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığının ve oktan sayısının yüksek olması motorun sıkıştırma oranınının

arttırılması bakımında önem teşkil etmektedir. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı en yüksek olan yakıt doğalgazdır.

Tablo 2.5. Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Olarak Karşılaştırılması[20].

	BENZİN	HİDROJEN	METANOL	ETANOL	DOĞAL GAZ
Kimyasal Denklemi	(C ₈ H ₁₈)	H ₂	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	CH ₄
C/H Oranı	0.556	0	0.25	0.333	0.25
Moleküler Ağırlığı	91.4	2.02	32.04	46.07	16.04
Özgül Ağırlığı					
sıvı (kg/dm ³)	0.73	0.07	0.790	0.790	0.424
Gaz (kg/dm ³)		0.84*10 ⁻⁴			0.78*10 ⁻³
Isıl Değeri (Mj/kg)					
(Mj/litre)	43.4	119.93	20.1	26.9	50.8
Stokiyometrik karışım için					
Hava/yakıt(kütleli)	14.7	34.32	6.44	8.96	17.2
Hava/yakıt(hacimsel)	45.79	2.38	7.14	14.3	9.53
(kj/litre)	3.78	3.20	3.53	3.61	3.4
Mol _{ürünler} /mol _{reaktantlar}	1.04	0.85	1.06	1.06	1.00
Buharlaşma ısısı(mj/kg)	0.272 ^a	0.447	1.102	0.856	0.509
Tutuşma sınırları	0.272	0.447	1.102	0.856	0.509
% hacim	1.3-7.6	4.1-74	6-37	3.5-19	5.5-15.4
λ	0.29-1.67	0.15-4.35	0.24-2.22	0.29-1.92	0.59-2.0
Laminar alev hızı (m/s)	0.37	2.91	0.52		0.37
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1993	2110	1878	1924	
Difüzyon katsayısı (m ² /s)	0.08	0.61			0.16
Kaynama noktası (°C)	32-221	-252.35	65.1	78.7	-161.3
Donma noktası (°C)	-56	-259	-97.6	-114.1	
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	257	574-591	470	392	632
Oktan Sayısı					
ROS	91-100	130	110	106	130
MOS	82-94		87	89	105

Laminar alev hızının yüksek olması benzin motorlarında performans açısından güç ve verim değerlerindeki bir miktar azalmaya neden olur. Hidrojenin laminar alev hızı diğer alternatif yakıtlara göre daha yüksektir[55].

2.6.2. Alternatif yakıtların performansları yönünden karşılaştırılması

Tablo 2.6. Alternatif Yakıtları Kullanan Araçların Performansları[20]

	BENZİN	HİDROJEN	METANOL	ETANOL	LPG	DOĞALGAZ
Hızlanma 0-100 km/h, saniye	12	18	10	10	11	12
Yakıt Tüketimi, litre/100 km	6.9	21.4	10.7	8.4	7.6	29.4

Yukarıdaki tabloda ABD’de kullanılan alternatif yakıtlara sahip örnek taşıtların genel olarak performansları karşılaştırılmıştır. Yukarıdaki değerlere göre yakıt tüketimi bakımından benzin ve dizele alternatif olarak kullanılabilir yakıtlar arasında LPG en iyi durumdadır.

Tabloda belirtilen taşıtlar arasında metanol ve etanol yakıtlı taşıtların hızlanma kabiliyetlerinin diğer taşıtlara göre daha iyi olduğu görülmektedir.

Tabloda taşıtların menzilleri kriter alınarak da karşılaştırmak mümkündür. Bütün taşıtların 57 litre hacminde yakıt deposu olduğu kabul edilmiş ve 1 depo yakıt ile taşıtların ne kadar menzile sahip oldukları belirtilmiştir[56].

2.6.3. Egzoz Emisyonu Yönünden Karşılaştırılması

Hidrojenin hava ile yanması sonucunda, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile çok az miktarda oluşan HC’ lar egzoz gazları arasında bulunacaktır. Diğer yandan bu motorlarda, yüksek yanma sıcaklıkları nedeni ile havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler, NO_x, bol miktarda üretilmektedir. Hidrojen yakıtlı motorlarda egzoz gazları içerisinde hava kirliliğini etkileyecek tek ürün olarak bulunan NO_x’ lerin miktarı, yanma odası sıcaklıklarının azaltılması, oksijen konsantrasyonunun azaltılması ve yanma süresinin kısaltılması sonucu düşürülebilmektedir.

Doğalgazın yakıt olarak motorlu taşıtlarda kullanımı, özellikle şehir trafiğinde seyreden, dizel motorlarında NO_x ve HC emisyonlarında, benzin motorlarında da CO

ve HC emisyonlarında azalmalar temin edecektir. Doğalgazın karbon oranının, diğer petrol yakıtlarına göre, düşük olması egzoz gazlarındaki karbondioksit oranının azalmasına sebep olacaktır. Ayrıca doğalgaz kullanımı, benzinli taşıtların egzoz emisyonlarındaki zehirli kurşun türevlerini tamamen yok edecektir. Benzin motorlarında ve dizel motorlarında doğalgaz kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında bir düşme olmaktadır. Bu da NO_x emisyonlarında bir azalma sağlayacaktır. Alternatif yakıtlar içerisinde egzoz emisyonları en düşük yakıttır.

Metanolün yanması sonucu CO, CO_2 ve NO_x gazları oluşmaktadır. Ayrıca metanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanmanın iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azotoksitlerin NO_x ve CO' nin azalmasını sağlamaktadır. Metanol benzinin aksine yanmamış hidrokarbonlar üretmez. Metanolün yanması ile oluşan ısı azdır; dolayısıyla çok fazla miktarda NO_x meydana gelmesi için gerekli koşul oluşmaz. Diğer taraftan metanol yandığında benzine göre iki kat daha fazla formaldehit üretilir.

LPG benzine nazaran üniform bir hava – yakıt karışımı sağlayabilmesi ile yanmanın stokiyometrik orana yaklaşması sonucunda temiz egzoz gazı çıktısı vermektedir. Bu sebeple LPG' nin egzoz emisyonları oldukça düşüktür.

BÖLÜM 3. EMİSYON OLUŞUM MEKANİZMALARI

İçten yanmalı motorlar, hava kirliliğinin ana kaynaklarından birisidir. İdeal yanma durumunda, yanmanın tam oluşması sonucunda yanma ürünleri arasında zehirli etkileri olmayan CO₂ ve H₂O bileşenleriyle havadaki N₂ den oluşacaktır. Ancak uygulamada yanmanın tam olmaması ve ısıl ayrışma (moleküllerin parçalanması) nedeniyle oluşan ara ürünler egzoz gazları içerisinde ek olarak azot oksitler (azot oksit – NO ve az miktarda ortaya çıkan azot dioksit NO₂, genel olarak NO_x olarak bilinirler), karbon monoksit (CO) ve yanmamış veya kısmen yanmış hidrokarbonların (HC) oluşturduğu organik bileşimlerin oluşmasına neden olur[7].

3.1. Yanmamış HC Emisyonları

Hidrokarbon emisyonları hidrokarbon yakıtın yetersiz yanmasından kaynaklanmaktadır. Egzoz gazlarındaki yanmamış hidrokarbonların seviyesi genellikle milyon karbon atomundaki kısım olarak toplam hidrokarbon konsantrasyonu cinsinden ifade edilir. Motor egzoz gazları değişik hidrokarbon bileşenlerinden meydana gelir (Tablo 3.1). Tabloda katalitik konverter kullanılarak ve kullanılmaksızın benzin motorlarındaki hidrokarbon sınıflarının ortalama yüzdeleri görülmektedir. Bu hidrokarbonların bir kısmı inert fizyolojisine yakın karakter gösterirler ve foto kimyasal açıdan reaktif değildirler. Diğerleri ise foto kimyasal açıdan oldukça reaktiftirler.

Tablo 3.1. Benzin motor egzozunun HC kompozisyonu[8]

	<u>Toplam HC yüzdesi</u>			
	<u>Parafin</u>	<u>Olefin</u>	<u>Asetilen</u>	<u>Aromatik</u>
<u>Katalistsiz</u>	33	27	8	32
<u>Katalistli</u>	57	15	2	26

Fotokimyasal sis kimyasında oksidasyon oluşum potansiyeli açısından hidrokarbon bileşimleri reaktif ve reaktif olmayanlar olarak ikiye ayrılırlar. Olefin sınıfı hidrokarbonların reaktiflik dereceleri oldukça yüksek olup fotokimyasal sis reaksiyonlarında çok hızlı bir şekilde reaksiyona girerler ve fotokimyasal sis potansiyeli açısından hidrokarbon kirliliğinin asıl kaynağıdır.

Yakıt kompozisyonu, organik emisyonların büyüklük ve kompozisyonunu önemli bir şekilde etkilemektedir. Yüksek oranda olefin ve parafin içeren yakıtlar oldukça yüksek konsantrasyonlarda reaktif hidrokarbon üretirler. Yanma esnasındaki önemli piroliz ve sentezler sonucu ortaya çıkan organik bileşenlerin çoğu yakıt muhteviyatı içerisinde yoktur[7].

Motor sistemi içerisinde, motor çalışma periyotlarının her birinde yanma odasına gönderilen yakıtın geçirdiği aşamalar şöyle özetlenebilir: Motora giren HC yakıtların bir kısmı, normal alev yayılım prosesi esnasında, yanma prosesinden sonra, birçok HC emisyonu kaynak mekanizmaları nedeniyle yanmadan kalır. Diğer bir kısmı ise silindir içinde okside olur. Silindir içinde okside olmayan yanmamış hidrokarbonlar silindiri terk ederler. Silindir içinde kalan hidrokarbonların bir kısmı yanmamış ard gazlar ile birlikte, daha sonraki çevrimdeki yakıt-hava karışımı ile karışarak, yanma olayına ve HC oksidasyon prosesine katılırlar. Silindirden dışarı çıkan yanmamış hidrokarbonların bir kısmı ise egzoz port' unda ve manifold' da okside olurlar. Egzoz manifoldu çıkışında ölçülen emisyonlar genellikle motor dışı emisyonlar olarak da adlandırılır. Motor dışı emisyonlar daha sonra, eğer kullanılıyorsa katalitik konvertere girer. Motor dışı hidrokarbonların % 90 veya daha fazlasını ayrıştırıran katalitik konverter, toplam emisyon kontrol sistemi içerisinde en önemli yeri tutar[55].

Aynı zamanda yanmamış hidrokarbon emisyonlarının farklı birkaç kaynağı daha mevcuttur.

Sıkıştırma ve yanma esnasında artan silindir basıncı silindir içerisindeki yanmamış gazların bir kısmını yanma odasındaki çiziklere ve piston çevresel boşluğuna girmeye zorlamaktadır. Bu yanmamış karışım bölgesi, alevin ulaşamayacağı kadar

dar bir bölge olduğundan yanma işlemine katılmamaktadır. Bu boşlukları dolduran yanmamış karışımlar genişleme ve egzoz işlemi esnasında yanmadan dışarı atıldığı için hidrokarbon emisyonunun birinci kaynağını oluşturmaktadır.

Diğer bir kaynak ise, yanma odası cidarlarıdır (alev sönme bölgesi). Alevin silindir duvarına ulaşmasıyla alev soğuduğu ve yanma tam gerçekleşmediği için silindir cidarlarında yanmamış ve kısmen yanmış yakıt-hava karışımında oluşan bir soğuma filmi oluşur. Silindir cidarlarının temiz ve pürüzsüz olması durumunda bu ince film tabakası (≤ 0.1 mm) hızlı bir şekilde yanmasına karşın cidarların pürüzlü olması HC emisyonlarında aşırı bir artma meydana gelmektedir.

HC emisyonlarının üçüncü kaynağı silindir duvarlarında, piston ve muhtemelen silindir başlığı üzerinde kalan ince yağ filminden kaynaklanmaktadır. Bu yağ katmanları sırasıyla yanmadan önce ve sonra yakıt hidrokarbon bileşenlerini absorbe etmekte ve böylece yakıtın bir kısmının yanma işlemine katılmadan yanma odasından atılmasına sebep olmaktadır.

Motorlarda HC emisyonlarını dördüncü kaynağı ise, yanmanın özellikle yavaş seyrettiği geçici motor çevrimlerinde (transient engine operation) hava/yakıt oranı, ateşleme zamanı ve EGR oranının tam ayarlanmaması sebebiyle yanmanın tam gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır[56].

Ayrıca püskürtme sonunda yakıt püskürtme hızı düştüğü için bu esnada silindire gönderilen yakıt miktarının fazla olması HC emisyonunu arttırmaktadır[57].

3.1.1. Benzin motorlarında HC emisyonu

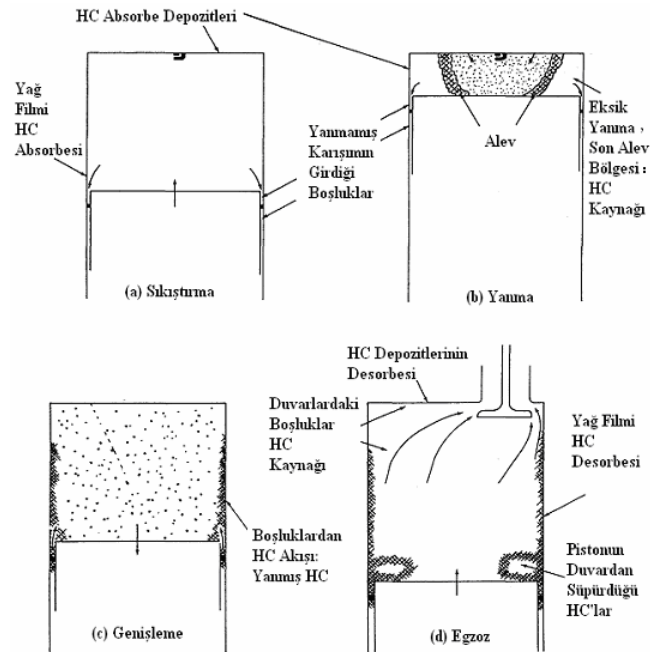
Normal çalışma şartlarında benzin motorunun egzozunda bulunan yanmamış HC seviyesi 1000–3000 ppm değerleri arasındadır. Bu değer motora giren yakıt değerinin % 1–2,5' una karşılık gelmektedir. Şekil 1.1' de görüldüğü gibi karışım stokiyometriden zengine yaklaştıkça HC emisyonları hızlı bir şekilde artmaktadır. Yanma kalitesi karışımın çok fakir olması gibi sebeplerle bozulduğu zaman motor

çevriminin bir kısmında sönme veya eksik yanmadan dolayı HC emisyonları hızlı bir şekilde artmaktadır.

İlave olarak, silindir duvarlarında depozitler oluştuğu için HC emisyonu artmaktadır. Bütün bu prosesler (yanma hariç) yanmamış HC' ların silindir duvarına yakın olmasından ve silindir içerisindeki gaz kitlesinden kaynaklanmamaktadır. Bu yüzden egzoz gazları içerisindeki HC dağılımının üniform olması beklenmemelidir.

Şekil 3.1' de benzinli bir motorun silindir içerisindeki HC emisyonunu oluşturan nedenler ve hangi prosesler de meydana geldikleri gösterilmiştir. Şematik şekil motorun çevrimlerinden olan sıkıştırma, yanma, genişleme ve egzoz'dan oluşan dört faz esnasında yanma odasının durumunu göstermektedir.

Toplam HC oluşum proseslerinin; geniş anlamda ard arda gelen iki aşamadan meydana geldiği düşünülebilir. Birinci aşama, yanmanın sonuna kadar, ikinci aşama ise yanma sonundan egzoz gazlarının egzoz borusundan çıktığı ana kadar olan kısmı içerir. Kaynak ve oksidasyon mekanizmaları olarak adlandırılan bu iki aşama Tablo 3.2' de özetlemiştir.



Şekil 3.1. Bir Benzin Motorunda HC Oluşum Mekanizmaları[8]

Tablo 3.2. HC Kaynak ve Oksidasyon Mekanizmalarının Aşamaları[56]

Kaynaklar	Mekanizmalar
Sıkıştırma zamanında, yanma odası içindeki boşluk hacimlerinin, yakıt buharı+hava karışımı ile dolmaya zorlanması	Genişleme prosesinin başlaması ile boşlukları dolduran yanmamış yakıt-hava karışımının bu boşluklardan dışarı doğru akması ile bir kısım hidrokarbonun yanmış gazlarla karışması
Yakıt bileşenlerinin, silindir cidarındaki yağ tabakası içinde absorbe edilmesi	Yanmış gazlar içinde, yakıt buharının difüzyonu ile bir miktar oksidasyon oluşumu
Absorbe olan yakıtın, piston üst yüzeyi ve silindir başı üzerinde birikmesi	Sönüm gazlarının silindir duvarı üzerinde yanmış gazlar ile karışması
Silindir duvarı üzerindeki boşluklarda ilerleyemeyen alevin sönmesi ve yanma odası duvarı üzerinde sönüm tabakalarını oluşturması	Silindir içindeki yanmamış hidrokarbonun bir kısmının egzoz süpürme prosesi boyunca, egzoz sistemine nakledilmesi
Alevin cidara ulaşmadan önce sönmesi ve yanmamış yakıt-hava karışımı kalması	Egzoz prosesi sırasında, pistonun sebep olduğu gaz yer değişimi ile egzoz içine ilave silindir içi yanmamış HC taşınması
Yanma tamamlanmadan önce, yanma için yeterli hava ile karışmamış ve buharlaşmamış bir miktar sıvı yakıtın silindir içinde kalması	Silindir dışındaki yanmamış hidrokarbonun egzoz portu ve manifoldunda, sıcak egzoz gazları ile karışması
Egzoz supabının açılıp kapanması boyunca, supap yatağında bir miktar karışımın sızıp kaçması	

Genel olarak HC emisyonu kaynakları sistematik olarak isimlendirilip şu alt başlıklar altında incelenebilir.

3.1.1.1. Alev sönme bölgeleri

Silindire doğru ilerleyen alev soğutulmuş yanma odası yüzeylerine ulaştığında alev sönümü meydana gelir ve yüzeye bitişik yanmamış bir karışım tabakası ayrılır. Daniel soğuma katmanının kalınlığı 0.05–0.4 mm arasında ölçülmüştür. Bu kalınlık yüksek yüklerde daha da incelmektedir.

Uzun yıllar HC emisyonlarının en önemli ana kaynağı olarak yanma odası yüzeyleri üzerindeki sönüm tabakaları düşünülmüştür. Soğutma yüzeyleriyle alev sönüm mesafesi arasındaki ilişkiye dair birçok geniş araştırmalar yapılmıştır.

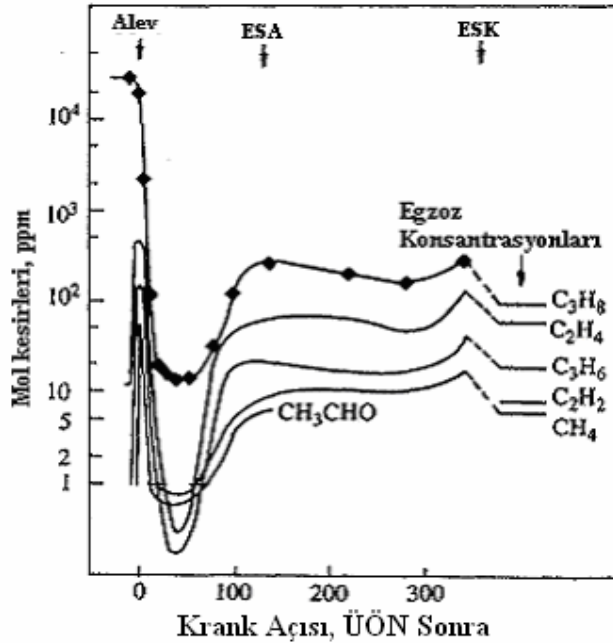
Şekil 3.2' de yanma, genişleme ve egzoz prosesleri esnasında HC bileşenlerinin konsantrasyonlarının değişimini göstermektedir. Kullanılan yakıt propandır. Yakıt konsantrasyonu alev numune alma valfine yaklaştığında hızlı bir şekilde düşük bir değere inmektedir. Bu esnada, diğer HC ürün konsantrasyonları ise önce yükselmekte ve sonra hızlı bir şekilde 1 ppm' in altına düşmektedir. ÜÖN' dan sonraki 60⁰ KMA' dan itibaren tüm HC konsantrasyonları yükselmekte ve motorun çalışma koşullarına kuvvetle bağlı olan çevrimin diğer kısımlarında ise bir miktar değişim göstermektedir. Alev ulaştıktan hemen sonra oluşan kısmi oksidasyon ürünlerinde gözlemlenen hızlı yükselme silindir duvarındaki alev sönme bölgesinin varlığından kaynaklanmaktadır. Önemli miktarda aldehit (CH₂O) ve formaldehit (CH₃CHO) varlığı düşük sıcaklık oksidasyon proseslerinin meydana geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte alevin ulaşmasından itibaren geçen 2 ms' lik süre içerisinde HC ürün konsantrasyonları hızlı bir şekilde çok düşük bir seviyeye ulaşmalarının nedeni soğuma bölgesindeki yanmamış HC' un yanmış gaz kütesine difüze olması ve oksidasyona uğramasından kaynaklanmaktadır. Çevrimin sonraki kısmında HC emisyonlarının artması ise alınan HC numunesi sonuçlarına göre soğuma bölgesinden daha farklı kaynaklardan dolayı meydana geldiği tespit edilmiştir.

Temiz ve düzgün yanma odası duvarları önemli bir hidrokarbon kaynağı olmasalar da duvar yüzey bitişlerinin, egzoz HC seviyelerini etkilediği bilinmektedir. Pürüzlü, dökümden yapılmış bir silindir başlığı ile pürüzleri giderilmiş bir silindir başlığı

arasında yapılan mukayese ortalama egzoz HC konsantrasyonlarının 103 ppm veya % 14 civarında düşüş meydana getirdiğini göstermiştir. Temizlenen yüzey, toplam yanma odası yüzey alanının % 32' sini oluşturmaktadır[7].

Bununla birlikte daha sonra yapılan tahminler, alev sönümü sonrası difüzyon ve oksitlenmeden dolayı sönüm tabakaları HC' ların oksitlenmesinin tamamen gerçekleştiği üzerine olmuştur. Hızlı gaz örnekleme motor deneyleri bu tahminleri desteklemektedir[57].

Alev sönümü etkisi fakir ve seyreltik karışimli (EGR ile) çalışma şartlarında da önemli olabilir. Yakın zamandaki çalışmalar alev sönümünün HC emisyonlarına yaklaşık % 5 katkıda bulunduğunu göstermiştir[58].



Şekil 3.2. Yanma, genişleme ve egzoz işlemi esnasında krank açısının bir fonksiyonu olarak silindir duvarı yakınından ölçülen HC konsantrasyonları[8]

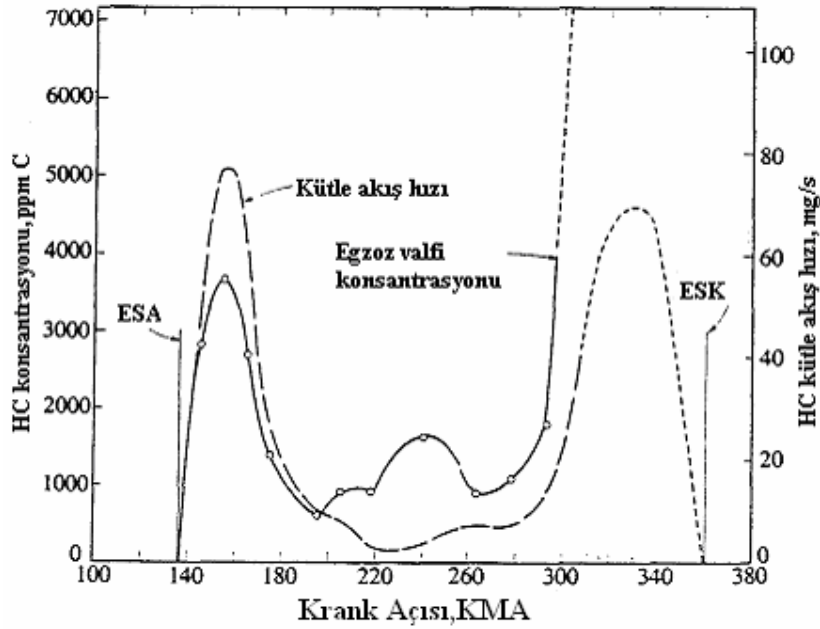
3.1.1.2. Boşluk hacimlerinde (Crevice Volume) HC oluşumu

Kompresyon segmanı, piston ve silindir arasındaki hacimlere “boşluk hacimleri” denilmektedir. Piston ve silindir arasındaki klerens, soğuma mesafesinden daha küçüktür. Yanma odası içerisindeki boşluklara (dar girişleri olan küçük hacimler)

alev penetrasyonu gerçekleşmediğinden, bu boşluklar en önemli HC kaynağını oluşturmaktadır.

Reaksiyona girmemiş yakıt genişleme esnasında boşluktan kurtulur fakat silindir duvarı boyunca yayılır. Yanma prosesinin sonunda depozitler, yağ filmi ve boşluk hacmi tarafından tutulan HC'lar silindir duvarını kaplamıştır. Genişleme stroku esnasında HC' lar boşluğu terk eder ve silindir duvarı boyunca yayılır.

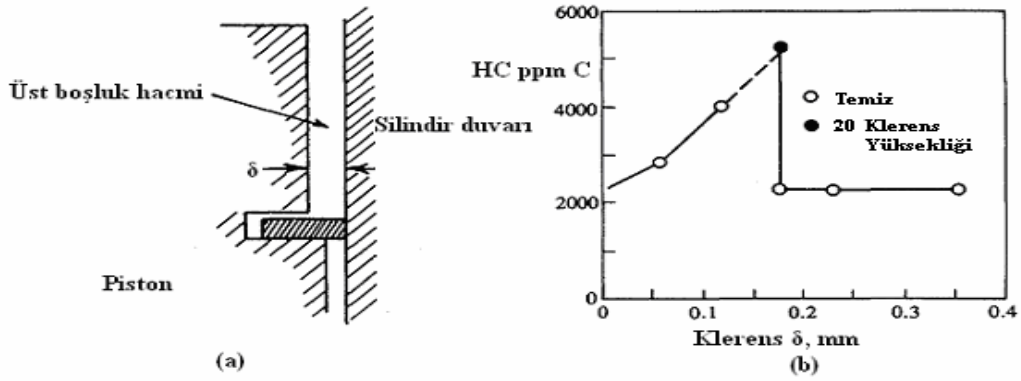
Egzoz valfi açıldığında ise yağ filminden ve depozitlerden kurtulan hidrokarbonların bir kısmı dışarı atılır. Egzoz işleminin sonuna doğru silindir duvarına yayılmış bulunan "boşluk hacim hidrokarbonları" pistonun yukarı hareketi esnasında oluşan vorteks vasıtasıyla dışarı atılır (Şekil 3.3). Oluşum mekanizmalarının detaylarına ait çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Egzoz supap çıkışına bağlanan bir hızlı numune alma valfi ile HC konsantrasyonlarının ölçüldüğü çalışmanın sonuçları Şekil.3.3' de görülmektedir[7].



Şekil 3.3. Egzoz işlemi esnasında egzoz supabındaki HC kütle akış hızı ve HC konsantrasyonunun değişimi[8]

3.1.1.3. Piston üst çevresel boşluğunun etkisi

Piston üst klerensinin HC emisyonu açısından nasıl değiştiğini tespit amacıyla bir takım ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.4' de çalışmanın sonuçları görülmektedir. Hidrokarbon emisyonları klerens 0.2 mm' ye kadar artmakta fakat daha sonra ani bir düşüş göstermekte ve sabit kalmaktadır. Klerensin 0.2 mm' den küçük olması durumunda alev sönmektedir[7].



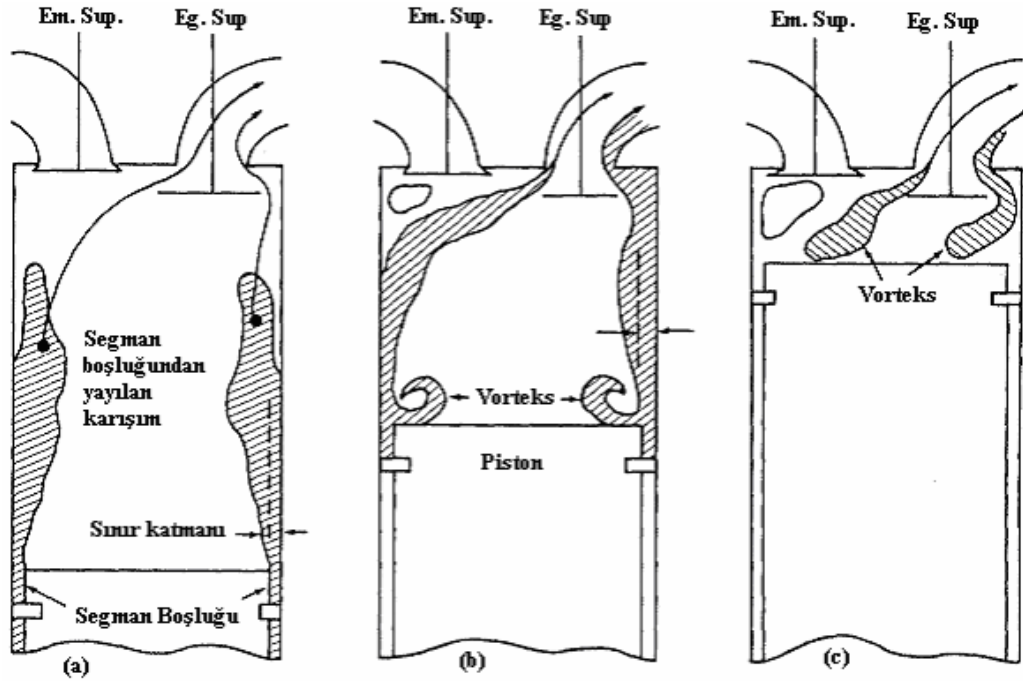
Şekil 3.4. (a) Piston çevresel boşluk hacmi (b) çevresel boşluk hacmini arttırmanın egzozdaki HC konsantrasyonuna etkisi ($r_c=6$ mm, 885 d/d, H/Y=13, Maksimum tork için ateşleme zamanı)[8]

3.1.1.4. Depozitler (Birikintiler)

Yanma odası yüzeylerinde depozitlerin birikmesi HC emisyonunu etkilemektedir. Depozitler, normal olarak bir motorun uzun süreli çalışmasından sonra oluşurlar. Kurşunlu benzinle çalışmada HC emisyonundaki artış % 7–20 arasındadır. Depozit oluşumu yanma odasının her yerinde aynı değildir. Depozitler silindir kafasında, piston kafasında ve emme manifoldu üzerinde şekillenirler. Çalışma şartlarına bağlı olarak bir miktar yakıt bileşeni emdiklerine ve saldıklarına inanılır. Depozitler emme supabının arkasında oluştuğları takdirde, püskürtülen yakıt bunlar tarafından emilecektir. Bu durum motorun çalışması süresince silindirlere fakir bir dolgunun gitmesine sebebiyet verir. Emme supabı depozitleri sanki daimi HC emisyonlarını çok fazla etkilemezler. Bununla birlikte, piston başı ve silindir kafası üzerindeki depozitler HC emisyonları üzerinde etkiye sahiptirler. Sıkıştırma ve yanma olayları

esnasında yakıt depozitlerce emilir. Böylece yakıt normal yanma işleminden kaçır ve daha sonra genişleme ve egzoz strokları boyunca da dışarı çıkarlar.

Egzoz valfine yakın bölgelerde ölçülen emisyon değerleri en yüksek seviyededir. Bu yüzey depozitleri vasıtasıyla absorbe ve desorbe edilen hidrokarbonlar emisyonu attırmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Piston çevresel boşluğunda biriken ve yağ filmi tarafından absorbe edilen hidrokarbonların egzoz prosesi esnasındaki oluşumu[59]

Depozitler aynı zamanda piston segman boşluklarını doldurarak boşluk hacmini azaltmakta bu ise HC emisyonunda azalmaya sebep olabilmektedir. Bununla birlikte depozitlerden dolayı piston-silindir duvarı arasındaki klerenste meydana gelen değişim alev soğuma prosesini etkilemekte ve emisyonlar artabilmektedir.

Voltadoros ve arkadaşları yaptıkları çalışmada silindir içi depozitlerinin HC emisyonlarını % 50–100 kadar artırabileceğini göstermişlerdir. Yakın zamandaki yapılan bir çalışmada depozit etkilerinin toplam HC emisyonlarına katkısının % 16 olduğu verilmektedir[58].

3.1.1.5. Yanma kalitesi

Alev cephesinin tamamı duvara ulaşmadan önce gaz kütlesi içerisindeki alevin sönmesi belirli motor çalışma koşullarında önemli bir HC kaynağıdır. Genişleme stroku esnasında silindir basıncı düştüğü için alevin önündeki yanmamış karışımın sıcaklığı düşer. Bu düşüş yanma hızını yavaşlatır. Şayet basınç ve sıcaklık çok hızlı bir şekilde düşerse alev sönebilir. Bu tip kütleli soğuma tipi benzin motorlarında gözlenmektedir. Kütleli soğumanın en çok gerçekleştiği motor koşulları şunlardır:

Rölanti,

Devrin düşük olduğu hafif yükler,

EGR ilavesiyle seyreltmeye ek olarak artık gaz kesrinin yüksek olması,

Aşırı fakir karışım,

H/Y, EGR ve ateşleme zamanı motorun kararlı çalışmasını sağlayacak şekilde kalibre edilse bile geçici motor çalışma koşullarında bu değişkenleri kontrol eden motor sistemlerinin farklı dinamik karakteristikler göstermesinden dolayı bazı motor çevrimlerinde kütleli soğumalardan kurtulmak mümkün olmayabilir.

HC emisyonu açısından alev sönmesinin etkisi azaltmanın yolu silindir içerisinde yavaş ve kısmi yanmayı doğurmadan önce karışımı daha hızlı yakmaktır. İndike ortalama efektif basınç değişim katsayısı düştükçe yanma kalitesi artmaktadır. Bir yerine iki ateşleme bujisi kullanıldığında yanma hızı artmaktadır[7].

3.1.1.6. Egzoz manifoldunda oksidasyon

Yanma prosesinden kaçan yanmamış hidrokarbonlar şayet egzozda görülmüşlerse genişleme ve egzoz proseslerinde oksidasyona uğramadan kalmışlar demektir. Egzoz sisteminde HC oksidasyonu mümkün olabilmektedir. Isınmış bir motorda, egzoz gazları içinde alıkonulan HC, egzoz manifoldu girişi ve onun uzantısı olan egzoz manifoldunda oksitlenmektedir. Çoğunlukla bu, yanmayı sağlamak amacıyla port bölgesine hava göndermek suretiyle sağlanabilir. Bununla birlikte port ve manifolda giderken egzoz gazlarının sıcaklığı düştüğü için HC' u yakmak güçleşmektedir.

Egzoz stroku esnasında gaz fazındaki hidrokarbonları oksitlemek için yeterince yüksek sıcaklık ve şiddetli bir türbülans oluşabilmektedir. Gaz fazındaki hidrokarbonları yakmak için 600 K' nin üzerindeki sıcaklıklarda 50 ms veya fazla zamana gerek vardır. Silindir çıkışındaki ortalama egzoz gaz sıcaklığı 800 K civarındadır. Egzoz portu çıkışındaki ortalama egzoz sıcaklığı ise ortalama 600 K' dir. Analitik ve deneysel çalışmalar, kısmi yüklemede, stokiyometrik çalışma şartlarında hidrokarbonların yaklaşık üçte birinin egzoz port ve manifoldunda oksitlendiğini göstermiştir[60].

BÖLÜM 4. MATERYAL ve METOD

4.1. Buji Ateşlemeli Motorlarda Termal Bariyer

Motorlarda piston, egzoz supabı ve silindir kapağı gibi parçaların motorun termal verimini arttırmak için seramik malzemelerle, termal bariyer oluşturmak için kaplanmaktadır. Buji ateşlemeli motorlarda HC emisyonunun ana kaynaklarından olan alev sönme bölgelerinin etkisini azaltabilmek amacıyla piston üzerine seramik kaplama uygulanmıştır. Buji ateşlemeli motorlarda karşılaşılabilecek problemlerden biri olan vuruntunun olumsuz şartlarından etkilenmemek için piston tepesinde, piston dış üst yüzeyinden 10 mm genişliğinde 0,5 mm derinliğinde kaplama yapılmıştır.

Kaplama kalınlığının 0,15 mm' sini ara yüz, geriye kalan 0,35 mm' sini de seramik malzeme oluşturmaktadır. Kaplama plazma püskürtme tekniği ile yapılmıştır[60].

Seramik kaplama öncesi kaplanacak yüzey temizlenmiş daha sonra seramik kaplamanın metalik malzemeye uygun şekilde bağlanması için metalik malzeme pürüzlendirilmiştir. Uygun şekilde pürüzlendirilme yüzeye kum püskürtülerek yapılmıştır. Ara yüz (ara bağlayıcı) olarak Ni-Al tozu, seramik olarak da ZrO₂ (Zirkonya) kullanılmıştır. Seçilen ara yüz elemanı kullanılan piston malzemesi ve seramik malzeme için en uygun olanıdır. Kullanılan kısmi stabilize zirkonya ise seramik malzemeler açısından sıcaklığa ve uzun süre kullanıma en uygun olanıdır[61].

4.1.1. Plazma Kaplama Sistemi

Plazma sprey tekniğindeki ana düşünce; pahalı olmayan bir ana malzeme üzerine ince ve koruyucu değeri yüksek bir tabaka meydana getirmektedir. İşlem iyonize

olmuş bir gaz içinde erimiş olan toz formundaki malzemenin, kaplanacak yüzeye çok hızlı bir şekilde püskürtülmesi şeklinde uygulanmaktadır. Plazma kaplama sistemi;
 Sprey tabancası (plazma üfleci),
 Güç ünitesi,
 Toz besleme ünitesi,
 Soğutma ünitesi,
 Kontrol ünitesinden meydana gelmektedir.

Sprey tabancası, kaplama ünitesinin en önemli çalışma ünitesidir. Anot olarak saf Cu ve katot olarak da % 2 ThO₂ katkılı W' ın kullanıldığı tabancada plazma, bu ki elektrot arasındaki elektrik arkında plazma gazlarının iyonizasyonu ile elde edilir. Kullanılan plazma gazları, katotun etrafından ve aynı zamanda nozul görevini de gören anodun içerisinden geçirilir. Doğru akım arkı, genellikle yüksek frekans akışı ile başlar ve elektrotlar ile devam eder. Katot boyunca verilen plazma gazı, bu ark içerisinde ısıtılmakta ve plazma sıcaklığına erişen gaz, nozul anottan plazma alevi olarak püskürtülmektedir. Ark akımı ve voltajı, anot/katot dizaynı, gaz akış hızı ve gaz bileşimi gibi değişkenlere bağlı olarak değişmektedir. Ark genelde, anot-katot temasıyla ateşlenir. Uygulamada nötr plazma gerektiği için, anot boş bir nozul şeklinde dizayn edilmiş ve ark devresinin nozul içinde tamamlanması sağlanmıştır. Böylece, serbest halde elde edilen plazma, elektrik akımını iletmektedir. Kaplama işleminde gerçekleşen bütün olaylar (disosiasyon, iyonizasyon, plazma hali gibi) sprej tabancası içerisinde meydana gelmektedir.

Tabancaya beslenen plazma gazları, yüksek gerilim veya yüksek frekans yardımıyla tutuşturulur. Plazma gazları, kaplama tozları, çalışma voltajı ve arkı ile ilgili bütün ayarlamalar kontrol ünitesinde manüel olarak veya bilgisayar yardımıyla yapılır.

Plazma alevindeki hareket esnasında yüzey gerilimi nedeniyle küresel şekle sahip oldukları düşünülen erimiş partiküller, ana malzeme yüzeyine çarptıklarında ısıl ve kinetik enerjilerini kaybederek deforme olurlar ve sonra 5–15 µm kalınlığında lameller şeklinde katılaşır. Deformasyon miktarı ve dolayısıyla lamellerin şekli; erimiş partiküllerin viskozitesi ve ısıtılabilirliği, toz granülitesi ve ana malzeme yüzeyinin karakteri gibi birçok faktöre bağlıdır.

Atmosferik plazma kaplama yöntemi dezavantajı, plazma jeti içerisine havanın girerek, plazmanın soğumasına ve hızının yavaşlamasına neden olması, metalik tozların oksidasyona uğramasıdır. Argon koruyucu atmosferinde gerçekleştirilen plazma sprede tozun oksidasyona uğraması önlenmektedir.

Kaplama tozlarının plazma gazı içerisinden geçirilerek ergimiş halde kaplanacak malzeme üzerine püskürtülmesi “Plazma Püskürtme Tekniği” adını alır. Plazma kaplama tekniğinde, kaplanacak toz bir gaz eşliğinde gönderilmektedir[62].

4.2. Deney Donanımı ve Deneylerin Yapılışı

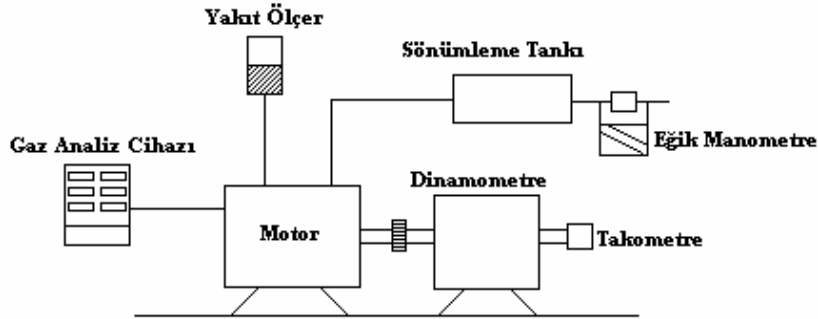
Sıkıştırma oranı, motor gövdesine monte edilen dişli mekanizma vasıtasıyla komple silindir ve silindir başlığının yukarı veya aşağı hareketiyle ölü hacmin değiştirilmesi suretiyle değiştirilmektedir. Motor sıkıştırma oranının değişimi hareketli silindir kafası ile sabit gövde arasına monte edilmiş, daha önce belirlenerek üzerine markalama yapılmış düzenerle ayarlanmaktadır. Ancak değişimin kalibrasyonu için ilk değer motor silindir kapağı açılarak yanma odası ve yanmaya iştirak eden silindir başlığı ve piston üzerine yağ doldurulmuş ve harcanan miktar tespit edilmiştir. Bulunan değerler markalama çizgileri ile karşılaştırmıştır.

Deneylere başlanmadan önce motor yenileştirilmiştir. Motorun ateşleme sistemi, manyetolu sistemden klasik elektrikli ateşleme sistemine dönüştürülmüştür. Yedek piston olmadığından yeni piston döktürülmüş, ölçümler esnasında bu piston kullanılmıştır.

Deneyler esnasında motor, motor miline bağlı olan bir elektrik dinamometresi ile yüklenmiştir. Yüklemeler esnasında elde edilen elektrik enerjisi ısıtıcı dirençler üzerinden harcanmaktadır. Aşağıda kısım kısım düzener resimleri ve şekilleri görülmektedir.

4.3. Deney Düzeneği

Motor deneyleri T.C. Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv A.B.D. laboratuvarlarında yapılmıştır. Şekil 4.1' de deney düzeneğinin şematik görünüşü yer almaktadır.



Şekil 4.1. Deney Motoru Test Düzeneğinin Şematik Görünümü

Deneyler Petter marka tek silindirli, buji ateşlemeli, sıkıştırma oranı ve statik avansı değiştirilebilen, su soğutmalı bir deney motorunda yapılmıştır. Testlerde kullanılan deney motorunun teknik özellikleri Tablo 4.1' de ve şeklide, Şekil 4.2' de görülmektedir.

Tablo 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Marka ve model	Petter
Çalışma prensibi	4 zamanlı
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	84,95
Silindir stroku (mm)	82,45
Toplam silindir hacmi (cm ³)	467,07
Sıkıştırma oranı	8,78/1 (max.)
Maksimum devir sayısı (dev./dak.)	3400

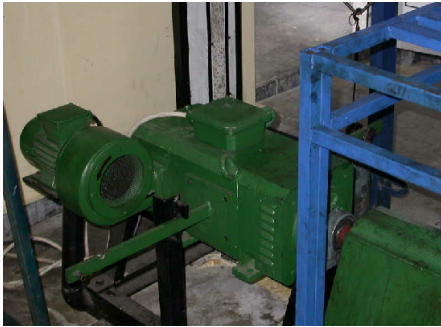
4.3.1. Deney motoru



Şekil 4.2. Deney motorunun görünüşü

4.3.2. Motor tarafından üretilen gücün tespiti

Deneyler sırasında 3600 d/d' de maksimum 10 HP güce sahip elektrikli bir dinamometre kullanılmıştır. Kullanılan dinamometre Şekil 4.3' te görülmektedir.



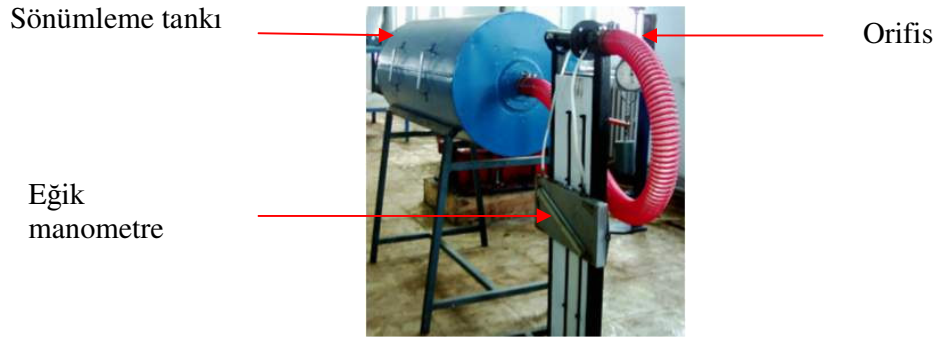
Şekil 4.3. Deneylerde kullanılan dinamometrenin görünüşü

4.3.3. Hava debisinin ölçümü

Motor hava debisinin tayini, motor deneylerinin en çok değişken ihtiva eden ve dikkat isteyen ölçümlerden biridir. Gerçekten böyle bir ölçümde atmosfer şartları, sistem geometrisi ve motorun düzenli çalışmasına kadar birçok faktör ölçme ve hesaplama detaylarına dahil edilmektedir. Buna karşılık hava debisi, motorun performansını ve emisyon karakteristiklerinin belirlenmesinde en önemli unsur olmaktadır[63, 64].

Hava-yakıt oranı, hava fazlalık katsayısı ve hacimsel verim gibi yanma olayının detayları, emisyon özellikleri ve müsaade edilebilir çalışma sınırları hususunda yeterli bilgi elde edebilmek için hava debisinin mutlaka bilinmesi gerekir. Dolayısıyla hava miktarının hassas bir şekilde ölçülmesi deney sonuçlarının gerçekçi olması bakımından son derece zaruridir[5, 63, 66].

Akışın daimi olması kaydıyla hava debisinin ölçümünde en sıhhatli netice keskin kenarlı lüle ve eğik manometreden oluşan sistemle alınmaktadır. Deneyde kullanılacak olan hava tankının kapasitesi motor hacminin 50 katında daha az olmamalıdır[67]. Deneylerde hava debisi ölçümü için eğik manometre sönümleme tankı düzeneği kullanılmıştır. Şekil 4.6' da deneylerde kullanılan eğik manometre görülmektedir.



Şekil 4.4. Hava debisi ölçümü için kullanılan eğik manometre ve sönümleme tankının görünüşü

4.3.4. Sarf edilen yakıt debisinin ölçümü

Deney motorunun tükettiği yakıt miktarının bulunması için 25 ve 50 cm³'lük ölçüm haznesi olan yakıt ölçer kullanılmıştır. Yakıt ölçümü kronometre yardımıyla hacimsel olarak ölçülmüştür.

Deneylerde kullanılan ölçü aletleri, ölçüm aralıkları ve ölçü hassasiyetleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.2. Motor Testlerinde Ölçülen Parametreler ve Ölçüm Cihazları

Ölçülen parametreler	Birim	Ölçüm aralığı	Ölçme aleti	Ölçüm hassasiyeti
Motor Devri	dev/dak	0-9999	Dijital takometre	1 dev/dak
Egzoz sıcaklığı	°C	0-1000	Ni-Cr-Ni	1 °C
Soğutma suyu giriş-çıkış ve ortam sıcaklığı	°C	0-999	Fe-Konst.	1 °C
Yakıt tüketim zamanı	s	-	Dijital kronometre	0,001s
Fren terazi kuvveti	N	0-100	Elektrik freni	0,5 N
Hava tüketim miktarı	mmSS	0-100	Eğik manometre	1 mm
HC	ppm	0-1200	Bilsa mod-500 BGA-95	1 ppm
CO	% C	0,0-6,0	Bilsa mod-500 BGA-95	% 0,1

4.4. Deneysel Çalışma

Deneyler tam gazda 1300 d/d ile 2800 d/d arasında 300 d/d aralıkta 6 farklı devirde gerçekleştirilmiştir. Yakıt olarak ticari kurşunsuz benzin ile farklı oranlarda metanol-benzin karışımları [M0 (% 100 Benzin), M10 (% 10 metanol + % 90 benzin), M15 (% 15 metanol + % 85 benzin), M20 (% 20 metanol + % 80 benzin)] kullanılmıştır.

Deneyler Motor öz değerlerini tespit etmek için ilk olarak standart pistonla, daha sonra, bariyer çemberli pistonla yakıt olarak benzin ve farklı oranlarda metanol-benzin karışımları kullanılarak yapılmıştır. TBÇ pistonun resmi Şekil 4.6' da

görülmektedir. Termal bariyer, pistonun tepesinde, segman üst boşluk kısımlarına yakın bölgede, 0,15 mm Ni-Al ara tabaka üzerine 0.35 mm kalınlığında MgO-ZrO₂ ile kaplanarak oluşturulmuştur. Deneylede kullanılan benzin ve farklı oranlardaki metanol-benzin karışımları, üç farklı sıkıştırma oranında (8.2, 7.2, 6.2:1), altı farklı devir aralığında, her iki piston ile ayrı ayrı yapılmıştır. Tam yük şartlarında toplam 144 noktadan ölçüm yapılmıştır. Deneylelerin hep aynı şartlarda gerçekleştirilebilmesi için deneylelere başlanmadan önce motor rejim sıcaklığına getirilmiştir.

Deneylelerde motor performans kriterleri olarak; motor döndürme momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı değerlendirmeleri yapılmıştır. Emisyon değerleri olarak hidrokarbon, karbonmonoksit, ve karbondioksit değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. TBC' li piston

4.5. Hesaplamalarda Kullanılan formüller

Buji ateşlemeli motorlarda, krank mili devrine bağlı olarak ölçülen güç, moment ve yakıt sarfiyat değerlerine motor karakteristikleri denilir. Değişik yük ve devirlerde bu değerlerde meydana gelen değişimler eğrilerle gösterilir. Bu değişimleri gösteren eğriye karakteristik eğri adı verilir. Bu eğriler motorun gerçek hizmet şartlarındaki performansı hakkında önemli bilgiler verir. Motor performansının tespiti amacı ile yapılan deneysel çalışmalarda doğrudan bulunamayan değerler, performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanır. Motor deneylelerinde ölçülen

büyüklikler genellikle döndürme momenti, devir sayısı, yakıt debisi, emme havası debisi, ortam sıcaklığıdır. Bu büyüklikler vasıtasıyla hesaplanan en önemli performans karakteristikleri ise efektif güç, döndürme momenti, ortalama efektif basınç ve özgül yakıt sarfiyatıdır[62].

4.5.1. Döndürme momenti ve efektif güç

Değişik uygulamalarla belirlenebilen döndürme momenti ve efektif güç bu çalışmada elektrikli bir dinamometre ile ölçülmüştür. Motor döndürme momenti ve güç hesaplamalarında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Motor tarafından oluşturulan döndürme momenti;

$$M_d = F.l \quad (4.1)$$

Motor tarafından üretilen güç ve dolayısıyla dinamometre vasıtasıyla yutulan güç açısal hız ile döndürme momentinin çarpımına eşittir;

$$P_e = \omega_n.M_d = \frac{2\pi.F.l.n}{1000} \quad (\text{kW}) \quad (4.2)$$

Burada;

M_d = Döndürme momenti (Nm),

F = Fren terazi kuvveti (N),

l = Moment kolu uzunluğu (m),

P_e = Efektif güç(kW),

n = Motor devri (devir/s)[5].

4.5.2. Ortalama efektif basınç

Ortalama efektif basınç motorun gerçek çevrimdekine eşdeğer bir P_e gücünü vermesi için bir strok boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınç olarak ifade edilir. W_e

(Nm/çev.), çevrim işi ve V_H (m^3), toplam strok hacmi olmak üzere ortalama efektif basınç:

$$P_{me} = \frac{W_e}{V_H} = \frac{P_e}{n_c \cdot V_H} = \frac{P_e}{V_H \cdot n \cdot i} \quad (4.3)$$

Burada;

P_{me} = Ortalama efektif basınç (N/m^2),

W_e = Bir çevrimdeki iş (Nm/çevrim),

P_e = Efektif güç (kW),

n_c = İş yapan devir sayısı, $n_c = n \cdot i$ (çevrim/s),

n = Motor devri (devir/s),

i = Bir devirdeki çevrim sayısı (çevrim/dev.),

4 stroklu dizel için $i = 1/2$, 2 stroklu dizel için $i = 1$ dir[5].

4.5.3. Özgül yakıt sarfiyatı

Birim zamanda birim güç başına harcanan yakıt miktarına özgül yakıt sarfiyatı denir. Laboratuar şartlarında bir motorun yakıt sarfiyatını deney tesisatında hacimsel olarak ölçmek mümkündür. Belli çalışma şartlarında motorun Δt (s) zaman aralığında tükettiği yakıtın hacmi ΔV (cm^3) olsun. Yakıtın yoğunluğu ρ_y (g/cm^3) ise, Özgül yakıt sarfiyatı, b_e ;

$$b_e = \frac{3600 \cdot \Delta V \cdot \rho_y}{P_e \cdot \Delta t} = \frac{3600 \cdot \dot{m}_y}{P_e} \quad (4.4)$$

olarak bulunur. Bu denklemde;

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh),

\dot{m}_y = Kütleli debi (g/s),

ρ_y = Yakıt yoğunluğu (g/cm^3),

ΔV = Tüketilen yakıt hacmi (cm^3),

Δt = Yakıt tüketme süresi (s)[5].

Tablo 4.3. Deneyleerde kullanılan C₈H₁₈ ve saf CH₃OH yakıtlarının özellikleri [5,20]

Yakıt	ρ_y (g/cm ³)	H _u = (kj/kg)	H _{min} (kg/kg)
C ₈ H ₁₈	0,747	42969	14,5
CH ₃ OH	0,790	20100	6.44

4.5.4. Efektif verim

Efektif verim, motor milinden alınan işin silindire verilen enerjiye oranı şeklinde tarif edilir ve iş veya güç oranları cinsinden yazılırsa;

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_T} = \frac{W_e / t}{Q_T / t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u} \quad (4.5)$$

eşitliği ile ifade edilir. (4.5) ifadesinden m_y çekilip b_e (g/kW.h) ve H_u (kJ/kg) alındığında,

$$\eta_e = \frac{3.6 \times 10^6}{b_e \cdot H_u} \quad (4.6)$$

ifadesi elde edilir[5].

4.5.5. Volümetrik verim

Motorun belli çalışma şartlarında emdiği gerçek hava miktarının pistonun yer değiştirdiği hacme (teorik hava miktarı) oranıdır. Strok hacmi V_h (m³), silindir sayısı z olan ve n (devir/s) hızla dönen bir motorun volümetrik verimi;

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{H,g}}{\dot{m}_{H,t}} = \frac{2\dot{m}_{H,g}}{z \cdot \rho_{H,g} \cdot V_H \cdot n} = \frac{2\dot{V}_{H,g}}{z \cdot V_H \cdot n} \quad (4.7)$$

ifadesinden hesaplanabilir[5].

4.5.6. Hava fazlalık katsayısı

Birim ağırlıktaki yakıtı yakmak için gerekli olan hava miktarına kimyasal olarak doğru veya stokiyometrik hava miktarı denilir ve $h_{\min} = (m_{\text{hava}} / m_{\text{yakıt}})_{\text{teorik}}$ olarak ifade edilir. Gerçek çalışma durumunu ifade eden oran, $h = (m_{\text{hava}} / m_{\text{yakıt}})_{\text{gerçek}}$ olarak ifade edilirse hava fazlalık katsayısı için;

$$\lambda = \frac{(\dot{m}_H / \dot{m}_Y)_g}{(\dot{m}_H / \dot{m}_Y)_t} = \frac{(\dot{m}_H / \dot{m}_Y)_g}{h_{\min}} \quad (4.8)$$

ifadesi yazılabilir[5].

4.5.7. Hava Debisi Ölçümü

$$\dot{m}_H = 7,182 d_H^2 \sqrt{(\Delta h_H)} \quad (4.9)$$

Burada;

d_H : Orifis çapı (mm)

Δh_H : Manometredeki akışkan yüksekliği (mmSS)[5]

Keskin kenarlı lümenin boyutları, eğik manometredeki basınç düşüşü 100 mmSS' den büyük olmayacak şekilde seçilir. Bu düşüşün 125 mmSS' nunu geçmemesi gerekmektedir. Bu amaçla istenen basınç düşme sınırlarında kalmak için, motor deneyleri esnasında hangi devir aralıklarında orifis plaka ölçüsünün ne olacağı aşağıdaki denklem vasıtası ile yaklaşık olarak bulunabilir.

$$\dot{V} = \eta_v \frac{V_s \times n}{K \times 60} \quad (4.11)$$

Burada;

η_v = volümetrik verim

K = strok (1→2stroklı, 2→4stroklı)

n = motor devri (dev/s)

V_s = strok hacmi (m^3)

4.5.8. Emisyon Ölçümü

Emisyon ölçümü için BİLSA-MOD 500 marka 4 gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Cihaz CO, CO₂ ve HC gazlarının egzozdaki miktarlarını yüzde (%) ve ppm (milyonda bir partikül) olarak vermektedir.

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI

5.1. STD ve TBC Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının Özgül Yakıt Sarfiyatına Etkisi

Metanolün alt ısı değerinin benzininkinin yaklaşık yarısı kadar olması nedeniyle, metanollü çalışmalarda özgül yakıt tüketimi, karışımdaki metanol miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Benzin yerine metanol kullanıldığında, aynı yolu gitmek için benzinin iki katı kadar yakıt deposuna ihtiyaç vardır[16]. Motordaki çalışma için önemli olan, yakıt-hava karışımının ısı değeridir. Benzinin tam yanması için gerekli hava miktarı 14,5/1 kg hava/ kg yakıt, metanol için 6,46/1 kg hava/ kg yakıttır. Her iki yakıt için gerekli hava miktarının farklı olmasına karşın, hava-alkol karışımlarının ısı değerleri, hava-benzin karışımlarının ısı değerine yakındır. Hava fazlalık katsayısı $\lambda = 1$ durumunda, karışımların ısı değerleri benzin için 2,9 MJ/kg karışım, metanol için 2,6 MJ/kg karışım şeklindedir[20].

Tam yük koşullarında, devir değişimine bağlı olarak farklı sıkıştırma oranlarında özgül yakıt sarfiyatındaki değişimler Şekil 5.1–5.7’ de eş eğrilerde görülmektedir.

Deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde literatürdekine benzer sonuçlar elde edilmiştir[2, 11, 12, 13]. Karışımdaki alkol miktarı arttıkça özgül yakıt sarfiyatı da artmaktadır. Metanolün oktan sayısının benzinin oktan sayısından yüksek olması, vuruntu mukavemetinin daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Buda motorlarda yakıt olarak metanol-benzin karışımları kullanıldığında daha yüksek sıkıştırma oranlarında daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 5.1’ de STD-M0 ile STD-M10’ un karşılaştırmaları yapılmıştır. STD-M0’ da, 1500–1900 devir/dak. ve 7.4–8.2 sıkıştırma oranı aralığındaki bölgede 380 gr/kWh’ lık özgül yakıt sarfiyatına karşılık STD-M10’ da 400 gr/kWh’ lık sarfiyat görülmüştür. Eğri incelendiğinde M10

kullanımında M0' a göre çalışma aralığında daralmaların olduğu görülmektedir. STD-M0' a göre M15 ve M20 kullanıldığında M10' un kullanılması durumunda elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. STD-M0' a göre TBC motor değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.4–5.7' de verilen eş eğrilerde görülmektedir. STD-M0 ile TBC-M0 karşılaştırılması yapıldığında (Şekil 5.4), TBC motorda 1400–1900 devir/dak. ve 7.5–8.2 sıkıştırma oranı aralığında 390 gr/kWh' lık yakıt sarfiyatına karşılık STD motorda 380 gr/kWh' lık sarfiyat görülmüştür. Ancak düşük sıkıştırma oranlarına bakıldığında yakıt sarfiyatında STD motora göre iyileşmelerin olduğu görülmektedir. M15 kullanılması durumunda, STD motorda 1400–2000 devir/dak. ve 7.1–8.2 sıkıştırma oranı aralığında elde edilen minimum yakıt sarfiyatı değerine, TBC-M15' de 1500–2100 devir/dak. ve 7.7–8.2 sıkıştırma oranı aralığında elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında, standart motora göre, TBC motorun yakıt sarfiyatının yüksek sıkıştırma oranlarında yüksek iken, düşük sıkıştırma oranı değerlerinde azaldığı görülmektedir. Ancak 6.2 sıkıştırma oranında TBC-M0 motorda STD motorun aynı sıkıştırma oranına göre yakıt sarfiyatında % 1.8 ile % 4.6' ya varan oranlarda azalmanın olduğu görülmüştür. Fakat aynı sıkıştırma oranında 2800 d/d' da tam yük şartlarında yakıt sarfiyatında STD motora göre % 5 civarında artış gözlenmiştir. Seramik malzemenin ısı rezerv edebilme özelliği aynı zamanda motorun vuruşu temayülünü de artırmaktadır. İlave olarak yüksek gaz sıcaklığı ve cidar sıcaklığı motor volümetrik veriminin de standart motora göre düşük olmasına neden olmaktadır. Test motorunun TBC piston ile çalışması durumunda özellikle 1900–2200 d/d aralıklarında 8.2 sıkıştırma oranında bariz vuruş sesi gözlemlenmiştir. Bu olumsuz özellikler, TBC motorda tüm sıkıştırma oranlarında yakıt sarfiyatındaki artışın ana nedenleridir.

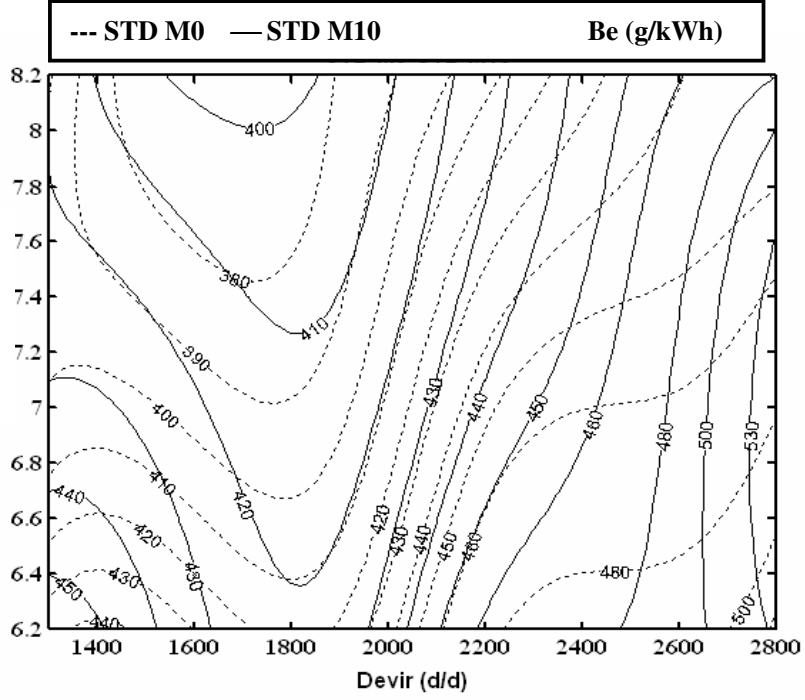
Tam yük şartlarında, deneyin yapıldığı tüm motor devirlerinde, sıkıştırma oranı azaldıkça yakıt sarfiyatındaki artışın yüksek sıkıştırma oranlarında elde edilen değerlere göre azalması yukarıda açıklanan nedenlerin doğruluğunu göstermektedir. TBC-M0 ile yapılan testlerde, minimum yakıt sarfiyatının 1600 d/d' da elde edildiği görülmüştür. Bu devirde 8.2 ve 7.2 sıkıştırma oranlarında STD motorun aynı sıkıştırma oranlarına göre özgül yakıt sarfiyatındaki artış oranları sırasıyla % 4,7 ve % 1.6 olmuştur. Buna karşılık 6.2 sıkıştırma oranında % 1,8 azalmanın olduğu tespit edilmiştir. HC emisyonlarını azaltmak amacıyla STD motor TBC piston ile

kaplanarak kullanılması durumunda, sıkıştırma oranının vuruntu oluşturmayacak şekilde düşürülmesine gerek vardır.

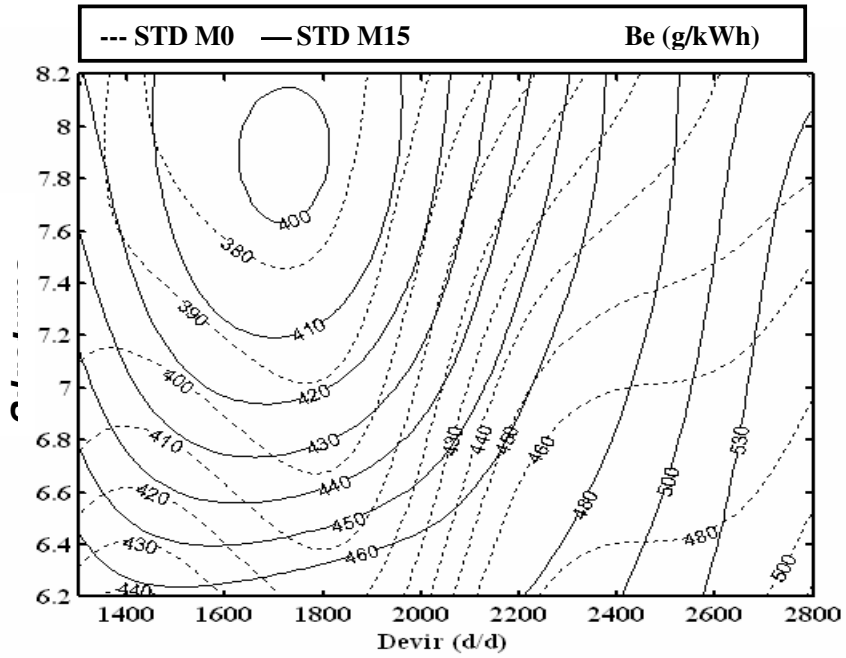
Benzer şekilde yüksek devirlerde ve artan sıkıştırma oranlarında, metanolün oksijen içeriğinin fazla olması nedeni ile yakıt sarfiyatında artış miktarında azalmanın olduğu görülmektedir. STD motorla yapılan deneylerde, yakıt sarfiyatındaki en düşük artışın M10 karışımıyla elde edildiği tespit edilmiştir. Bunun sebebi, metanolün buharlaşma gizli ısısının yüksek olması nedeniyle giriş hava sıcaklığının düşmesi ve dolayısıyla volümetrik verimdeki artışla açıklanabilir. Karışım oranları arttıkça karışımın ısıl değerinin azalması, yakıt sarfiyatındaki artışın büyümesine neden olmaktadır.

Tam yük şartlarında yapılan deneylerde TBC-M0' da 8.2 sıkıştırma oranında vuruntu gözlemlenmiştir. Aynı motorda metanol karışımları kullanıldığında, yüksek sıkıştırma oranlarında karşılaşılan vuruntunun kesildiği, yakıt sarfiyatında, özellikle düşük sıkıştırma oranlarında ve düşük devirlerde iyileşmenin olduğu gözlemlenmiştir.

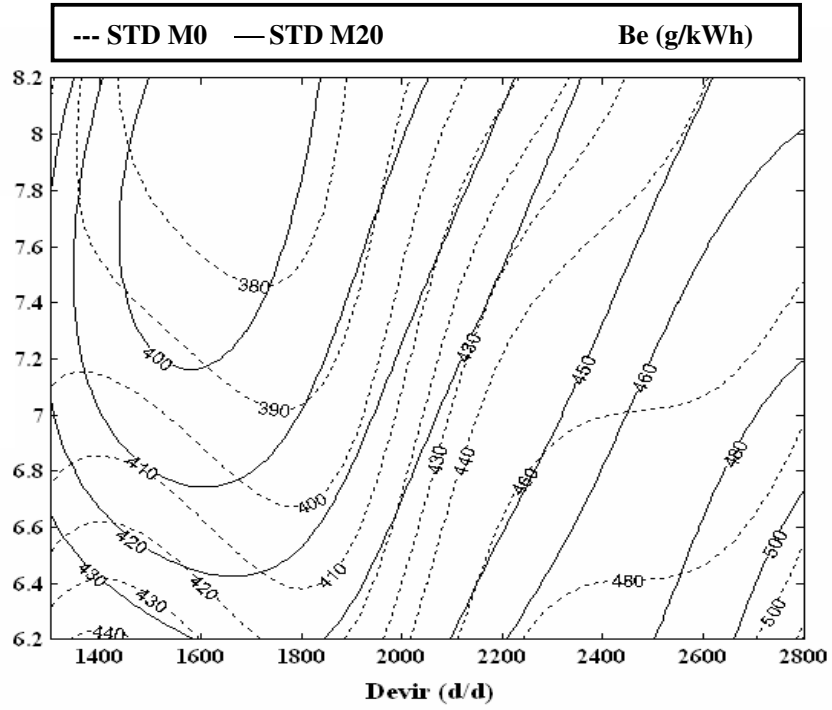
5.1.1. Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının Özgül Yakıt Sarfiyatına Etkisini Gösteren Eş Eğriler



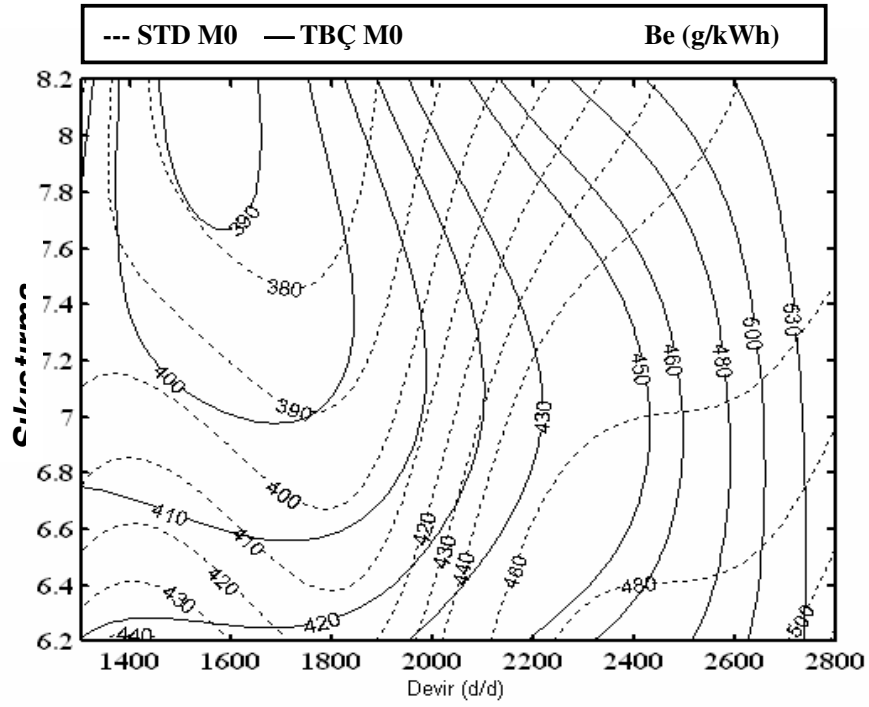
Şekil 5.1. STD M10' un Özgül Yakıt Sarfiyatının STD M0' a Göre Değişimi



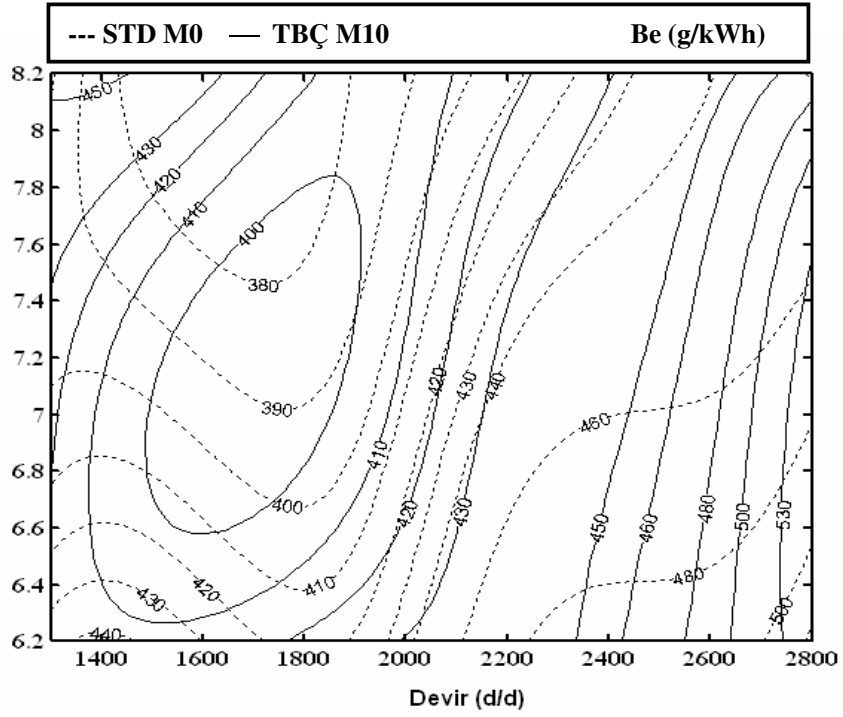
Şekil 5.2. STD M15' in Özgül Yakıt Sarfiyatının STD M0' a Göre Değişimi



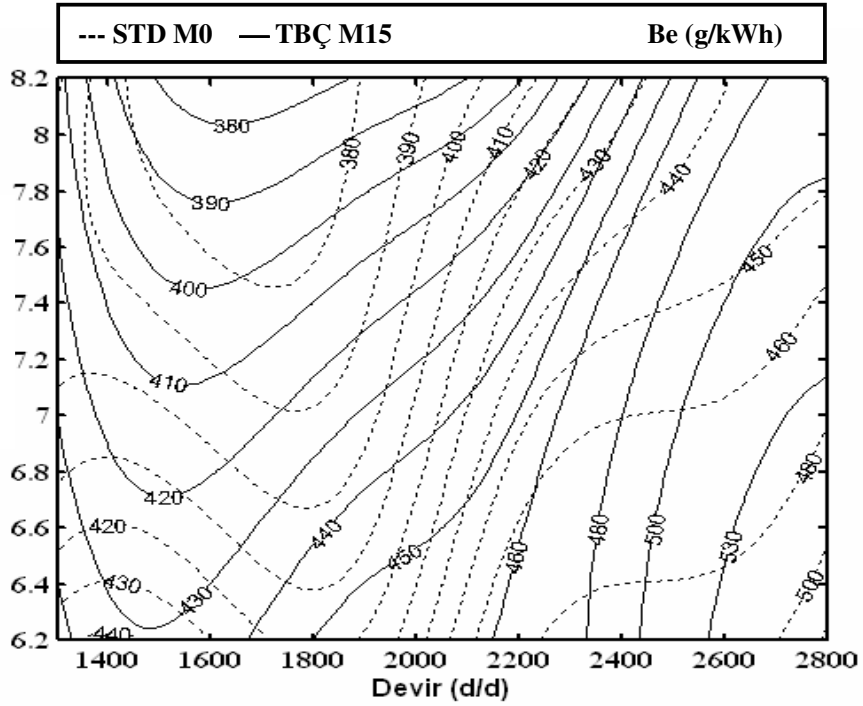
Şekil 5.3. STD M20' nin Özgül Yakıt Sarfiyatının STD M0' a Göre Değişimi



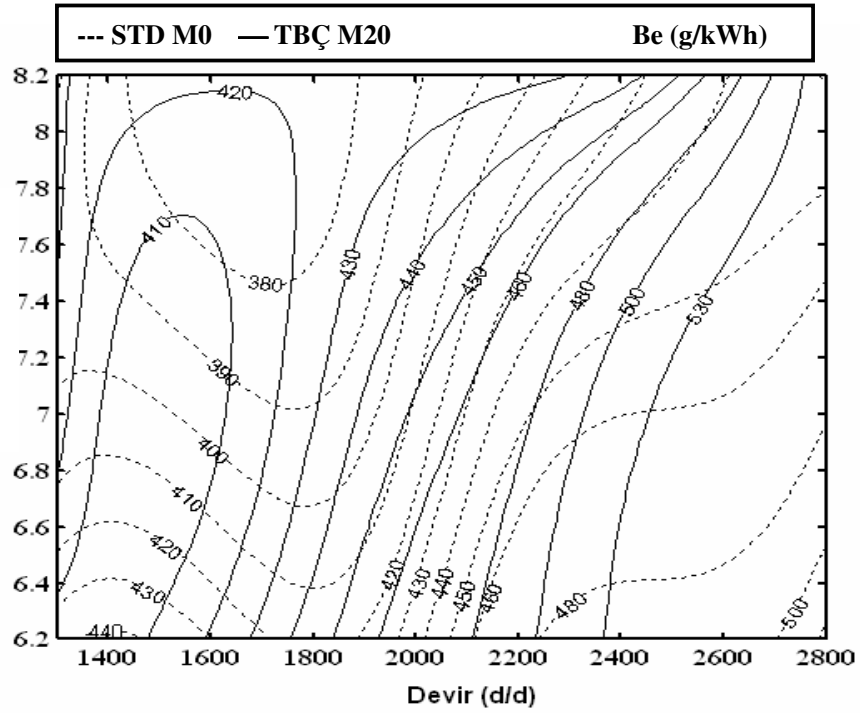
Şekil 5.4. TBÇ M0' nın Özgül Yakıt Sarfiyatının STD M0' a Göre Değişimi



Şekil 5.5.TBC M10' un Özgül Yakıt Sarfiyatının STD M0' a Göre Değişimi



Şekil 5.6. TBC M15' in Özgül Yakıt Sarfiyatının STD M0' a Göre Değişimi



Şekil 5.7. TBC M20' in Özgül Yakıt Sarfiyatının STD M0' a Göre Değişimi

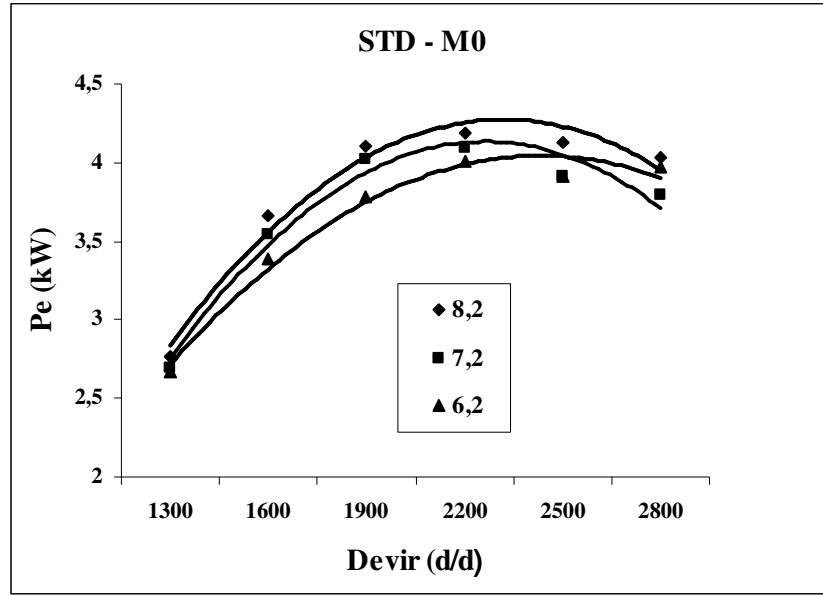
5.2. STD ve TBC Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının Motor Gücüne Etkisi

Tam yük koşullarında, devir değişimine bağlı olarak, farklı sıkıştırma oranlarında motor gücündeki değişimler Şekil 5.8–5.22' de görülmektedir. STD motorda kullanılan yakıt içerisindeki metanol miktarı arttıkça motor gücünde karışım oranına bağlı olarak artmaların olduğu görülmektedir. STD motorda M10 ve M15 kullanılması durumunda güçte benzine göre düşme, M20 kullanıldığında ise artmalar olmuştur. Örneğin; STD-M0' a göre, maksimum gücün elde edildiği 2500 devir/dak.' da ve 7.2 sıkıştırma oranında, STD-M10 kullanımında güçte % 2,4, STD-M15 kullanımında % 1,2 azalma olurken STD-M20 kullanımında % 2,1 oranında artmaların olduğu tespit edilmiştir. TBC motorda yakıt olarak benzin kullanılması durumunda motor gücünde, düşük sıkıştırma oranlarında iyileşmelerin olduğu görülmektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında güçteki düşüşün kaplama malzemesinin ısı rezerv kabiliyetinin yüksek olması nedeni ile vuruntu temayülünü arttırmasından ve vuruntunun oluşmasından kaynaklandığı görülmüştür. TBC-M0'

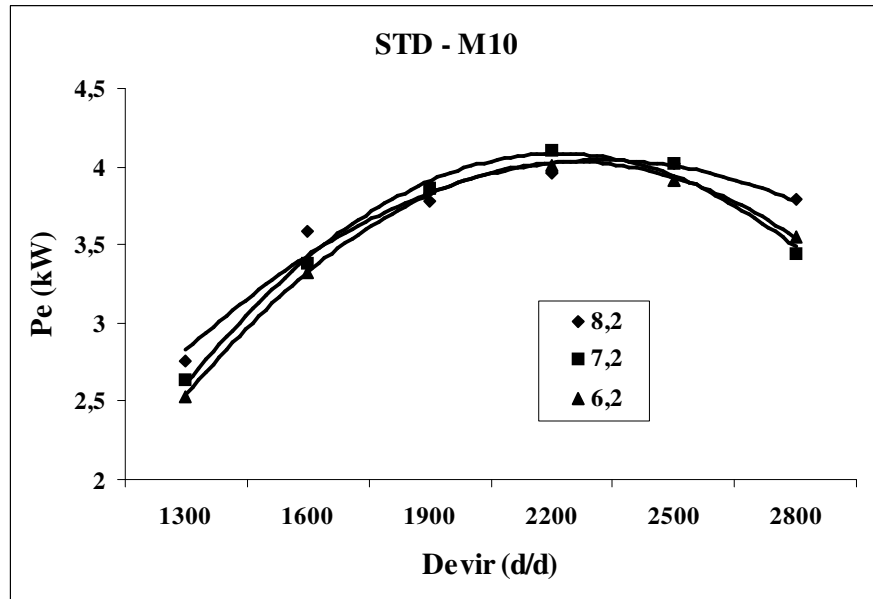
da, STD-M0' a göre aynı sıkıştırma oranı ve aynı devir aralıklarında motor gücünde, 6.2 sıkıştırma oranında % 0.1 ile % 2.1 arasında artmalar, 7.2 sıkıştırma oranında % 0,9 ile % 1,1 arasında azalmalar ve 8.2 sıkıştırma oranında ise % 1,3 ile % 2,3 arasında azalmaların olduğu görülmüştür. TBC motorda, metanol-benzin karışımlarının kullanılması durumunda optimum sıkıştırma oranının tüm karışım değerleri için 7.2 olduğu tespit edilmiştir. Bu sıkıştırma oranında (7.2), maksimum gücün elde edildiği 2200 d/d' da, aynı sıkıştırma oranı değerindeki standart değerlere göre, M10 kullanımında güçte % 4.5, M15 kullanımında % 3.3 artma, M20 kullanımında ise % 6 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Metanolün vuruntu mukavemetinin benzininkinden yüksek olması, TBC motorda metanol-benzin karışımlarının kullanımında olumlu sonuçların alınmasına olanak sağlamaktadır.

Şekil 5.16 ile 5.22 arasında verilen eş eğriler incelendiğinde, STD-M0' da, 2200 d/d' da 7.2 sıkıştırma oranında elde edilen maksimum motor gücü, STD-M10 kullanılması durumunda, 2300 d/d' da 7.5 sıkıştırma oranında elde edilmiştir. STD-M15 yakıtı kullanıldığında ise, devir yönünden motor çalışma aralığının daraldığı tespit edilmiştir. Yani, STD-M0' da 1750–2600 devir/dak. ve 6.2–8.2 sıkıştırma oranı aralığında elde edilirken, aynı motorda M15 kullanılması durumunda 1950–2400 devir/dak. ve 6.5–8.2 sıkıştırma oranı aralığında elde edilmiştir.

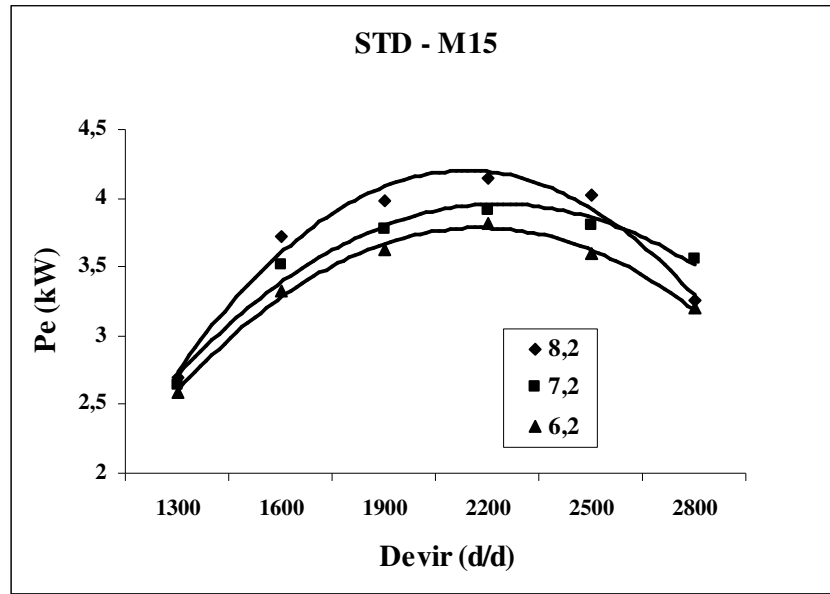
STD motora göre TBC motorun karşılaştırıldığı eş eğrilere bakıldığında, optimum sonucun M15' in kullanılması durumunda elde edildiği tespit edilmiştir. Şekil 5.21 incelendiğinde, M15 yakıtı kullanılması sonucunda, STD motora göre daha düşük sıkıştırma oranı değerleri için olumlu sonuçlar alındığı gözlenmektedir. STD motorda 4.1 kW' lık motor gücü 1700–2500 devir/dak. ve 6.5–7.9 sıkıştırma oranı aralığında elde edilirken, M15' in kullanılması durumunda ise aynı güç, 1900–2500 devir/dak. ve 6.2–8.2 sıkıştırma oranı aralığında elde edilmektedir. Motor gücü bakımından, TBC motordan maksimum fayda sağlayabilmek için M15' in kullanılmasının daha iyi olacağı sonucuna varılmıştır.



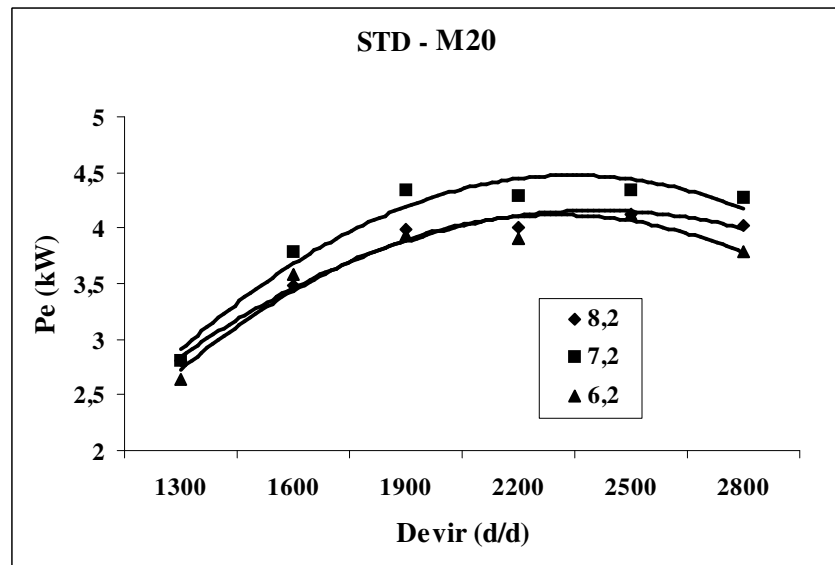
Şekil 5.8. STD M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim



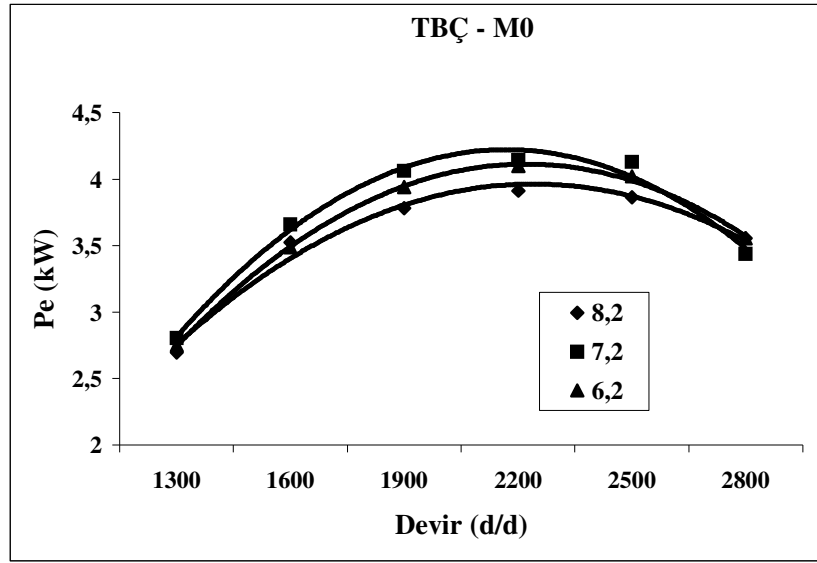
Şekil 5.9. STD M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim



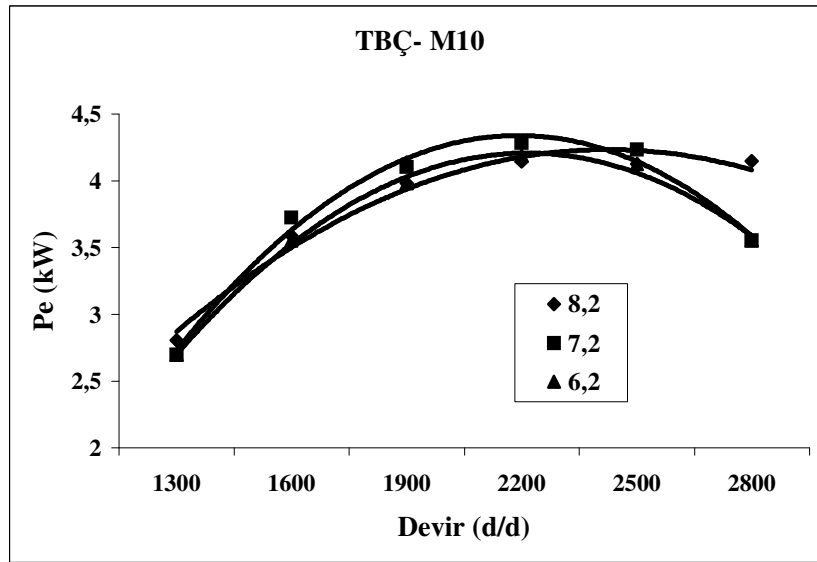
Şekil 5.10. STD M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim



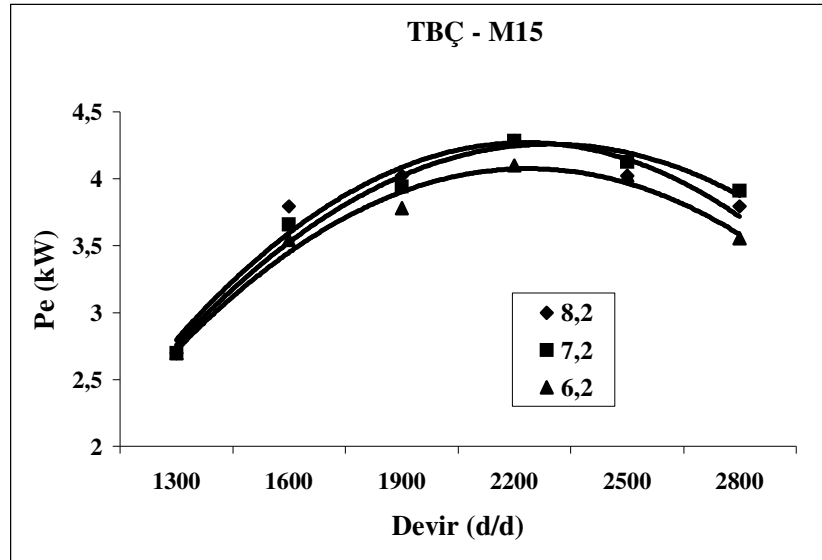
Şekil 5.11. STD M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim



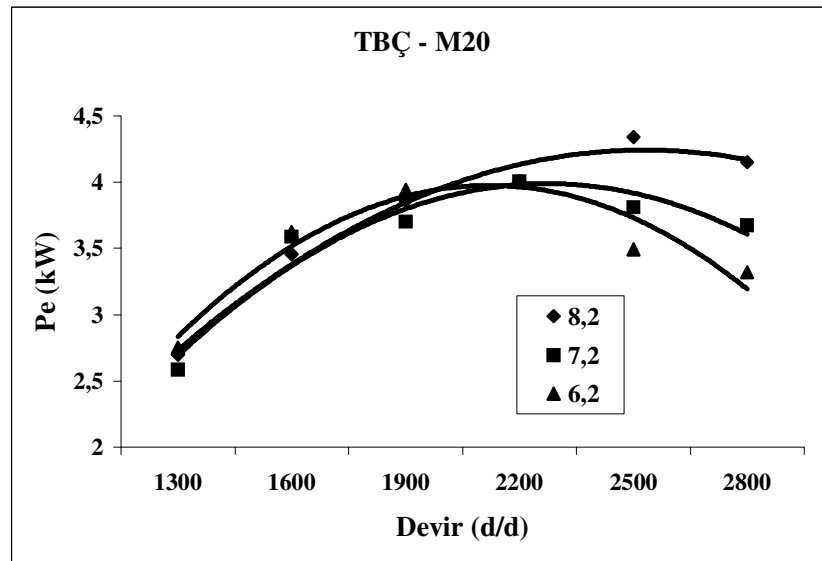
Şekil 5.12. TBÇ M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim



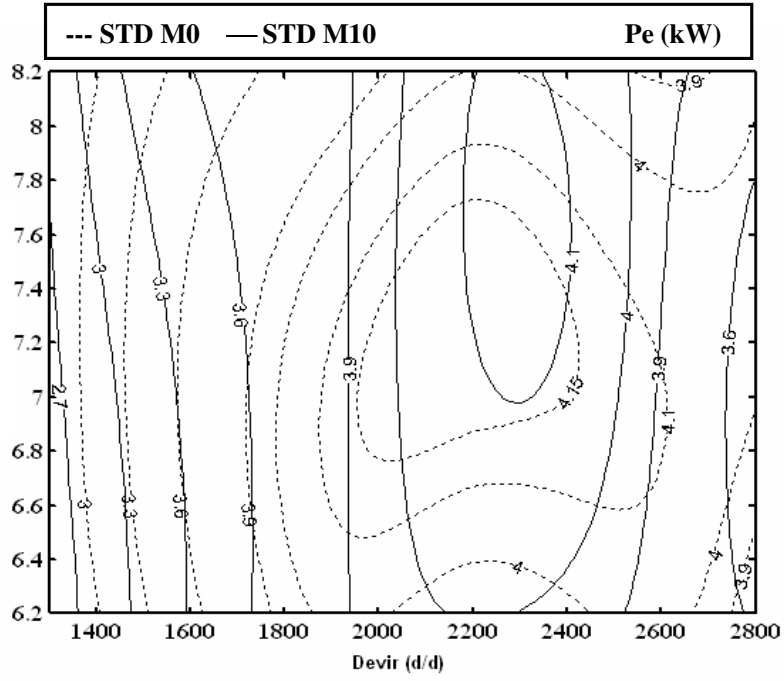
Şekil 5.13. TBÇ M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim



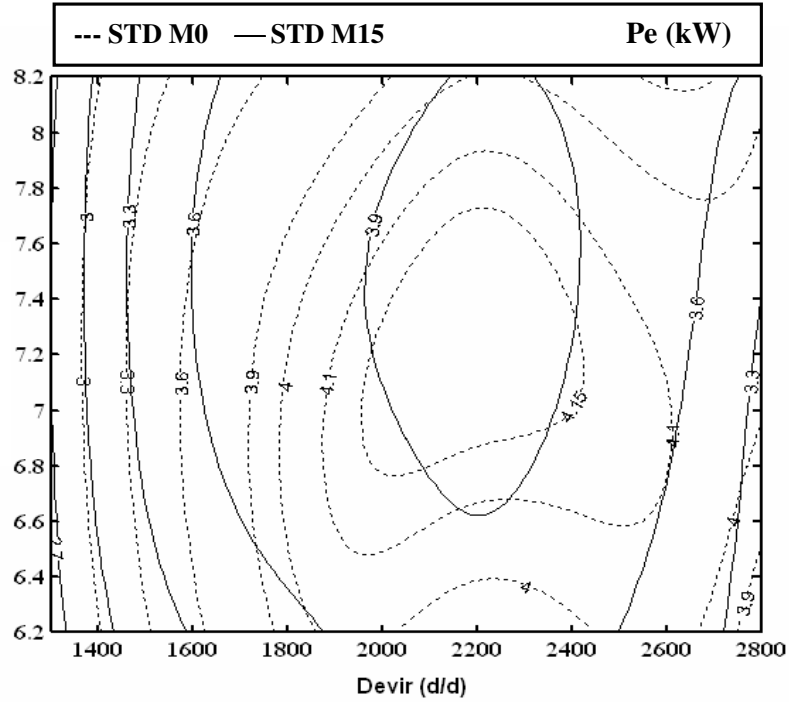
Şekil 5.14. TBÇ M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim



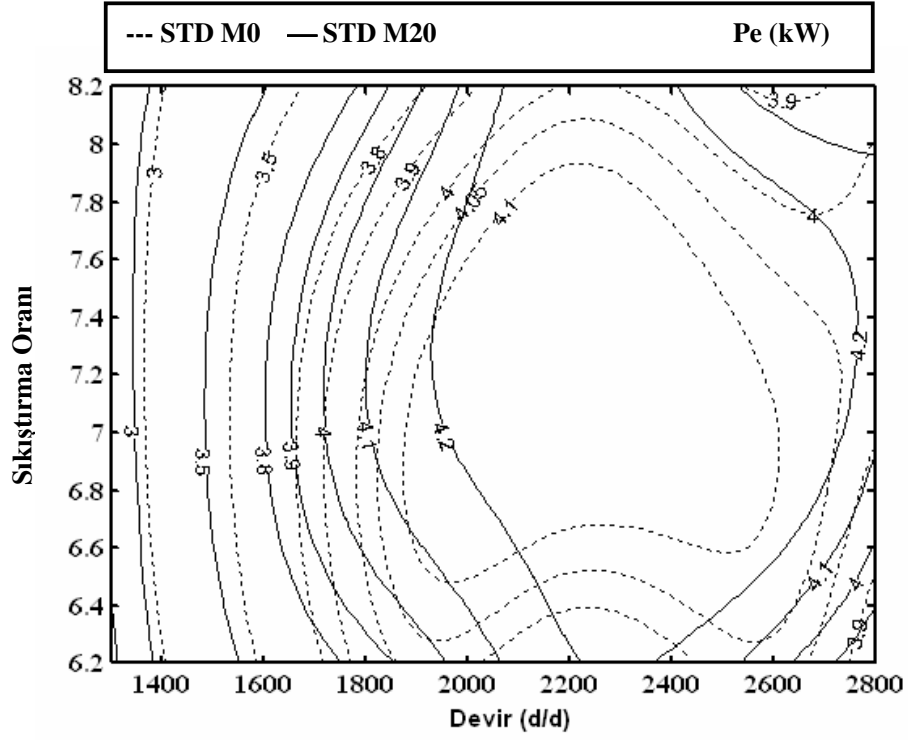
Şekil 5.15. TBÇ M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Motor Gücündeki Değişim



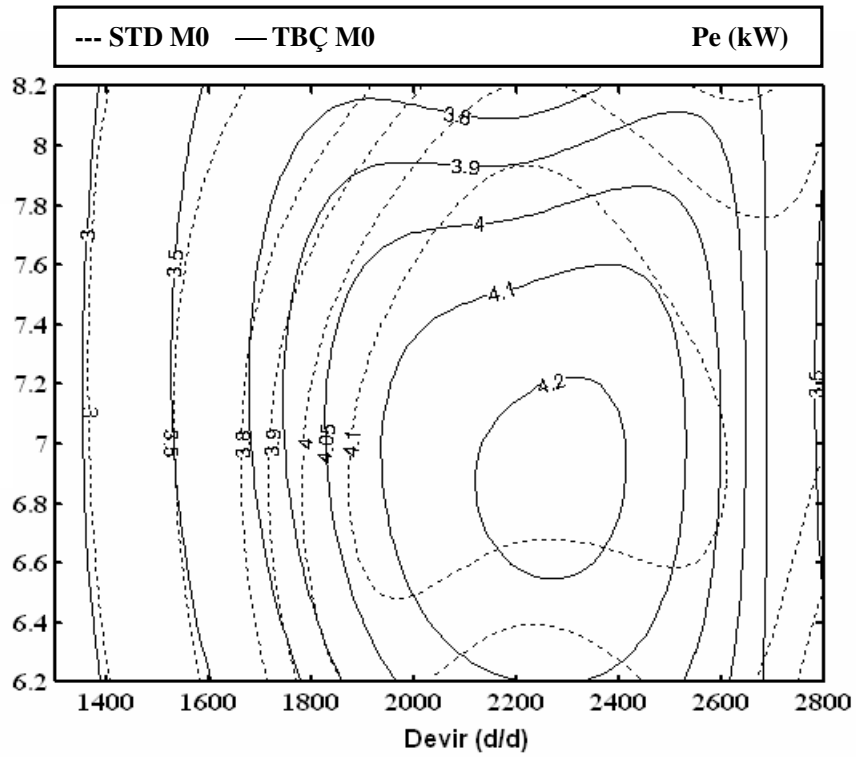
Şekil 5.16. STD M10' un Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi



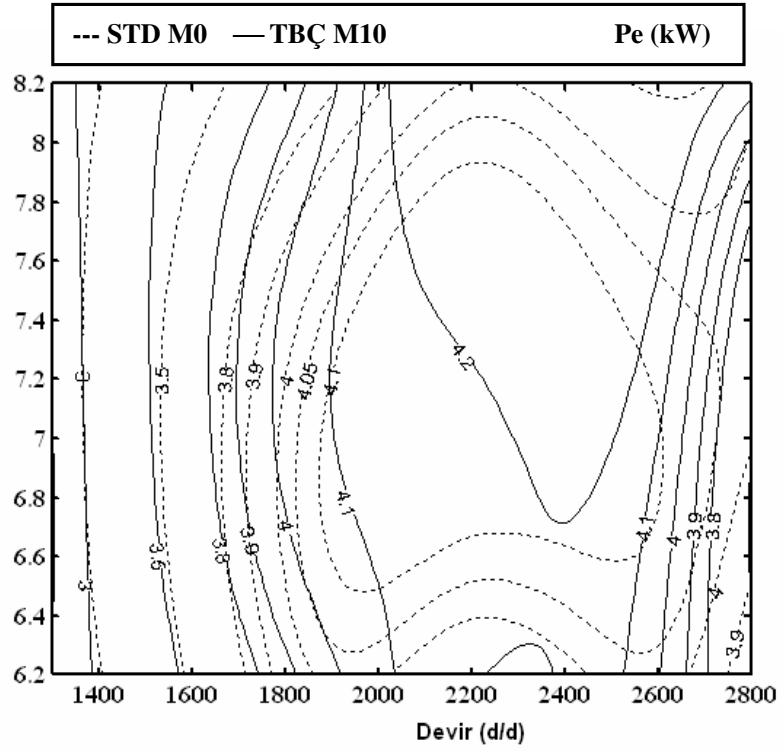
Şekil 5.17. STD M15' in Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi



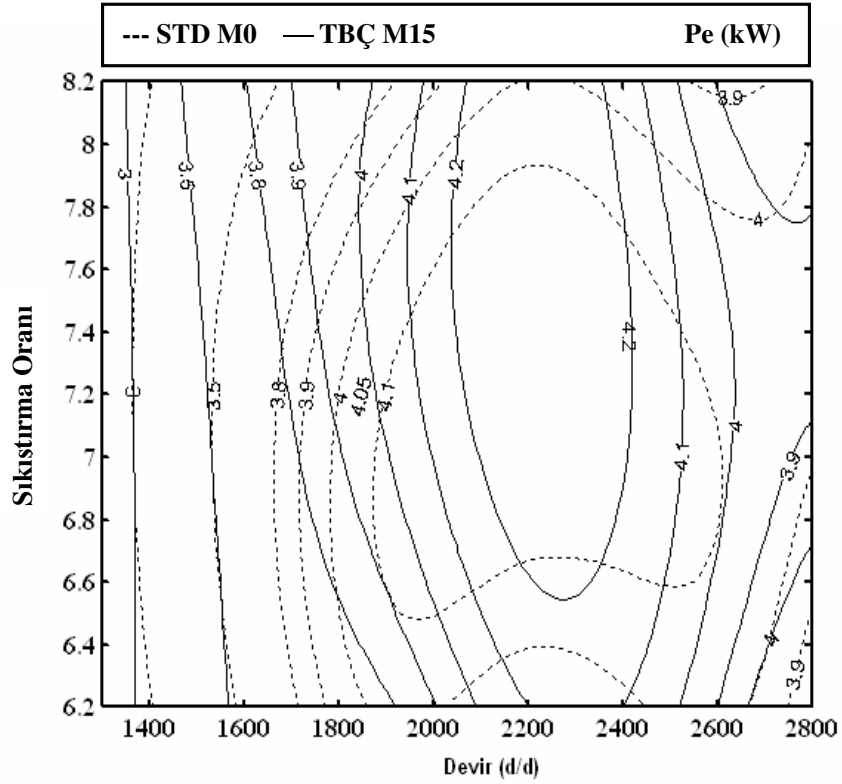
Şekil 5.18. STD M20' in Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi



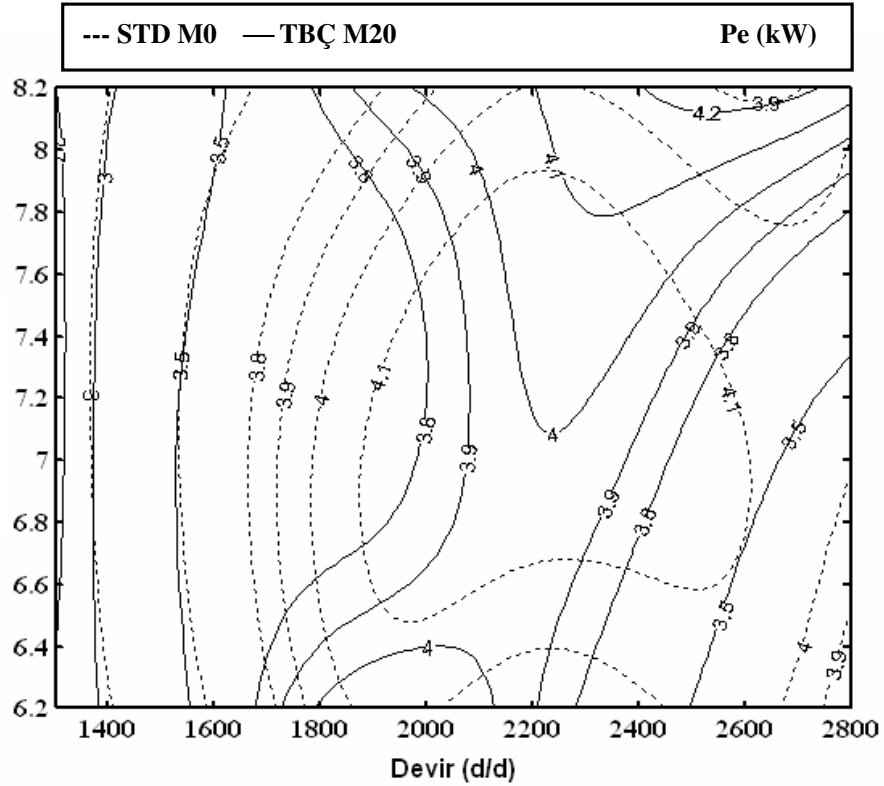
Şekil 5.19. TBC M0' in Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi



Şekil 5.20. TBC M10' un Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi



Şekil 5.21. TBC M15' in Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi

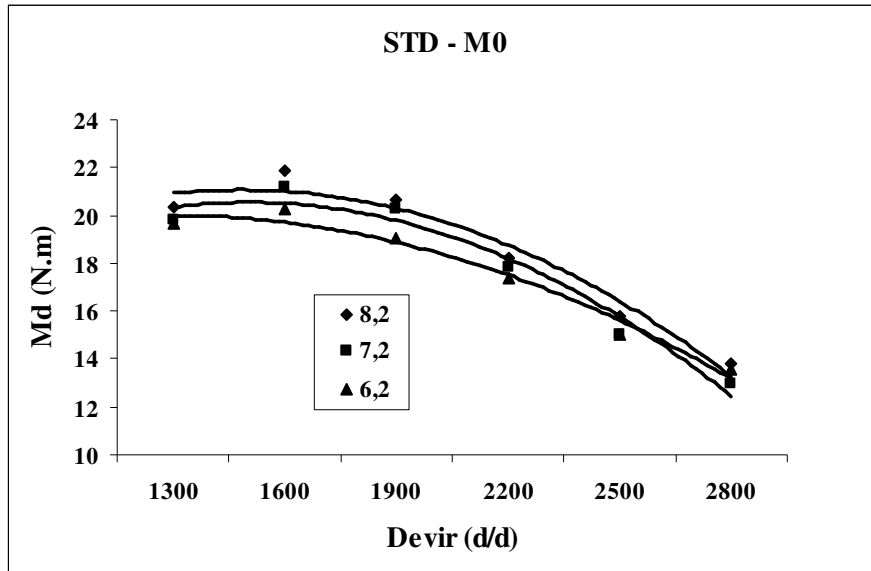


Şekil 5.22. TBC M20' in Motor Gücüne Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi

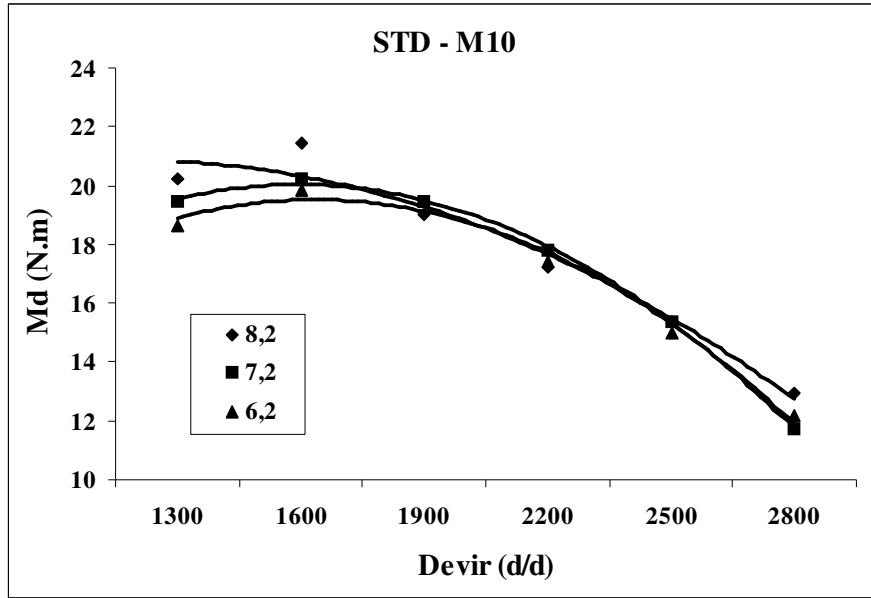
5.3. STD ve TBC Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının Döndürme Momentine Etkisi

Tam yük koşullarında devir değişimine bağlı olarak, farklı sıkıştırma oranlarında motor döndürme momentindeki değişimler Şekil 5.23–5.30' da görülmektedir. STD motorda kullanılan yakıt içerisindeki metanol miktarı arttıkça motor momentinde, motor gücüne benzer olarak artmalar görülmektedir. STD motorda, maksimum moment M20 kullanımında elde edilmiştir. M10 ve M15 kullanıldığında standart değere göre momentte azalmalar görülmektedir. 7.2 sıkıştırma oranı değerinde ve maksimum döndürme momentinin elde edildiği 1900 d/d' da, M10 kullanıldığında % 5,9, M15 kullanıldığında % 3 azalma olurken M20 kullanımında % 5,9 oranında artma olduğu tespit edilmiştir. TBC motorda benzin kullanımında momentte standart değerlere göre azalmalar görülmektedir. Sıkıştırma oranı arttıkça TBC motorda vuruğu oluştuğundan özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında momentte azalmanın

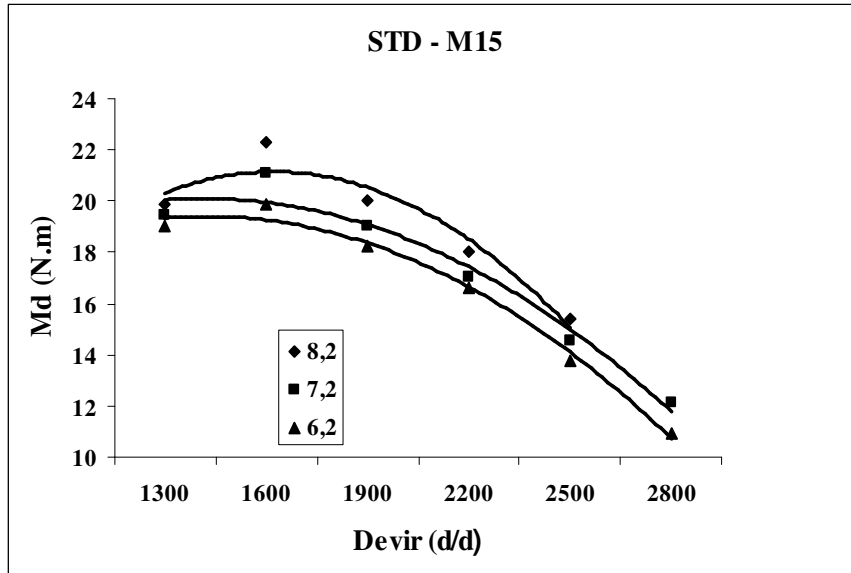
artış gösterdiği, sıkıştırma oranı düşürüldükçe momentteki düşüşün de azaldığı görülmektedir. TBC motorda metanol-benzin karışımları kullanıldığında, metanolün vuruntu mukavemetinin benzinden yüksek olmasına bağlı olarak vuruntu temayülü azalmakta veya ortadan kalkmaktadır. Buda motor döndürme momentinde iyileşmelerin olmasını sağlamaktadır. TBC motorda maksimum iyileşmenin M10 kullanımında elde edildiği görülmüştür. Standart değere göre TBC-M10 kullanımında, momentte test edilen tüm sıkıştırma oranlarında ve tüm motor devirlerinde % 2 ile % 7 arasında artmalar görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde, standart motor değerlerine göre TBC motorda benzin kullanımında vuruntu oluşmasına bağlı olarak motor döndürme momentinde azalmalar görülmüştür. Metanol-benzin karışımlarının TBC motorda kullanılması durumunda metanolün oktan sayısının yüksek olması ve buna bağlı olarak vuruntunun motorda oluşmamasına bağlı olarak motor döndürme momentinde artmalar görülmektedir.



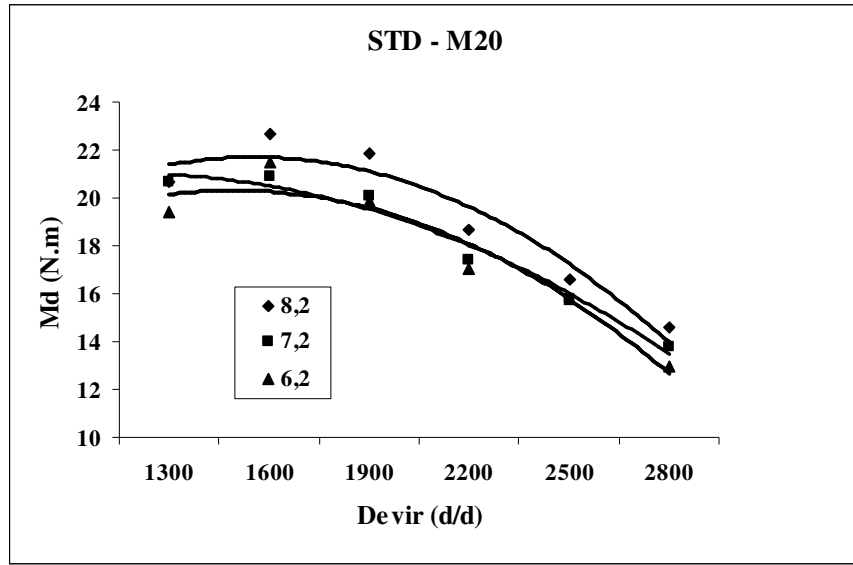
Şekil 5.23. STD M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim



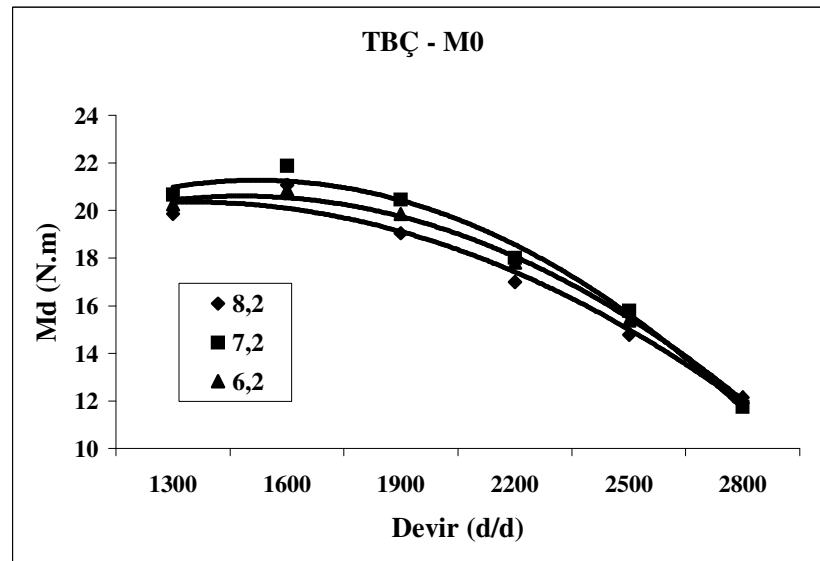
Şekil 5.24. STD M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim



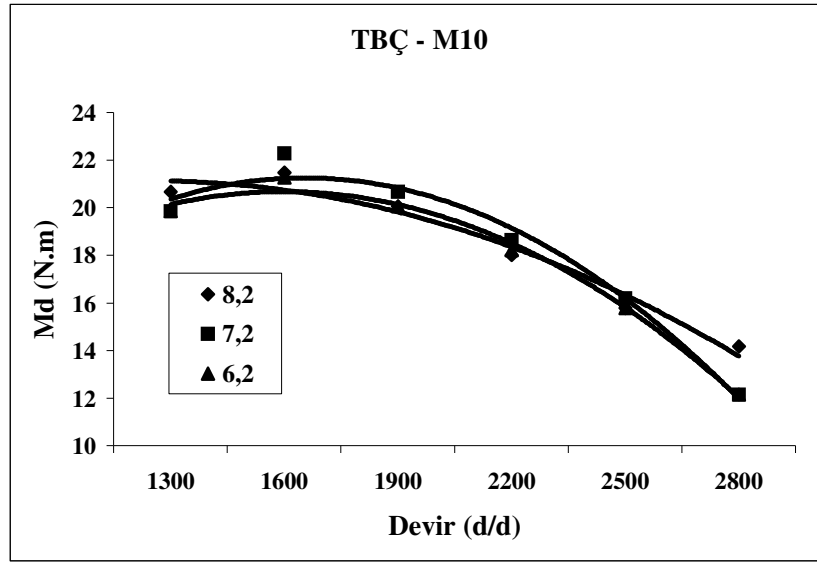
Şekil 5.25. STD M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim



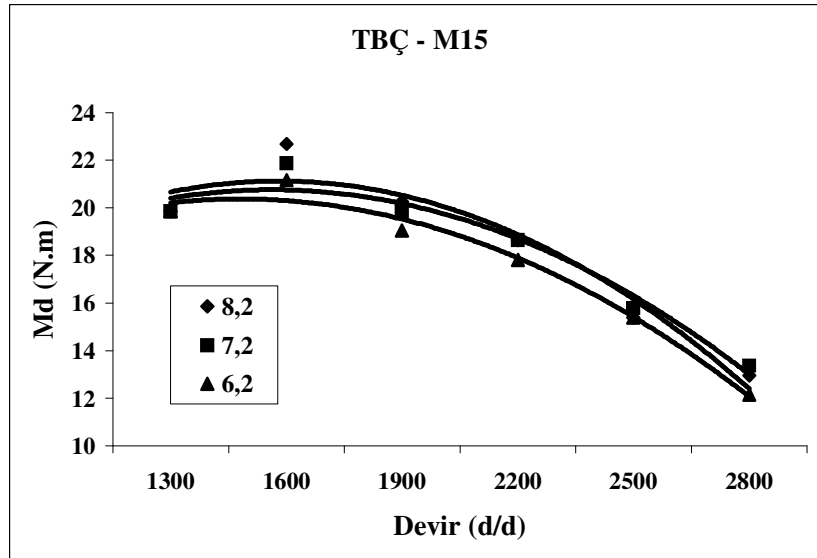
Şekil 5.26. STD M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim



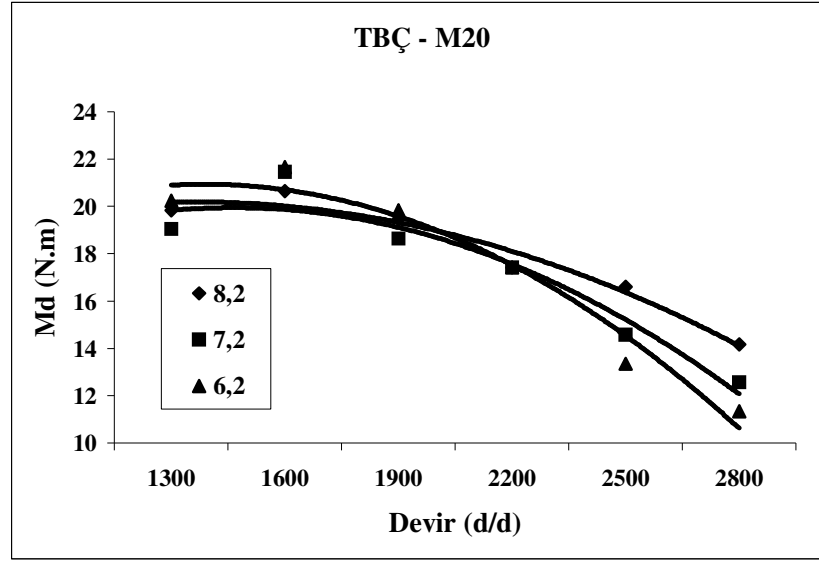
Şekil 5.27. TBÇ M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim



Şekil 5.28. TBÇ M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim



Şekil 5.29. TBÇ M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim

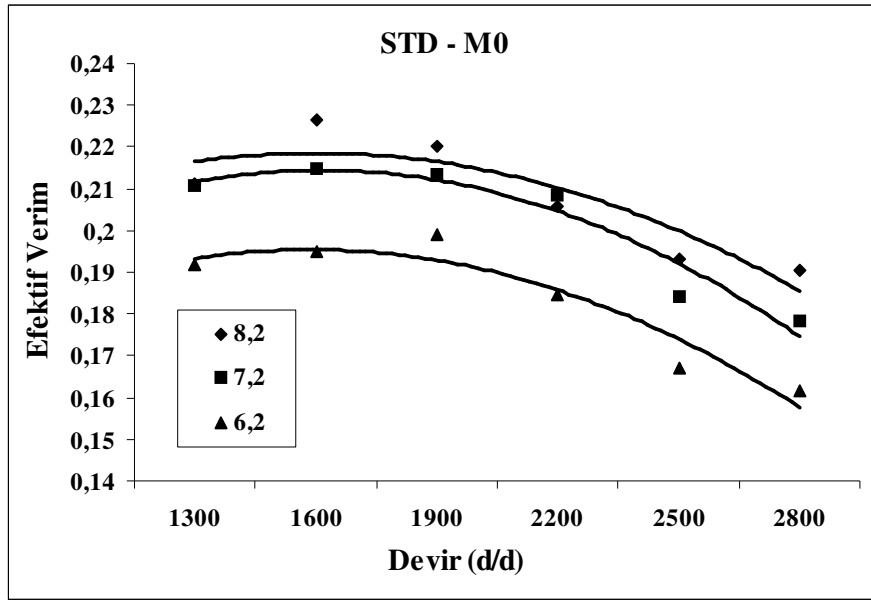


Şekil 5.30. TBC M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Döndürme Momentindeki Değişim

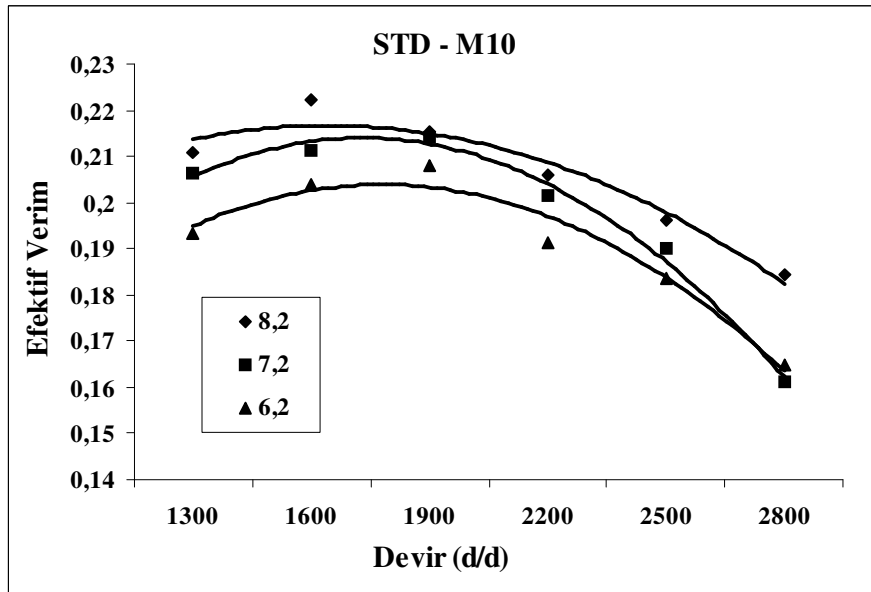
5.4. STD ve TBC Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının Efektif Verime Etkisi

Şekil 5.31–5.38' de tam yük koşullarında devir değişimine bağlı olarak, farklı sıkıştırma oranlarında efektif verimdeki değişimler görülmektedir. STD motorda kullanılan yakıt içerisindeki metanol miktarı arttıkça efektif verimde de artmalar görülmektedir. STD-M0' a göre M20 yakıtı kullanıldığında 7.2 sıkıştırma oranı ve 1900 devir/dak.' da efektif verimde % 9 iyileşmenin olduğu görülmektedir. Aynı zamanda sıkıştırma oranının arttırmak da efektif verimi arttırmaktadır. Metanol, buharlaşma gizli ısısının yüksek olması nedeniyle dolgu sıcaklığını düşürerek, volümetrik verimi arttırmaktadır. Yakıt-hava karışımını fakirleştirici etkisi yanında, kolay buharlaşma özelliği ve yapısında bulunan oksijeni yakıtın ulaştığı her noktaya taşınması, daha homojen bir yakıt-hava karışımı oluşturarak yanmanın iyileşmesine katkıda bulunmaktadır. Volümetrik verim ve yanma veriminin artması ise efektif verimi olumlu yönde etkilemektedir.

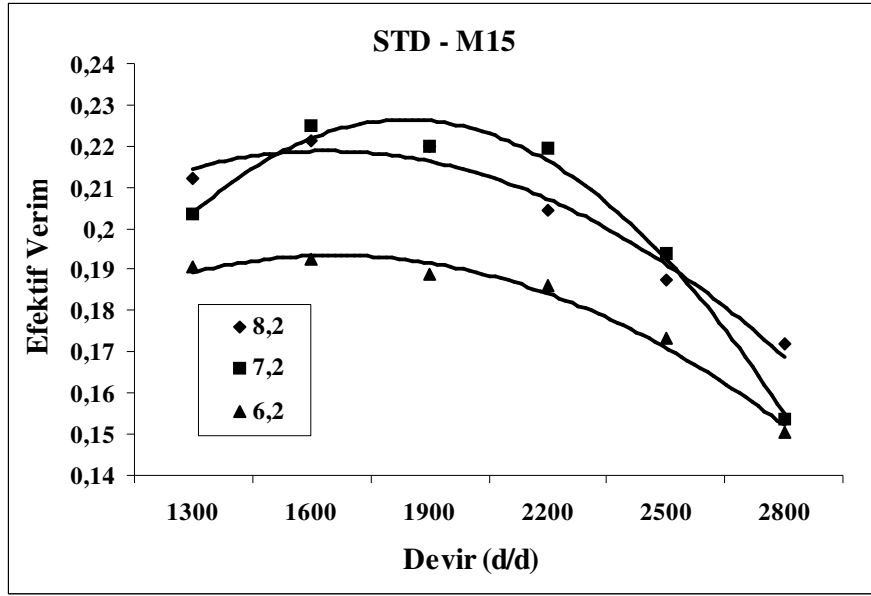
TBÇ motorda benzin (M0) kullanımı durumunda vuruñtu oluşmasından dolayı 8.2 sıkıştırma oranı değerinde ve 1900 d/d' da efektif verimde % 9 azalma, 7.2 sıkıştırma oranında aynı devirde % 1,1 azalma görölürken 6.2 sıkıştırma oranında aynı devirde % 0,5 artma görölümüştür. Sıkıştırma oranı azaldıkça efektif verimdeki düşüş de azalmaktadır. TBÇ motorda metanol-benzin karışımları kullanıldığında efektif verimde yüksek oranlarda iyileşmeler görölümektedir. Efektif verim ağıısından en iyi sonucun M15 kullanılması durumunda ve 8.2 sıkıştırma oranı değerinde elde edildiği görölümektedir. Bu şartlarda efektif verimde % 1,6 ile % 12 arasında artmalar görölümektedir. Genel olarak bakıldığında, STD motorda sıkıştırma oranı arttıkça efektif verimde artmaktadır. Metanol-benzin karışımlarının STD' de kullanılması durumunda, karışım içerisindeki metanol miktarı arttıkça efektif verimde ona paralel olarak artmıştır. Metanolün vuruñtu mukavemetinin yüksek olması karışımlı çalışmalarda özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında daha iyi sonuçlar alınmıştır. STD motora göre TBÇ motor karışılaştırıldığında, TBÇ motorda benzin kullanılması durumunda, motorda vuruñtu oluştuğundan efektif verimde özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında azalmalar olmuştur. Sıkıştırma oranı azaldıkça efektif verimdeki düşmede azalmıştır. TBÇ motorda metanol-benzin karışımlarının kullanılması durumunda aynı şartlardaki STD motor verilerine göre efektif verimde artmalar görölümüştür. Metanolün vuruñtu mukavemetinin yüksek olması TBÇ' nin yol ağııtığı vuruñtu temayölünü M15 kullanımında ortadan kaldırmaktadır. Ve deneylerde elde edilen veriler incelendiğinde efektif verim ağıısından en iyi sonuçların M15 kullanımında elde edildiği görölümektedir.



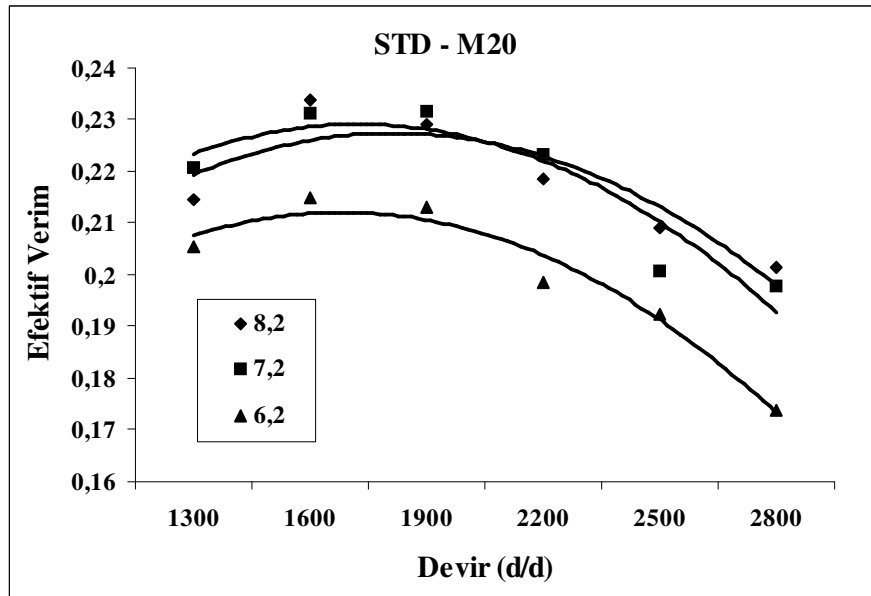
Şekil 5.31. STD M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Efektif Verimdeki Değişim



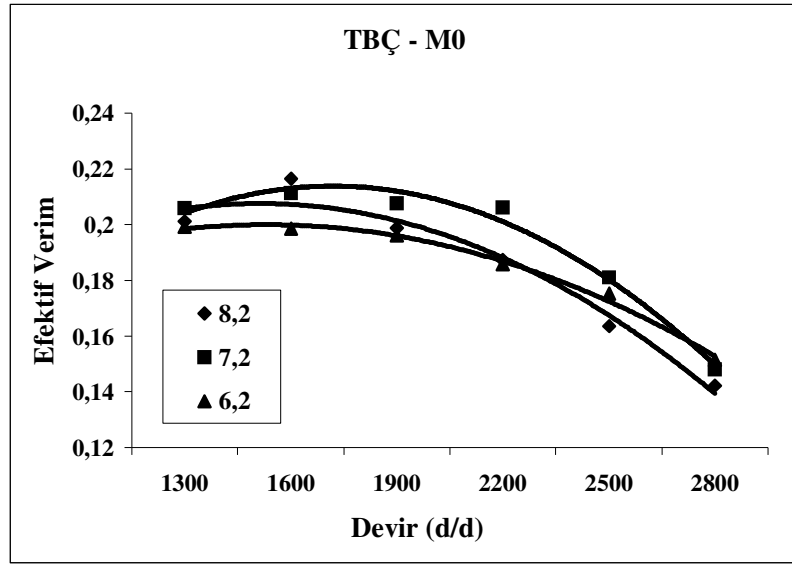
Şekil 5.32. STD M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Efektif Verimdeki Değişim



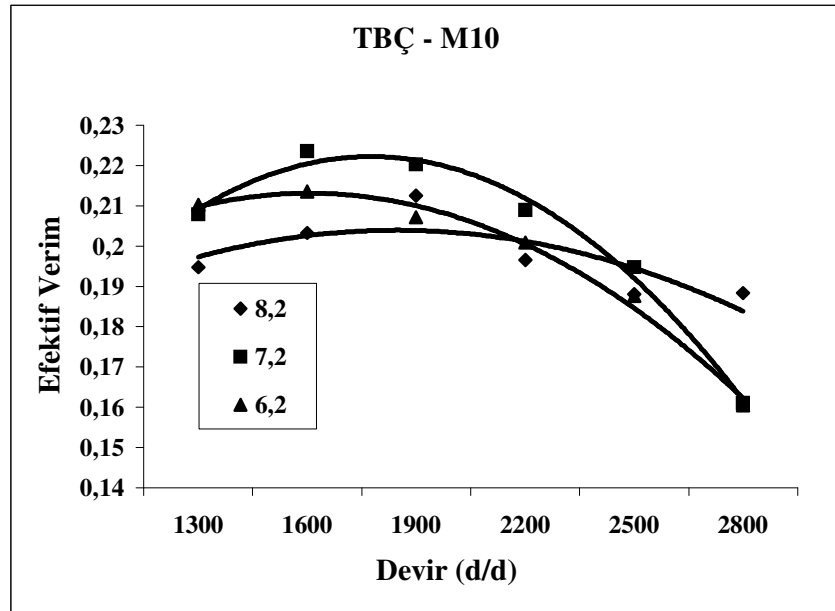
Şekil 5.33. STD M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Efektif Verimdeki Değişim



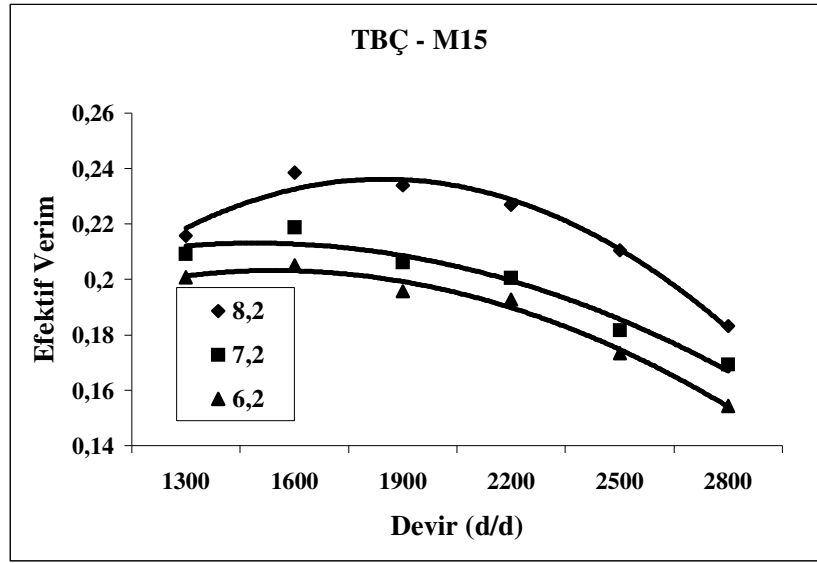
Şekil 5.34. STD M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Efektif Verimdeki Değişim



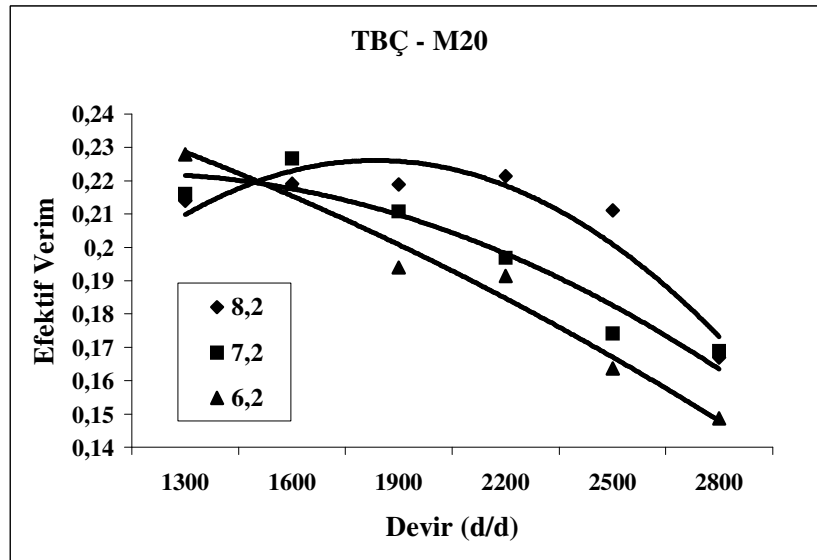
Şekil 5.35. TBÇ M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Efektif Verimdeki Değişim



Şekil 5.36. TBÇ M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Efektif Verimdeki Değişim



Şekil 5.37. TBÇ M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Efektif Verimdeki Değişim



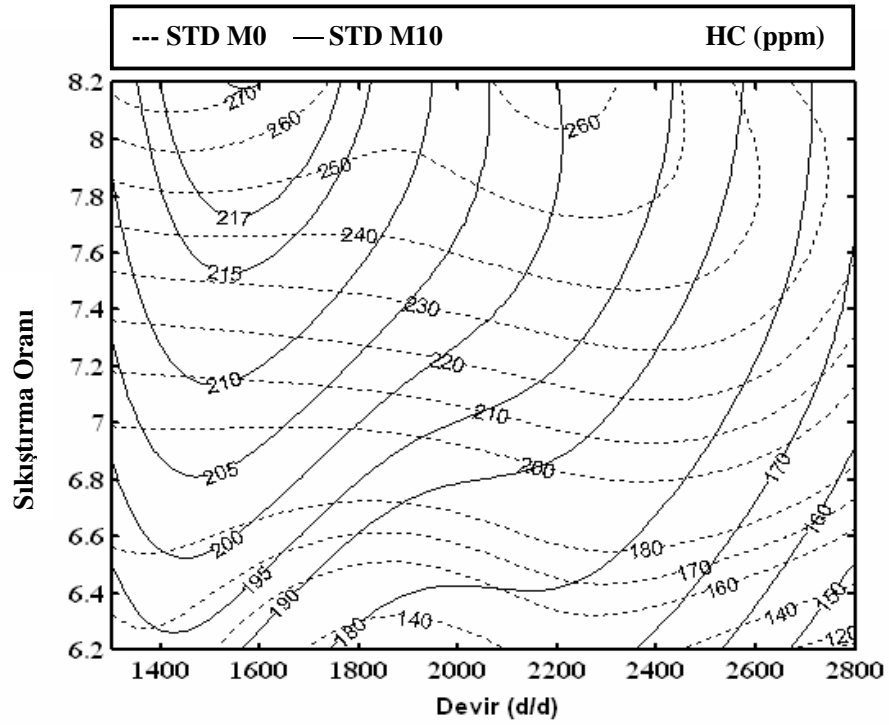
Şekil 5.38. TBÇ M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak Efektif Verimdeki Değişim

5.5. STD ve TBC Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının HC Emisyonlarına Etkisi

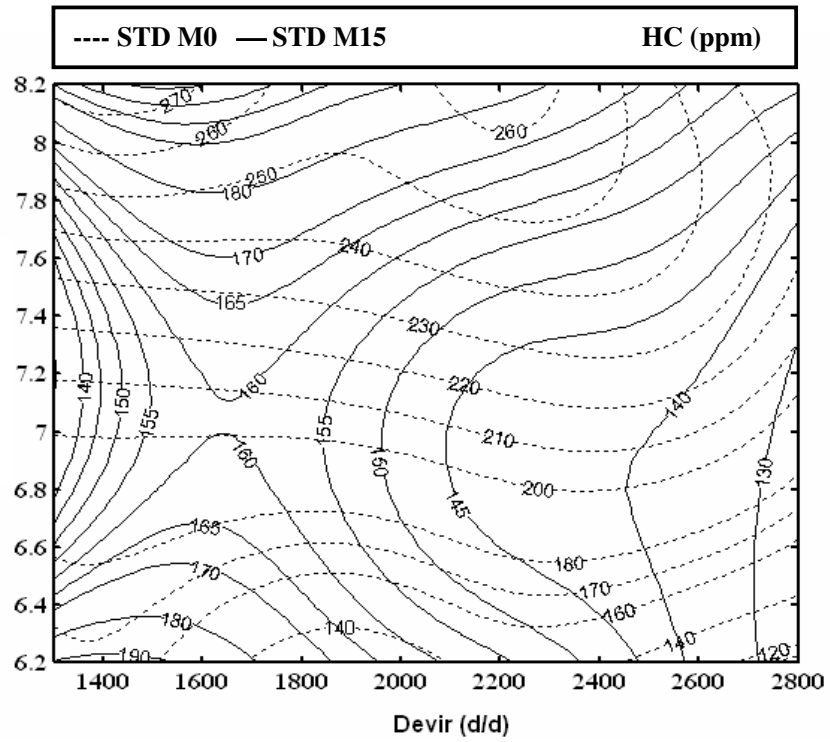
Şekil 5.39–5.45’ de tam yük koşullarında devir değişimine bağlı olarak, farklı sıkıştırma oranlarında HC emisyonlarındaki değişimler görülmektedir. STD motorda kullanılan yakıt içerisindeki metanol miktarı arttıkça HC emisyonlarında azalmaların olduğu, ancak belirli bir karışım oranından sonra HC emisyonlarında azalma miktarında düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmadaki düşüşünde, alkolün soğutma etkisi nedeniyle taze karışımın sıcaklığını düşürmesi sonucu, yakıt buharlaşmadan yanma odasına gitmesinden kaynaklandığı ve bu sebeple de HC emisyonunda artmaların olduğu şeklinde yorumlamak mümkündür. Örneğin bu çalışmada, 7.2 sıkıştırma oranı değerinde ve M20 STD motorda kullanıldığında, HC emisyonlarında minimum azalmanın olduğu motor devirlerinde STD-M15’e göre % 13 oranında artma meydana gelmiştir. Aynı şartlarda STD-M0’ a göre karşılaştırma yapıldığında, M15 yakıtı kullanıldığında HC emisyonlarında % 28 oranında azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Metanolün oksijen içeriğinin fazla olması, yanma verimini arttırmaktadır. Yanma veriminin artmasına bağlı olarak zararlı HC emisyonlarında azalmalar görülmektedir. STD motorda metanol-benzin karışımları kullanımında HC emisyonlarındaki azalma bu şekilde açıklanabilmektedir.

TBC motorla yapılan deneyler sonucunda HC emisyonlarında yüksek oranlarda azalmaların olduğu not edilmiştir. MgO-ZrO₂ malzemeyle yapılmış termal bariyer sayesinde malzemenin ısı rezerv edebilme kabiliyetinin yüksek olması gaz sıcaklığını ve cidar sıcaklığını arttırılmaktadır. Buda alev sönme bölgelerinde oluşan yakıt hava karışımlarının sönmeden oksitlenebilmesini aynı zamanda segman üst boşluklarından kaynaklanan HC emisyonlarının azaltılmasını sağlamaktadır. TBC motorda metanol-benzin karışımlarının kullanılmasıyla HC emisyonları daha da azalmaktadır. TBC-M15’ de HC emisyonlarında tüm devir aralıklarında ve sıkıştırma oranlarında % 31 ile % 54 oranları arasında değişen azalmalar kayıt edilmiştir. Şekil 5.42 incelendiğinde, tüm devir aralıklarında ve sıkıştırma oranlarında HC emisyonlarında azalmanın olduğu görülmektedir. Aynı zamanda sıkıştırma oranı azaldıkça HC emisyonlarındaki azalmanın arttığı eğriden rahatlıkla

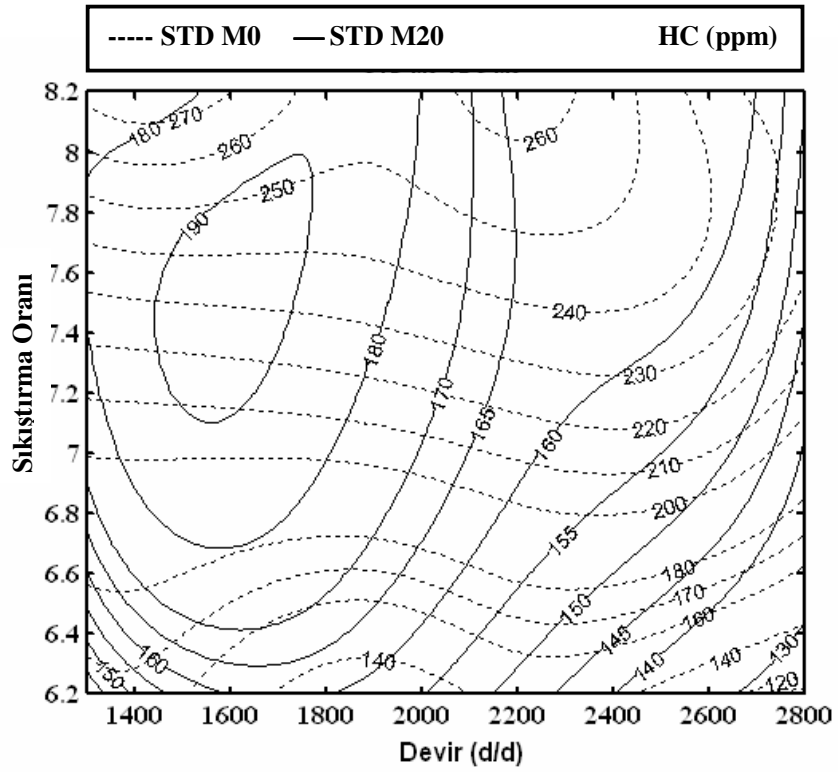
görülmektedir. STD motorda 8.1 sıkıştırma oranında ve 1550 devir/dak.' da, 270 ppm değerindeki HC emisyonları, TBÇ motorda 7.7 sıkıştırma oranında ve 1650 devir/dak.' da 170 ppm olduğu saptanmıştır. Genel olarak bakıldığında metanolün oksijence zengin bir yakıt olması yanma reaksiyonlarında yakıtın daha iyi oksitlenebilmesini sağlamakta, dolayısıyla yanma sonu ürünlerindeki zararlı HC emisyonlarının azalmasına olanak sağlamaktadır. STD motorda metanol-benzin karışımları kullanıldığında belirli bir karışım oranına kadar HC emisyonlarında yüksek oranlarda azalmalar görülmektedir. TBÇ pistonun motorda kullanılması durumunda, kaplama malzemesinin ısı rezerv kabiliyetinin yüksek olması gaz sıcaklığını ve cidar sıcaklığını arttırmaktadır. Bu artan sıcaklıklara bağlı olarak motorda daha düzgün bir yanma meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu yanma veriminin artması STD motor verilerine göre TBÇ motorun HC emisyonlarında dikkate değer oranda azalmaların olmasına olanak sağlamaktadır. TBÇ motorda metanol-benzin karışımlarının kullanılması durumunda, metanolün kirletici HC emisyonlarını azaltan özelliğinin yanında TBÇ pistonun da etkisiyle STD motor verilerine göre HC emisyonlarında yarı yarıya azalmalar olduğu tespit edilmiştir. M15 karışımının TBÇ motorda kullanılması durumunda, motor efektif gücünde, döndürme momentinde ve efektif verimde standart motor verilerine göre iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir. HC emisyonu yönünden aynı yakıtın kullanılması standart motor verilerine göre çok ciddi oranlarda azalmaların olmasına olanak sağlamıştır. Dolayısıyla TBÇ motorda optimum verimin ve minimum zararlı HC emisyonunun elde edilmesi için M15 karışımının yakıt olarak kullanılması gerekmektedir.



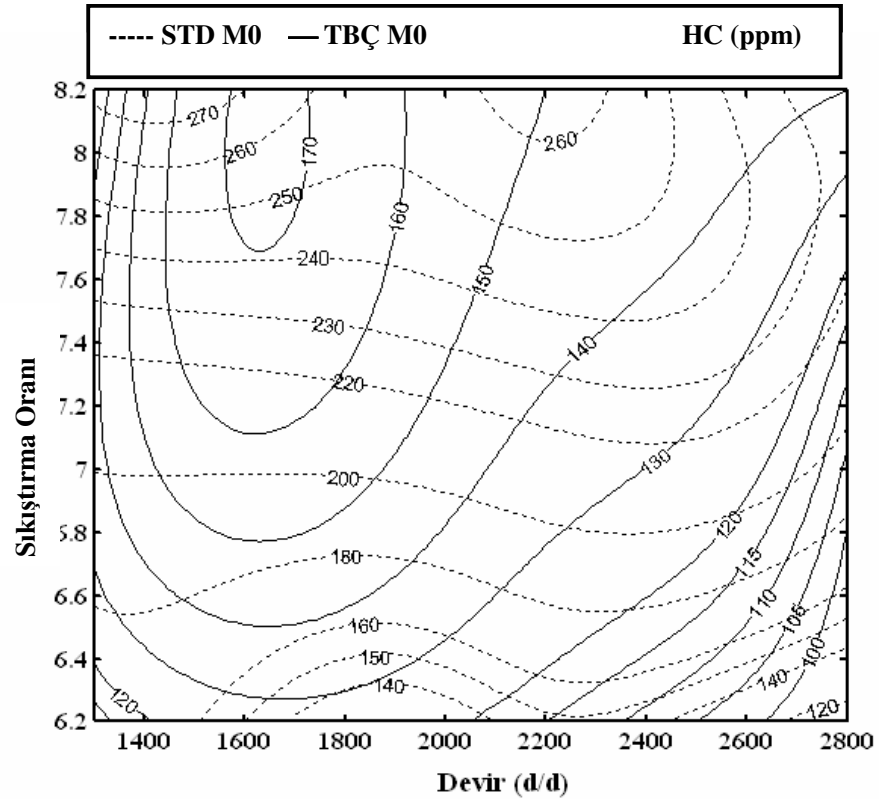
Şekil 5.39. STD M10' un HC Emisyonuna Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi



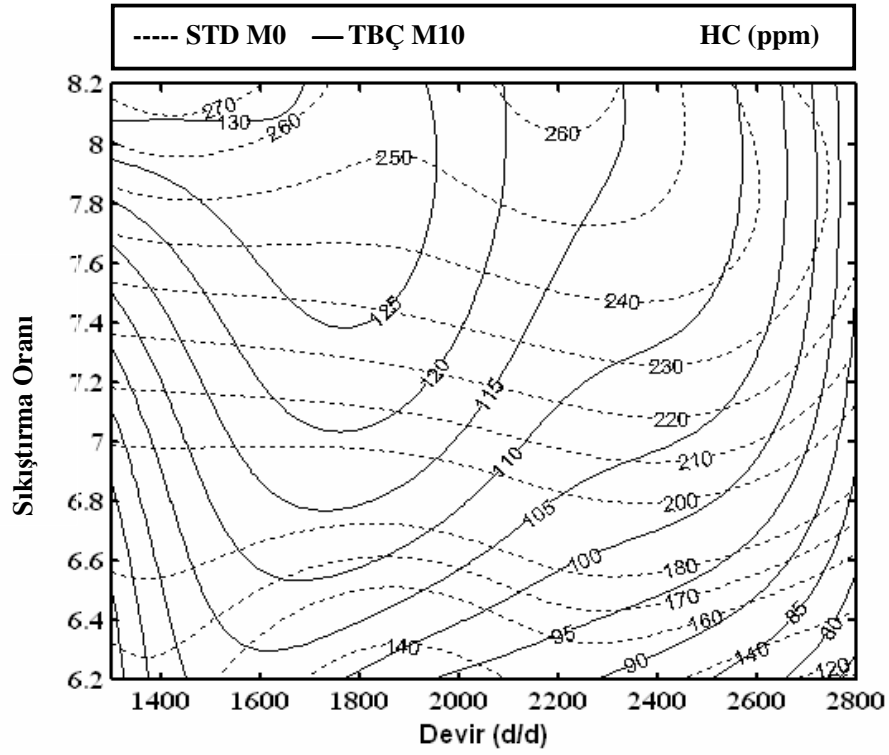
Şekil 5.40. STD M15' in HC Emisyonuna Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi



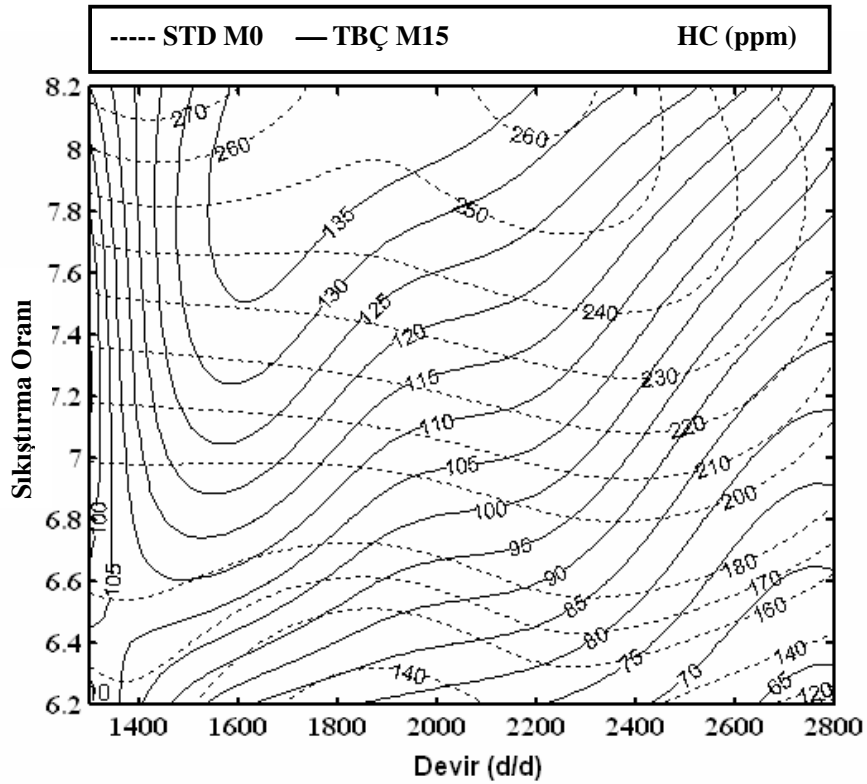
Şekil 5.41. STD M20' in HC Emisyonuna Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi



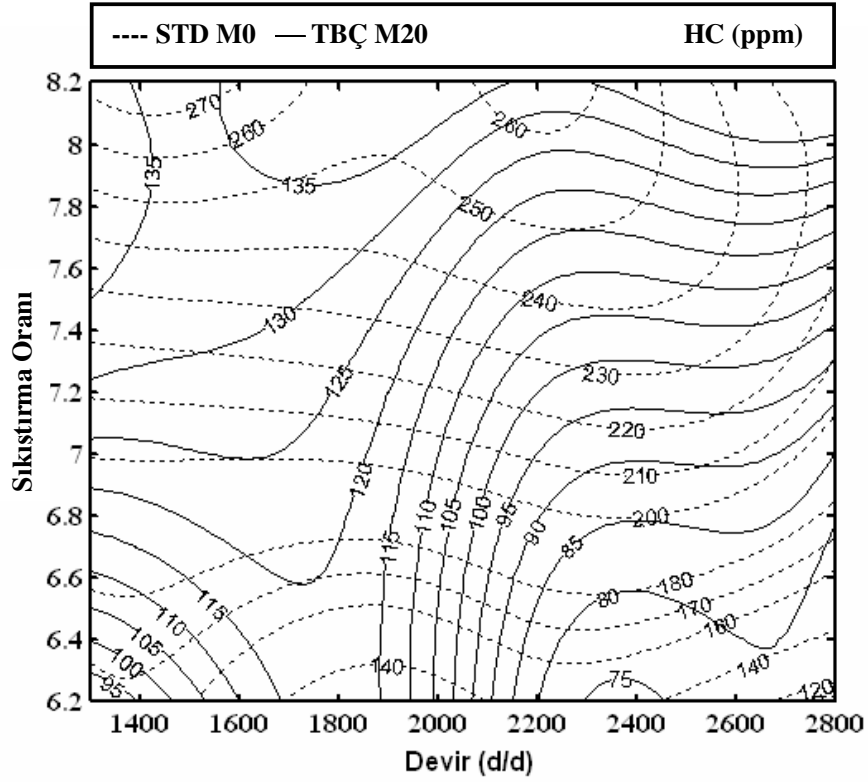
Şekil 5.42. TBÇ M0' ın HC Emisyonuna Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi



Şekil 5.43. TBC M10' in HC Emisyonuna Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi



Şekil 5.44. TBC M15' in HC Emisyonuna Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi

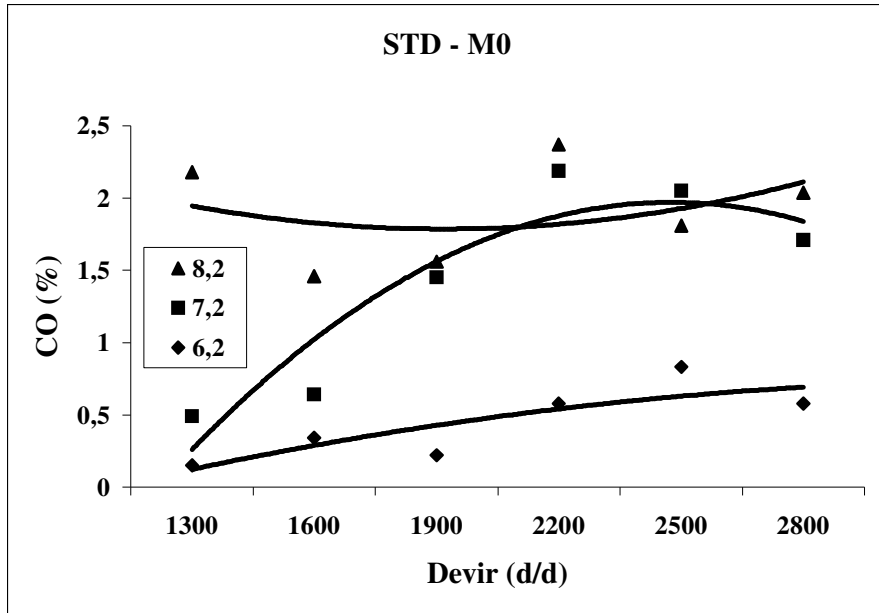


Şekil 5.45. TBC M20' in HC Emisyonuna Etkisinin STD M0' a Göre Değişimi

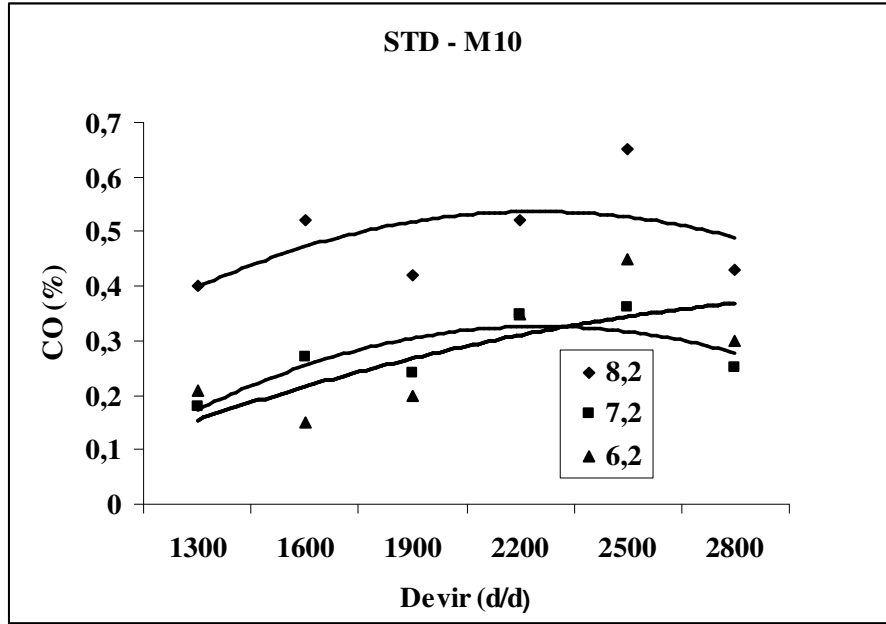
5.6. STD ve TBC Motorda Değişken Devir Sayısına Bağlı Olarak Sıkıştırma Oranının ve Farklı Oranlardaki Metanol - Benzin Karışımlarının CO Emisyonlarına Etkisi

Şekil 5.46–5.53' de, tam yük koşullarında devir değişimine bağlı olarak, farklı sıkıştırma oranlarında CO emisyonundaki değişimler görülmektedir. STD motorda, metanol karışımları kullanılması durumunda, benzinden daha düşük CO değerleri elde edilmiştir. Metanolün oksijen içeriğinin benzine göre daha yüksek olması, karışımın fakirleşmesine neden olmakta buda yanma verimini arttırmaktadır. Dolayısıyla reaksiyonlar sonucu açığa çıkan eksik yanma ürünü olan CO miktarında azalmalar görülmektedir. Ayrıca metanolün soğutucu etkisi nedeniyle yanma sonu sıcaklıklarının düşmesi de olası parçalanma reaksiyonlarının oluşumunu azaltarak, daha düşük CO değerlerinin oluşumunda etkili olduğu düşünülmektedir. Sıkıştırma oranının artırılması yanmayı iyileştirici etki yaptığından, sıkıştırma oranının artırılması da CO emisyonlarını azaltmaktadır. TBC pistonun motorda kullanılması

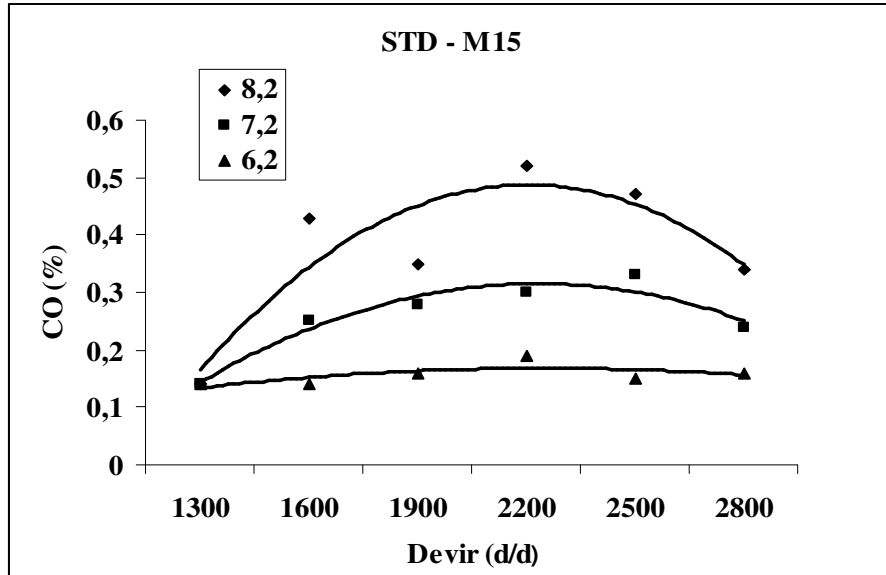
durumunda yanma veriminin artmasına bağlı olarak CO emisyonlarında standart değerlere göre azalmalar görülmektedir. TBC motorda standart motora göre tüm motor devirleri ve sıkıştırma oranı değerlerinde, yakıt olarak benzin ve farklı oranlarda metanol-benzin karışımlarının kullanılması durumunda CO emisyonlarında azalmaların olduğu görülmüştür.



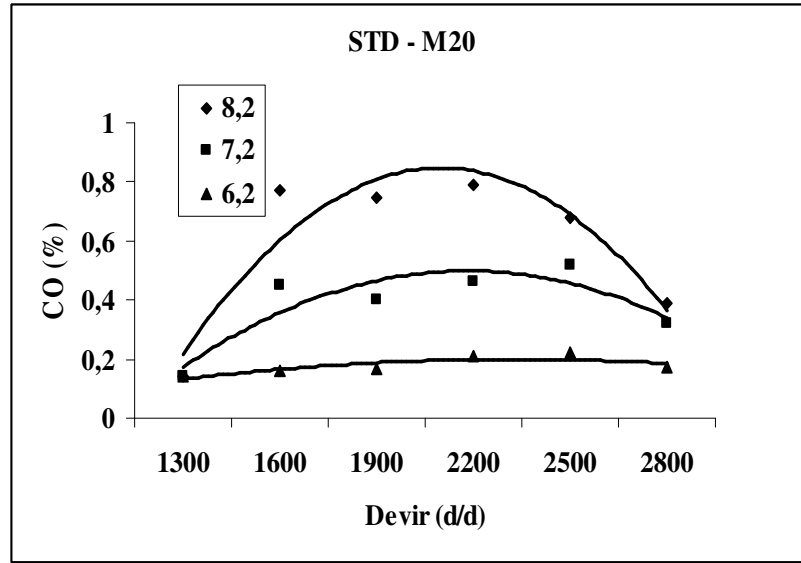
şekil 5.46. STD M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim



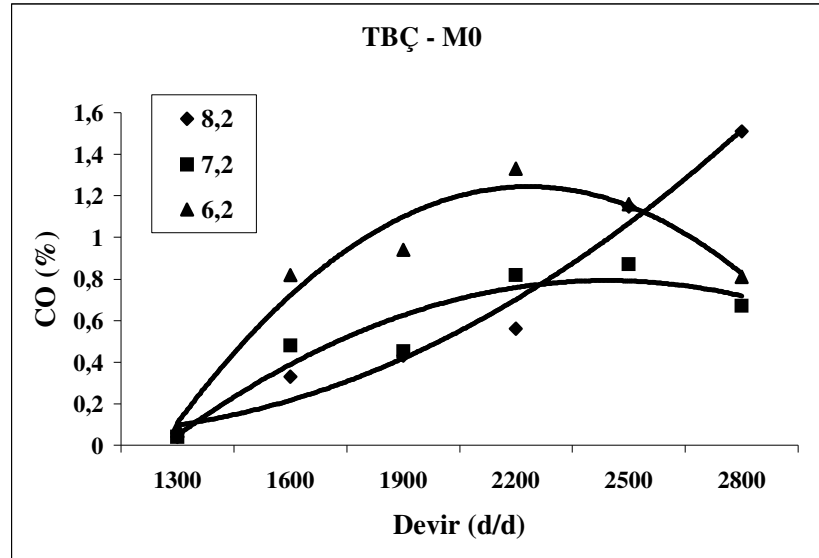
Şekil 5.47. STD M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim



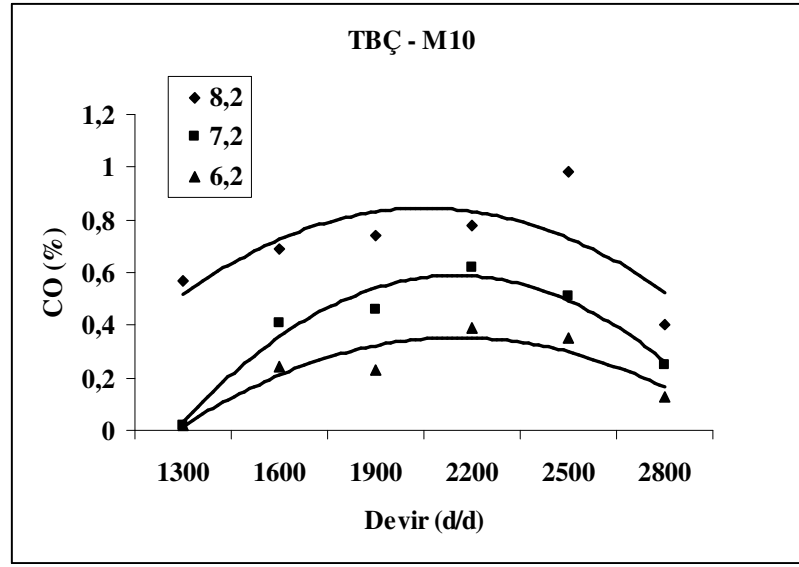
Şekil 5.48. STD M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim



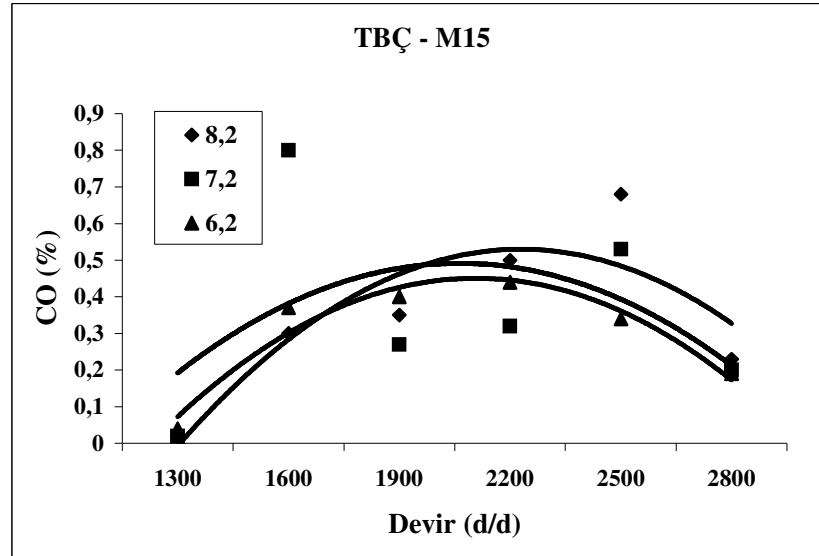
Şekil 5.49. STD M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim



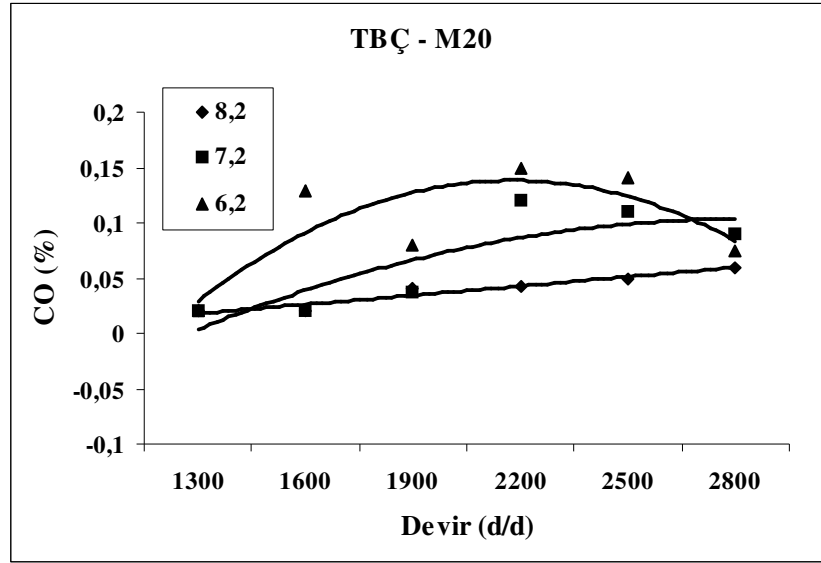
Şekil 5.50. TBÇ M0' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim



Şekil 5.51. TBÇ M10' da Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim



Şekil 5.52. TBÇ M15' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim



Şekil 5.53. TBÇ M20' de Sıkıştırma Oranına Bağlı Olarak CO Emisyonundaki Değişim

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, dört zamanlı su soğutmalı buji ateşlemeli, sıkıştırma oranı ve statik avansı değiştirilebilen tek silindirli bir benzin motoru kaplamasız ve kaplamalı durumlarda test edilmiştir. Kaplamalı motorda, yanma olaylarından meydana gelen değişimlerden dolayı işletme ve dizayn parametreleri değişmiştir. Kaplamalı durumda motor için en uygun sıkıştırma oranı ve vuruş mukavemeti açısından en uygun metanol-benzin karışımı araştırılmıştır. Bu amaçla motor, her iki durum için 1300 devir/dak.' dan 2800 devir/dak.' a kadar 300 devir/dak. aralıkla altı farklı devir aralığında, üç farklı sıkıştırma oranında ve dört farklı oranda metanol-benzin karışımları kullanılarak test edilmiştir.

Deneyler tam yük şartlarında, STD ve TBÇ motorlarda ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında yakıt olarak M0, M10, M15 ve M20 karışımları kullanılıp, sıkıştırma oranı 8.2, 7.2 ve 6.2 olarak değiştirilmiştir.

İçten yanmalı motorlarda HC emisyonlarının kaynakları incelendiğinde bir tanesinin de alev sönme bölgeleri olduğu görülmektedir. Alev sönme bölgelerinde soğuyarak yanamayan yakıt-hava karışımlarının ve segman üst boşluklarında biriken yakıt-hava karışımlarının okside edilebilmesi için, bu çalışmada TBÇ piston kullanılmıştır. TBÇ' de kullanılan seramik malzemesinin ısı tutma kabiliyeti yüksektir. Buda silindir içi dış cidarlara yakın alev sönme bölgelerinde sıcaklığı arttırmaktadır. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak meydana gelen yanma denklemleri daha yüksek sıcaklıklarda oluşmakta dolayısıyla yanma kalitesi ve verimi artmaktadır. Yanmanın iyileşmesine bağlı olarak motorlardan kaynaklanan zararlı emisyonlarda dikkate değer ölçüde azalmalar meydana gelmektedir. Yalnız benzin motorları için çok önemli bir parametre olan vuruş temayülü kalama yapıldığında artmaktadır. Bunu önlemek için motorda kaplamalı durumda sıkıştırma oranı azaltılmalı veya vuruş mukavemeti yüksek alternatif yakıt karışımları kullanılmalıdır.

Deneysel çalışma sonucunda, TBÇ motorda elde edilen HC emisyonlarının STD motora göre % 31 ile % 54 oranları arasında azaldığı tespit edilmiştir. Emisyon değerleri için, yanmamış karışımın silindir cidarına yakın piston yüzeyinde oluşturulan bariyer çemberinin elde ettiği ısı rezerv özelliğiyle oksidasyon reaksiyonlarını hızlandırarak HC emisyonlarını azalttığı anlaşılmaktadır.

Tam yük şartlarında, farklı sıkıştırma ve karışım değerleri için motor performans ve emisyon karakteristiklerinin farklı özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Motor performans parametrelerindeki değişimler şu şekilde tespit edilmiştir; STD motora göre TBÇ motor özgül yakıt sarfiyatı yönünden karşılaştırıldığında, özellikle düşük sıkıştırma oranlarında iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir. Sıkıştırma oranı değerinin 6.2:1 olması durumunda, 2200 d/d' da, M10 yakıtı kullanıldığında % 4.7 oranlarında azalmalar tespit edilmiştir.

Motor gücü ve döndürme momenti bakımından karşılaştırma yapıldığında, benzin kullanımında vuruş oluşmasından dolayı yüksek sıkıştırma oranlarında motor gücünde ve döndürme momentinde azalmaların olduğu, sıkıştırma oranı azaldıkça güçteki ve döndürme momentindeki düşme oranları azalmaktadır. Metanol-benzin karışımlarının kullanılması durumunda karışım oranına bağlı olarak metanolün yakıt özelliklerinden dolayı vuruş azalmakta ve daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. STD motorda metanol-benzin karışımlarının kullanılması durumunda motor gücünde ve döndürme momentinde karışımdaki metanol miktarına bağlı olarak artmalar görülmektedir. Maksimum artmanın M20 yakıtı kullanıldığında olduğu tespit edilmiştir. Efektif verim açısından değerlendirme yapıldığında, STD motorda motor gücü ve döndürme momentine benzer olarak karışımdaki metanol miktarı arttıkça efektif verimde artmaktadır. TBÇ motor kullanımında M0' da vuruş oluşmasından dolayı efektif verimde azalmalar olmakta, karışım kullanılması durumunda ise, vuruşunun azalmasına bağlı olarak efektif verimde artmıştır. Benzin motorları için vuruş olayı çok önemli bir parametredir. Kaplamada kullanılan seramik malzemenin ısı rezervinin yüksek olması özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında vuruşuya sebep olabilmektedir. Bu yüzden piston tepesinde oluşturulan kaplamanın kalınlığı ve kullanılan malzemenin cinsi değiştirilerek aynı deneylerin

yapılması yüksek sıkıştırma oranlarında daha iyi sonuçlar verebileceği tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] TEKİN, M., YÖRÜK, S., “ Motorlarda Metanol Kullanımının Performans ve Çevre İlişkileri”, GO. Ü. Zile MYO, Otomotiv Programı, TOKAT.
- [2] ÇETİNKAYA, S., ÇELİK, M. B., “Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Metanol-Benzin Karışımlarının Kullanılması”, 5. Yanma Sempozyumu,1997.
- [3] SALMAN, M. S., SÜMER, M., “Buji Ateşlemeli Motorlarda Etanol ve Etanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansına Etkileri”, Politeknik Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 2, S. 27-35, 1999.
- [4] YÜKSEL, F., YÜKSEL, B., “The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine”, Renewable Energy, No: 1181-1191, 2004.
- [5] BORAT, O., BALCI, M., SÜRMEŒ, A., “İçten Yanmalı Motorlar”, Cilt 1, T.E.V. Yayını, Ankara,1992.
- [6] STOKES, J., LAKE, T.H., CHRISTIE, M.J., DENBRATT, I., “Improving the NO_x / Fuel Economy trade-off for Gasoline Engines with the CCVS Combustion System”, SAE Paper No:940482, 1994.
- [7] PARLAK, A., “Katalitik Konverterli Benzin Motorunda Soğuk İlk Hareket Emisyonlarının İncelenmesi ”, SAÜ, FBE, Yüksek Lisans Tezi, 1996.
- [8] HEYWOOD, J.H., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, s 567-620, Mc Graw-Hill International Editionals, 1988.
- [9] THOMPSON, N.D., WALLECE, J.S., “Effect of Engine Oparating Variables and Piston and Ring Parameteres on Crevice Hydrocarbon Emission”, SAE 940480, 1994.
- [10] FRANK, RICHARD M., HEYWOOD JOHN B., “The Importance Of Injection System Characteristics On Hydrocarbon Emissions From A Direct-Injection Stratified-Charge Engine”, SAE 900609, 1990.
- [11] SEZER, İ., BİLGİN, A., “ Normal Benzine Metanol Katılmasının Motor Performansına Etkisi”, OTEKON’ 02, Bursa, Haziran, 2002.
- [12] ASSANIS, D. N., and BADILLO, E., “The Effect of Thin Ceramic Coating on Spark-Ignition Engine Performance”, SAE Paper No. 900903, 1990.

- [13] HUNTER, C., E., HAVSTAD, P. H., GRAWIN, I., J., AND DABY, E.E., “The Effect of Reduced Chamber Heat Loss on Combustion and Emission of Alternative Fuels in A Light-Duty DI Diesel”, SAE Paper No. 881628, 1988.
- [14] HOLMAN, C., FERGUSON, M., and MITCHELL, C., “Road transport and air pollution: Future prospects. Rees Jeffreys Discussion Paper 25, Transport Studies Unit, Oxford University”, 1991.
- [15] YAĞCIOĞLU, E. , “ Biyokütle Enerjisi” , EIE Bülteni, 1984 .
- [16] INGAMELLS, J. C., and LINDGQUIST,R.H., "Methanol as a Motor Fuel or a Gasoline Blending Component", SAE Transaction, 750123,1975.
- [17] POULTON, M.L., “Alternative Fuels for Road Vehicles, Computational Mechanics Publications Southampton”, UK and Boston, USA, 1994.
- [18] ÇETİNKAYA, S., “Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayını”, Enerji Raporu, Ankara, 1993.
- [19] KARAOSMANOĞLU, F., “Alkollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1990.
- [20] ACAROĞLU, M., “Alternatif Enerji Kaynakları”, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, Temmuz, 2003.
- [21] GÜLDER, Ö. L., “Etanol ve Etanol-Benzin Karışımlarının Otomobil Yakıtı Olarak Teknik Yönleri”, TÜBİTAK-MAG Proje No 526, Ankara, 1982.
- [22] BUĞDAYCIOĞLU, C., “Adaption of a Dual Carburetor System to an Automotive S I Engine and Its Performance Analysis With Different Methanol-Gasoline Mixtures- Master Thesis, METU, Ankara, 1979.
- [23] AL-HASAN, M., “Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission”, Department of Mechanical Engineering, Amman College for Engineering Techonolgy, Al-Balga Applied Universty, P. O. Box 340558, Marka 11134 Amman, Jordan, Elsevier Science Ltd., PII: S0196 – 8904(02)00166-8, 2002.
- [24] JOHN, G., REYNOLDS, M., RASHİD, K., “Designing Transportation Fuels for a Clener Environment”, Applied Energy Technology Series, USA, 1999.
- [25] “1987 Enerji Raporu” Dünya Enerji Konseyi Türk Komitesi Yayını, Ankara 1989.
- [26] TÜZÜN, C., “Organik Kimya”, 4. Baskı, Ankara, 1989.

- [27] YÜKSEL, F., YÜKSEL, B., “The Use of Ethanol-gasoline Blend as a Fuel in an SI Engine”, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, University of Atatürk, Erzurum, Turkey, Renewable Energy, 0960-1481, 2003.
- [28] ÇELİK, M. B., “Metanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansına ve Eksoz Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1994.
- [29] YÜKSEL, F., YÜKSEL, B., “Alkol Oranı Yüksek Benzin-Alkol Karışımı İle Benzin Motorunun Çalıştırılması 10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Ankara, Eylül, 1989.
- [30] ÜLTANIR, M.Ö., “Temiz Enerji Olarak Hidrojen Yakıtı ve Teknolojisi”, Türkiye 7. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliği, Cilt:3, Ankara, 1997.
- [31] VORST, W., D.V., FİNEGOLD, J.G., “Automotive Hydrogen Engines, And Onboard Storage Methods”, Hydrogen Energy Fundamentals, Miami Beach, Florida U.S.A, 1975.
- [32] STOUT, B. A., “Energy Use and Management in Agriculture”, Breton Publishers, Massachusetts, USA, 1984.
- [33] HAŞİMOĞLU, C., CİNİVİZ, M., UÇAR, G., “Günümüzde İçten Yanmalı Motorlarda Yakıtının Kullanılması”, Selçuk Teknik Online Dergisi, ISSN 1302/6178, Konya, 2000.
- [34] ANONYMOUS, “Bmft”, Renewable Energy, Germany.
- [35] ACAROĞLU, M., “Biyokütle Enerjisi Üretimi ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Ders Notları, Yayınlanmamış, Konya, 1998.
- [36] VEZİROĞLU, N., “Yeni Enerji Kaynaklarının Birleştiricisi: Hidrojen Enerji Sistemi”, Doğa Bilim Dergisi, Atatürk Özel Sayısı, 1981.
- [37] ÖZER, Ü., “Fosil Yakıtlar Yerine Solar Hidrojen, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü”, 1. Ulusal Yanma Sempozyumu, G.Ü., Ankara, 1991.
- [38] TEKİN, M., ÇEVİK, İ., “Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı”, 5. Otomotiv Yan Sanayi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, MMO Yayınları, No:198, Bursa, 1997.
- [39] SORUŞBAY, C., ARSLAN, E., “Hidrojen Yakıtlı İçten Yanmalı Motorlarda Yanma Performansı”, Mühendis Ve Makine Dergisi, Cilt:29, Sayı: 339.
- [40] ÜLTANIR, M.Ö., “21.Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi”, Yayın No. Tüsiad-T/98-12/239, İstanbul, Aralık 1998.

- [41] KONDO, T., LİO,S., HİRUMA, M., “A Study On The Mechanism Of Backfire İn External Mixture Formation Hydrogen Engines”, SAE Paper No: 971704, 1997.
- [42] GLASSON, N., LUMSDEN,G., DİNGLİ,R., WATSON,H., “Development Of The Haji System For A Multi-Cylinder Spark Ignition Engine”, SAE Paper No: 961104, 1996.
- [43] ÜLTANIR, M.Ö., “Hidrojen Enerjisi ve Türkiye’de Hidrojene Geçiş Sorunları”, Türkiye 6.Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt:1, İzmir, 1994.
- [44] ATEŞ, A., “İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanılması ve Depolama Problemleri”, S.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Konya, 1985.
- [45] UYAREL, A.Y., “Alternatif Yakıt Raporu: Hidrojenle Çalışan Miata”, Teknik Gelişim Dergisi, Yıl:3, Sayı:10, 1995.
- [46] [www. Karenlpg.com.tr](http://www.Karenlpg.com.tr)
- [47] YILMAZ, N., “ LPG’ li Taşıtlarda Güvenlik Sorunları ve Güvenlik Sisteminin İyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2004.
- [48] KAYA, M., “LPG Sektörü – Taşıtlarda LPG Dönüşüm Sistemleri ve Karşılaşılan Problemler”, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002.
- [49] ÇETİNKAYA, S., “Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı”, SÜ, TEF, Üniversite Basımevi, Konya, 1998.
- [50] www.aygaz.com.tr
- [51] <http://web.ttnet.net.tr/users/grupgas/urun1.htm>
- [52] “VII.Beşyillik Kalkınma Planı”, Raporu
- [53] YAYLA, P., “ Doğalgazın Taşıtlarda Kullanımı”, Doğalgaz Dergisi, Sayı:47 Sayfa:255/1996.
- [54] DELUCHI, M. A., JOHNSTON, R. A., and D SPERLİNG, D., “(1988a) Methanol vs. Natural Gaz Vehicles: A Comparison of Resource Supply, Performance, Emissions, Fuel Storage, Safety, Costs, And Transitions. SAE, Technical Paper Series No: 881656, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, United States of Ameica.
- [55] YILDIRIM,A.M., “Buji Ateşlemeli Motorlarda HC Oluşumuna Neden Olan Mekanizmaların Tanıtımı ve Etkili Parametrelerin İncelenmesi”, Yanma ve Hava Kirliliği Sempozyumu III, 1995.

- [56] THOMPSON, N.D., WALLECE, J.S., “Effect of Engine Operating Variables and Piston and Ring Parameters on Crevice Hydrocarbon Emission”, SAE 940480, 1994.
- [57] FRANK, RICHARD M., HEYWOOD JOHN B., “The Importance Of Injection System Characteristics On Hydrocarbon Emissions From A Direct-Injection Stratified-Charge Engine”, SAE 900609, 1990.
- [58] NAMAZIAN, M. AND HEYWOOD, J.B. 1983. Flow in the Piston-Cylinder-Ring Crevices of a Spark-Ignition Engine: Effect on Hydrocarbon Emissions, Efficiency and Power. SAE Paper No: 830088
- [59] CHENG, W.K., HAMRİN, D. AND HEYWOOD, J.B. 1993. An Overview of Hydrocarbon Emissions Mechanisms in Spark-Ignition Engines. SAE Paper No: 932708.
- [60] KAPSIZ, M., “Bir Buji Ateşlemeli Motorda Segman Üst Boşluklarından Kaynaklanan HC Emisyonlarının Azaltılması”, SAÜ, FBE, Yüksek Lisans Tezi, 2004.
- [61] URTEKİN, L., CEYLAN, N., OZER, A., SALMAN, S., “Motor Segmanı ile Silindir Gömleği Üzerine Seramik Kaplama Çalışmalarına Deneysel Bir Örnek”, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 2002.
- [62] PARLAK, A., “ Aşırı doldurmalı seramik kaplı bir dizel motorunda optimum püskürtme avansı ve sıkıştırma oranının deneysel olarak incelenmesi”, SAÜ, FBE, Doktora Tezi, 2000.
- [63] KASTNER, L.J., “The Airbox Method of Measuring Air Consumption”, proc. I.Mich. E. , syf. 157, 1947
- [64] HALLMAN, J.P. “Experimental Methods for Engineers”, Mc Graw Hill, New York, 1989
- [65] BORAT, O., BALCI, M., SURMEN, A., “İçten Yanmalı Motorlar”, C:1, 64-85, 1995
- [66] DLİNT M., Martyr A., “Engine Testing Theory and Practice”, Butterworth, Heinemann, 1995
- [67] WENTWORTH, J.T., Combustion Science and Technology, 1971;4;97

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında K.d.z. Ereğli'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini K.d.z. Ereğli'de tamamladı. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Öğretmenliği Programını kazandı. 2004 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Programını kazandı. 2005 yılında Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen aynı görevde çalışmasına devam etmektedir.