

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**AŞIRI DOLDURMALI KISMİ YALITIMLI BİR DİZEL MOTORUNDA
BİYODİZEL VE EGR KULLANIMININ PERFORMANS VE
EMİSYONLARA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak YILDIRIM

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İbrahim ÖZSERT

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AŞIRI DOLDURMALI KISMİ YALITIMLI BİR DİZEL MOTORUNDA
BİYODİZEL VE EGR KULLANIMININ PERFORMANS VE
EMİSYONLARA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak YILDIRIM

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

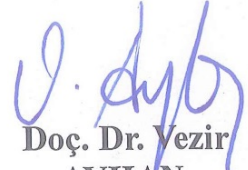
Bu tez 13/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. İbrahim
ÖZSERT
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Halit
YAŞAR
Üye



Doç. Dr. Yezir
AYHAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.


Burak YILDIRIM

13.09.2019



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında desteğini ve bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmam boyunca bana destek olan danışmanım Sn. Prof. Dr. İbrahim ÖZSERT ve yine desteğini ve bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmam boyunca bana destek olan her yardıma ihtiyacım olduğunda yardımına koşan, yönlendiren, cesaretlendiren hocam Sn. Doç. Dr. Vezir AYHAN'a teőekkürü bir borç bilirim. Çalışmama hazırlık yaptığım zamanlarda yardımlarına ihtiyaç duyduğum her zaman bir sözümle yardıma gelen kardeşim Hakan YILDIRIM ve kuzenim Samet UYAR'a teşekkür ederim.

Her zaman arkamda olduğunu bildiğim, beni her zaman ve her şartta destekleyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
DİZEL MOTORLARINDA SERAMİK KAPLAMA	9
2.1. Kaplama Yöntemleri	10
2.1.1. Termal Sprey Kaplama	11
2.1.2. Plazma Sprey Yöntemi	13
2.1.2.1. Kaplamanın oluşumu	14
2.2. Seramik Kaplamanın Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi.....	15
2.2.1. Seramik Kaplamanın Motor Performansına Etkileri.....	15
2.2.2. Seramik Kaplamanın Motor Emisyonlarına Etkileri.....	18
BÖLÜM 3.	
BİYODİZEL, AŞIRI DOLDURMA, EGZOZ GAZI RESİRKÜLASYONU (EGR)	20

3.1. Biyodizel	20
3.1.1. Biyodizelin Yakıt Olarak Özellikleri	22
3.1.2. Biyodizelin Avantaj ve dezavantajları	23
3.1.3. Dünyada ve Türkiye’de Biyodizel	24
3.1.4. Biyodizel Elde Etme Yöntemleri.....	26
3.1.4.1. Isıl işlemler	27
3.1.4.2. Kimyasal İşlemler	27
3.1.5. Biyodizelin Yakıt Olarak Kullanılmasının Performans ve Emisyonlara Etkisi	29
3.1.5.1. Performansa Etkisi	29
3.1.5.2. Emisyonlara Etkisi	30
3.2. Aşırı Doldurma	31
3.2.1. Aşırı Doldurma Yöntemleri.....	32
3.2.1.1. Enerjisini Dış Kaynaktan Alan Aşırı Doldurma.....	32
3.2.1.2. Mekanik Aşırı Doldurma.....	32
3.2.1.3. Turbo Kompresör.....	32
3.2.2. Aşırı Doldurmanın Avantajları ve Dezavantajları.....	33
3.2.3. Aşırı Doldurmanın Sınırları.....	33
3.2.4. Aşırı Doldurmanın Performans ve Emisyonlara Etkisi.....	34
3.3. Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR)	34
3.3.1. EGR’nin Dizel Motorlara Etkileri.....	35
3.3.2. EGR’nin Motor Performansı ve Emisyonlara Etkisi.....	35

BÖLÜM 4.

MATERYAL VE YÖNTEM	38
4.1. Seramik Kaplama.....	38
4.2. Biyodizel Üretimi	39
4.3. Aşırı Doldurma	40
4.4. EGR	40
4.5. Deney Düzeneği	41
4.5.1. Deney Motoru	42
4.5.2. Dinamometre ve Yük Ölçümü	42

4.5.3. Yakıt Tüketimi Ölçümü	43
4.5.4. Deneý Düzeneginde Kullanılan Sensörler ve Özellikleri	44
4.5.5. Emisyon Ölçüm Cihazları	44
BÖLÜM 5.	
ARAŞTIRMA SONUÇLARI	46
5.1. Standart Motorda Biyodizel ve Dizel Yakıtın Kıyaslanması.....	46
5.2. Standart Motorda Aşırı Doldurmanın Etkilerinin İncelenmesi.....	54
5.3. Kısmi Yalıtımlı Motorda Avans Taraması.....	59
5.4. Kısmi Yalıtımlı Motor ile Standart Motorun Karşılaştırılması.....	63
5.5. Kısmi Yalıtımlı Motorda Biyodizel ve Dizel Yakıtlarının Kıyaslanması.....	69
5.6. Kısmi Yalıtımlı Motorda Aşırı Doldurmanın Etkilerinin İncelenmesi.	75
5.7. Kısmi Yalıtımlı Motorda İdeal EGR Oranının Belirlenmesi.....	81
5.8. Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motorda Biyodizel ve EGR Kullanımının Etkilerinin İncelenmesi.....	86
BÖLÜM 6.	
DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ.....	100

SİMGELER VE KISALTMALAR

AD	: Aşırı Doldurma
b_e	: Özgül Yakıt Tüketimi
d	: Devir
dk	: Dakika
EGR	: Egzoz Gazı Resirkülasyonu
F	: Kuvvet
g	: Yer Çekimi İvmesi
h	: Saat
H_u	: Alt Isıl Değer
KMA	: Krank Mili Açısı
KY	: Kısmi Yalıtım
kW	: Kilo Watt
L	: Uzunluk
m	: Kütle
M_d	: Döndürme Momenti
m_y	: Yakıt Kütlesi
n	: Motor Devri
ME	: Metil Ester
N	: Newton
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketim
P_e	: Efektif Güç
Δv_y	: Yakıtın Hacimsel Değişimi
Δt	: Zaman
η_e	: Efektif Verim
ρ_y	: Yakıt Yoğunluğu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	: Püskürtme avansının kirletici emisyonlara ve özgül yakıt sarfiyatına etkisi.....	5
Şekil 1.2	: EGR oranının kirletici emisyonlara ve özgül yakıt sarfiyatına etkisi	6
Şekil 2.1	: Plazma Sprey prosesi	14
Şekil 3.1	: Şematik CO ₂ Dögüsü	21
Şekil 3.2	: Transesterifikasyon Reaksiyonu	28
Şekil 3.3	: EGR Çalışma Prensibi	35
Şekil 4.1	: Seramik Kaplama Uygulanmış Piston.....	38
Şekil 4.2	: Transesterifikasyon akış şeması.....	39
Şekil 4.3	: Aşırı Doldurma Sistemi.....	40
Şekil 4.4	: Deney Düzeneği Şematik Görünümü.....	41
Şekil 4.5	: Yakıt ölçüm kabı.....	44
Şekil 5.1	: Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının Efektif Güce Etkisi.....	47
Şekil 5.2	: Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının Döndürme Momentine Etkisi.....	48
Şekil 5.3	: Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....	49
Şekil 5.4	: Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının Efektif Verime Etkisi...	50
Şekil 5.5	: Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının CO ₂ Emisyonuna Etkisi	51
Şekil 5.6	: Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının NO Emisyonuna Etkisi.	51
Şekil 5.7	: Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının HC Emisyonuna Etkisi.	52
Şekil 5.8	: Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının CO Emisyonuna Etkisi.	53
Şekil 5.9	: Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının İs Emisyonuna Etkisi...	53
Şekil 5.10	: 1,2 bar Aşırı Doldurma uygulamasının Efektif Güce Etkisi.....	54

Şekil 5.11	: 1,2 bar Aşırı Doldurma uygulamasının Döndürme Momentine Etkisi	55
Şekil 5.12	: 1,2 bar Aşırı Doldurma uygulamasının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....	55
Şekil 5.13	: 1,2 bar Aşırı Doldurma uygulamasının Efektif Verime Etkisi.....	56
Şekil 5.14	: 1,2 bar Aşırı Doldurma uygulamasının CO ₂ Emisyonuna Etkisi...	57
Şekil 5.15	: 1,2 bar Aşırı Doldurma uygulamasının NO Emisyonuna Etkisi....	57
Şekil 5.16	: 1,2 bar Aşırı Doldurma uygulamasının HC Emisyonuna Etkisi....	58
Şekil 5.17	: 1,2 bar Aşırı Doldurma uygulamasının CO Emisyonuna Etkisi....	58
Şekil 5.18	: 1,2 bar Aşırı Doldurma uygulamasının İS Emisyonuna Etkisi.....	59
Şekil 5.19	: Avansın Efektif Güce Etkisi.....	60
Şekil 5.20	: Avansın Döndürme Momentine Etkisi.....	61
Şekil 5.21	: Avansın Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....	61
Şekil 5.22	: Avansın NO Emisyonlarına Etkisi.....	62
Şekil 5.23	: Avansın İS Emisyonlarına Etkisi.....	63
Şekil 5.24	: Seramik kaplamanın Efektif Güce Etkisi.....	64
Şekil 5.25	: Seramik kaplamanın Döndürme Momentine Etkisi.....	65
Şekil 5.26	: Seramik kaplamanın Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....	65
Şekil 5.27	: Seramik kaplamanın Efektif Verime Etkisi.....	66
Şekil 5.28	: Seramik kaplamanın NO Emisyonuna Etkisi.....	67
Şekil 5.29	: Seramik kaplamanın CO Emisyonuna Etkisi.....	67
Şekil 5.30	: Seramik kaplamanın İS Emisyonuna Etkisi.....	68
Şekil 5.31	: Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının Efektif Güce Etkisi.....	68
Şekil 5.32	: Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının Döndürme Momentine Etkisi.....	69
Şekil 5.33	: Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....	70
Şekil 5.34	: Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının Efektif Verime Etkisi.....	71
Şekil 5.35	: Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının CO ₂ Etkisi.....	71
Şekil 5.36	: Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının NO Etkisi.....	72
Şekil 5.37	: Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının HC Etkisi.....	73
Şekil 5.38	: Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının CO Etkisi.....	73

Şekil 5.39	: Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının İş Etkisi.....	74
Şekil 5.40	: 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Efektif Güce Etkisi.....	75
Şekil 5.41	: 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Döndürme Momentine Etkisi.....	76
Şekil 5.42	: 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....	76
Şekil 5.43	: 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....	77
Şekil 5.44	: 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Efektif Verime Etkisi	77
Şekil 5.45	: 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının CO ₂ Emisyonuna Etkisi...	78
Şekil 5.46	: 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının NO Emisyonuna Etkisi...	79
Şekil 5.47	: 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının HC Emisyonuna Etkisi...	79
Şekil 5.48	: 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının CO Emisyonuna Etkisi...	80
Şekil 5.49	: 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının İş Emisyonuna Etkisi.....	80
Şekil 5.50	: EGR Uygulamasının Efektif Güce Etkisi.....	82
Şekil 5.51	: EGR Uygulamasının Döndürme Momentine Etkisi.....	82
Şekil 5.52	: EGR Uygulamasının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....	83
Şekil 5.53	: EGR Uygulamasının Efektif Verime Etkisi.....	83
Şekil 5.54	: EGR Uygulamasının CO ₂ Emisyonuna Etkisi.....	84
Şekil 5.55	: EGR Uygulamasının NO Emisyonuna Etkisi.....	84
Şekil 5.56	: EGR Uygulamasının HC Emisyonuna Etkisi.....	85
Şekil 5.57	: EGR Uygulamasının CO Emisyonuna Etkisi.....	85
Şekil 5.58	: EGR Uygulamasının İş Emisyonuna Etkisi.....	86
Şekil 5.59	: Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının Efektif Güce Etkisi.....	87
Şekil 5.60	: Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının Döndürme Momentine Etkisi.....	87
Şekil 5.61	: Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....	88
Şekil 5.62	: Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının Efektif Verime Etkisi.....	89

Şekil 5.63	: Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının CO ₂ Emisyonuna Etkisi.....	90
Şekil 5.64	: Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının NO Emisyonuna Etkisi.....	90
Şekil 5.65	: Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının HC Emisyonuna Etkisi.....	91
Şekil 5.66	: Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının CO Emisyonuna Etkisi.....	91
Şekil 5.67	: Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının İS Emisyonuna Etkisi.....	92



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1	: Binek araçlar için EURO emisyon standartları	2
Tablo 2.1	: Kaplamada kullanılan bazı seramikler ve özellikleri.....	10
Tablo 2.2	: Termal Sprey Yöntemleri ve Karakteristik özellikleri.....	11
Tablo 2.3	: Kaplama Yöntemi ve Uygulama Alanları.....	12
Tablo 3.1	: Çeşitli Kaynaklardan Üretilen Biyodizeller ve Petrol Kaynaklı Dizel Yakıtın Özellikleri.....	23
Tablo 3.2	: Avrupa Birliği Üyesi Ülkelerin 2010 Yılı Biyodizel Üretim Miktarları	25
Tablo 3.3	: Ülkelere Göre Biyodizel Üretim Tesisi Sayısı ve Kapasiteleri ...	26
Tablo 4.1	: Kaplama Malzemesinin Özellikleri.....	38
Tablo 4.2	: Pamuk Yağı Metil Esteri Özellikleri.....	40
Tablo 4.3	: Deney Motoru Özellikleri.....	42
Tablo 4.4	: Loadcell Özellikleri.....	43
Tablo 4.5	: Sensörler ve özellikleri.....	45
Tablo 4.6	: Emisyon Ölçüm Cihazları Özellikleri.....	45

AŞIRI DOLDURMALI KISMİ YALITIMLI BİR DİZEL MOTORUNDA BİYODİZEL VE EGR KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Dünyada fosil yakıtların kısıtlı oluşu insanları alternatif yakıtlara yönlendirmiştir. Biyodizel, çeşitli yağlardan üretilen dizel yakıt özellikleri gösteren alternatif bir yakıttır. Pamuk yağından üretilen pamuk yağı metil esteri ile dizel yakıtın farklı oranlarda karıştırılarak yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, alternatif yakıtın dizel yakıtta harmanlanması ile petrol kullanımının azaltılması yönünde çalışma yapılmıştır.

Biyodizelin viskozitesinin yüksek olması sebebiyle yüksek oranlarda kullanıldığında yanmada problemler açığa çıkarmaktadır. İçerdiği oksijen ile yanmayı iyileştirmede püskürtme sırasında tam atomize olamaması yamamış yakıt partiküllerini artırmaktadır. Motorun piston yüzeyi seramik ile kaplanarak soğutma suyuna geçen enerjinin azaltılması ve yanma odası sıcaklığının yükselmesi sağlanarak yanmanın iyileşmesi ile biyodizelin yanma kalitesinin artırılması amaçlanmıştır.

Seramik kaplama ile iyileşen yanma beraberinde yüksek NO emisyonlarını getirmektedir. NO emisyonlarını düşürmek için literatürde yanma öncesi ve sonrasında çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada farklı oranlarda EGR uygulayarak NO emisyonları düşürülmeye çalışılmıştır.

Varolan petrol kaynaklı dizel yakıtta alternatif olan biyodizelin turbo doldurmalı bir dizel motorda iyi bir performans sergilemesi için uygulanan kısmi yalıtım ve beraberinde NO emisyonlarında yükselmeyi engellemek için tercih edilen %10 EGR ile performansta bir miktar artış sağlanmaya ve egzoz emisyonları düşürülmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyodizel, Alternatif yakıt, Seramik kaplama, Termal bariyer kaplama, Kısmi yalıtım, EGR, Aşırı doldurma

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BIODIESEL AND EGR USE ON PERFORMANCE AND EMISSIONS IN AN SUPERCHARGING PARTIAL INSULATED DIESEL ENGINE

SUMMARY

People have been directed to alternative fuels due to the limited amount of fossil fuels in the world. Biodiesel is an alternative fuel that shows diesel fuel characteristics that can be produced from various oils. Cotton oil methyl ester was produced from cotton oil and diesel fuel that were mixed in different ratios. Improving fuel properties and mixing alternative fuel to diesel fuel have been conducted to reduce oil use.

Because of the high viscosity of biodiesel, it causes problems in combustion when it was used at high rates. Biodiesel improves combustion with oxygen in its structure. However, the fact that it cannot be fully atomized during spraying increases the unburned fuel particles. It was aimed to decrease the loss of energy to the cooling water by covering the piston surface of the engine with ceramic and increase the combustion chamber temperature and improve the combustion quality of biodiesel by the improvement of combustion.

Burning with ceramic coating brings about high NO emissions. To reduce NO emissions, there are various methods at the before and after of combustion in literature. In this study, it has been tried to reduce NO emissions by applying EGR at different rates.

Biodiesel, which is an alternative to the existing oil-source diesel fuel, has been tried to achieve good performance and low exhaust emissions with 10% EGR preferred to prevent the increase of NO emissions and with partial insulation applied to a turbocharged diesel engine.

Keywords: Biodiesel, Alternative fuel, Ceramic coating, Thermal barrier coating, Partial insulation, EGR, Turbocharging

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji, günümüzde en büyük ihtiyaç ve en büyük güçtür. Sanayi devrimi ile başlayan sanayileşme ve beraberinde ülkelerin birlerine karşı ekonomik güç yarışları enerji ihtiyacının katlanarak artmasına sebep olmuştur. Günümüzde halen gerçekleşen teknolojik gelişmeler, nüfus artışı ve beraberinde gelen kentleşme enerji ihtiyacının sürekli artmasına sebep olmaktadır. Enerjinin elde edilmesinde yaşanan problemler ülkelerin darboğaza girmelerine hatta savaşımlara sebep olmuştur.

Dünya genelinde tüketilen enerjinin %80'i fosil yakıtlardan üretilmektedir. Fosil yakıtlar hem ekonomik olarak hem de çevreye verdiği emisyonlar ile sebep olduğu iklim değişikliğiyle sürdürülebilir değildir. İklim değişikliği beraberinde kitlesel göçler, gıda sıkıntısı ile getirdiği güvenlik problemleriyle ekonomik olarak da ülkelere zarar vermektedir. Fosil yakıtların kısıtlı miktarda oluşu, belirli ülkelerin kontrolünde oluşu ve çevreye verdiği zararlar sonucu ortaya çıkardığı sorunlar insanları alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmiştir.

Zirvede yer almasa da enerji tüketiminde, taşıtların çok büyük bir payı vardır. TÜİK verilerine göre Kasım 2018 itibariyle Türkiye geneli kayıtlı taşıt sayısı 22.850.238 olmuştur [1].

Bu taşıtların enerji ihtiyacı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bunun sonucunda ortaya çıkan emisyonların özellikle büyük şehirlerde çevreye verdiği zararların yanında yakıt ihtiyacımızın çok büyük bir bölümünü dışarıdan karşıladığımız için ekonomik olarak da ülkeye yük olmaktadır.

Taşıtların egzoz emisyonu olarak CO, CO₂, HC, NO_x, PM, is, SO₂ ve kurşun bileşikleri açığa çıkmaktadır. Bu emisyonlardan CO₂ ve su buharı asıl yanma ürünüdür ve zorunlu olarak açığa çıkmaktadır. SO₂ ve kurşun bileşikleri yakıtın içinde var olan kükürt ve yakıtı iyileştirmek için kullanılan kurşun kaynaklı emisyonlardır. Bu emisyonlar insana ve çevreye verdikleri büyük zararlardan dolayı yakıtlarda bulunan kükürt miktarı

sınırlandırılmış ve kurşunsuz yakıtlar üretilerek günümüzde bu emisyonlar sorun olmaktan çıkarılmıştır [2].

Benzinli motorlar ile dizel motorlar da karakteristikleri gereği oluşan emisyonlar farklılık göstermektedir. Dizel motorların fakir yakıt karışımıyla çalışması ve dolayısıyla O₂ fazlalığı, hava içinde bulunan N ile yüksek sıcaklıkta tepkimeye girmesi sonucu oluşan NO_x emisyonları, is ve PM emisyonlarının fazla olması dizel motorları için problemken, benzinli motorlar için eksik yanma ürünü olan CO ve HC emisyonları sorun oluşturmaktadır.

Ülkeler taşıt kaynaklı emisyonların kısıtlanması konusunda katı kurallar uygulamaktadırlar. Tablo 1.1’de Euro standartlarında otomobiller için kabul edilebilir emisyon limitleri standartların konulmaya başlandığı 1992 yılından son Euro 6 standardının konduğu 2014 yılına kadar katlanarak sınırlandırılmıştır. Dizel motorlar da daha fazla açığa çıkan NO_x gazları 22 yıllık süreçte 4 kattan fazla, PM emisyonları 30 kata yakın oranlarda kısıtlanmıştır [3,4].

Tablo 1.1. Binek araçlar için EURO emisyon standartları [3]

STD	Tarih	CO(g/km)		HC(g/km)		NO _x (g/km)		PM(g/km)	
		Dizel	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	Benzin
Euro 1	1992	2,72	2,72	-	-	0,8	-	0,14	-
Euro 2	1996	1,0	2,2	-	-	0,7	-	0,08	-
Euro 3	2000	0,64	2,3	-	0,2	0,5	0,15	0,05	-
Euro 4	2005	0,5	1,0	-	0,1	0,25	0,08	0,025	-
Euro 5	2009	0,5	1,0	-	0,1	0,18	0,06	0,005	0,005*
Euro 6	2014	0,5	1,0	-	0,1	0,18	0,06	0,005	0,005*

Ülkelerin uyguladığı bu kısıtlamalar motor üreticilerini önlemler almaya itmiştir. Bu önlemler yakıt bileşiminde yapılan değişiklikler, Yanmayı düzenleyici değişiklikler (yanma odası tasarımı, egr,...), yanma sonrasında egzoz gazının işlenmesi (katalitik konvertör, SCR,...) şeklinde karşımıza çıkmaktadır [5].

Üreticiler emisyonları düşürürken aynı zamanda daha rekabetçi olabilmek için motor performanslarını artırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalar yine tasarımsal iyileştirmelerle ve yakıt bileşiminde iyileştirmeler ile yapılmaya çalışılmaktadır. Bunların yanında fosil yakıtların sonunun olması üreticileri ve bu konudaki otoriteleri alternatif yakıtlara yönlendirmiştir. Günümüzde popüler olan elektrikli araçlar bunun en göz önünde örnekleridir. Ancak Elektrik enerjisinin de çok büyük bir bölümünün fosil yakıtlardan temin edilmesi kısır bir döngüye sebep olmaktadır. Üstelik elektriğin depolanmasında halen karşılaşılan problemler ve şarj süreleri bu teknolojinin önündeki en büyük engellerdendir.

Fosil yakıtlara benzer özellikler sunabilen tarım kaynaklı yakıtlar (biyodizel, alkol,...), atıklardan elde edilen yakıtlar (metan, etan,...) üzerinde de çalışmalar yapılmakta ve bu yakıtlar fosil yakıtlara karıştırılarak veya tek başına bir yakıt olarak kullanılabilir. Bu yakıtların fosil yakıtlara karıştırılarak kullanılmasının yanma üzerindeki olumlu etkileri emisyonlar ve performansta iyileşmelere sebep olmaktadır.

Biyo yakıtlar doğal döngü içerisinde üretildiği için sürdürülebilir enerji için de bir fırsattır. Bölgesel olarak her coğrafyanın kendine özgü tarımsal ürünlerinden atıklarından üretilebildiği için her yerde üretilebilir ve ülkelerin enerji tekellerine bağımlılığını düşürür.

Ülkeler Fosil yakıtlara kendi ürettikleri biyo yakıtları belli oranlarda karıştırmayı zorunlu kılan yönetmelikler çıkarmaktadırlar. Örneğin Türkiye’de Enerji Piyasası Düzenleme kurumunun 2017 yılında yayınladığı tebliğ ile dizel yakıtta %0,5 (V/V) yerli tarım ürünlerinden elde edilen biyodizelin harmanlanması zorunluluğu getirilmiştir [6].

Tarımsal, hayvansal ve atık yağlardan elde edilebilen biyodizel, yağın belli işlemlerden geçirilerek dizel yakıtı benzetilmesidir. Kolza, soya, aspir, ayçiçeği, kenevir gibi yağ oranı yüksek bitkilerden elde edilen yağın kısa zincirli (etanol, metanol) bir alkolle katalizör eşliğinde reaksiyonu ile üretilir. Yağ üretiminin sınırlı olması, gıda maddesi olarak kullanılması dolayısıyla maliyetinin yüksek olması biyodizelin tek başına bir yakıt olarak kullanılmasının önüne geçmektedir [7-9].

Enerjinin üretildiği yakıt kadar bu üretilen enerjinin en az kayıpla işe dönüştürülmesi, verimli kullanılması da önem arz etmektedir. Taşıt motorunda üretilen enerjinin büyük

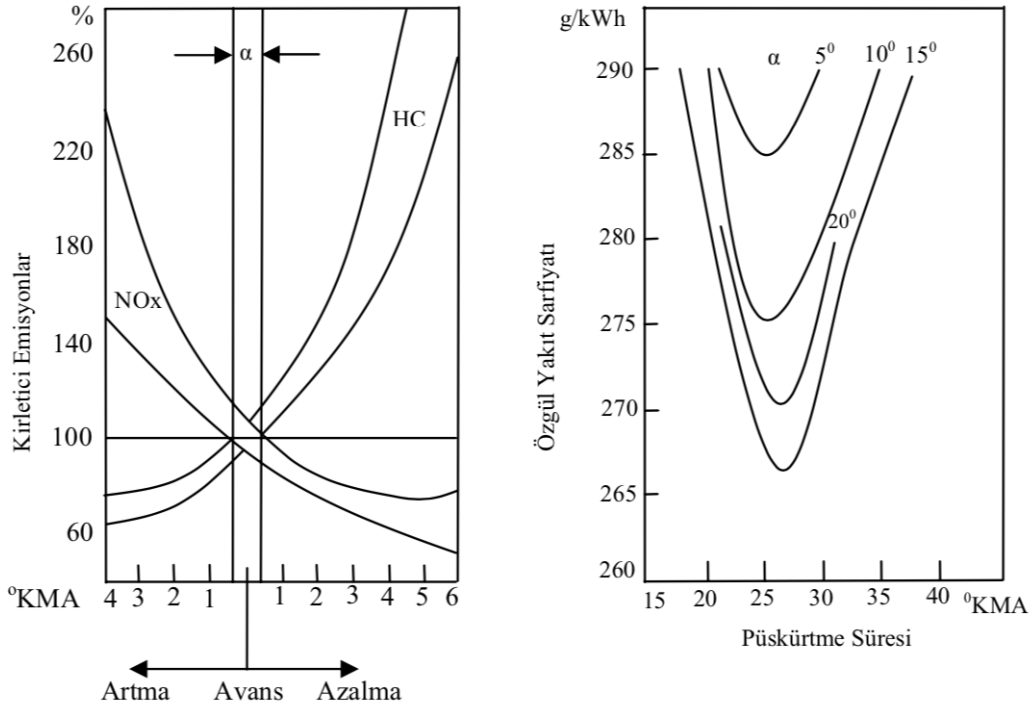
bölümü soğutma suyu, yağ ve egzoz ile dışarı atılmaktadır. Üretilen enerjinin yalnız %30 - %35'i işe dönüştürülebilmektedir. Üretilen ısı enerjisinin yanma odasında tutulması için piston başı ve motor kapağına termal bariyer uygulaması yapılmaktadır. Bu soğutma suyuna geçen enerjinin azalmasını, silindir içi sıcaklığın yükselerek daha iyi bir yanma olmasını sağlamaktadır. Yüzey üzerinde oluşturulan katmanla yüksek sıcaklığın aşındırıcı etkisi azaltılmakta ve motor ömrü uzatılmaktadır. İyileşen yanma ile performans artmakta ve yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. Yanmanın iyileşmesi aynı zamanda eksik yanma ürünü olan CO, HC vb. emisyonlarda da azalma sağlamaktadır. Isının silindir içinde tutulması tutuşmayı kolaylaştırdığından düşük setan sayılı yakıtların kullanılmasına imkân vermektedir. Termal bariyer parça sıcaklıklarında da düşüş sağlamaktadır. Yalnız silindir içindeki bu yüksek sıcaklık O₂ fazlalığı ile birlikte NO_x emisyonlarının yükseltmektedir [10-15].

İçten yanmalı motorlar yakıtın belli oranda hava ile karışarak silindir içinde yanması sonucu hacim genişlemesiyle oluşan basıncın pistonu itmesiyle çalışır. Doğal emişli motorlarda emilen hava silindir hacmiyle sınırlıdır. Ancak aşırı doldurma ile daha fazla havayı silindire göndererek daha yüksek sıkıştırma oranlarına ulaşılmaktadır. Bu performansı artırırken emisyonları da düşürmektedir. Küçük motorda daha fazla hava emildiği için motor hacminden tasarruf edilerek aynı iş daha küçük bir motorla yapılabilmektedir. Alınan fazla hava ile oksijen fazlalığı sağlanmakta, yanma iyileşmekte ve eksik yanma ürünü emisyonlar azalmaktadır [16]. Aşırı doldurma silindir içi basınçları yükselttiği için motor mekanik olarak daha fazla zorlanmaktadır. Oksijen fazlalığı sıcaklıkla beraber dizel motorlarda NO_x emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır [17].

Performansı iyileştirmek, emisyonları düşürmek için yapılan uygulamalar genel olarak yanmanın iyileştirilmesine dayanmaktadır. Yanma ne kadar iyiye o kadar fazla enerji üretilir ve eksik yanma ürünü emisyonlar bir o kadar azalır. Ancak dizel motorların doğasında olan yüksek sıkıştırma oranı ve sıcaklıkla beraber yanmada sağlanan iyileşmeler daha fazla oksijen, ısı kaybının azalması beraberinde yanma odasında oluşan daha yüksek sıcaklıklar hava içerisinde bulunan yaklaşık %70 oranındaki azotun oksijen ile tepkimeye girerek NO_x emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. NO_x emisyonlarının azaltılması için yanma esnasında ve yanma sonrasında uygulanan çeşitli yöntemler vardır. Yanma esnasında, yanma avansını düşürerek yakıt hava karışımının yanma odasında kalma süresini kısaltarak NO_x oluşumuna sebep olan tepkimenin

gerçekleşmesini önleyerek emisyon düşürülür. Bu durumda performansta bir miktar azalır, HC emisyonları artar ancak NO_x emisyonları performansa nazaran ciddi şekilde azalır.

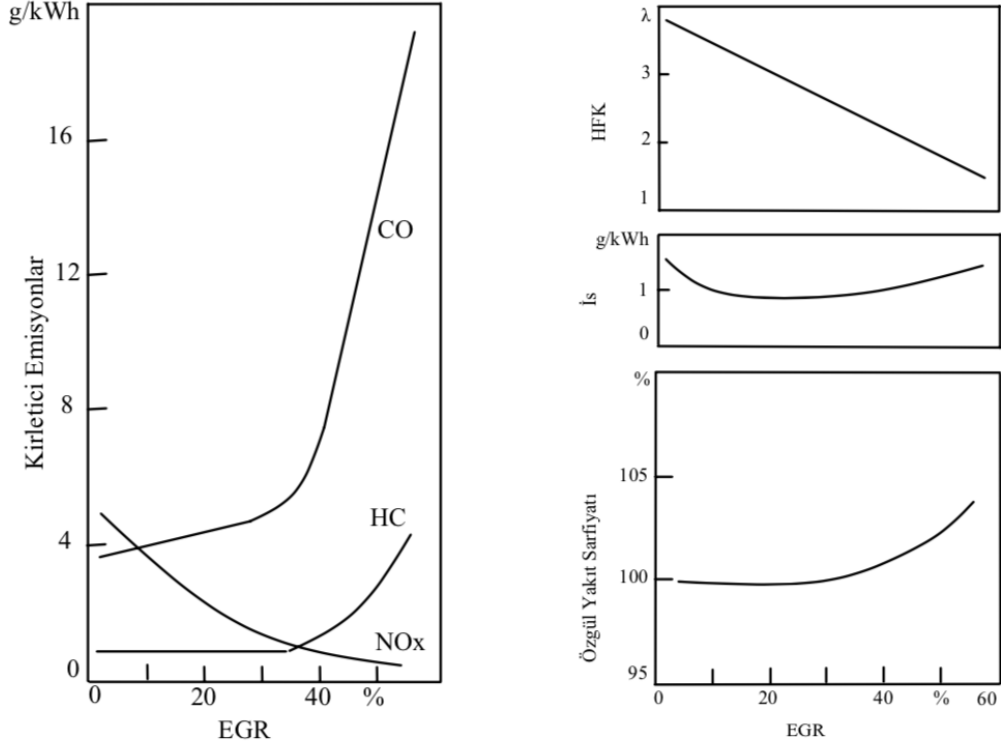
Şekil 1.1’ den görüldüğü üzere NO_x emisyonları azaldıkça HC emisyonları ve özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Avansın optimum bir değerinde ayarlanması gerekmektedir [5]. Performansı artırmak için yapılan çalışmalar genel olarak yanmanın iyileştirilmesine dayanmasına rağmen emisyonlara getirilen kısıtlamalardan ötürü performanstan bir miktar fedakârlık ederek NO_x emisyonlarının düşürülmesine yönelik geliştirilen yöntemlerden bir tanesi de EGR (Exhaust Gas Recirculation)’dir.



Şekil 1.1. Püskürtme avansının kirlenici emisyonlara ve özgül yakıt sarfıyatına etkisi [5]

EGR egzoz gazının bir valf ile belli bir oranda alınarak emme manifolduna gönderilmesidir. Bu yöntemle yanma odasında oksijen fazlalığı azaltılarak NO_x emisyonunun azaltılması sağlanır. Performansta bir miktar düşmeye ve is emisyonunda yükselmeye sebep olur. Şekil 1.2.’de görüldüğü üzere %30 EGR’den fazlası yanmayı aşırı kötüleştirmekte HC ve is emisyonlarında ciddi artışa sebep olmaktadır. %30 ve üzeri EGR uygulaması verimi ciddi oranda düşüreceği için tercih edilmemektedir. Motor

karakteristiğine göre seçilen optimum EGR oranı ile kaybedilen performans, sağlanan NO_x emisyonlarındaki düşüş yanında göz ardı edilebilir.



Yapılan çalışmalar incelendiğinde, motor performansının yükseltilmesi için yapılan motor piston başı ve motor kapağına termal bariyer uygulaması silindir içi sıcaklıkları yükselterek yanmanın iyileşmesini, eksik yanma ürünü emisyonların azalmasını ve yakıt tasarrufu sağladığı görülmektedir. Aynı şekilde aşırı doldurma uygulamasının da yanma dolayısıyla performans üzerindeki ve eksik yanma ürünü emisyonlar üzerindeki olumlu etkisi görülmektedir. Ancak bunların NO_x emisyonlarında sebep oldukları artışla emisyon standartları sağlanamamaktadır. NO_x emisyonlarını düşürmek için avans düşürülerek yanma süresinin kısaltılması ile reaksiyonun gerçekleşmesi engellenmektedir. Bunun yanında EGR ile oksijen fazlalığının azaltılması NO_x oluşumunun önüne geçilmesini sağlamaktadır. Beraberinde performansta da bir miktar kayıp yaşanmaktadır. Beraberinde is ve HC emisyonlarında da artış gözlenmektedir [18].

Kılıçkan ve arkadaşları [19] yaptıkları çalışmada pamuk yağı asidi metil esterlerinin kullanımı ile yakıt kalitesinin arttığını ve dolayısıyla yanmanın iyileştiğini ve NO_x

emisyonlarının arttığını gözlemlemişlerdir. Biyodizelin alternatif yakıt olarak dizel motorlarda kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Eliçin ve Erdoğan [7] diğer bir çalışmalarında fındık yağı metil esteri ile yaptıkları çalışmada dizel yakıtta farklı oranlarda karıştırarak performans ve emisyonlar üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir. Genel olarak performansta bir miktar düşme CO emisyonunun azaldığını, NO_x emisyonlarının arttığını gözlemlemişlerdir.

Civiniz ve arkadaşları [15] yaptıkları çalışmada seramik kaplamanın motor performansını ciddi şekilde artırdığını tespit etmişlerdir. Kaplamalı motorda soğutma suyuna geçen enerjinin %19 azaldığını, egzoz sıcaklığının ise devir sayısı ve yüke bağlı olarak %7-20 aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir. Hazar ve Öner [14] yaptıkları kısmi termal bariyer kaplama ile yanma odası sıcaklığının arttığını buna bağlı olarak egzoz sıcaklığının arttığını ve CO emisyonlarının azaldığını NO_x emisyonlarının benzer eğilim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Taymaz [12] çalışmasında termal bariyer kaplama ile soğutma sistemine geçen ısının düştüğünü, yanma odası sıcaklığının artması sonucu volümetrik verimin azaldığını ancak beraberinde artan egzoz sıcaklığı ile turbo doldurma uygulaması yapılarak volümetrik verimin yükseltilebileceğini tespit etmiştir. Soğutma sistemine %40 daha az enerji geçişi olduğunu bunun da termodinamik verimde %2 artış sağladığını ifade etmektedir. Termal bariyerin termal aşınmalara karşı mekanik bir koruma sağladığını bu şekilde aşınmanın azalacağını ve motor ömrünün uzayacağını ve soğutma sistemine daha az ısı geçişi olduğu için soğutma sisteminin küçültülebileceğini ifade etmiştir.

Arslan [20] doğal emişli bir dizel motora aşırı doldurma uygulayarak motor performansı ve yakıt tüketimini incelemiş aşırı doldurmalı motorun birim güç başına %7-8 seviyesinde daha fazla yakıt tükettiğini buna karşın torkun %11-12 seviyesinde arttığını tespit etmiştir. Aynı devirde aşırı doldurmalı motorun %13 daha fazla güç ürettiğini ifade etmektedir.

Açıklan [2] dizel yakıt ve farklı oranlarda kullandığı soya yağı metil esteri ile yaptığı çalışmada avans değiştirerek yaptığı çalışmada avansı düşürdüğünde performansın azaldığını bunun yanında NO_x emisyonunun ciddi şekilde azaldığını, avansı yükselttiğinde performansın arttığını ancak buna oranla NO_x emisyonunun ciddi şekilde yükseldiğini tespit etmiştir. Ayrıca farklı %5 - %10 - %15 oranlarında uyguladığı EGR oranları ile sırasıyla güçteki %12,7 - %23,7 - %33,1 oranlarındaki azalma yanında NO_x

emisyonlarında %38,7 - %69,1 - %86,3 oranlarında azalma tespit etmiştir. Tok [18] EGR'nin etkilerini araştırdığı çalışmasında NO_x emisyonlarının EGR ile orantılı olarak azaldığını tespit etmiştir. EGR'nin yanma odasındaki O₂ konsantrasyonunu dūřürerek azot oksidasyonunun azaldığını bunun yanında CO ve HC emisyonlarını kötūleřtirdiğini ifade etmektedir.

Bu çalışmada, aşırı doldurma ve piston başı seramik kaplanarak uygulanan kısmi yalıtım ile performans artışı sağlamak amaçlanmıştır. Bu uygulamalarla iyileşen yanma performansı beraberinde ki NO_x emisyon artışı EGR uygulaması ile dūřürölmüřtür. Alternatif bir yakıt olan biyodizel, petrol kaynaklı dizel yakıt ile farklı oranlarında karıştırılarak kıyaslanmış, aşırı doldurma, Kısmi yalıtım ve EGR uygulamalarıyla performansta ve egzoz emisyonlarında iyileşme sağlanmaya çalışılmıştır. Biyodizelin alternatif bir yakıt olarak kullanılabilirliği tespit edilmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 2. DİZEL MOTORLARDA SERAMİK KAPLAMA

Dizel motorlarda soğutma sistemi, yağ, sürtünme, egzoz ve radyasyon ile kaybedilen enerji performansın tespit edilmesinde önemli bir değişkendir [21-24]. Ayrıca motor malzemesinin dayanabileceği sıcaklık sınırı ve yüksek sıcaklığın aşındırıcı etkisi sonucu oluşan hasarlar ekstra maliyetler çıkarmaktadır. Motor parçalarının dayanabileceği sınırlı sıcaklıklardan dolayı motorlar soğutma sistemine ihtiyaç duyar ve yanma sonucu oluşan enerjinin yaklaşık %25'i kadarı bu sisteme aktarılarak motor parçaları korunur [22].

Günümüzde motorların verimi artırmak, ısı kayıplarını önleyerek performansı artırmak için yapılan çalışmalardan biride motor parçalarını seramik kaplamadır. Motor kapağının yanma odası yüzeyi, subaplar ve piston başının seramik malzeme ile kaplanması ile seramik malzemenin yüksek ısı yalıtımı ve termal şoklara karşı dayanımı motor parçalarını aşınmalara karşı korurken soğutma sistemine ve yağa geçen enerjinin bir kısmını yanma odasında tutmaktadır. Yanma odasında kalan yüksek sıcaklık ile yanma iyileşmekte eksik yanma ürünü emisyonlar azalmaktadır. Bu sıcaklık fazlalığı verimi düşürmektedir. Ancak günümüzde dizel motorlar doğal emişli değil de aşırı doldurmalı kullanıldığı için bu durum sorun yaratmamaktadır. Seramik kaplamanın avantajları şu şekilde sıralanabilir [21-23]:

- Yüksek sıcaklık mukavemeti
- Yüksek kimyasal kararlılık
- Yüksek sertlik
- Düşük yoğunluk
- Yüksek aşınma direnci
- Düşük ısı iletimi
- Doğada kolay bulunabilirlik.

Tablo 2.1'de kaplamada kullanılan bazı seramiklerin mekanik özellikleri verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere dayanım gösterdikleri sıcaklıkları ve sertlikleri çok yüksektir.

Tablo 2.1. Kaplamada kullanılan bazı seramikler ve özellikleri [10]

Malzeme	Erime Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)	Mukavemet (MPa)	K _c (MPa/m ²)	Sertlik (kg/mm ²)
Al ₂ O ₃	2050	3,96	250-300	4,5	1300
ZrO ₂	2700	5,6	113-130	6-9	1200
SiC	3000	3,2	310	3,4	2800
Si ₃ N ₄	1900	3,24	410	5	1300

Seramik malzemeleri bütün bu artılarına rağmen gevrek yapıları sebebiyle tek başlarına bir makine parçası olarak kullanılamamaktadırlar [13]. Bunun yerine metal malzeme üzerine farklı kalınlıklarda kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Seramik kaplama ile yüksek ısı dayanımı, termal ve mekanik şoklara dayanım, fiziksel ve kimyasal korozyonlara dayanım sağlanabilmektedir.

Günümüzde metal parçaların tamamen değiştirilmesi yerine yüzeysel değişikliklerin yapılması hem pratik hem de daha ekonomik olmaktadır. Bu nedenle boyama, asılama, metalik/inorganik maddelerle kaplama, alaşımlandırma ile değiştirme gibi yöntemlerle yüzey kaplama işlemleri yapılmaktadır. Bu işlemler ile yüzeye termal, mekanik, elektriksel dirençler kazandırılmaktadır [13].

2.1. Kaplama Yöntemleri

Isı geçişinin en aza indirilmesi amacıyla yapılan kaplamalar iki gruba ayrılır. 5 mm' ye kadar olan kaplamalar ince, 5-6 mm kadar olan kaplamalar kalın olarak gruplanır. İçten yanmalı motorlara ince seramik kaplama uygulanmaktadır [12,13].

Uygulanan kaplama yöntemleri şu şekildedir [13,23]:

- Termal sprej kaplama (alev ile tel ve toz sprej, yüksek hızlı oksijen yakıt sprej, elektrik ark sprej, Plazma sprej,...)
- Işın kaplama
- İyon zenginleştirme
- Ark kıvılcımı ile alaşımlandırma
- Kimyasal seramik kaplama

2.1.1. Termal sprey kaplama

Eriyik malzemenin kaplanacak yüzeye püskürtülmesini esas alan kaplama yöntemidir. Kaplama yapılacak yüzey 200 – 300 °C ısıtılarak, eritilmiş kaplama malzemesi yüksek hızda yüzeye püskürtülür ve tutunması sağlanır. Tablo 2.2’ kullanılan termal sprey yöntemlerinin bazı karakteristik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Termal Sprey Yöntemleri ve Karakteristik özellikleri [13]

Yöntem	Isı Kaynağı	Yönlendirici	Malzeme	Tabanca içindeki Sıcaklık (°C)	Toz hızı (m/s)	Ortalama sprey hızı (kg/h)
Alev püskürtme	Oksi-asetilen, Oksi- hidrojen	Hava	Tel,toz	3000	40	2-6
Elektrik ark püskürtme	Elektrotlar arası ark	Hava	Tel	6000	100	12
Hava püskürtme	Plazma ark	Soy gaz	Toz	12000	400	3-9
Düşük basınçlı plazma püskürtme	Plazma ark	Soy gaz	Toz	12000	400	3-9
Detonasyon tabancası	Oksi-asetilen-azot gaz detonasyonu	Detonasyon dalgaları	Toz	4500	800	0,5
Yüksek hızlı oksijen-gaz	Oksi-gaz yanması	Eksoz gazı	Toz	3000	400-600	2-4

Kaplama, kaplanacak malzemenin tokluğunu korurken yüzey kalitesini artırarak mekanik ve kimyasal aşınmalara, termal şoklara ve yüksek sıcaklıklar karşı koruma sağlamaktadır. Bu nedenle birçok sektörde kullanılmaktadır. Tablo 2.3’de bazı uygulama yöntemleri ve kullanıldığı sektörler gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Kaplama Yöntemi ve Uygulama Alanları [12]

Yöntem	Kaplama Malzemeleri	Uygulama Alanları
Alevle Toz Püskürtme	Paslanmaz ve normal çelik, Ni-Cr alaşımları, Bronzlar, Co Alaşımı, Seramikler (Al_2O_3 , Cr_2O_3 ,...)	Otomotiv: Rulman yatakları, mil muyluları, kompresör pistonları, kam milleri, burç ve kovanlar
Alevle Tel Püskürtme	Paslanmaz ve normal çelik, Mo, Zn, Cu, Al, bronz alaşımı	Otomotiv: Hidrolik piston mili ve muyluları, kompresör pistonları, piston segmanları.
Elektrik Ark Sprey	Paslanmaz ve normal çelik, Mo, Zn, Cu, Al, bronz alaşımı	Otomotiv: Krank Mili, debriyaj baskı plakası, yatak ve shaft aşınma yüzeyleri Kâğıt: Kurutma Silindirleri Demir Çelik: Silindir ve rulolar.
Detonasyon Tabancası	NiCrMo ve NiCr, CoCr, Al_2O_3 , Wc-Co, Al_2O_3 -Ti- O_2	Havacılık: Motor parçaları Demir Çelik: Çelik merdaneler Otomotiv: Yataklar Tekstil Makine parçaları Matbaa: Merdaneler
Plazma Sprey	Paslanmaz ve normal çelik, seramikler (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , ZrO_2 ,...), karbürler (Wc-Co, Cr_3C_2 -NiCr,...), sermetler, süper alaşımlar	Havacılık: Yanma odası, Türbin kanatları Savunma: Roket nozulları Otomotiv: Yanma odası parçaları Tekstil: Mekikler, iplik klavuzları Kağıt: Kurutma silindirleri, Salmastra burçları

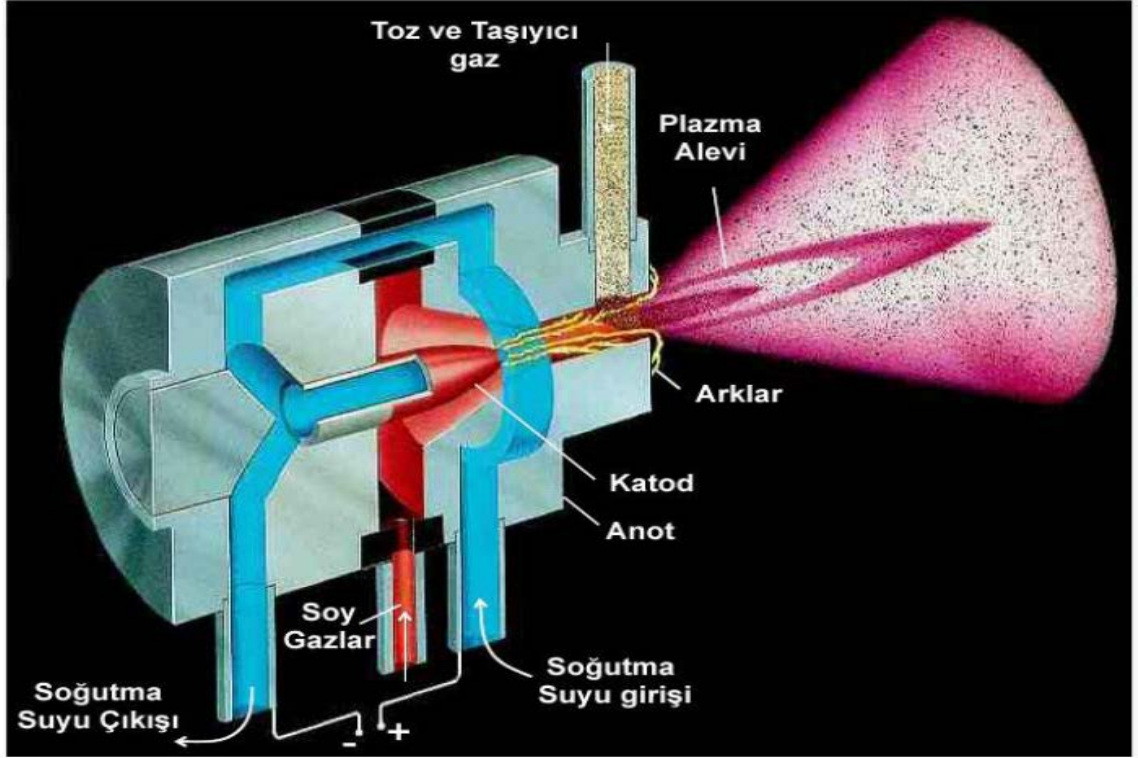
Tablodan da görüldüğü üzere kaplama malzemesi olarak çok çeşitli malzemeler kullanılabilmekte ve birçok sektörde uygulama alanı bulabilmektedir. Otomotiv sektöründe yakıt tasarrufu, performans ve emisyonların düşürülmesi için motor yanma odası parçalarının kaplanması tercih edilen kaplama yöntemi plazma spre yöntemi dir.

2.1.2. Plazma sprey yöntemi

Plazma sprey yöntemi ile herhangi bir malzeme kaplaması yapılabilmektedir. Bu teknolojinin bu kadar yaygınlaşmasındaki en büyük etken malzeme farkı gözetmeksizin bu yöntemle kaplama yapılabilmesidir.

Seramikler, yüksek aşınma direnci ve sertlikleri, hammaddenin yaygın ve ucuz oluşu, korozyon direnci, oksitlenmeme ve düşük termal iletkenlikleri ve fazla termal çevrim sayısı avantajıyla çok önemli bir kaplama malzemesidir. Ancak yüksek erime noktaları sebebiyle (zirkonya 2715 °C,...) bu malzemelerin kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği sadece çok yüksek sıcaklıklar ile mümkündür. Plazma Sprey yönteminde plazma arkının yüksek sıcaklığı seramik malzemelerin kaplama malzemesi olarak kullanımını mümkün kılmaktadır [12, 13].

Plazma iyonize olmuş, elektriği iletebilen gazdır. Plazma kaplama ile yüksek ısı imkânı sağlanması, yüksek erime sıcaklık noktasına sahip seramik ve metal esaslı alaşım tozlarının kullanılabilmesini sağlar. Plazma sprey yönteminde, suni bir plazma arkı oluşturularak yüksek sıcaklıklara ulaşılır. Plazma, tabanca içerisinde su soğutmalı toryumlu tungsten katot ile bakır anot arasında oluşturulan doğru akımla elektrik arkı ile oluşturulur. Tabanca içerisinde argon ve düşük miktarda hidrojen gazı geçirilir. Elektrik arkı bu gaz içerisinde plazma arkı yaratır. Gazlar elektrik arkı içinde çok yüksek sıcaklıklara çıkarak nötr durumlarını kaybederler. İyonlaşma sonucu 15000 – 25000 °C seviyesinde yüksek sıcaklıklar oluşur. Isınan gazlar genişir. Genleşen gazların bir nozul içerisinde geçirilerek süpersonik hızlarda bir akışa ulaşılır. Bu akışın hızı 5000 – 6000 m/s seviyelerindedir. Kaplama tozlarını, plazma huzmesine taşımak için argon taşıyıcı gaz olarak kullanılır. Plazma içerisinde eriyen tozlar, çok yüksek hızla malzeme yüzeyine püskürtülür. Şekil 2.1’de plazma spreyi gösterilmiştir. Yüzeye çarpan erimiş kaplama malzemesi çok hızlı bir şekilde yüzeye çarparak, ani (6-10 °C) olarak soğur. Plazma alevindeki erimiş partiküller malzeme yüzeyine çarptığı an kinetik enerjileri ısı ve deformasyon enerjisine dönüşür ve malzemeye yapışır. Partiküller malzeme yüzeyine temas ettiklerinde sıcaklıklarını malzeme yüzeyine aktarır çok hızlı bir şekilde soğurlar ve katılaşırlar [13, 22].



Şekil 2.1. Plazma Sprey prosesi [16].

2.1.2.1. Kaplamanın oluşumu

Kaplama yüzeye gönderilen parçacıkların yüzeye yapışması ile oluştuğu için, kaplamanın kalitesi parçacıkların hızı, sıcaklığı ve parçacık boyutlarıyla ilintilidir. Kullanılan malzemenin parçacık boyutu, plazma sprej makinesinin bu parçacıkların ne kadarını eritebildiği kaplamanın mikro yapısını belirlemektedir. İdeal olan tüm parçacıkların eriyip yüzeye tutunmasıdır. Erimeyen parçacık yüzeye çarpıp sıçrar, kısmen erimiş parçacıklar tutunur ancak mikro yapıda değişikliklere sebep olur [22]. Kaplamanın kalitesi püskürtülen malzemenin tamamen eriyip yüzeye tamamen tutunmasına bağlıdır.

Plazma spreyleme, ana metalde meydana gelen ısıl gerilmenin diğer yöntemlere göre düşük seviyede olmasıdır. Püskürtme sırasında ana metalin soğutulması, kaplama sırasında meydana gelen ek gerilmeleri azaltmaktadır. Bu yöntem, düşük sıcaklık dolayısıyla (200 °C) çarpılma olmaması, son halini almış işlenmiş malzemeler kaplandığında, mikro yapılarında değişme meydana gelmektedir ve kaplanan malzeme ile kaplama malzemesi, birbirinden bağımsız olarak seçilebilmektedir [22-26].

2.2. Seramik Kaplamanın Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi

2.2.1. Seramik kaplamanın motor performansına etkileri

Seramik kaplama yöntemi ile amaçlanan ısının yanma odasında muhafazası ile yanmanın iyileştirilmesidir. Yanma kalitesi arttıkça yanmadan egzozdan atılan partikül miktarı azalacak ve dolayısıyla üretilen enerji artmaktadır. Bu ısı enerjisinin de daha az bir kısmı soğutma sistemine geçeceğinden işe dönüştürülen enerji ile egzoz sıcaklıkları yükseltmektedir. Yüksek yanma odası sıcaklığından ötürü doğal emişli motorlarda emilen hava sıcaklığı yükseleceğinden alınan hava miktarı düşmekte beraberinde volümetrik verim düşmektedir. Bu durum da yakıt karışımı zenginleşmekte, O₂ miktarı azalmakta performansı olumsuz etkilenmektedir. Bu sorun aşırı doldurma ile giderilebilmektedir.

Taymaz [12] çalışmasında, Ford Cargo 6,0 Lt turbo doldurmalı dizel motoru üzerinde motor silindiri, motor kapağı ve subaplara seramik kaplama uygulamıştır. Standart durum ile kaplamalı durumu karşılaştırmıştır. Yanma odasında açığa çıkan enerji, seramik kaplamanın sağladığı yalıtımdan ötürü soğutma sistemine daha az geçiş sağlamış yükselen yanma odası sıcaklığıyla motor hız ve yük durumuna göre 5 – 75 °C aralığında egzoz gaz sıcaklığının yükseldiğini tespit etmiştir. Düşük yük şartlarında %7 olan sıcaklık farkının yük arttıkça %20 seviyelerine ulaştığını ifade etmektedir.

Standart motorda soğutma sıvısına geçen enerjinin %14 - 34 aralığında olduğunu ifade etmektedir. Düşük devirlerde yakıt hava karışımı yanma odasında daha fazla yüksek devirlerde daha az kaldığı için soğutucu sisteme geçen enerji oranı düşük devirlerde daha fazladır. Geçen enerji miktarı yüksek yük ve devirlerde giren enerji fazla olduğundan miktar olarak daha fazladır. Isı yalıtımı sağlayan seramik kaplama uygulanmış motorda sağlanan ısı yalıtımıyla yük ve devir sayılarına bağlı olarak soğutma sistemine geçen enerjinin %5 – 19 aralığında azaldığını tespit etmiştir.

Seramik kaplamanın performansına da olumlu etki ettiğini tespit etmiştir. Seramik kaplamalı motorda standart motora göre daha az yakıt enerjisi girdisine karşılık işe dönüştürülen enerji daha yüksektir. Giren yakıt enerjisinin Standart motorda %2 daha fazla buna karşılık faydalı işe dönüştürülen enerjinin seramik kaplı motorda %2 daha fazla olduğunu, standart motorda faydalı işe dönüştürülebilir enerji oranı %22 – 38 aralığında iken, Isı yalıtımlı motorda %23 – 39,5 aralığında olduğunu ifade etmektedir.

Vural, [13] içten yanmalı dizel motorunda yaptığı deney ile motorun değişik hız ve yük şartlarında çalışmasını ortaya koymaktadır. Piston yüzeyinin seramik malzemeyle kaplanması, yanma odasındaki ısı transferini etkilediğinden motorun güç ve özgül yakıt sarfiyatında değişikliklere sebep olduğunu tespit etmiştir. Çalışmada farklı seramik malzemeler de kıyaslanmıştır. Gözenek yapısının büyük olduğu kaplamalarda ısı iletiminin daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Silindir içi basınçlar incelendiğinde kaplamalı motorların en yüksek basınçlarının daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Bu beraberinde güç artışını da göstermiştir. En iyi ısı yalıtımı sağlayan kaplama ile %1,7 oranında momentte artış tespit etmiştir.

Kaplama sonucu özgül yakıt sarfiyatında da iyileşme tespit etmiştir. Özgül yakıt tüketimi birim güç başına harcanan yakıt miktarını ifade etmektedir. Özgül yakıt tüketimi momentin en yüksek olduğu noktada en düşüktür. En iyi yalıtımı sağlayan kaplama ile %7,99 oranında özgül yakıt tüketiminde azalma olduğunu ifade etmektedir.

Yaşar, [23] çalışmasında termal bariyer kaplamanın turbo doldurmalı bir dizel motorundaki etkilerini incelemiştir. Özgül yakıt tüketiminin seramik kaplı motorda önemli ölçüde azaldığını tespit etmiştir. Bu durumu artan yanma odası sıcaklığından ötürü yanma verimin artmasına bağlamaktadır.

Volümetrik verim incelendiğinde kaplamalı motorda artan cidar sıcaklığı dolayısıyla verimin düşmesinin normal olduğunu ifade etmiştir. Ancak düşük ve orta devirlerde volümetrik verim bir tezatlık olarak yükseldiğini gözlemlemiştir. Bunu turbo doldurmanın bir sonucu olduğunu ifade etmiştir. Artan sıcaklıklar beraberinde egzoz sıcaklığını artırmış ve turbo verimini yükseltmiştir. Düşük devirlerde bu daha az gözlemlenmekle birlikte devir yükseldikçe volümetrik verimin %3 kadar arttığını tespit etmiştir. Bunun yanında kaplamalı motorda efektif verimde de yükselme tespit etmiştir. Standart motorda %23 – 38 aralığında olan efektif verimin %24 – 40 aralığına yükseldiğini gözlemlemiştir. Buradan da efektif verimde %2 kadar bir artış olduğunu ifade etmektedir.

Seramik kaplı motor ile standart motor karşılaştırıldığında efektif güç ve momentte önemsiz sayılabilecek bir artışın olduğunu tespit etmiştir. Devir yükseldikçe bu artış bir miktar azalmaktadır. Bu durumu yüksek devirlerde volümetrik verimin düşmesine bağlamaktadır.

Kaplamalı motorun en büyük etkisi egzoz gazı sıcaklıklarında görülmektedir. Kaplamalı motor egzoz gazı sıcaklığı standart motor ile kıyaslandığında devire ve yüke bağlı olarak 10 – 65 °C aralığında arttığını tespit etmiştir [17]. Egzoz gazının enerjisinin yükselmesi, egzoz gazından faydalı iş enerjisi üretiminde önemlidir. Yaşar'ın daha önce ifade ettiği üzere egzoz enerjisinin artmasıyla turbo verimi artmış bu da düşük – orta devirlerde volümetrik verimi yükseltmiştir. Bu enerjiden birçok farklı şekilde yararlanılabilir.

Üretilen yakıt enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürüldüğüne baktığında standart motorda bu oranın %22,8 – 39 aralığında iken seramik kaplı motorda %23,5 – 40 aralığında olduğunu tespit etmiştir. Bu farkın en çok orta devir aralığında olduğunu ifade etmektedir. Bunun yanında seramik kaplamanın sağladığı yalıtım ile soğutma sıvısına geçen enerjinin de azaldığını tespit etmiştir.

Haşimoğlu, [10] Düşük ısı kayıplı motorda biyodizel kullanımının sonuçlarını incelerken seramik kaplamalı motor ile standart motoru da kıyaslamıştır. Seramik kaplı motorda dizel yakıt ve standart motorda dizel yakıtla yaptığı kıyaslamada efektif gücün seramik kaplama ile %9 arttığını, döndürme momentinin %7 arttığını, özgül yakıt tüketiminin %4 azaldığını ve egzoz gazı sıcaklığının %13 arttığını tespit etmiştir.

Seramik kaplama ile cidar sıcaklığının yükseldiğini ancak volümetrik verimin %10 kadar yükseldiğini gözlemlemiştir. Bu durumu uyguladığı aşırı doldurmaya bağlamaktadır. Yanma odası sıcaklığının artmasıyla beraberinde egzoz sıcaklığının da arttığını tespit etmiştir. Egzoz gazının sıcaklığının artmasıyla turbo kompresöre gönderilen enerji artmış, turbo kompresör daha fazla hava göndermiş ve volümetrik verim yükselmiştir. Efektif verimin de, özgül yakıt tüketiminin seramik kaplama ile azalması sebebiyle seramik kaplı motorlarda yükseldiğini ifade etmiştir.

Civiniz ve arkadaşları [15] yaptıkları çalışmada, seramik kaplamanın efektif gücü %1 – 3, döndürme momentini %1,5 – 2,5 oranında artırdığını tespit etmişlerdir. Volümetrik verimin, yüksek egzoz sıcaklıkları nedeniyle turbo kompresör gücünün artması sonucu düşmediğini, bunun sonucu olarak efektif güç ve döndürme momentinin arttığını ifade etmektedirler.

Seramik kaplamalı motorda sağlanan yalıtımla soğutma suyuna geçen enerjinin %19 azaldığını tespit etmişlerdir. Bu enerjinin yanma odasında kalması sonucu egzoz sıcaklığı ve işe dönüşen enerji artmıştır.

2.2.2. Seramik kaplamanın motor emisyonlarına etkileri

Seramik kaplamanın bir diğerk etkisi de yanma performansında sağladığı iyileşmeden ötürü emisyonlar üzerinedir. Eksik yanma ürünü olan CO, HC ve PM emisyonları yanmanın iyileşmesiyle önemli ölçüde azalmaktadır. Ancak Yanma odası sıcaklıklarının yükselmesi NO_x emisyonlarının yükselmesine sebep olmaktadır.

Yaşar, [23] çalışmasında seramik kaplamanın uygulandığı motor ile standart motoru kıyaslamış CO emisyonlarında %35, HC emisyonlarında %40, PM emisyonlarında %48 azalma tespit etmiştir. Bunun Yanmadaki iyileşmenin bir sonucu olduğunu ifade etmektedir.

Vural, [13] farklı kaplama malzemeleri kullandığı kısmi yalıtımlı motor ile standart motoru kıyaslamış tüm kaplama türlerinde HC emisyonlarının düştüğünü tespit etmiştir. HC emisyonunun yeterli sıcaklık ve oksijeni bulamayan yakıtın eksik yanması sonucu oluştuğunu ifade etmektedir. Daha çok soğuk yüzeylerde yeterince, yeterince ısı alamayan yakıtın yanmaması sonucu oluştuğunu seramik kaplama ile bu yüzeyin kaplanması sonucu bu emisyonun oluşumunun azaldığını ifade etmektedir. HC emisyonu gibi yanma şartlarından yeterince sıcaklığa ulaşılabilmesi durumunda oksidasyonun istendiği gibi gerçekleşmemesi sonucu oluşan bir diğerk emisyon da CO'dur. Seramik kaplamalı motorda daha yüksek sıcaklıklara ulaşılması sonucu CO emisyonlarında düşüş olduğunu ifade etmektedir. Yanma odası sıcaklığının seramik kaplı motorlarda daha yüksek olması sonucu, en iyi yalıtımı sağladığı kaplama ile birlikte CO emisyonlarında %63,15 kadar iyileşme tespit etmiştir. İis emisyonu da bir eksik yanma ürünüdür. Yanma sırasında yakıtın yapısında bulunan H₂ hızla buharlaşarak reaksiyona girer ve yanar. Ancak C tam buharlaşamama ve yeterince O₂ bulamama sonucu is partikülü olarak dışarı atılmaktadır. Seramik kaplamanın sağladığı yanma iyileşme buharlaşamayan yakıt miktarını düşürmekte ve C partiküllerinin tepkimeye girmesini sağlamaktadır. Seramik kaplama ile Vural is emisyonlarının düştüğünü ifade etmektedir. En iyi yalıtımı sağladığı seramik kaplama ile is emisyonlarında %15,97 oranında azalma tespit etmiştir.

Yakıtın tam yanması ile açığa çıkan CO₂ ve H₂O tam yanma ürünleridir. Yanmanın iyileşmesi sonucu HC, CO, PM emisyonlarının düşmesi beraberinde CO₂ emisyonunun yükselmesine sebep olmaktadır. Vural, seramik kaplamalı motorlarda CO₂ emisyonunun

yükseldiğini ifade etmektedir. En iyi yalıtımı sağladığı kaplama ile CO₂ emisyonunun %14,86 kadar arttığını tespit etmiştir.

Yanma sonucu normal şartlarda azot tepkimeye girmez. Ancak seramik kaplı motorlarda oluşan yüksek yanma sıcaklıkları (>1600 °C) bu tepkimeyi mümkün kılmaktadır. Vural, seramik kaplı motorlarda yanma sıcaklığında 50 – 150 °C'lik bir artış tespit etmiştir. Bununla beraber NO_x emisyonlarının yükseldiğini gözlemlemiştir. En iyi sonucu aldığı kaplama ile NO_x emisyonlarında %17,8'lik bir artış tespit etmiştir [13].

Haşimoğlu, [10] Seramik kaplamalı motor da biyodizel üzerine yaptığı çalışmada standart motorda dizel yakıt kullanımı ve seramik kaplamalı motorda dizel yakıt kullanımı ile yaptığı kıyaslamada NO_x emisyonlarında seramik kaplı motorda %20 artış tespit etmiştir. Bu durumu, NO_x oluşumu için yüksek sıcaklık ve hava fazlalığı gerekmektedir, seramik kaplama ile sağlanan yalıtım yanma sırasında yüksek sıcaklık bölgeleri meydana getirmekte ve NO_x emisyonu oluşumunu tetiklemektedir şeklinde açıklamıştır.

Seramik kaplı motorda tüm devir aralıklarında standart motora göre duman koyuluğunun %10 azaldığını, CO₂ emisyonunu %5,8 arttığını tespit etmiştir. Bu yanmadaki iyileşmenin bir sonucudur.

Gürbüz ve Gökkaya, [24] çalışmalarında termal bariyer kaplamanın standart motora göre yakıt sarfiyatı ve emisyonlara etkilerini incelemiştir. HC ve CO emisyonlarının kaplamalı motorda iyileştiğini tespit etmişlerdir. Özellikle özgül yakıt tüketiminin en az olduğu, en yüksek torkun üretildiği devir aralığında HC ve CO emisyonlarında çok belirgin bir düşüşün olduğunu gözlemlemiştir. Seramik kaplama sonucu artan silindir içi sıcaklığın tutuşma gecikmesini kısalttığı ve bunun da partiküllerin azalmasına sebep olduğunu ifade etmektedirler.

BÖLÜM 3. BİYODİZEL, AŞIRI DOLDURMA, EGZOZ GAZI RESİRKÜLASYONU (EGR)

3.1. Biyodizel

Günümüzde artık fosil yakıtların bir sonunun olduğu bilinmektedir. Ayrıca fosil yakıt kullanımı beraberinde birçok çevre sorununu da getirmektedir. Fosil yakıtların belli bölgelerde bulunması ve enerjinin günümüz dünyasında vazgeçilemez ve sürekli artan bir ihtiyaç olması insanları enerjiyi verimli kullanmaya ve alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Burada karşımıza temiz enerji kaynağı olarak güneş, rüzgar ve buna benzer karbon salınımı sıfır olan kaynaklar yanında doğada doğal döngü içerisinde üretilen biyokütle yakıtlar karşımıza çıkmaktadır. Bu enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadırlar. Bunlar arasından günümüzde teknik olarak en büyük potansiyele biyokütle yakıtlar sahiptir. Çünkü bu yakıtlar günümüzde kullandığımız fosil yakıtların yerine kullandığımız cihazlarda hiçbir modifikasyona ihtiyaç duymadan direkt yerine kullanabileceğimiz enerji kaynaklarıdır [28-36].

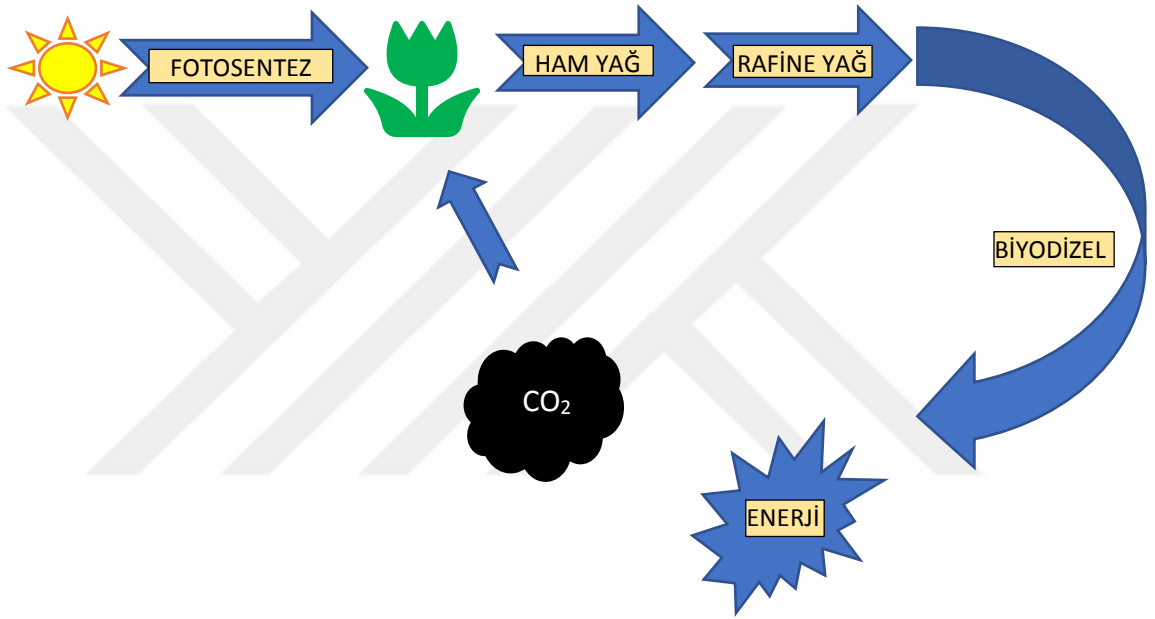
Biyokütle yakıtlar tarımsal ürünler, evsel atıklar, hayvansal atıklar gibi aslında doğal döngü içerisinde var olan birçok kaynaktan üretilmektedir. Tarımsal ürünlerden elde edilen yağlar, alkoller, vb. ürünler belli işlemlere tabi tutularak ya da direkt yakıt olarak kullanılabilir [27].

Tarımsal biyokütle, bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolanması sonucu oluşmaktadır. Biokütle kökenli sıvı yakıtlar içinde günümüzde ön plana çıkan biyodizeldir. Biyodizel, Dizel yakıtının büyük oranda parafinler ve aromatiklerden oluşmasına karşılık, bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış oldukları esterlerdir [19].

Biyodizel her türlü tarımsal yağlardan (kolza, aspir, soya, ayçiçeği, mısır,...), atık yağlardan, hayvansal yağlardan elde edilebilen ve yakıt olarak kullanılabilen bir üründür.

Biyodizel içeriğinde petrol ürünü bulundurmaz ancak tek başına bir yakıt olarak kullanılabilir. Dizel yakıt ile her oranda karıştırılabilir. Motorda herhangi bir değişiklik yapma gerekliliği oluşturmaz [28-47].

Biyodizel tarımsal olarak bitkilerden elde edildiği için biyodizelin yanması sonucu açığa çıkan CO₂ tekrar biyodizelin üretimi için yetiştirilecek bitki tarafından fotosentez sırasında tüketileceğinden karbon döngüsü hızlı bir şekilde tamamlanır ve sera etkisi oluşumunun önüne geçilir. Biyodizel döngüsü şematik olarak şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Şematik CO₂ Döngüsü

Biyodizel, enerjide dışa bağımlılığı azaltıcı elde edilme şekli ve yeni iş alanları oluşturmasıyla işsizlikle mücadelede artıları olan bir alandır. Biyodizel tarımsal olarak elde edildiği için fosil yakıtları kontrol eden belli ülkelere bağımlılığı azaltıcı ve enerji ithalatını önleyici etkileri vardır. Biyodizelin eldesine kadar olan süreçte tarımda, sanayide, lojistikte ve birçok alanda iş imkânı oluşturmaktadır. Bu da uzun vadede ülke ekonomisini olumlu yönde etkiler [28,29,36].

Günümüzde bu olumlu yanlarına rağmen biyodizel yakıtın yaygınlaşmasındaki en büyük engel fosil yakıtların çok ucuz olmasına rağmen yağ fiyatlarının çok yüksek olmasıdır. Bu da biyodizel üretimine yönelik tarımsal programlarla yağ üretimini artırarak

sağlanabilir. Yağın aynı zamanda gıda maddesi olması yağ fiyatları üzerindeki en büyük sebeplerdendir [38].

3.1.1. Biyodizelin yakıt olarak özellikleri

Biyodizel C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren etil veya metil ester tipi bir yakıttır. Esterleşme ile içerdiği oksijen ile biyodizel, petrolden elde edilen dizel yakıttan ayrılır. Biyodizel, dizel yakıtı çok yakın ısıl değere sahiptir. Dizel yakıttan daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu da biyodizeli taşıma, depolama, kullanımda güvenli bir yakıt yapar [43].

Biyodizel doğada çok hızlı bir şekilde bozulur ve çevreyi kirletmez. 28 gün içinde biyodizel %95 oranında doğada bozulurken bu oran petrol kaynaklı dizel yakıt için %40'dır [43].

Dizel yakıtlarda kendiliğinden tutuşabilmenin ölçütü setan sayısı ile ifade edilmektedir. Setan sayısı sıkıştırılan havaya yakıtın püskürtülmesi sonucu yakıtın alevlenmesini etkileyen bir değerdir. Setan sayısı düşükse bu motorda vuruntuya ve emisyonlarda kötüleşmeye sebep olur. Biyodizel yakıtlar ise içerdikleri %10 oksijen sayesinde setan sayıları yüksektir [8].

Yakıtın bir diğer görevi motor elemanlarını yağlamaktır. Çevresel sebeplerle petrol içerisindeki kükürtün ayrıştırılması ile petrol kaynaklı dizel yakıtın yağlayıcılık özelliği azalmıştır. Bunun için yakıtta yağlayıcılığı artması için katkı maddeleri eklenmektedir. Bu katkı maddeleri de zamanla tortu oluşumuna ve enjektör problemlerine sebep olmaktadır. Biyodizel yüksek viskozitesinin avantajıyla daha yüksek yağlama özelliğine sahiptir [8].

Biyodizel yakıtın direkt kullanımı motorda yağlama yağının çok hızlı bozulmasına sebep olmaktadır. Araştırmalar, biyodizel kullanımında yağlama yağının % 4 - 5 oranında seyrelme olduğunu göstermektedir. Piston-silindir arasında biyodizel yağlama yağına temas eder ve sonuçta yağı bozar. Petrol kaynaklı dizel yakıtı kullanıldığında, yağlama yağına karışan yakıtın büyük kısmı çok hızlı bir şekilde buharlaşırken, biyodizel kullanımında ester moleküllerinin kaynama noktası yüksek olması nedeniyle buharlaşmaz ve motor yağının yapısı kısa zamanda bozulur [8].

Tablo 3.1’ farklı yağlardan üretilen biyodizel ve petrol kaynaklı dizel yakıtın sayısal değerleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde biyodizel yakıtların viskozitesi petrol kaynaklı dizel yakıttan yüksektir. Bu yağlama bakımından avantaj sağlamaktadır. Parlama noktasının yüksek olması taşıma, depolama ve kullanımını güvenli kılmaktadır. Alt ısı değeri baktığımızda biyodizel yakıtların Petrol kaynaklı yakıtlara göre bir miktar düşük olduğunu görmekteyiz.

Tablo 3.1 Çeşitli Kaynaklardan Üretilen Biyodizeller ve Petrol Kaynaklı Dizel Yakıtın Özellikleri [43]

Metil Ester	Viskozite mm ² /s(40 °C)	Yoğunluk kg/m ³ (15 °C)	Parlama Noktası (°C)	LHV (MJ/kg)
Ayçiçeği ME	4,22	880	170	35,92
Fındık ME	3,59	860	128	38,7
Kanola ME	4,48	888	162	38,24
Pamuk yağı ME	3,69	880	164	39,16
Zeytinyağı atığı ME	5,29	882,3	169	39,67
Soya ME	4,08	885	174	37,56
Kızartmalık atık yağ ME	4,3	880	150	38,25
Yemelik atık yağ metil esterleri (RCOME)	4,6	883	152	37,9
Kullanılmış zeytinyağı ME	5,29	880,1	169	37,5
Kullanılmış kanola ME	6,3	885	190	36,5
Dizel	2,9-3,5	840	>55	42,7

3.1.2. Biyodizelin avantaj ve dezavantajları

- Belli bir bölgeye bağlı kalmadan her yerde üretilebilen alternatif bir enerji kaynağıdır. Enerji bağımlılığını azaltır.

- Bir iş süreci dahilinde üretildiği için tarım, sanayide yeni iş alanları oluşturarak işsizliğin azaltılmasında etkili olur.
- Petrol kökenli dizel yakıt ile hemen hemen benzer özellikler taşıdığı için dizel yakıtla her oranda karıştırılarak kullanılabilir. Bu durumda dizel yakıtın kalitesini artırır. Aynı zamanda dizel motorda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmaz.
- İçerisinde herhangi bir kanserojen, aromatik madde içermediği için çevreye zararı yoktur. Doğada çok hızlı bir şekilde bozulur.
- Atık yağların değerlendirilmesini ve çevreye zararını azaltmayı sağlar.
- Setan sayısının yüksek olması parlamayı kolaylaştırır ve içerdiği %10 oksijen ile yanmayı iyileştirerek eksik yanma ürünü olan HC, CO, PM emisyonlarının azalmasında etkili olur.
- Isıl değeri bir miktar düşüktür bu da özgül yakıt tüketiminde bir miktar artışa sebep olur.
- %100 biyodizel kullanıldığında biyodizelin aşındırıcı özelliğinden ötürü yakıt hattında malzeme seçiminde dikkat edilmesi gerekir.
- Oksitlenme eğilim yüksektir. Hava ile teması halinde çok hızlı bir şekilde oksitlenir.
- Soğuk akış özelliği kötüdür. Soğuk iklimlerde sorunlara neden olabilir.
- İçerdiği oksijen nedeniyle yanma sırasında fazladan oksijen NO emisyonları oluşumunu artırır [28-34].

3.1.3. Dünyada ve Türkiye’de biyodizel

Biyodizel, sağladığı çevresel ve ekonomik birçok avantajıyla birlik alternatif yakıt olarak tüm dünyada ilgi görmektedir. Ülkeler, kendi bölgelerinde yetişen tarım ürünleriyle biyodizel üretimini teşvik etmektedirler. Biyodizel, dizel motorlarda yakıt olması yanında, ısınma, acil durum yakıtı, tamamen yerli kaynaklarla elde edilebildiğinden askeri stratejik yakıt olarak üretilmektedir [28,35,36].

Dünyada alternatif enerji kaynaklarına yönelimin bir sonucu olarak birçok gelişmiş ülke biyodizel üretim tesisleri kurmuştur. Biyodizelin fosil yakıtlara bir alternatif oluşu, petrol üretimi olmayan gelişmiş ülkelerin alternatif yakıtlara sağladığı vergi avantajlarıyla üretimi sürekli artmaktadır. Tablo 3.2’de Avrupa Birliği üyesi ülkelerin 2012 yılı biyodizel üretimi miktarları verilmiştir. Tablo 3.3’de dünyada bazı ülkelerde kurulu biyodizel üretim tesisi kapasiteleri gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Avrupa Birliği Üyesi Ülkelerin 2012 Yılı Biyodizel Üretim Miktarları [8]

Ülke	Üretim Miktarı		Üretim Miktarı (Bin Ton)
	(Bin Ton)	Ülke	
Almanya	4968	Çek Cumhuriyeti	437
İspanya	4391	Finlandiya	340
Hollanda	2517	Romanya	277
Fransa	2456	Danimarka	250
İtalya	2310	İsveç	182
Polonya	884	Macaristan	158
Yunanistan	812	Slovakya	156
Belçika	770	Litvanya	156
İngiltere	574	Letonya	130
Avusturya	535	Slovenya	113
Portekiz	483	Toplam	22899

Avrupa birliği üyesi ülkelerde alternatif enerji kaynaklarına olan yönelim tablo 3.2’de görüldüğü gibi biyodizel üretiminde de kendini göstermektedir. Fosil kaynakların sınırlı oluşu ve gelişmiş ülkelerin var olan ekonomik güçlerini korumak istemeleri diğer enerji kaynaklarına olduğu gibi alternatif bir enerji kaynağı olan biyodizele yatırımı sürekli artırmaktadır. Bu doğrultuda ülkeler yapılan yatırımları teşvik etmektedirler.

Türkiye’de de biyodizel üretimi teşvik edilmektedir. Enerji Piyasası Kurumunun motorin türlerine biyodizel harmanlanması ile ilgili tebliğ gereği motorine %0,5 oranında biyodizel karıştırılması zorunludur [6]. Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak, kendi öz kaynaklarına yönelmek diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de teşvik edilmektedir.

Tablo 3.3 Ülkelere Göre Biyodizel Üretim Tesisi Sayısı ve Kapasiteleri [8]

Ülkeler	Tesis Sayısı	Toplam Kapasitesi (1000 ton)	Ülkeler	Tesis Sayısı	Toplam Kapasitesi (1000 ton)
Avusturya	11	56,2 - 60	İtalya	9	779
Belçika	3	241	Nikaragua	1	
Kanada	1		Slovakya	10	50,5 - 51,5
Çekoslovakya	17	42,5 - 45	İspanya	1	0,5
Danimarka	3	32	İsveç	3	75
Fransa	7	38,1	İsviçre	1	2
Almanya	8	207	İngiltere	1	
Macaristan	17	43695	A.B.D	40	190
İrlanda	9	5	Yugoslavya	2	5

3.1.4. Biyodizel elde etme yöntemleri

Biyodizel eldesinde kullanılan yöntemlerin temel amacı biyo yakıt üretmek için kullanılacak yağın viskozitesinin düşürülerek petrol kaynaklı dizel yakıtı benzetilmesidir. Yüksek viskozite yakıtın püskürtülmesi ile atomizasyonun oluşmasını güçleştirmektedir. Bu da yanma üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Bu amaca yönelik yağa uygulanan işlemler iki grupta ele alınabilir. Bunlar ısıl işlemler ve kimyasal işlemlerdir [28,37,38].

3.1.4.1. Isıl işlemler

Yağın ısıtılarak molekülleri arası bağların zayıflatılması ve viskozitesinin düşmesi amaçlanır [33].

3.1.4.2. Kimyasal İşlemler

Seyreltme

Bitkisel yağın petrol kaynaklı dizel yakıt ile karıştırılması ya da seyreltici bileşikler ile karıştırılması ile yağın viskozitesi düşürülür. Elde edilen yakıt hiçbir değişikliğe gereksinim duyulmadan dizel motorlarda kullanılabilir [32,33].

Mikroemilsüyon

Bitkisel yağların viskozitesinin düşürülmesi için uygulanan bir diğer yöntem mikroemilsüyondür. Bu yöntemde normalde birbirine karışmayan yağ kısa zincirli bir alkolle (etil alkol, metil alkol) karıştırılarak mikroemilsüyon oluşturulur. Yağ kısa zincirli bir alkol ve bir veya daha fazla yüzey etken maddesinin karışımından oluşur. Alkol içerdiği için setan sayısı düşer ve düşük sıcaklıklarda ayrışma durumu gözlenir [32,33].

Piroliz

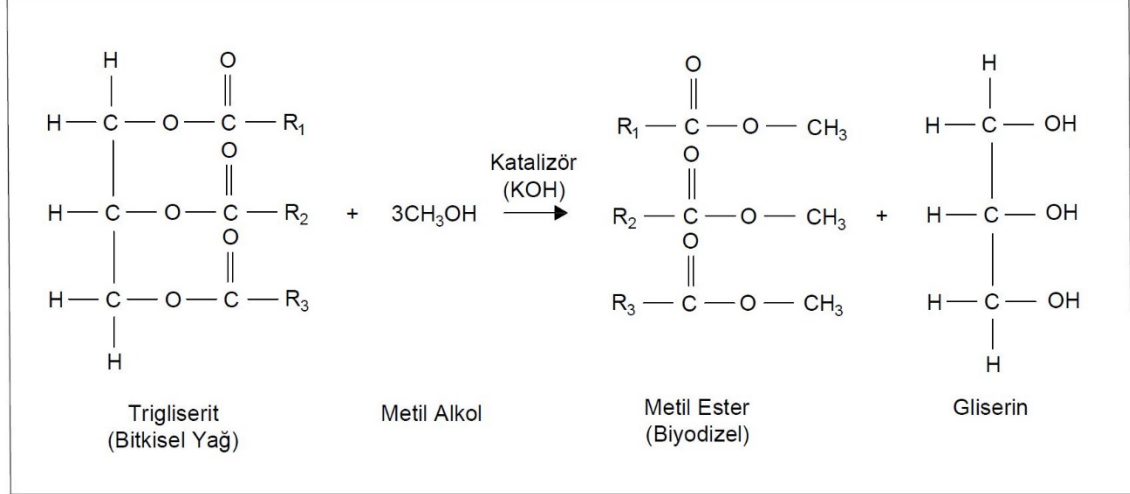
Piroliz, oksijensiz ortamda organik maddelerin ısıl bozunmaya uğratılarak daha küçük moleküllere ayrıştırılması ve viskozitesinin düşürülmesi yöntemidir. Oksijensiz ortamda 450 – 850 °C sıcaklıklarda yağın ısıtılarak moleküler yapısının bozulması sağlanır. Bu yöntemle üretilen yakıt petrol kaynaklı dizel yakıtı yakın özellikler gösterir [30,31].

Transesterifikasyon

Biyodizel yakıtının kolay yolla üretimi, kısa tepkime süresi ve yüksek verimin elde edilmesi sebebiyle günümüzde transesterifikasyon yöntemi en çok tercih edilen yöntemdir. Transesterifikasyon, bitkisel yağın kısa zincirli alkolle bir katalizör eşliğinde esterleştirilmesidir. Transesterifikasyon yakıtın ısıl değerinde çok fazla değişikliğe

sebebiyet vermeden yağın viskozitesini düşürür. Yağ esterleri yaklaşık olarak petrol kaynaklı dizel yakıtın viskasitesinden %50 daha fazladır [48-50].

Transesterifikasyon yönteminde metanol ve etanol en çok kullanılan alkollerdir. Yağın alkolle transesterifikasyonu Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Transesterifikasyon Reaksiyonu [32]

Reaksiyonda katalizör olarak asidik ve bazik (alkali) katalizörler kullanılmaktadır. Alkali katalizörler ile yapılan reaksiyonlar asidik katalizörler ile yapılan reaksiyonlardan daha hızlıdır. Alkali katalizör ile gerçekleştirilen reaksiyonlar oda sıcaklığında gerçekleşebilirken asidik katalizör kullanıldığında hem daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulur hem de daha fazla alkol gerekir. Asidik katalizör olarak hidroklorik, fosforik, sülfirik vb. asitler kullanılır. Alkali katalizör olarak sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sodyum peroksit vb. bileşikler kullanılır [32,33].

Transesterifikasyon olayı; serbest yağ asidi ve nem miktarı, alkol/yağ oranı, katalizör cinsi ve oranı, reaksiyon sıcaklığı ve süresi, karıştırma şiddeti parametrelerine bağlıdır. Seçilen yağa göre kullanılan katalizör, reaksiyon sıcaklığı ve alkol oranı önemli parametrelerdir [48-50].

Süper kritik alkol

Bu yöntemde, transesterifikasyon reaksiyonundan farklı olarak, metil alkol kritik sıcaklık ve basınçta (512 °K ve 8 MPa) katalizör kullanılmadan gerçekleştirilir. Bu şekilde

metanolün dielektrik sabitindeki azalma ile tek faz oluşur ve böylece bitkisel yağ ile metanol arasında faz ayrışması meydana gelmez. Tek fazlı bir sisteme dönüşüm reaksiyonun 2 - 4 dakika gibi çok kısa bir sürede gerçekleşmesini sağlar. Ayrıca katalizör kullanılmadığı için biyodizelin saflaştırılması çok kolaydır. Fakat üretim maliyeti yüksektir [8].

3.1.5. Biyodizelin yakıt olarak kullanılmasının performans ve emisyonlara etkisi

3.1.5.1. Performansa etkisi

Biyodizel kullanıldığında özgül ısısının düşük olması ve viskozitesinin yüksek olması sebebiyle püskürtme sırasında atomizasyonun yeterince iyi gerçekleşmemesi aynı şartlarda çalışan dizel motorda petrol kaynaklı dizel yakıtı göre bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu durum performansa olumsuz yönde yansımaktadır. Biyodizelin oksijen içeriği yanma odasındaki oksijen miktarını artırdığı için yanmayı iyileştirmektedir. Viskozitenin olumsuz etkisini azaltmak ve biyodizelin oksijen içeriğinden faydalanmak için biyodizelin belli oranlarda dizel yakıt ile karıştırılması yakıt kalitesini artırmakta ve yanmayı iyileştirmektedir.

Bulut, [43] Atık bitkisel yağ metil esterlerinin %20 oranında petrol kaynaklı dizel yakıtı karıştırarak ve %100 olarak petrol kaynaklı dizel yakıt ile karşılaştırmıştır. B20 ve B100 yakıtları kullanıldığında güç ve momentte düşüş olduğunu tespit etmiştir. Bu durum biyodizelin özgül ısısının düşüklüğüne bağlıdır.

Biyodizel kullanım oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminde artış tespit etmiştir. Bu durum performans düşüşünün bir göstergesidir. Biyodizelin alt ısı değerinin düşük olması yakıtın yakılması sonucu daha az enerji açığa çıkmasına sebep olmaktadır.

Egzoz gazı sıcaklıklarını incelediğinde biyodizel oranı arttıkça egzoz gazı sıcaklıklarının düştüğünü tespit etmiştir. Bunun sebebi olarak biyodizelin alt ısı değerinin düşük olmasını göstermiştir.

Özsezen ve Çanakçı, [31] Atık palmye ve kanola yağlarından ürettikleri biyodizeller ile yaptıkları çalışmada metil esterlerin güç ve ÖYT parametreleri açısından benzer özellikler gösterdiğini, petrol kaynaklı dizel yakıtı göre güçte %2 lik bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Özgül yakıt tüketiminde %6'lık bir artış olduğunu

gözlemlemiştir. Bunun sebebi olarak da metil ester yakıtların enerjilerinin petrol kaynaklı dizel yakıtı göre %9,6 daha az olmasını göstermiştir.

Düşük ve yüksek devirlerde petrol kaynaklı dizel yakıtın ısı veriminin daha yüksek olmasına rağmen maksimum torkun alındığı orta devir aralıklarında yakıtların ısı verimlerinin benzer özellikler gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bunun sebebi biyodizelin viskozitesinin yüksek olmasıdır.

3.1.5.2. Emisyonlara etkisi

Biyodizel yapısında bulundurduğu oksijen sayesinde yanmayı iyileştirmekte ve eksik yanma ürünü olan CO, HC ve is emisyonlarını önemli ölçüde düşürmektedir. Eksik yanma ürünü emisyonlarının düşmesi beraberinde tam yanma ürünü olan CO₂ emisyonunda da bir miktar artışa sebep olmaktadır. Biyodizel kullanımı, yapısında kükürt bulunmaması herhangi bir katkı içermemesi dolayısıyla doğaya zarar verici emisyon oluşumunu en aza indirmektedir.

Alt ısı değerinin düşük olması yanma odası sıcaklıklarını ve egzoz sıcaklıklarını düşürmektedir. Ancak termal bariyer kaplamalı motorlarda kullanıldığında oluşan yüksek sıcaklıklar ile birlikte yapısında bulunan oksijenle NO_x emisyonlarının ciddi oranda artmasına sebep olmaktadır.

Özsezen ve Çanakçı, [31] çalışmalarında kullandıkları farklı metil esterler ile petrol kaynaklı dizel yakıtı göre CO emisyonlarında %29 – 36, HC emisyonlarında %11 – 17, duman yoğunluğunda ise %33 – 40 oranlarında iyileşme tespit etmişlerdir. Bu sonucu biyodizel yakıtlar içinde bulunan %10 kadar oksijenin reaksiyon hızını artırarak yanmayı iyileştirmesine bağlamaktadırlar.

NO_x oranları incelendiğinde bu sefer biyodizelin yapısında bulunan %10 kadar oksijenin NO_x emisyonlarını artırıcı yönde etki ettiğini tespit etmişlerdir. Petrol kaynaklı dizel yakıtı göre %1 – 13 kadar NO_x emisyonlarında artış olduğunu ifade etmektedirler.

Açıkalın, [2] çalışmasında biyodizel yakıtı farklı oranlarda petrol kaynaklı dizel yakıtı karıştırarak elde ettiği yakıtları petrol kaynaklı dizel yakıtı ile kıyaslamıştır. Karışım içerisinde biyodizel oranı arttıkça yanma sonucu açığa çıkan NO_x emisyonlarında artış gözlemlemiştir. Bu durumun, biyodizelin viskozitesinin yüksek olması dolayısıyla

püskürtme sonucu atomizasyonun tam olarak sağlanamaması ve soğuk bölgelerde yakıt birikmesi ile bu yakıtın kontrolsüz yanması sonucu açığa çıkan yüksek sıcaklıklar ile oluştuğunu ifade etmektedir.

Biyodizelin duman koyuluğu üzerine olumlu etki ettiğini tespit etmiştir. Yakıt karışımındaki biyodizel oranı arttıkça duman koyuluğundaki iyileşmede artmaktadır. Duman koyuluğunda %10, %40 ve %100 biyodizel karışım oranlarında petrol kaynaklı dizel yakıtı göre %10,5, %19,1 ve %34,4 oranlarında iyileşme olduğunu gözlemlemiştir. Bu durumu Biyodizelin içerdiği %10 kadar oksijene bağlamaktadır.

Biyodizel PM emisyonları üzerinde de olumlu etkiye sebep olmuştur. Biyodizel oranı arttıkça PM emisyonlarının düştüğünü tespit etmiştir. %20, %40 ve %100 oranda biyodizel karışımlarında sırasıyla petrol kaynaklı dizel yakıtı göre %14,3, %25 ve %42,4 iyileşme olduğunu gözlemlemiştir. Bunun da biyodizelin içerdiği %10 oksijenden kaynaklandığını ifade etmektedir.

3.2. Aşırı Doldurma

Dizel motorlar emilen havanın sıkıştırılıp üzerine yakıt püskürtülmesi ve bu yakıtın alev alması sonucu açığa çıkan enerjiyle yakıt hava karışımının genişerek pistonu ileri doğru itmesiyle çalışır. Hava ve yakıt miktarı ne kadar fazla olursa itme enerjisi o kadar fazla olur. Doğal emişli motorlarda yanma odasına alınan hava strok hacmi ile sınırlıdır. Daha fazla hava alabilmek için daha fazla strok hacmi gerekir. Bu durumda aşırı doldurma devreye girer. Aşırı doldurma ile hava sıkıştırılarak daha fazla miktarda yanma odasına gönderilir. Böylece yanma odasına daha fazla hacimde ve basınçta hava girer, daha küçük motordan daha fazla performans alınması sağlanır [16,17].

Aşırı doldurma hem otto motorlarda hem de dizel motorlarda kullanılabilir. Ancak otto motorlarda sıkıştırma oranının sınırlı olmasından dolayı aşırı doldurma daha çok dizel motorlarında tercih edilen bir uygulama olmuştur. Aşırı doldurma uygulaması, motorun performanslarını yükseltirken, gürültü ve egzoz emisyonlarını azaltmaktadır [16,17]

3.2.1. Aşırı doldurma yöntemleri

Aşırı doldurma sistemleri havayı sıkıştıran kompresör ve kompresörü tahrik eden eden bir tahrik ünitesinden oluşur. Aşırı doldurma sistemleri tahrik sistemine göre farklı

yöntemler altında incelenir [20]. Tahrik sistemleri farklı olmasına rağmen çalışma mantığı tüm yöntemlerde aynıdır.

- Enerjisini dış kaynaktan alan aşırı doldurma
- Mekanik aşırı doldurma
- Turbo kompresör [51,52]

3.2.1.1. Enerjisini dış kaynaktan alan aşırı doldurma

Kompresöre tahrikin motor dışında bir kaynaktan sağlandığı aşırı doldurma yöntemidir. Bu yöntemde kompresöre tahrik şebeke elektriğinden beslenen bir elektrik motoru veya beslenen motor dışında başka bir motordan verilebilir. Motor kompresörü çevirmek için bir enerji harcamayacağından güç kaybına sebebiyet vermez [51,52]. Bu sistemde herhangi bir kayba sebebiyet verilmesi de ilave bir güç kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Taşıtı üzerinde kullanıldığında ilave ağırlıklara sebep olur.

3.2.1.2. Mekanik aşırı doldurma

Motora dişli veya kayış ile bağlanan kompresör ile uygulanan aşırı doldurma yöntemidir. Enerjisini direkt motordan aldığı için bir miktar performans kaybına sebep olur. Ayrıca mekanik aşırı doldurmada kompresörün devir sayısı sınırlıdır (10000 – 15000 dev/dk).

Mekanik aşırı doldurma sistemleri direkt motordan tahrik aldığı için diğer yöntemlere göre daha kararlıdır. Debi, doğrudan motor devrine bağlıdır. Çıkış basıncındaki değişimden etkilenmezler [20].

3.2.1.3. Turbo kompresör

Yanma sonu çıkan egzoz gazlarının bir türbin vasıtasıyla işe dönüştürülüp bu işle kompresörün tahrik edildiği sistemlerdir. Motor miline mekanik olarak herhangi bir bağlantıları olmadığı için performans çok fazla performans kaybına sebep olmazlar. Ancak özellikle düşük devirlerde egzoz basıncının düşük olduğu durumlarda gaz akışı önünde oluşturdukları dirençten dolayı egzoz gazının atılmasını zorlaştırırlar. Bu da bir miktar performans düşüklüğüne sebep olur. Boyut olarak küçük olması, maliyetinin

düşük olması, performansının çok yüksek olması sebebiyle otomotiv sektöründe en çok tercih edilen yöntemdir [52].

3.2.2. Aşırı doldurmanın avantajları ve dezavantajları

- Küçük motor hacmiyle daha fazla güç elde edilebilir.
- Motor performansının dış ortam havasına bağıllığı azaltılır. Volümetrik verim yükseltilir.
- Soğutma sistemine giden ısı azaldığı için daha küçük soğutma sistemleri kullanılabilir.
- Gürültü azalır.
- Egzoz emisyonlarında düşme sağlanır.
- Motor üzerinde daha büyük termal ve mekanik yüklere sebep olur.
- Turbo şarjlı sistemlerde düşük devirlerde düşük dönme sayısı nedeniyle performansta düşme görülür [16,17].

3.2.3. Aşırı doldurmanın sınırları

Aşırı doldurma dizel motorlarda motorun mekanik olarak dayanabileceği basınç ile sınırlıdır. Motorun tasarım ve emniyet şartlarının izin verdiği ölçüde aşırı doldurma uygulanabilir [16,17].

Otto motorlarda ise durum farklıdır. Otto motorlarda yakıt hava karışımı beraber sıkıştırılır. Yanma buji ile kontrollü başlatılır. Eğer aşırı doldurma ile sıkıştırma oranı çok yükseltilirse yanma sıkıştırma sırasında kontrolsüz başlar. Bu da vuruntu, performans düşüklüğü, mekanik olarak zorlanmalara sebep olur [51,52].

3.2.4. Aşırı doldurmanın performans ve emisyonlara etkisi

Aşırı doldurma uygulaması volümetrik verimi artırdığı için performansı artırmaktadır. Yanma odası içerisine alınan fazla hava yanmayı iyileştirdiği gibi yanma sonu enerjisinin bir kısmını üzerine alarak soğutma sistemi üzerindeki yükü azaltır. Daha küçük motordan daha yüksek performans almamızı sağlar [20].

Yanmadaki iyileşme ile egzoz emisyonlarını düşürür. Yanma odası içerisinde sağladığı hava fazlalığı ile eksik yanma ürünü emisyonların azalmasında etkilidir.

Yazıcı, [17] çalışmasında doğal emişli bir dizel motora aşırı doldurma uygulamış ve motor performansının önemli ölçüde attığını tespit etmiştir. Doldurucu çıkış havasının motora gönderilmeden soğutulmasının verimi artırdığını ifade etmiştir.

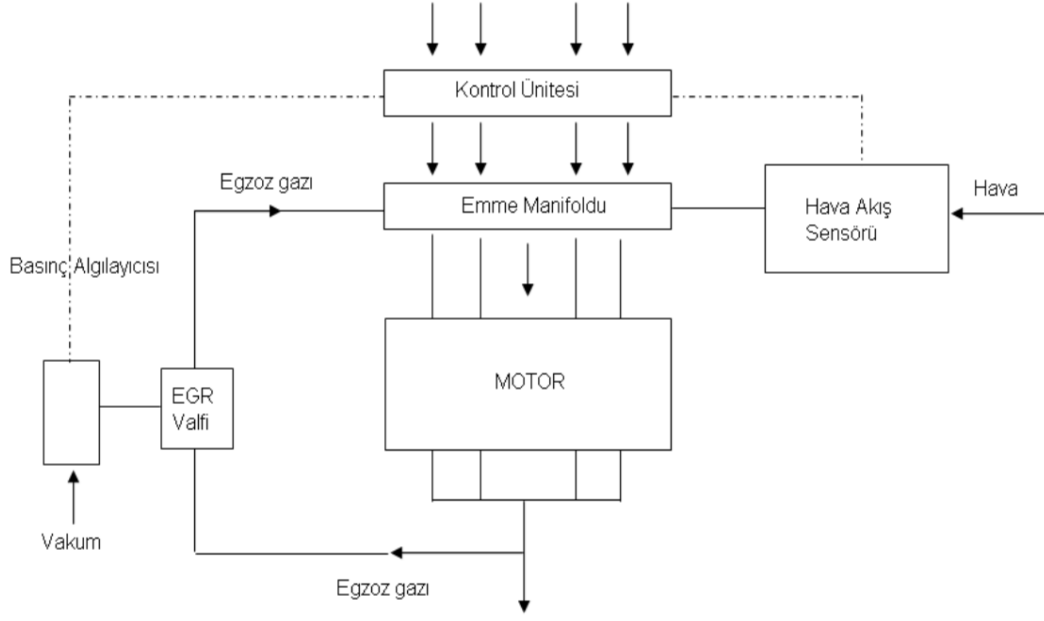
Arslan, [20] çalışmasında turbo şarj uyguladığı dizel motorunda performansın arttığını tespit etmiştir. Motor devri arttıkça bu iyileşmenin azaldığını ifade etmektedir. Bu durumu yükselen yanma odası sıcaklığı dolayısıyla volümetrik verimin düşmesine bağlamaktadır. Güçteki farkın 1400 dev/dk'de %12 iken, 2400 dev/dk %1 olduğunu gözlemlemiştir.

Özgül yakıt tüketiminin de arttığını tespit etmiştir. Devir sayısı arttıkça bu farkın arttığını ifade etmektedir. 1400 dev/dk'de fark %7 iken 2400 dev/dk'de %20 olduğunu gözlemlemiştir.

3.3. Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR)

Motorun icat edildiğinde yapılan bütün çalışmalar motor performansını artırmak içindi. Zamanla motorların enerji üretmek için yaktığı yakıtlar sonucu çevreye salınan gazların doğa ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerinin tespit edilmesiyle bu emisyonların düşürülmesi için sınırlamalar koyuldu ve buna yönelik çalışmalar yapılmaya başlandı. EGR, daha çok dizel motorlarda açığa çıkan NO_x gazlarının azaltılmasına yönelik bir yöntem olarak geliştirildi [53].

Performansın iyileşmesi için uygulanan yöntemler büyük oranda yanmanın iyileştirilmesi ile sağlanır ancak iyileşen yanma sonucu oluşan yüksek sıcaklıklar (>1600 °C) NO_x emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. EGR, egzoz gazının belli bir oranda, bir valften geçirilip, filtre edilerek emme manifolduna yönlendirilmesidir. Bu yöntemle hava kalitesi bir miktar düşürülerek yanmanın kötüleştirilir, yüksek sıcaklıkların oluşmasının engellenir ve NO_x emisyonlarını oluşturan reaksiyonların önüne geçilir [11,18,54]. Ancak beraberinde performansta da bir miktar düşüş olur. EGR'nin çalışma prensibi şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. EGR Çalışma Prensibi [18]

3.3.1. EGR'nin dizel motorlara etkileri

- EGR alev sıcaklığını düşürerek NO_x emisyonunun önüne geçer.
- Tutuşma gecikmesini uzatır.
- Yanma kalitesini düşürdüğü için is oluşumunu artırır.
- Motor parçalarındaki aşınmayı artırır.
- Özgül yakıt tüketimini artırır.
- Güç ve torkta düşüşe neden olur [54].

3.3.2. EGR'nin motor performansı ve emisyonlara etkisi

EGR'nin uygulanmasındaki amaç NO_x emisyonlarını düşürmektir. Ülkelerin yayınladıkları standartların sağlanması için performanstan bir miktar fedakarlık edilmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde optimum değere yakalanmaya çalışılmış ve en az performans kaybıyla NO_x emisyonları en fazla ne kadar düşürülebilirin üzerinde durulmuştur.

Haşimoğu ve arkadaşları [11] çalışmalarında farklı oranlarda EGR uygulayarak sonuçlarını gözlemlemişlerdir. EGR oranı arttıa performans değerlerinde düşüş tespit etmişlerdir. Yüksek devirlerde bu düşüşün daha fazla olduğunu ifade etmektedirler. %10 EGR uygulandığında performansta %10 düşüş olduğunu EGR oranı arttıa bu düşüşün arttığını ifade etmektedirler.

EGR'nin duman koyuluğunuda %5 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir. Bunun yanında NO emisyonunun EGR oranı arttıa dşüştğünü gözlemlemişlerdir. Standart duruma göre %10 EGR uygulamasında %35, %20 EGR uygulamasında %75 oranında NO emisyonlarında düşüş tespit etmişlerdir. %30 EGR uygulamasında NO emisyonunu sıfır okuduklarını ifade etmektedirler.

Tok, [18] çalışmasında farklı oranlarda EGR uygulamasının performans ve emisyonlara etkisini incelemiştir. Gücün EGR oranı arttıa azaldığını tespit etmiştir. Kaybı %10 EGR uyguladığında %7,75 olarak gözlemlerken, %30 EGR oranında %22,5 olduğunu grmştir. %20 EGR ve üzerinde yüksek devirlerde güçte aşırı düşüş olduğunu tespit etmiştir. Özgül yakıt tkretiminin de buna bağlı olarak EGR oranı arttıa arttığını tespit etmiştir.

EGR'nin egzoz emisyonları üzerine etkilerini incelediğinde duman koyuluğunun düşük devirlerde birbirlerine yakın olduğunu devir yükseldikçe EGR oranına bağlı olarak duman koyuluğunda artma olduğunu tespit etmiştir. CO ve HC emisyonlarında da EGR oranına bağlı olarak artış tespit etmiştir. Yanmanın kötüleşmesinin bu emisyonları tetiklediğini ifade etmektedir. NO emisyonlarını incelediğinde %10 EGR oranında %34, %30 EGR oranında %86 kadar iyileşme tespit etmiştir. EGR ile oksijen konsantrasyonunun düşmesi yanma hızı ve bölgesel sıcak bölgelerin azalmasının NO emisyonlarını düşürdüğünü ifade etmektedir.

zveren, [54] çalışmasında %20- %26 oranlarında EGR uygulamış ve motor performansı ve emisyonlara etkisi incelemiştir. EGR uygulandığında motor gücünde çok az düşüş tespit etmiştir. Bunu yanma odasına alınan egzoz gazı sonu yanmanın kötüleşmesinden kaynaklandığını ifade etmektedir. Özgül yakıt tkretiminde de artma tespit etmiştir. Yanma odasına alınan havanın EGR ile oksijen konsantrasyonunun düşürülmesi sonucu yanma reaksiyonu dşmştir. Dolayısıyla bir miktar yakıtın yanmadan dışarı atıldığını bunun da özgül yakıt tkretimini arttırdığını ifade etmektedir.

Artan EGR oranı ile birlikte NO emisyonlarının ciddi miktarda düştüğünü tespit etmiştir. Bu durumu reaksiyon hızının düşmesi sonucu maksimum sıcaklığın oluştuğı noktayı geciktirmesine ve yanma odası sıcaklığının düşük kalmasına bağlamaktadır. Yanmada yaşana kötüleşme ile CO₂, CO, HC emisyonlarının da kötüleştiğini tespit etmiştir.



BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Seramik Kaplama

Piston başı plazma sprej yöntemiyle $ZrO_2 - MgO$ malzemesi ile kaplanmıştır. Önce kaplamanın yapılacağı kalınlıkta yüzey tıraşlanmıştır. Tıraşlanan yüzey kumlama ile malzemenin bağlanabilmesi için pürüzlendirilmiştir. Sonra yüzeye ara bağlayıcı malzeme püskürtülmüş ve malzemenin bağlanabilmesi için gerekli yüzey şartları oluşturulmuştur. $ZrO_2 - MgO$ malzemesi ile yüzey kaplanmıştır. Kaplamanın özellikleri tablo 4.1’de verilmiştir. Sadece piston yüzeyi kaplanmıştır. Şekil 4.1’de kaplama yapılan piston yüzeyi görülmektedir. Şekildeki gibi Pistonun motor üzerine montajı yapılarak ölçüleri kontrol edilmiştir.

Tablo 4.1. Kaplama Malzemesinin Özellikleri [10,12]

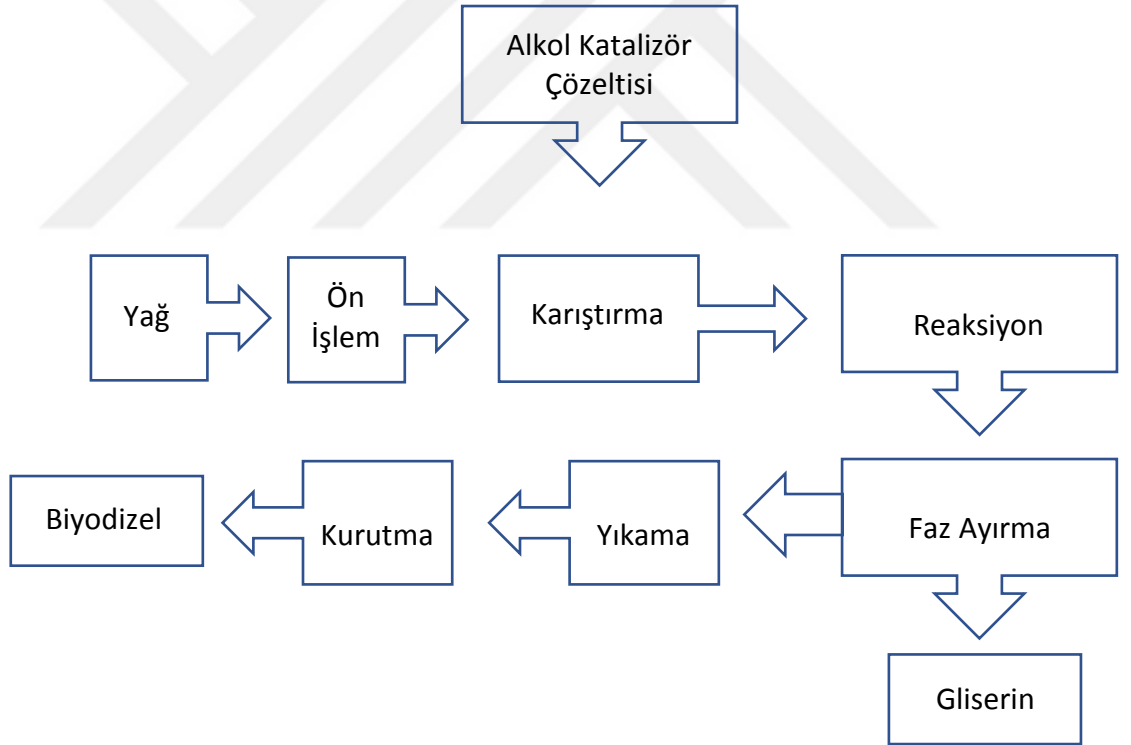
Malzeme	Ergime Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)	Mukavemet (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Sertlik (kg/mm ²)	Tokluk K ₁₀
ZrO ₂ - MgO	2700	5,6	110 - 130	17 - 25	1200	6 - 9



Şekil 4.1. Seramik Kaplama Uygulanmış Piston

4.2. Biyodizel Üretimi

Bu çalışma için transesterifikasyon yöntemiyle pamuk yağından biyodizel üretilmiştir. Pamuk yağı metanol ile sodyum hidroksit katalizörü eşliğinde esterleştirilmiştir. Pamuk yağının 1/5'i oranında metanol ve 1 litre yağa 4 g sodyum hidroksit kullanılmıştır. Sodyum hidroksit alkol içinde çözündürülmüştür. Yağ 60 °C sıcaklığına kadar ısıtılmıştır. Elde edilen çözelti yağa karıştırılarak mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılmış ve reaksiyonun gerçekleşmesi beklenmiştir. Reaksiyon tamamlandığında dibе çöken gliserin ayrıştırma kabı vasıtasıyla ayrıştırılmıştır. Daha sonra kalan biyodizele saf su ilave edilerek içinde kalan katalizör ve alkol kalıntılarının ayrışması sağlanmıştır. Su ve alkol sonrasında buharlaştırılarak biyodizelden ayrıştırılmıştır. Şekil.4.2'de biyodizel üretimi iş akışı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Transesterifikasyon akış şeması

Elde edilen biyodizel kütleli olarak hassas terazi yardımıyla %10, %20 ve %50 oranlarında petrol kaynaklı dizel yakıtı karıştırılarak sırasıyla B10, B20 ve B50 yakıtları

elde edilmiştir. Bu yakıtlar ekstra hiçbir değişiklik yapılmadan dizel motorda yakıt olarak kullanılmıştır. Pamuk yağı metil esterinin özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Pamuk Yağı Metil Esteri Özellikleri [43]

Metil Ester	Viskosite (mm ² /s) (40 °C)	Yoğunluk (kg/m ³)(15 °C)	Parlama Noktası (°C)	LHV (Kj/Kg)
Pamuk Yağı	3,69	880	164	39160

4.3. Aşırı Doldurma

Aşırı doldurma ünitesi dışarıdan elektrik ile tahrik edilen kompresör ve elektrik motorundan oluşmaktadır. Elektrik motoru motor sürücü devresi ile kontrol edilmektedir. Çıkış hattına bağlı bir basınç sensörü ve buna bağlı bir elektronik devre ile istenen aşırı doldurma basıncı sisteme girilerek sistem çalıştırılmaktadır.

Aşırı doldurma sistemi emme hattına vanalar ile bağlıdır kullanılmadığı takdirde aşırı doldurma sisteminden hava geçişi olmamaktadır. Deneyler esnasında tüm devirlerde aşırı doldurma basıncı 1,2 bar olarak uygulanmıştır. Şekil 4.3 kullanılan aşırı doldurma ünitesinin fotoğrafıdır.



Şekil 4.3. Aşırı Doldurma Sistemi

4.4. EGR

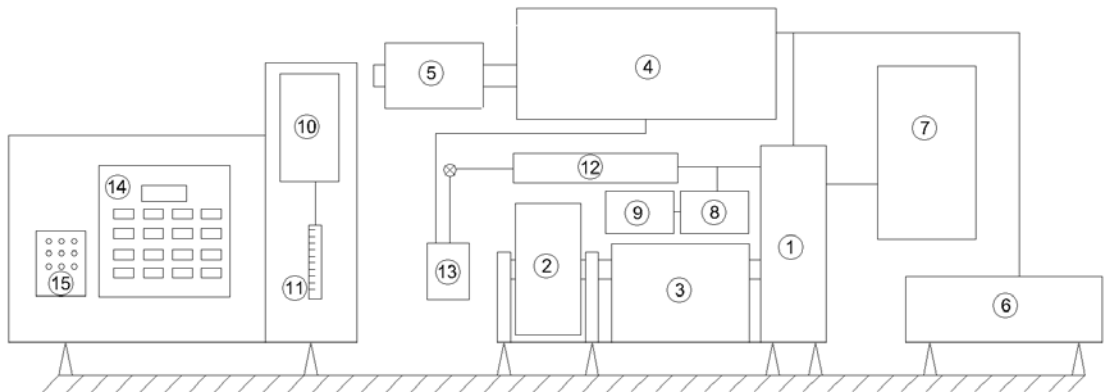
Egzoz gazının emme manifolduna taşınması için bir EGR sistemi tasarlanmıştır. Egzoz çıkışından T dirsek vasıtasıyla bir hat çekilmiştir. Bu hat sıcak egzoz gazının soğutulması için bir eşanjör ve yoğuşma kabına bağlanmıştır yoğuşma kabından çıkan hat bir kelebek valfden geçirilerek emme hattına bağlanmıştır. EGR bağlantısı emme hattına türbülans oluşturacak şekilde bağlanmış ve egzoz gazının hava ile tam karışması sağlanmıştır. Aynı devir şartlarında egzoz hattındaki CO₂ emisyonu ile formül 4.1'e göre hesaplama yapılarak emme manifolduna verilmesi gereken egzoz gazı tespit edilmiştir. İstenen oranda egzoz gazının emme manifolduna yönlendirebilmek için kelebek valf ile ayarlama yapılarak emme hattındaki CO₂ emisyonu ölçülmüştür. Emme manifoldunda ki CO₂ miktarını ölçmek için emme hattına EGR bağlantısının sonrasına bir boru vasıtasıyla emisyon ölçüm cihazına bir hat çekilmiştir.

$$\%EGR = \frac{CO_2(Emme\ Manifoldu)}{CO_2(Egzoz\ Manifoldu)} \times 100 \quad [4.1]$$

Emme hattındaki istenilen değere gelince veri alınmaya başlanmıştır.

4.5. Deney Düzeneği

Deney düzeneği şematik olarak şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Deney düzeneği şematik görünümü

1) Motor, 2) Hidrolik dinamometre, 3) Koruma sacı, 4) Hava tankı, 5) Hava akış ölçer, 6) Aşırı doldurma ünitesi, 7) Motor soğutma suyu ve yağı sıcaklık ayar sistemi, 8) Duman koyuluğu ölçüm cihazı, 9) Egzoz emisyon ölçüm cihazı, 10) Yakıt deposu, 11) Hacimsel yakıt debi ölçüm kabı, 12) EGR gazı soğutma eşanjörü, 13) EGR gazı yoğuşma kabı, 14) Gösterge panosu, 15) Kontrol paneli.

4.5.1. Deney motoru

Deneyde Süper Star marka tek silindirli direkt püskürtmeli dizel motoru kullanılmıştır. Motorun teknik değerleri tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Deney Motoru Özellikleri

Motor Tipi	Süper Star
Piston Çapı [mm]	108
Strok [mm]	100
Silindir Sayısı	1
Strok Hacmi [dm ³]	0,92
Güç, 2200 d/d, [kW]	13
Enjektör Açma Basıncı [bar]	225
Püskürtme Avansı [Krank Açısı]	29
Sıkıştırma Oranı	17
Maksimum Devir [d/d]	3000
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon
Piston Tipi	Çanak Piston

4.5.2. Dinamometre ve yük ölçümü

Deney düzeneğinde motoru yüklemek için hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre 4 bar basınç üretebilen hidrofor ile su deposundan beslenmiştir. Çalışma sırasında suyun soğutulması için tesisata soğutucu bağlanmıştır. Ölçüm için dinamometrenin ucuna S tipi Esit marka özellikleri tablo 4.4’de verilen loadcell kullanılmıştır.

Tablo 4.4. Loadcell Özellikleri

Marka/Model	Kapasite	Hassasiyet	Çalışma Sıcaklığı
Esit STSC 50	50 Kg	$\leq \pm 0.05 \leq \pm 0.02$	-10 °C ... +40 °C

$$F = m \times g \quad [4.2]$$

$$M_d = F \times L \quad [4.3]$$

Döndürme momenti M_d (Nm), Kuvvet F (N), Yük m (kg), yerçekimi ivmesi g , kuvvet kolu uzunluğu L .

$$P_e = \frac{2 \times \pi \times F \times L \times n}{1000 \times 60} \quad [4.4]$$

Efektif güç P_e (kw), devir n (dev/dk)

Formülleriyle güç ve döndürme momenti hesaplanır [1].

$$\eta_e = \frac{P_e}{m_y \times H_u} \quad [4.5]$$

Efektif verim η_e , alt ısı değer H_u (kj/kg)

4.5.3. Yakıt tüketimi ölçümü

Düzenekte yakıt ölçümü hacimsel olarak yapılmıştır. 25 cm³ 'lük aralıklarda yakıtın kullanımını kronometre ile kontrol edilmiştir. Hacimsel olarak ölçülen yakıt debisinden formül 4.6 ile kütleli yakıt debisi, formül 4.7 ile özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Yakıt ölçüm kabı

Şekil 4.5' kullanılarak hacimsel yakıt ölçümü yapılmaktadır.

$$m_y = \frac{\Delta V_y \times \rho_y}{\Delta t} \quad [4.6]$$

Birim zamanda tüketilen yakıt m_y (g), tüketilen yakıt hacmi ΔV_y (cm^3), yakıt yoğunluğu ρ_y (gr/cm^3), zaman Δt (s).

$$b_e = \frac{3600 \times m_y}{P_e} \quad [4.7]$$

Özgül yakıt tüketimi b_e (g/kwh)

Formülleri kullanılarak özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır [1].

4.5.4. Deney düzeneğinde kullanılan sensörler ve özellikleri

Deneylerde motor soğutma suyu giriş çıkış sıcaklığı, emme manifoldu sıcaklığı, ortam sıcaklığı, egzoz gazı sıcaklığı, motor yağı sıcaklığı ve motor devri ölçülmüş, bu ölçümlerde tablo 4.5'de özellikleri verilen sensörler kullanılmıştır.

Tablo 4.5. Sensörler ve özellikleri

Enda NTC-LPS-XXS Sıcaklık Sensörü	-60 <...< +150 °C Çalışma aralığı	-	±0,5 °C doğruluk payı
Egzoz gazı sıcaklık Sensörü	200<...<1200 °C Çalışma aralığı	NiCr-Ni K Tipi Termokupl	-
Devir Sensörü	-	Proximity Sensör	-

4.5.5. Emisyon ölçüm cihazları

Deney düzeneğinde egzoz emisyonlarının ölçümünde Bosch BEA 070 duman koyuluğu ölçme cihazı ve Bosch BEA 550 kombine egzoz gazı ölçme cihazı kullanılmıştır. Cihazların ölçüm aralıkları tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. Emisyon Ölçüm Cihazları Özellikleri

Model	Ölçüm Aralığı
Bosch BEA 550	CO: %(0-10) / %0,001 hacimce CO ₂ : %(0-18) / %0,01 hacimce HC: (0-9999) ppm / 1 ppm hacimce O ₂ : %(0-22) / %0,01 hacimce λ : 0,5 – 9,9999 NO: (0-9999)
Bosch BEA 070	Opasite çözünürlüğü: %(0-100) (%0,1 hassasiyet) Işık absorpsiyon çözünürlüğü (m ⁻¹): 0-9,9 (0,01 hassasiyet)

BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Deneylere başlamadan önce optimum avansı tespit etmek için avan taraması yapılmıştır. Optimum avans değeri 29° KMA olarak tespit edilmiştir. Standart motorda deneyler bu avans değeri ile yapılmıştır. Kısmi yalıtımlı motora geçildiğinde yanma odası karakteristiğinin değişmesi dolayısıyla 26°, 29° ve 32° KMA avans değerlerinde avan taraması yapılmış ve performans ve emisyonlar açısından en iyi değerin 26° avans olduğu tespit edilmiştir. Kısmi yalıtımlı motorda çalışmalar 26° KMA avans değeri üzerinden devam ettirilmiştir.

Deneyler tam yük şartlarında yapılmıştır. Kullanılan yakıtlar kütlece %10 (B10), %20 (B20), %50 (B50) oranlarında pamuk yağı metil esteri içeren petrol kaynaklı dizel karışımı yakıtlar ve %100 (Dizel) petrol kaynaklı dizel yakıt içeren yakıtlardır.

Dizel motorlarda yanmanın iyileşmesi için gerek duyulan oksijen fazlalığının sağlanabilmesi için aşırı doldurma uygulanarak aşırı doldurmanın etkileri gözlemlenmiştir. Aşırı doldurma 1,2 bar olarak uygulanmıştır.

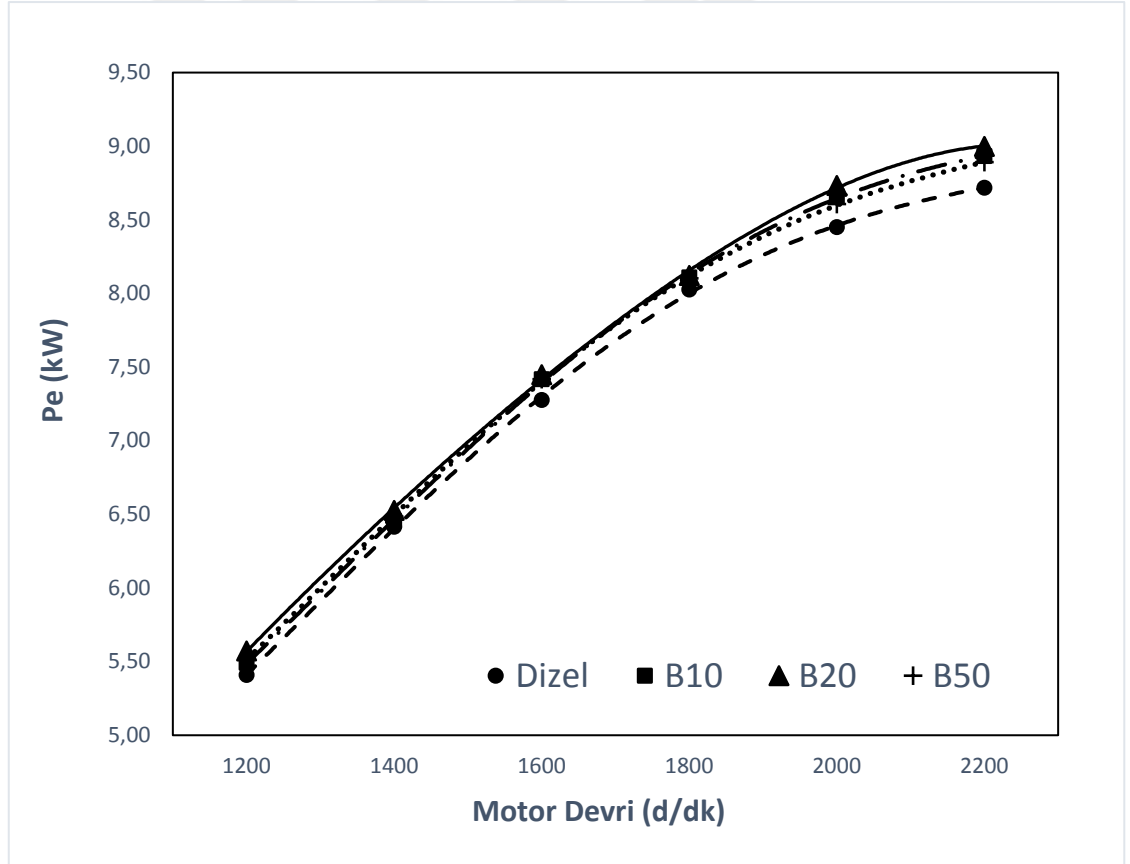
Kısmi yalıtımlı dizel motorlarında yüksek yanma odası sıcaklıkları oluşması, biyodizel kullanılması ve aşırı doldurma NO_x emisyonlarını yükseltmektedir. Avans miktarını düşürerek bu emisyonların büyük ölçüde azaltılması sağlanmıştır. Daha da azaltmak için %10 EGR uygulanmış ve sonuçları gözlemlenmiştir.

5.1. Standart Motorda Biyodizel ve Dizel Yakıtın Kıyaslanması

B10, B20, B50 pamuk yağı metil esteri ve petrol kaynaklı dizel yakıt doğal emişli standart motorda kullanıldığında biyodizelin içerdiği %10 kadar oksijenin yanmayı iyileştirdiği efektif güç ve döndürme momentinde artış sağladığı tespit edilmiştir. Efektif güç ve döndürme momentinde sağlanan bu artış özgül yakıt tüketiminin de düşmesini sağlamıştır. Efektif verimde buna bağlı olarak artmıştır. En iyi sonuç B20 yakıt ile

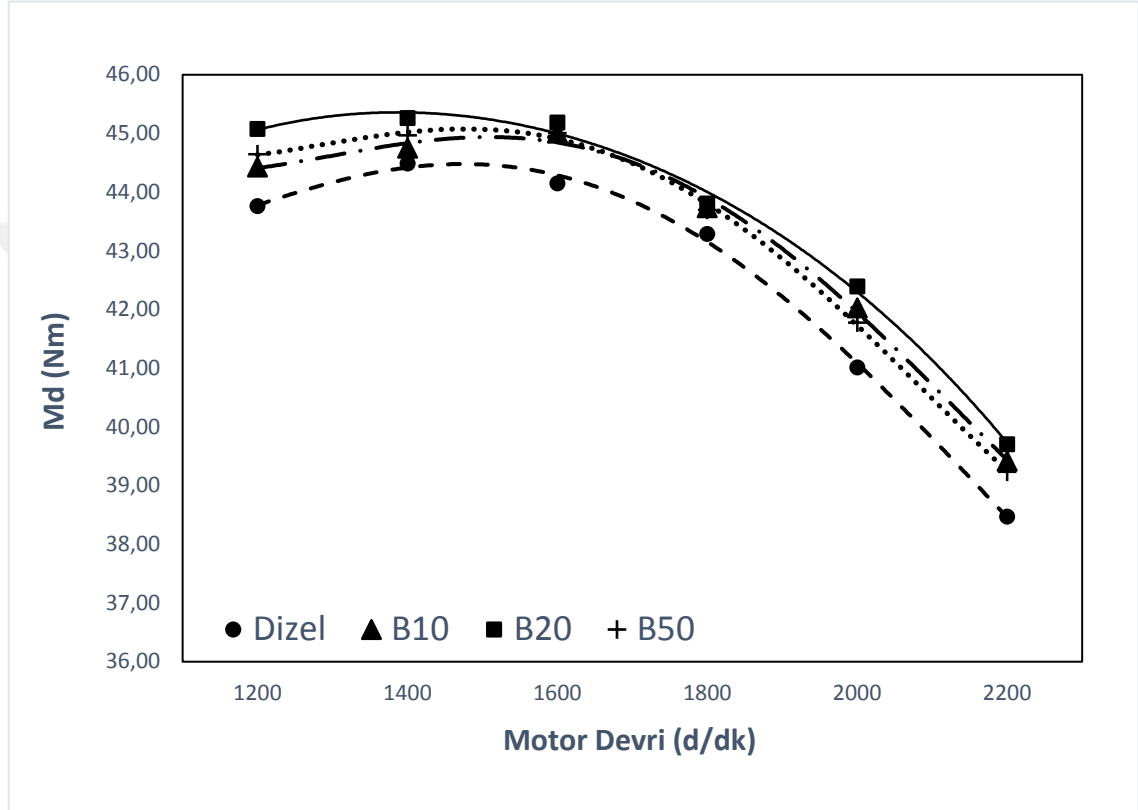
alınmıştır. Buradan anlaşılan %20 seviyesine kadar biyodizel katkısının, yakıtın kalitesini artırdığıdır. Daha yüksek oranda biyodizel kullanılması, biyodizelin viskozitesinin yüksek olması sebebiyle püskürtme sırasında atomizasyonun tam olarak sağlanamaması ve alt ısı değerinin düşük olması yakıtın yakılması sonucu daha az enerji açığa çıkarmasına sebep olduğundan performansta B20 oranına göre daha düşük güç ve moment elde edilmiştir (Şekil 5.1. – 5.2.).

B20 yakıt kullanıldığında petrol kaynaklı dizel yakıtı göre maksimum gücün üretildiği 2200 d/dk aralığında efektif güçte %3 artış tespit edilmiştir (Şekil 5.1.). Maksimum torkun elde edildiği 1400 d/dk aralığında B20 yakıt ile dizel yakıtı göre %1,25 döndürme momentinde artış tespit edilmiştir (Şekil 5.2.). Buna bağlı olarak torkun en yüksek olduğu nokta özgül yakıt tüketiminin en az olduğu noktadır. B20 yakıtı kullanıldığında dizel yakıtı göre %3,55 özgül yakıt tüketiminde azalma gözlenmiştir (Şekil 5.3.). Efektif verim de bunlara bağlı olarak B20 yakıtında en yüksektir (Şekil 5.4.).



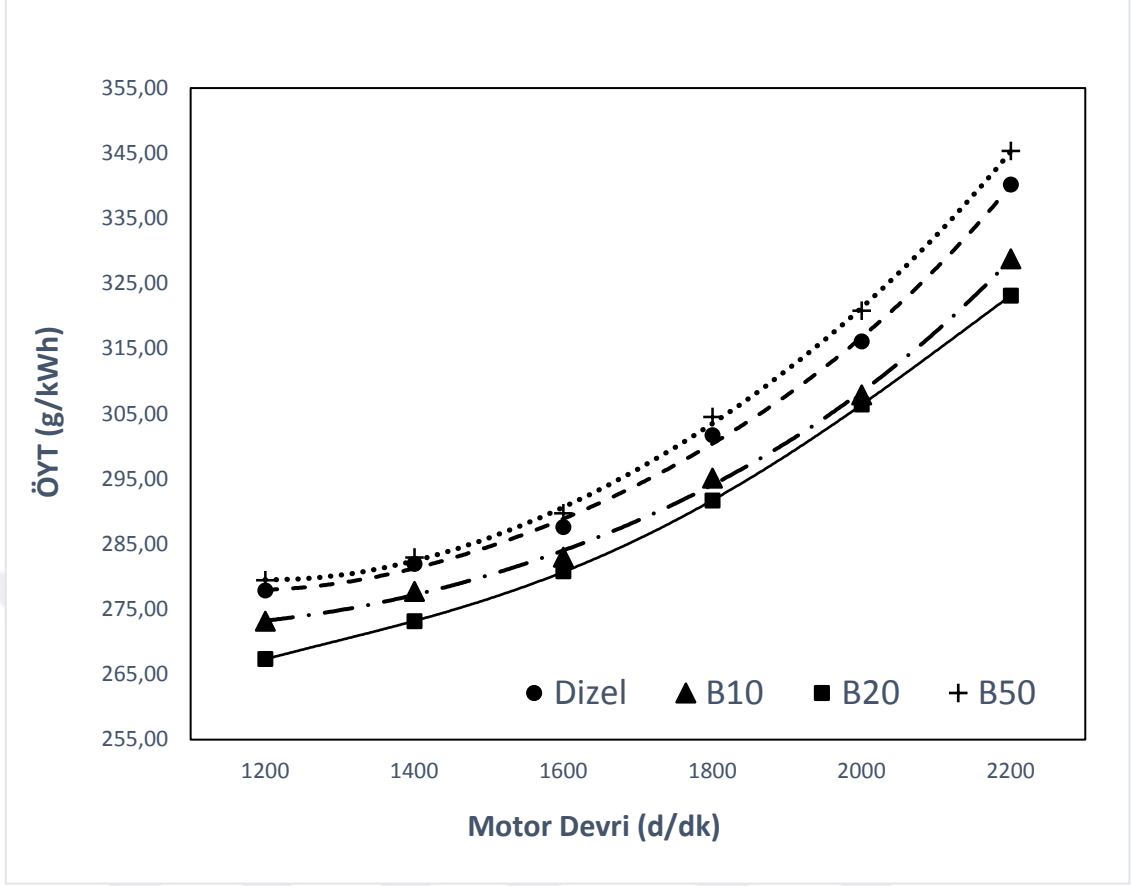
Şekil 5.1. Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının Efektif Güce Etkisi

Şekil 5.1 ve 5.2’de dizel, B10, B20 ve B50 yakıtlarının efektif güç ve momente etkileri gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde B10 ve B20 yakıtlarında petrol kaynaklı dizel yakıtına göre performansta kademeli bir artış olduğu görülmektedir. Bunun sebebi biyodizelin içerdiği oksijen ile yanma üzerinde sağladığı olumlu etkidir. B50 yakıtında ise oksijen fazlalığının olumlu etkisi biyodizelin alt ısı değerinin düşük olması karışımındaki biyodizel oranının artmasından dolayı azalmaktadır.



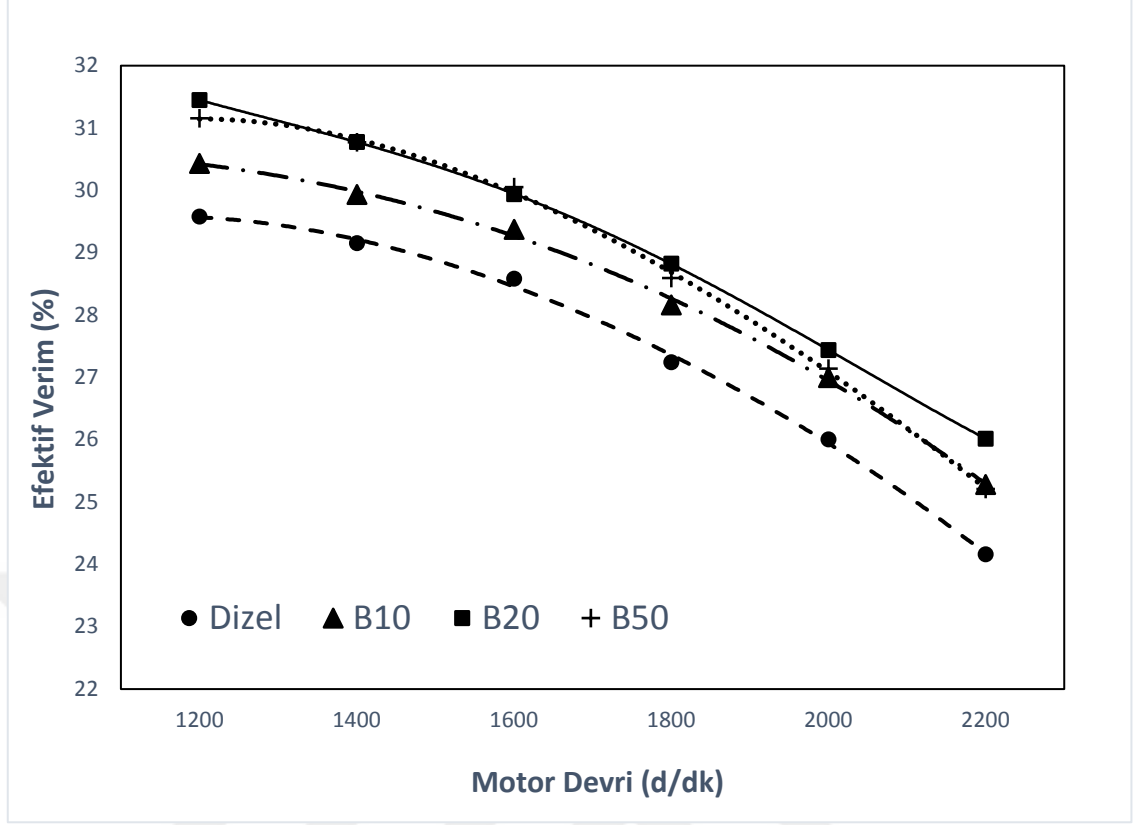
Şekil 5.2. Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının Döndürme Momentine Etkisi

Şekil 5.3’de özgül yakıt tüketimi incelendiğinde oksijen fazlalığı ile yanmada sağladığı iyileşme, %20 biyodizel oranına kadar biyodizel katkılı yakıtın yakıt tüketimini azalttığı tespit edilmiştir. B50 yakıtının viskozite ve yoğunluğunun yüksek olması yanında alt ısı değerinin düşük olması dolayısıyla özgül yakıt tüketiminde artış olduğu tespit edilmiştir. B20 yakıtı ile en iyi yakıt tüketim verisi elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

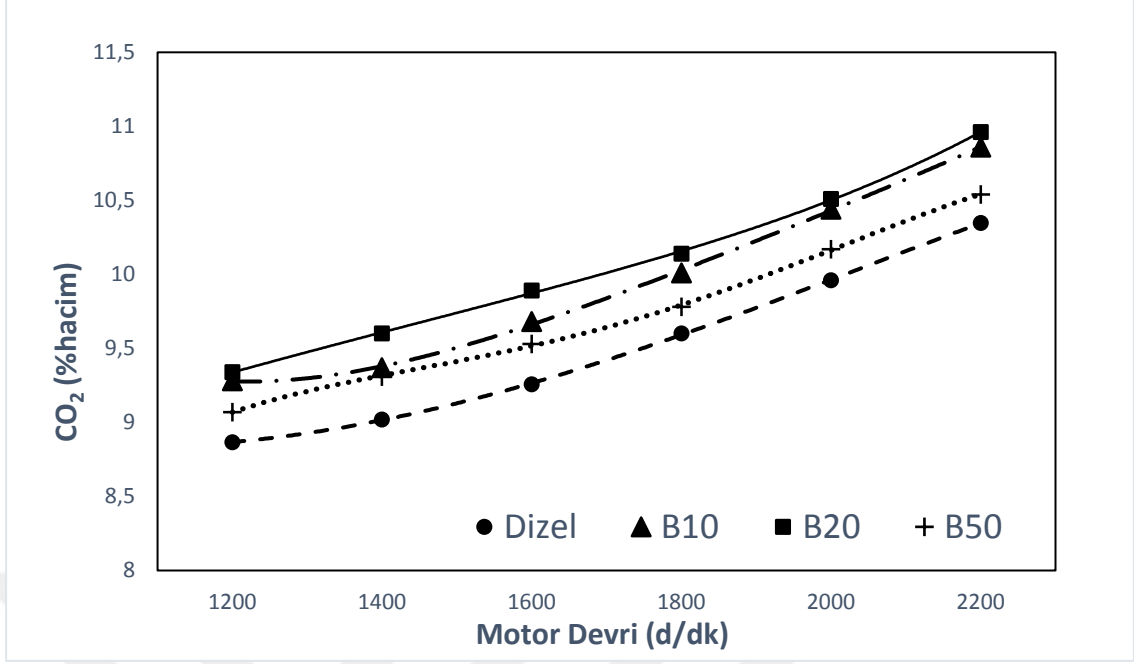
Şekil 5.4 incelendiğinde biyodizel katkılı yakıtların petrol kaynaklı dizel yakıtlara göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Oksijen içeriğinin fazla olması, alt ısıl değerinin düşük olmasına rağmen yanma üzerinde sağladığı olumlu etki ile verimi artırdığı düşünülmektedir. En iyi sonuç B20 yakıtı ile elde edilmiştir. B50 yakıtı yaklaşık bir değer vermiştir. Bunun sebebi biyodizel oranı yüksek olduğu için, alt ısıl değerinin düşük olmasına rağmen yanma kalitesinin yüksek olmasıdır. Petrol kaynaklı dizel yakıt en düşük verimi vermektedir.



Şekil 5.4. Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının Efektif Verime Etkisi

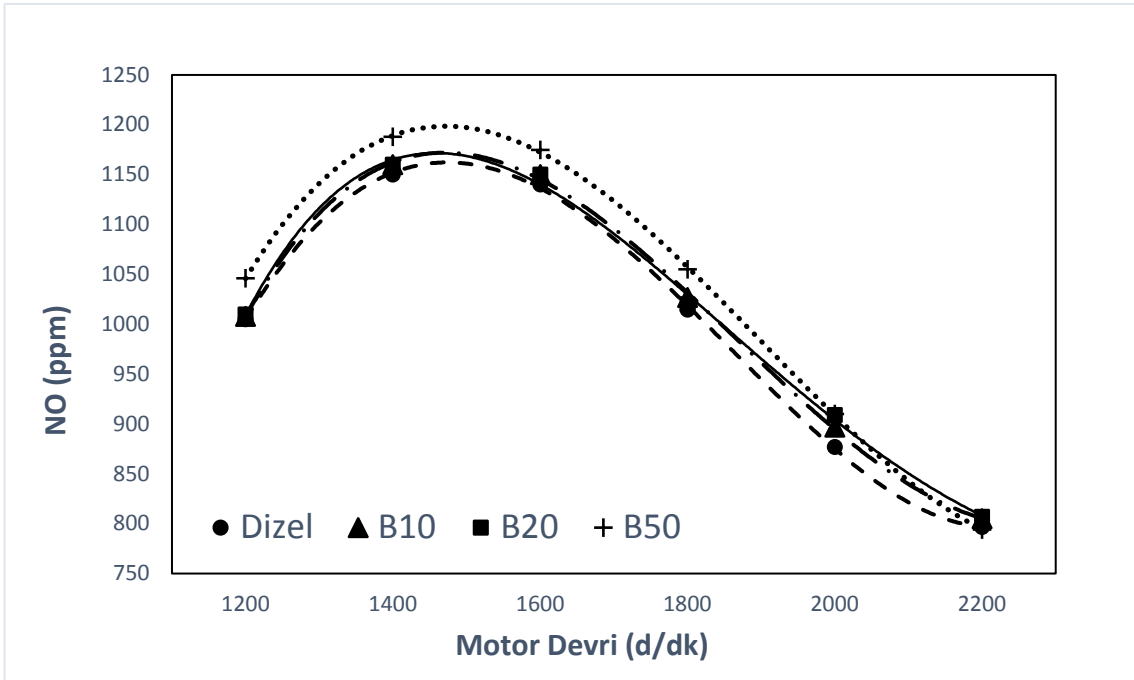
Biyodizelin içerdiği %10 kadar oksijenle sağlanan iyileşme ile tam yanma ürünü olan CO₂ emisyonlarında artışa sebep olmuştur (Şekil 5.5.). CO ve is emisyonlarında ise biyodizel kullanımı ile azalma gözlemlenmiştir (Şekil 5.8.). HC emisyonlarında biyodizel yakıtın tam atomizasyonunun sağlanamaması sonucu artış gözlenmektedir (Şekil 5.8.).

Biyodizel katkısı yanma kalitesini artırarak tam yanma ürünü CO₂ emisyonunu artırmıştır. %20 oranında biyodizel katkısına kadar CO₂ emisyonu kademeli olarak artmıştır. Bunun sebebi biyodizelin içerdiği oksijendir. %20 biyodizel katkısı üzerinde, petrol kaynaklı dizel yakıtı göre sağlanan iyileşmeye rağmen, biyodizelin viskozitesinin ve yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle atomizasyonun tam sağlanamaması yanma üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. B50 yakıtında görüldüğü gibi petrol kaynaklı dizel yakıtı göre yüksek olmasına rağmen tam yanma ürünü olan CO₂ emisyonu bir miktar daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Performans artışına sebep olan yanmada ki iyileşme CO₂ emisyonunda da kendisini göstermektedir. B20 yakıtında en yüksek CO₂ emisyonu tespit edilmiştir (Şekil 5.5.).



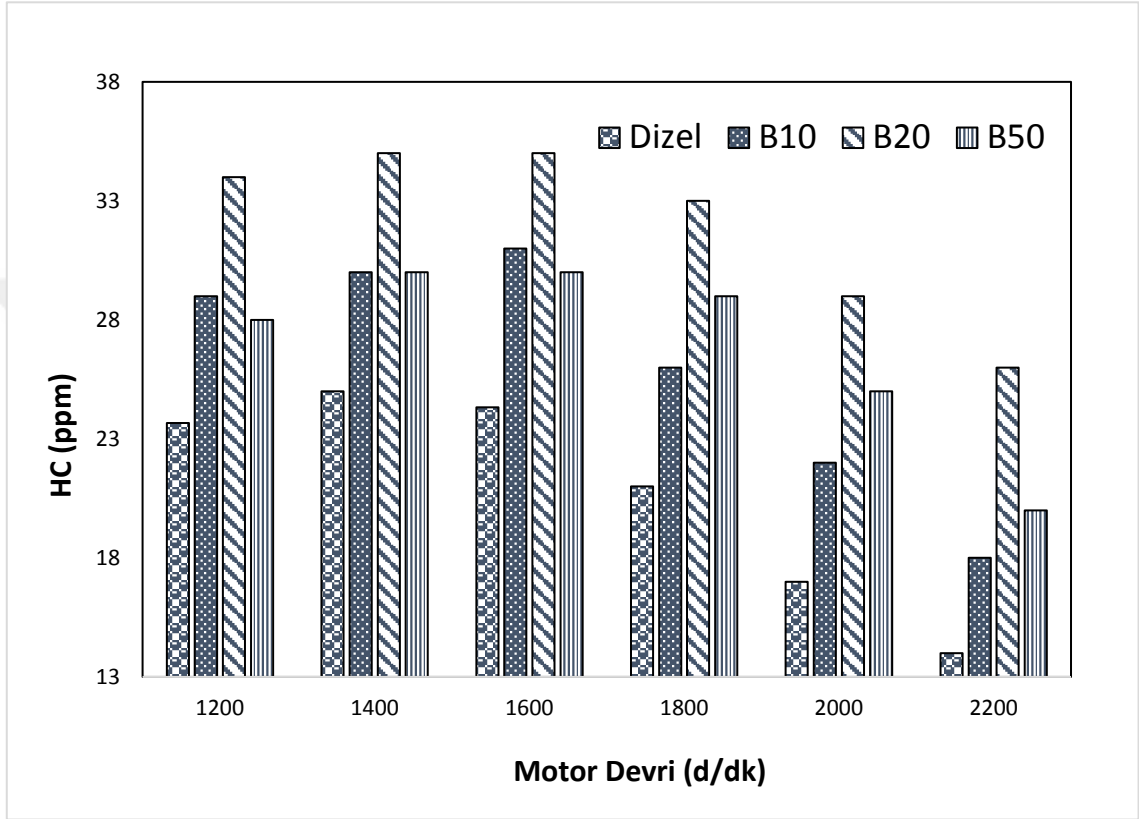
Şekil 5.5. Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının CO₂ Emisyonuna Etkisi

Şekil 5.6'da NO emisyonlarının düşük devirlerde yanma odasında sağladığı oksijen fazlalığı biyodizel katkısı ile arttığı görülmektedir. Yüksek devirlerde B20 yakıtının yanma performansının en iyi olması sebebiyle NO emisyonun da yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.6. Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının NO Emisyonuna Etkisi

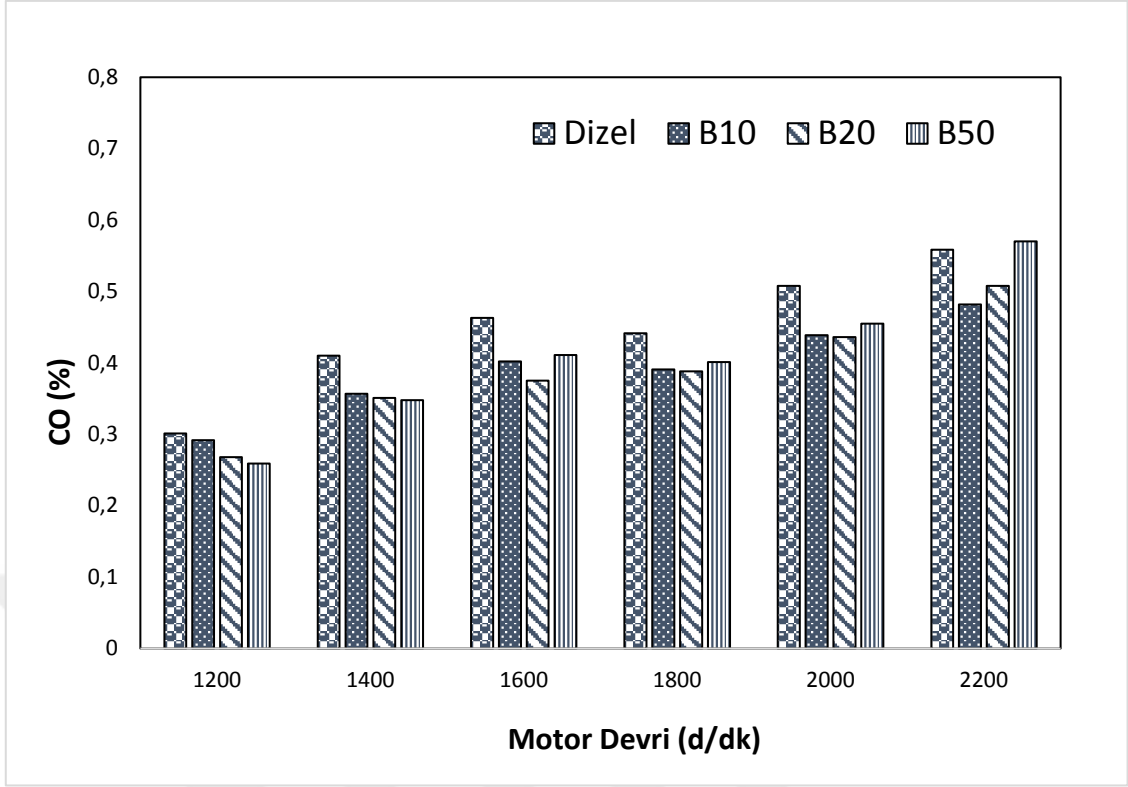
Şekil 5.7'yi incelediğimizde biyodizel katkıli yakıtlarda HC emisyonu daha yüksektir. Bunun sebebi biyodizelin viskozite ve yoğunluğunun yüksek olması sebebi ile atomizasyonun tam olarak sağlanamaması ve yanmamış HC partiküllerinin kalmasıdır. HC emisyon ölçüm cihazının hata payının +12 ppm olması sebebiyle biyodizel katkıli yakıtlar arasında karşılaştırma yapılamamıştır.



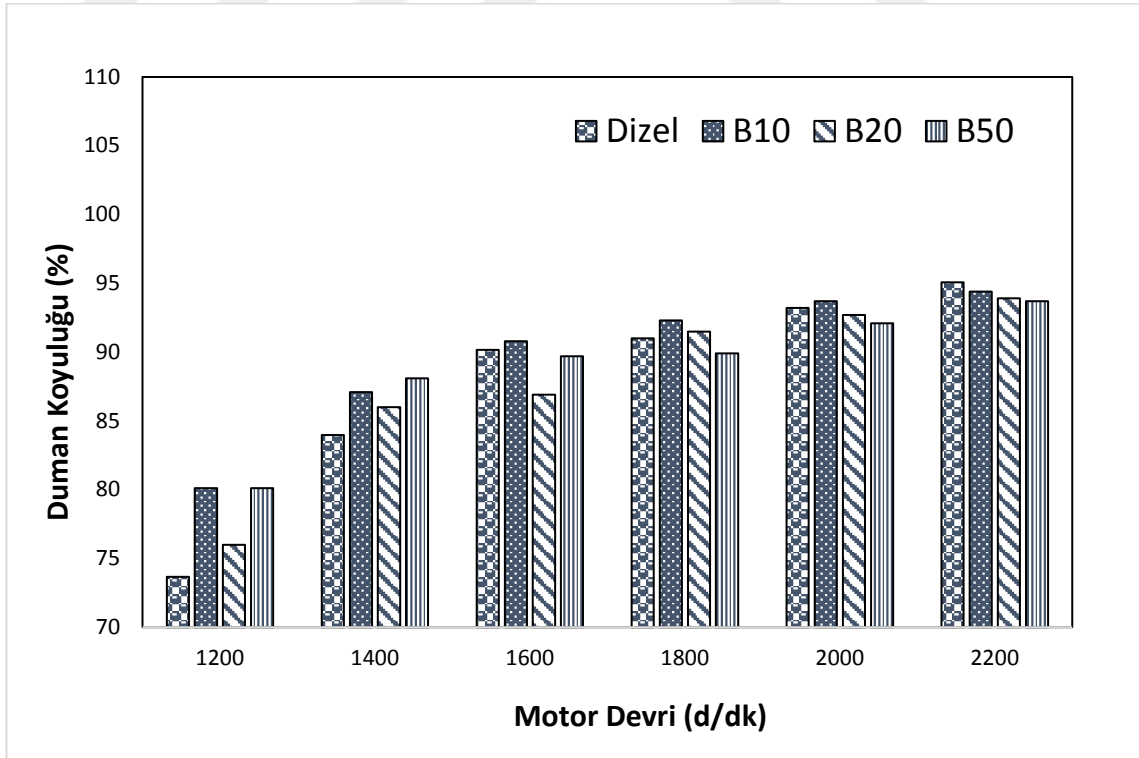
Şekil 5.7. Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının HC Emisyonuna Etkisi

Biyodizelin içerdiği oksijen CO emisyonlarının düşmesinde önemli bir etkidir. Yanma sırasında C atomlarının yeterince oksijen bulamaması sonucu CO emisyonları oluşur. Şekil 5.8 incelendiğinde biyodizel katkıli yakıtlarda CO emisyonlarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5,9' da duman koyuluğu incelendiğinde yanma performansı ile orantılı olarak yanmanın iyi olduğu B20 yakıtında en düşük duman koyuluğu tespit edilmiştir. Özellikle yüksek devirlerde biyodizelin içinde barındırdığı oksijen sayesinde eksik yanma ürünlerindeki azalma ile birlikte duman koyuluğunun azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.8. Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının CO Emisyonuna Etkisi

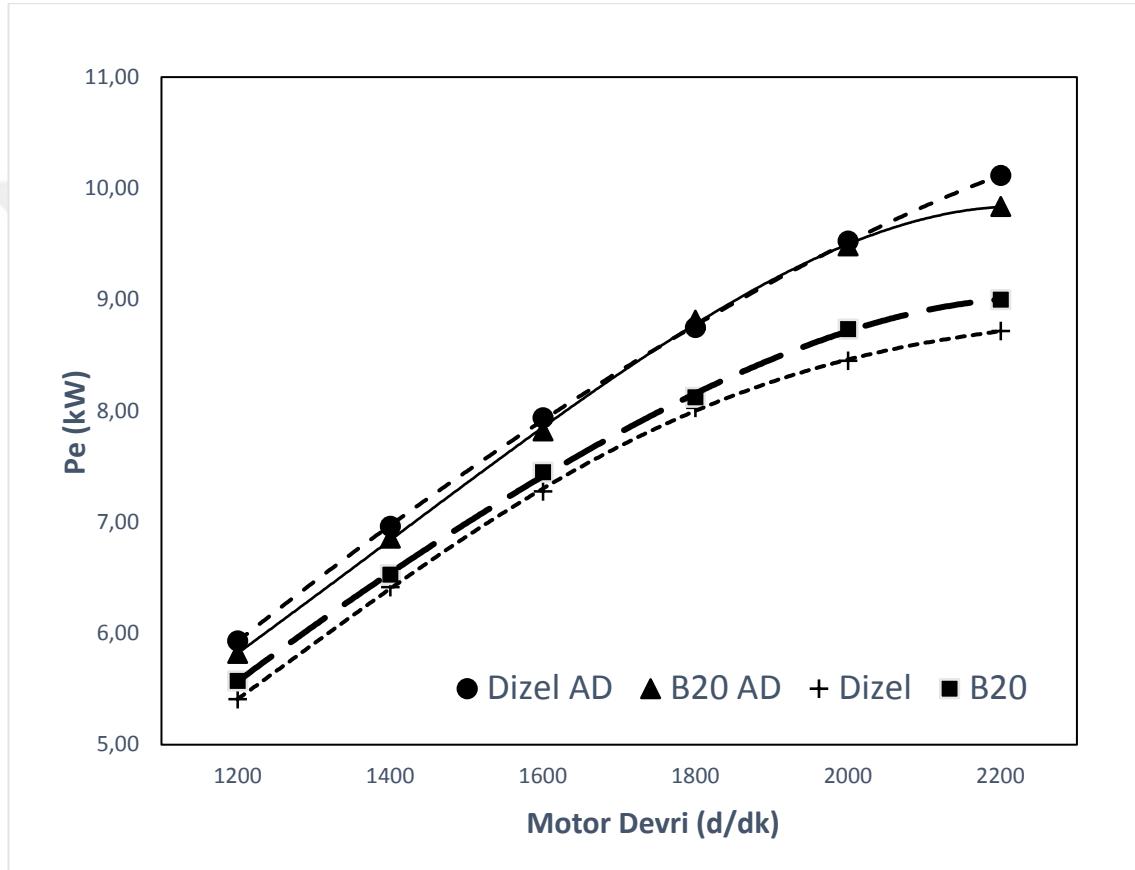


Şekil 5.9. Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının İş Emisyonuna Etkisi

5.2. Standart Motorda Aşırı Doldurmanın Etkilerinin İncelenmesi

En iyi sonucu aldığımız B20 yakıtına 1,2 bar aşırı doldurma uyguladığımızda petrol kaynaklı dizel yakıtta göre gösterdiği tepkiler incelenmiştir.

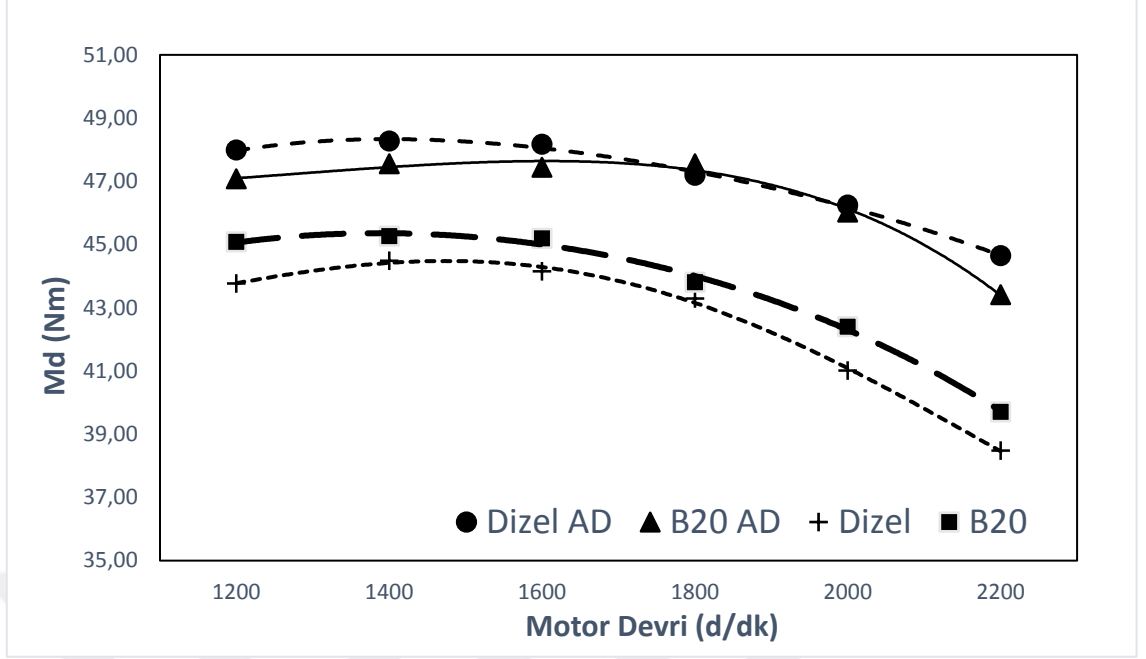
Aşırı doldurma dizel motorlarda performansı artırıcı etki göstermektedir. Sağladığı fazladan hava ve dolayısıyla oksijen ile yanmayı iyileştirmektedir. Yapılan deneylerde performansı artırdığı emisyonlarda gerilemeye sebep olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.10. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Efektif Güce Etkisi

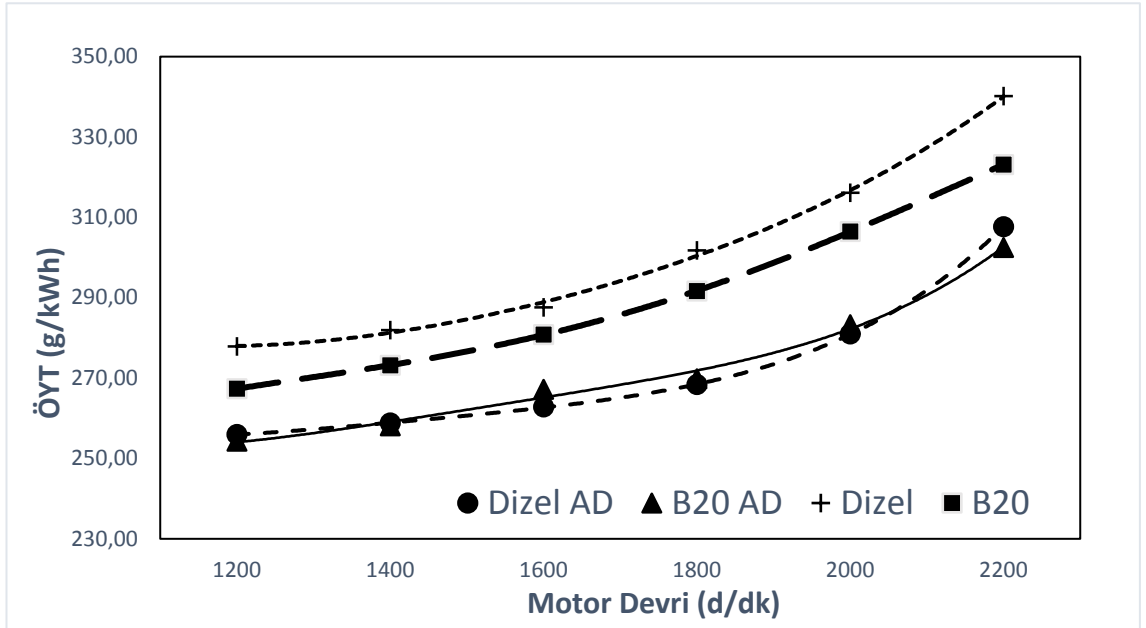
B20 yakıt ile dizel yakıtta uygulanan aşırı doldurma sonucu Biyodizelin oksijen içeriğinden kaynaklı avantajı ortadan kalkmış ve efektif güç üretiminde her iki yakıtta benzer tepkiler göstermişlerdir (Şekil 5.10.).

Döndürme momenti tarafında biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olması sebebiyle 1800 dev/dk motor devrine kadar dizel yakıtta göre daha düşük tork üretilmesine sebep olmuştur. Bu durum devir yükseldikçe yakıt hava karışımının stabil sağlanamaması ve biyodizelin oksijen içeriği sayesinde ortadan kalkmıştır (Şekil 5.11.).



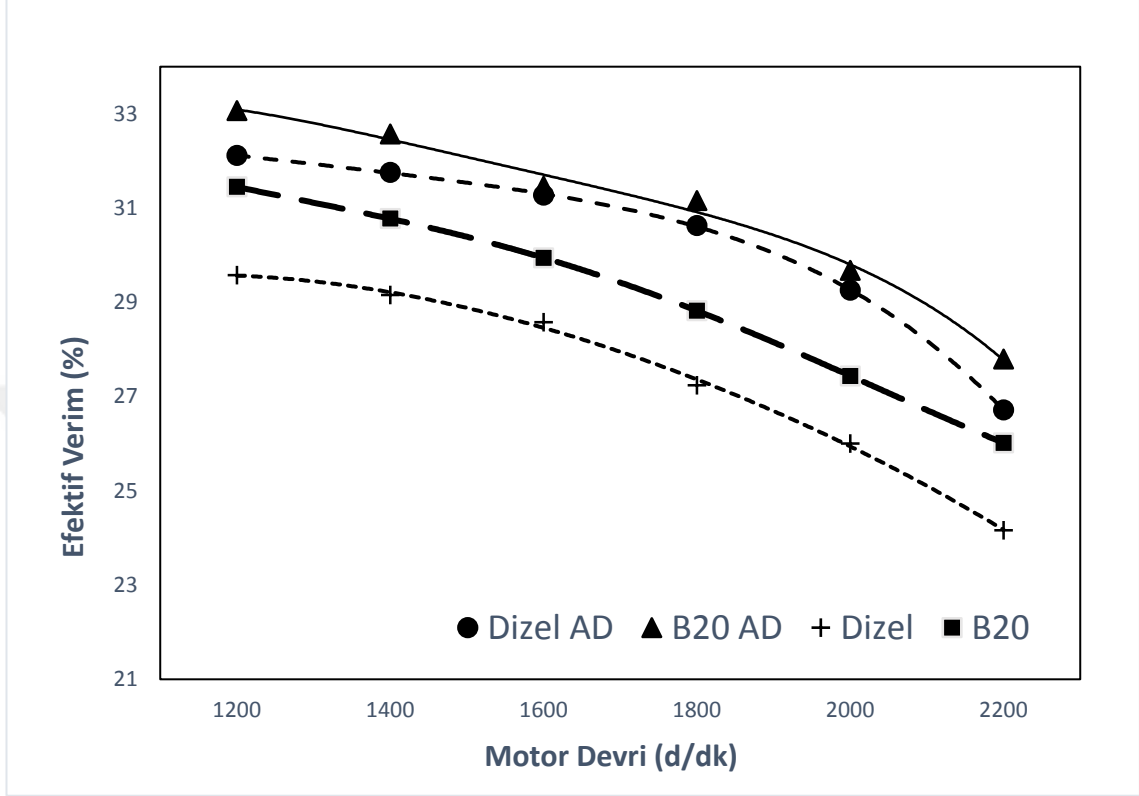
Şekil 5.11. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Döndürme Momentine Etkisi

Özgül yakıt tüketimi de benzer eğilim göstermektedir. 1800 dev/dk motor devrine kadar özgül yakıt tüketimi dizel yakıtta daha düşüktür. Ancak yüksek devirlerde yakıt hava karışımının stabil sağlanamaması ve biyodizelin oksijen içeriği biyodizelin özgül yakıt tüketiminin yüksek devirlerde daha düşük olmasına sebep olmuştur (Şekil 5.12.).



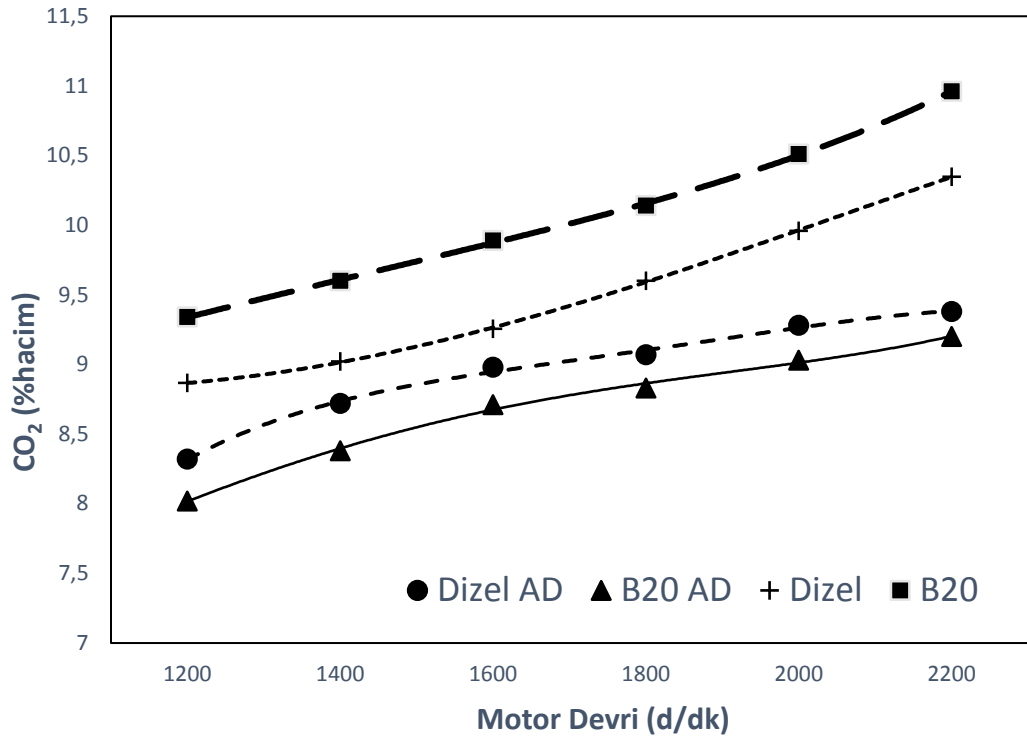
Şekil 5.12. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

Efektif verime bakıldığında biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olmasına rağmen B20 yakıtın dizel yakıtla benzer tepkiler vermesi B20 yakıtın efektif veriminin %1 kadar daha yüksek olmasını sağlamıştır (Şekil 5.13.).

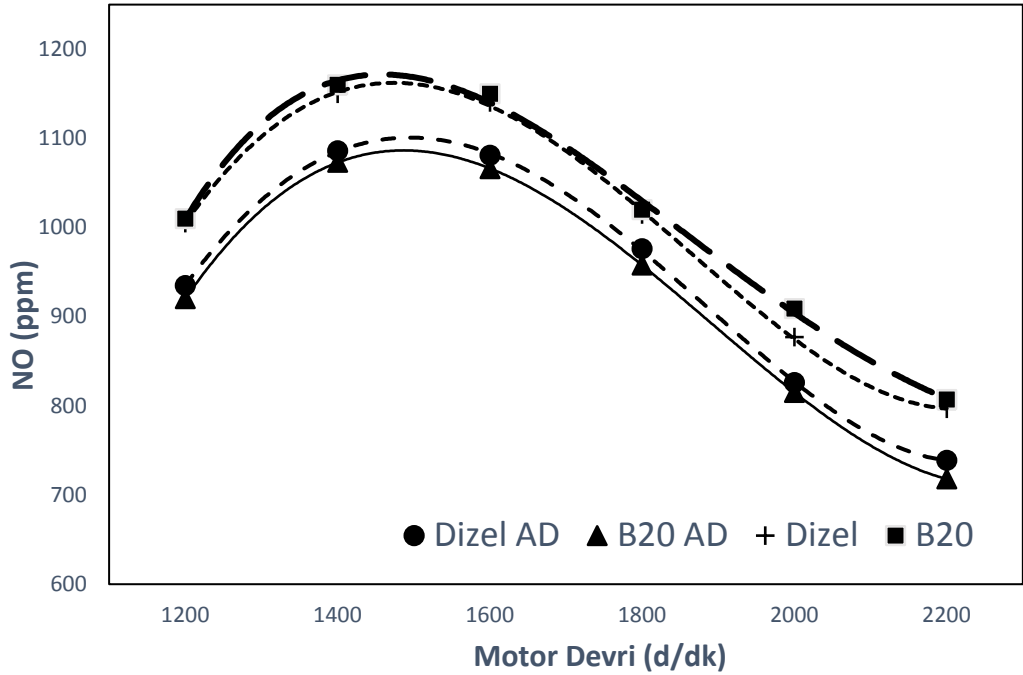


Şekil 5.13. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Efektif Verime Etkisi

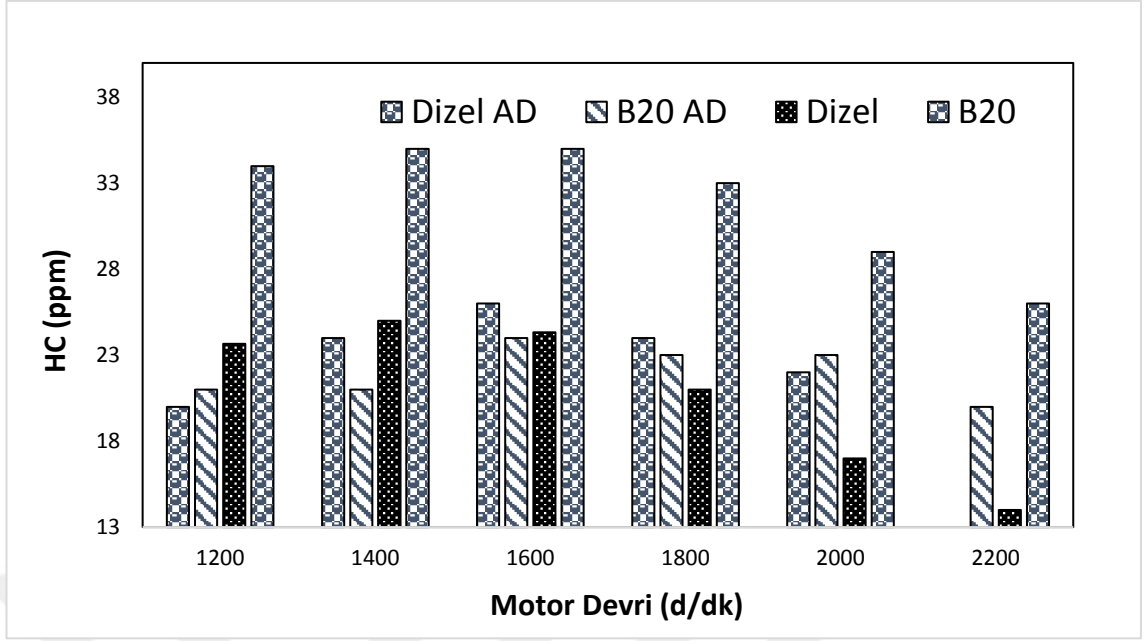
Emisyonlara baktığımızda performansta olduğu gibi aşırı doldurma ile biyodizelin oksijen içeriğinin düşük ve orta devirlerde önemi ortadan kalkmıştır. Aşırı doldurma ile yanma hem dizel hem biyodizel yakıtta iyileşmiştir. Dizel yakıtın viskozitesinin düşük olması sebebiyle yanma daha iyi seviyelere gelmiştir Bu durum CO₂ ve NO emisyonlarının biyodizelden daha fazla olmasına sebep olmuştur (Şekil 5.14. – 5.15).



Şekil 5.14. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının CO₂ Emisyonuna Etkisi

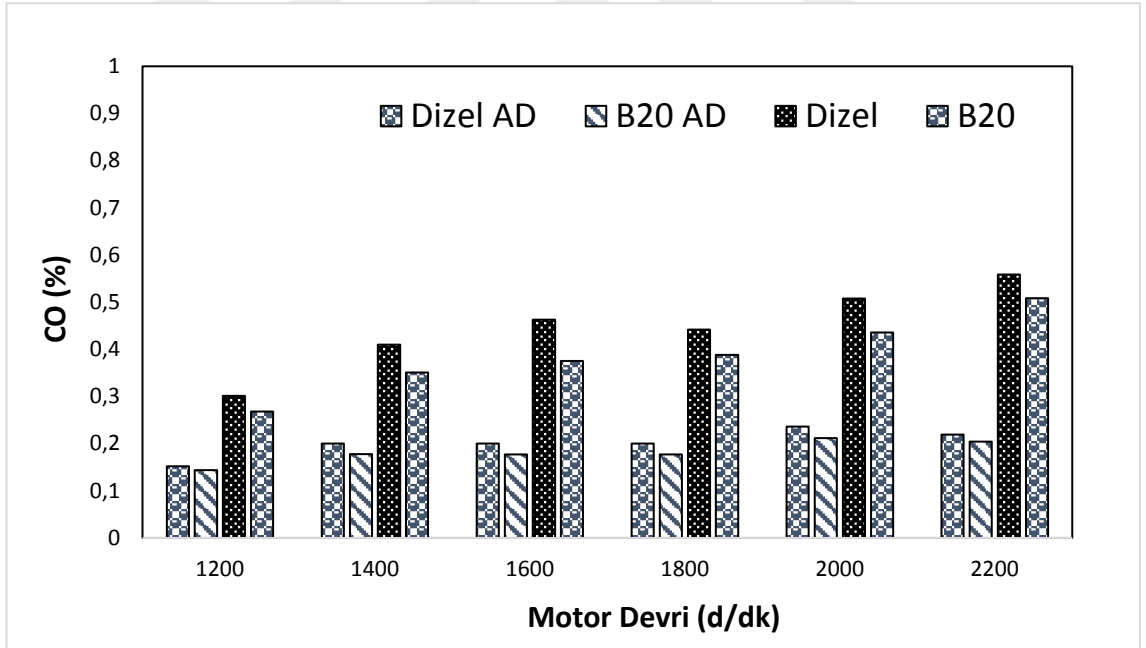


Şekil 5.15. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının NO Emisyonuna Etkisi



Şekil 5.16. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının HC Emisyonuna Etkisi

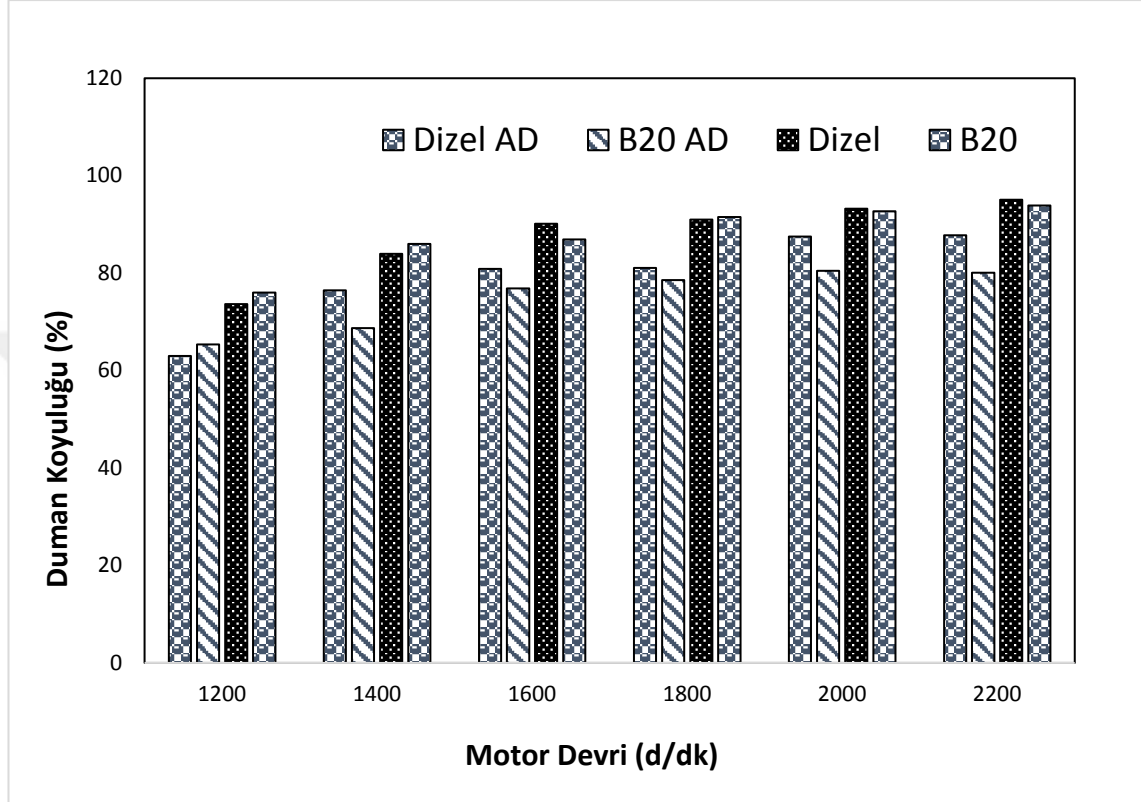
Şekil 5.16 incelendiğinde HC emisyonlarının birbirine yakın seyrettiği görülmektedir.



Şekil 5.17. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının CO Emisyonuna Etkisi

CO emisyonları incelendiğinde aşırı doldurma ile birlikte yeterince oksijen sağlandığı için birbirlerine yakın seyrettiği, yalnız biyodizelin yapısındaki oksijenin avantajıyla B20 yakıtın bir miktar daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.17).

Duman koyuluğu da aynı tespiti desteklemektedir. Aşırı doldurma ile sağlanan oksijen fazlalığı duman koyuluğunda da dizel ve B20 yakıtı birbirine yaklaştırmıştır. Ancak B20 yakıt, yapısında ki oksijenin bu konuda sağladığı avantajla daha iyi bir performans göstermiştir (Şekil 5.18).



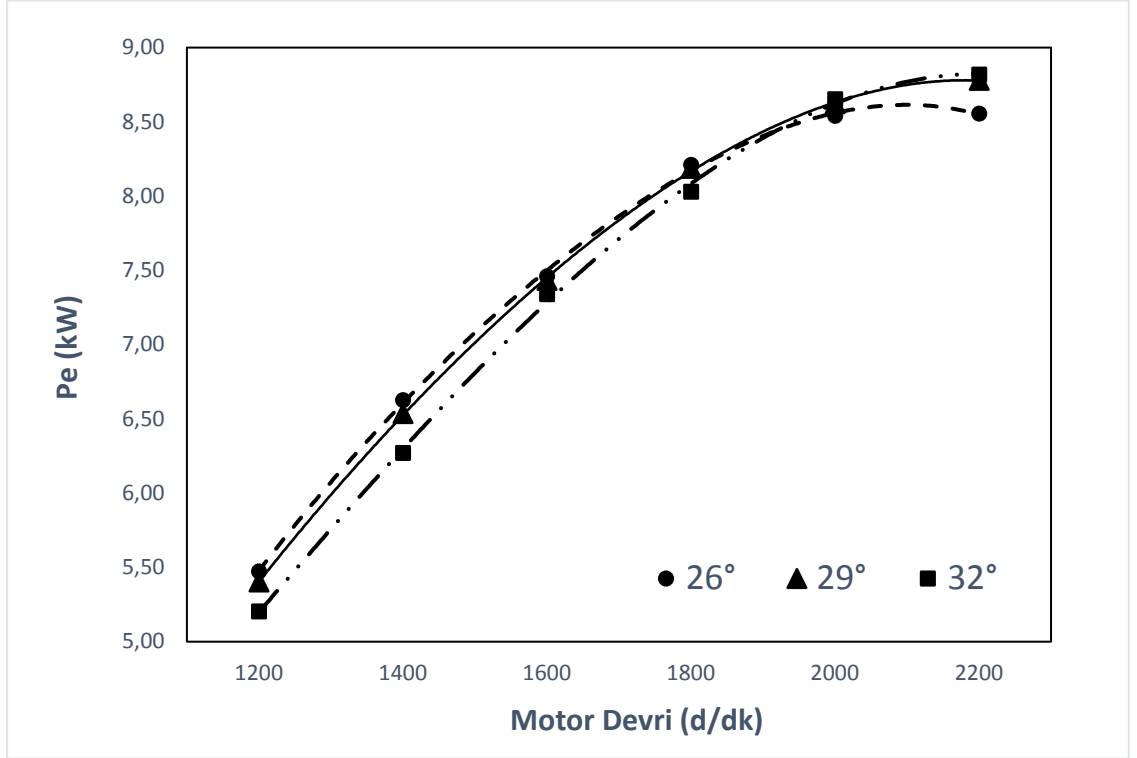
Şekil 5.18. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının İş Emisyonuna Etkisi

5.3. Kısmi Yalıtımlı Motorda Optimum Avansın Belirlenmesi

Piston başının seramik malzeme ile kaplanarak termal yalıtım oluşturulması motorun yanma karakteristiğini değiştirmiştir. Motor avansı tutuşmanın başlama zamanının bir karşılığı olduğundan emisyonlar ve performans üzerinde çok fazla etkilidir. Avans yükseldikçe yakıt hava karışımı silindir içerisinde daha fazla kalacak yanmanın daha uzun sürmesi ile oluşan yüksek sıcaklıkla NO_x emisyonlarında artış, eksik yanma ürünlerinde azalma ve performansta artış görülecektir. Performanstaki artış silindir içindeki maksimum basıncın olduğu krank mili açısıyla da ilgilidir. Avansın çok yüksek veya düşük olması pistonun ÜÖN dan öce veya çok sonra maksimum silindir içi basıncın oluşmasına sebep olarak performansın düşmesine neden olur. Performans ve

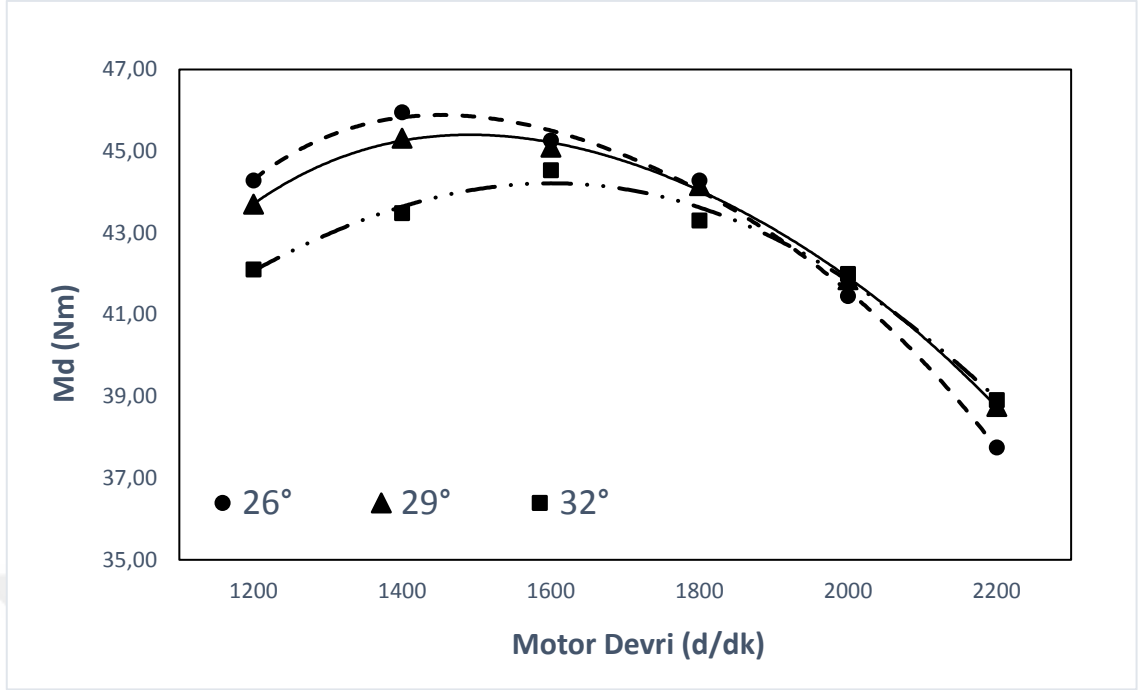
emisyonlarda optimum seviyeyi yakalamak için 26°, 29° ve 32° KMA avans değerlerinde avans taraması yapılmıştır. Bu tarama sonucu optimum performans ve emisyon değerlerinin 26° KMA avans değerinde sağlandığı tespit edilmiştir.

Grafikler incelendiğinde en yüksek torkun 1400 – 1600 dev/dk aralığında alındığı görülmektedir. Bu aralıkta motor 26° avans ile diğer avans değerlerine göre daha fazla güç üretmekte ve özgül yakıt tüketimi de diğer değerlere göre daha düşük seviyededir. Kısmi yalıtım ile silindir içi sıcaklığın yükselmesi yanma kalitesini artırdığı için daha kısa sürede yakıt kaliteli bir şekilde yanmaktadır. Yanmanın çok iyi olmasından ötürü tutuşma gecikmesi kısalmış, silindir içi maksimum basınç, avans yükseldiğinde gereğinden erken oluşmuştur. Bunun da performansı olumsuz etkilediği tespit edilmiştir (Şekil 5.19 – 5.20 – 5.21).

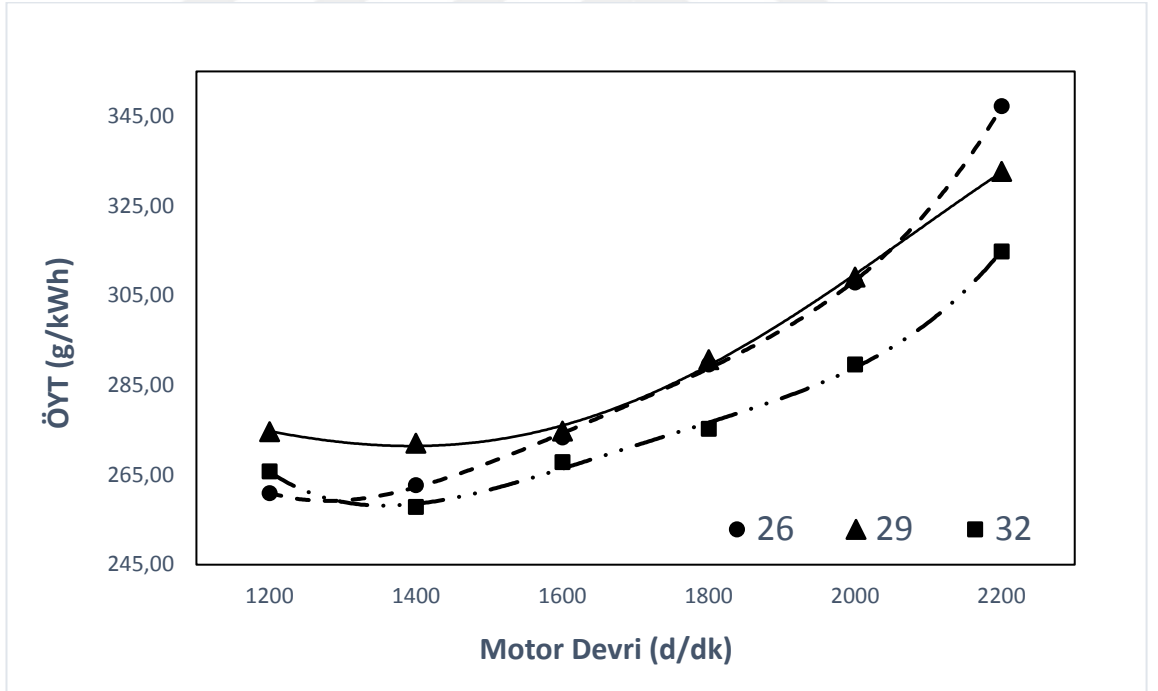


Şekil 5.19. Avansın Efektif Güce Etkisi

Şekil 5.20 incelendiğinde düşük devirlerde 26° KMA avans değerinde daha yüksek moment üretilirken yüksek devirlerde, kısmen daha düşük moment üretildiği gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin yakıtın yanma hızı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.20. Avansın Döndürme Momentine Etkisi



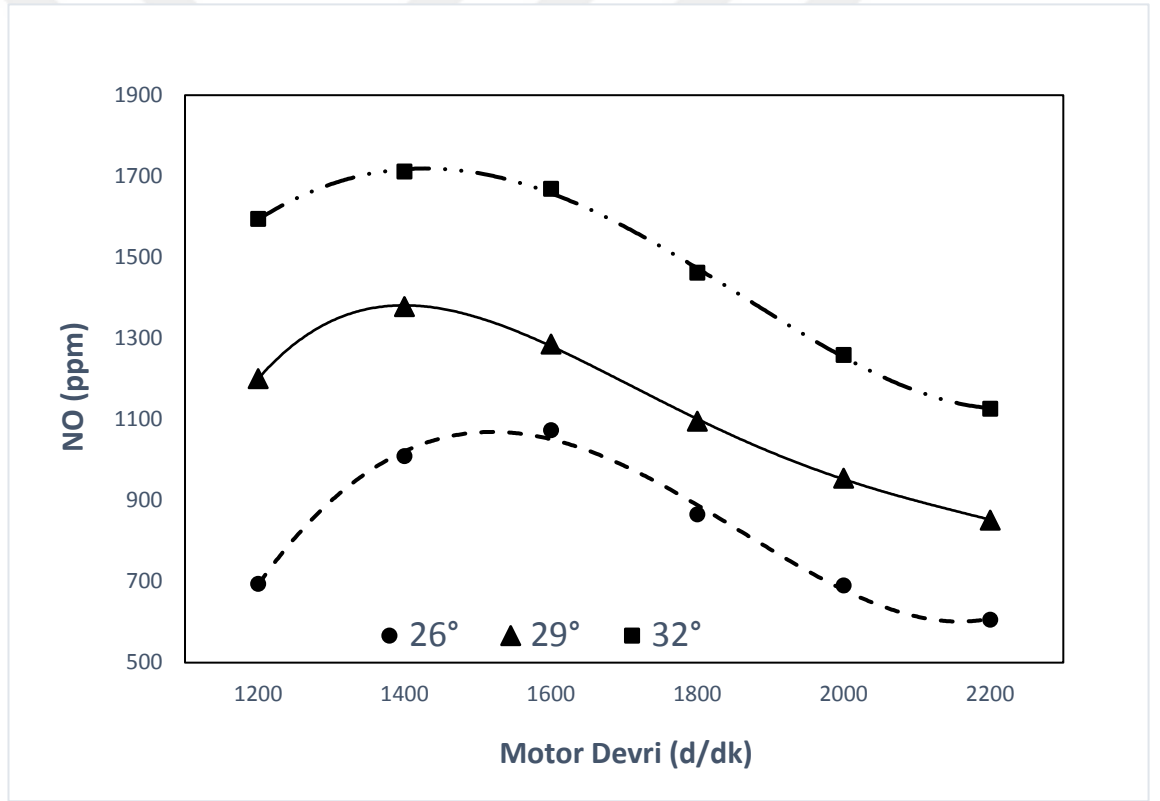
Şekil 5.21. Avansın Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

Şekil 5.21’de de aynı durum gözlemlenmektedir. Düşük devirlerde yakıtın yanma hızından ötürü performans 26° KMA değerinde iyi olduğundan özgül yakıt tüketiminin

daha düşük olduğu, yüksek devirlerde yanmanın yeterince iyi gerçekleşmesi için yeterince zaman bulamadığı ve özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir.

Avansın düşürülmesi emisyonları çok fazla etkilemektedir. Avans yanan yakıt hava karışımının silindir içindeki kalma süresini belirlemektedir. Ne kadar uzun kalırsa eksik yanma ürünü emisyonlar azalır, tam yanma ürünü emisyonlar artar bununla beraber hava içerisindeki azotun uzun süre yüksek sıcaklıkta oksijen ile teması NO_x emisyonlarının oluşumunu da artırır. Kısmi yalıtımlı motorda zaten yüksek olan yanma odası sıcaklığı dolayısıyla daha düşük avans yanmanın istenmeyen etkilerini azaltacaktır.

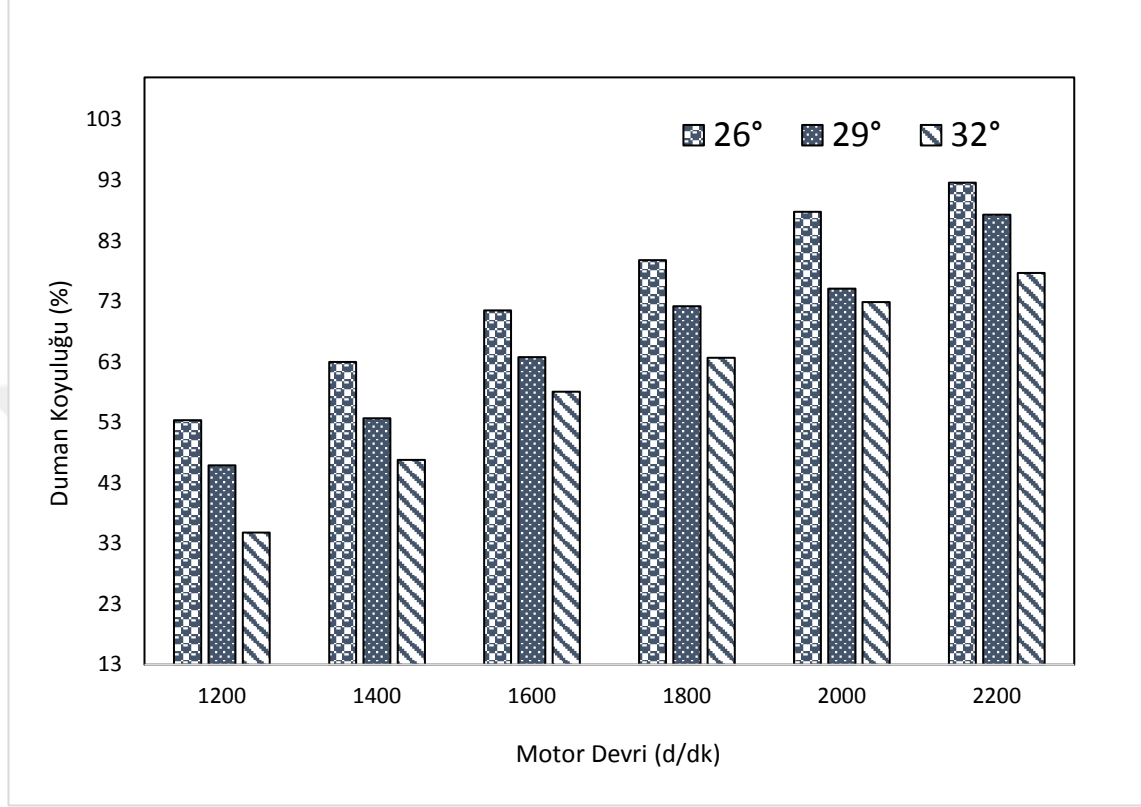
Avans 26°'ye düşürülerek asıl amaçlanan NO_x emisyonlarının düşürülmesidir. Alınan verilerle bu kanıtlanmıştır (Şekil 5.22.).



Şekil 5.22. Avansın NO Emisyonlarına Etkisi

NO emisyonlarının KMA değeriyle orantılı olarak düştüğü tespit edilmiştir. Avansı düşürmenin tespit edilen performans kaybına karşılık ciddi oranda NO emisyonlarını düşürdüğü görülmektedir (Şekil 5.22).

Avansın düşmesi ile yanma kalitesindeki bir miktar düşme eksik yanma ürünü emisyonların artmasına sebep olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak duman koyuluğu avans değeri düştükçe arttığı görülmektedir (Şekil 5.23).



Şekil 5.23. Avansın İş Emisyonlarına Etkisi

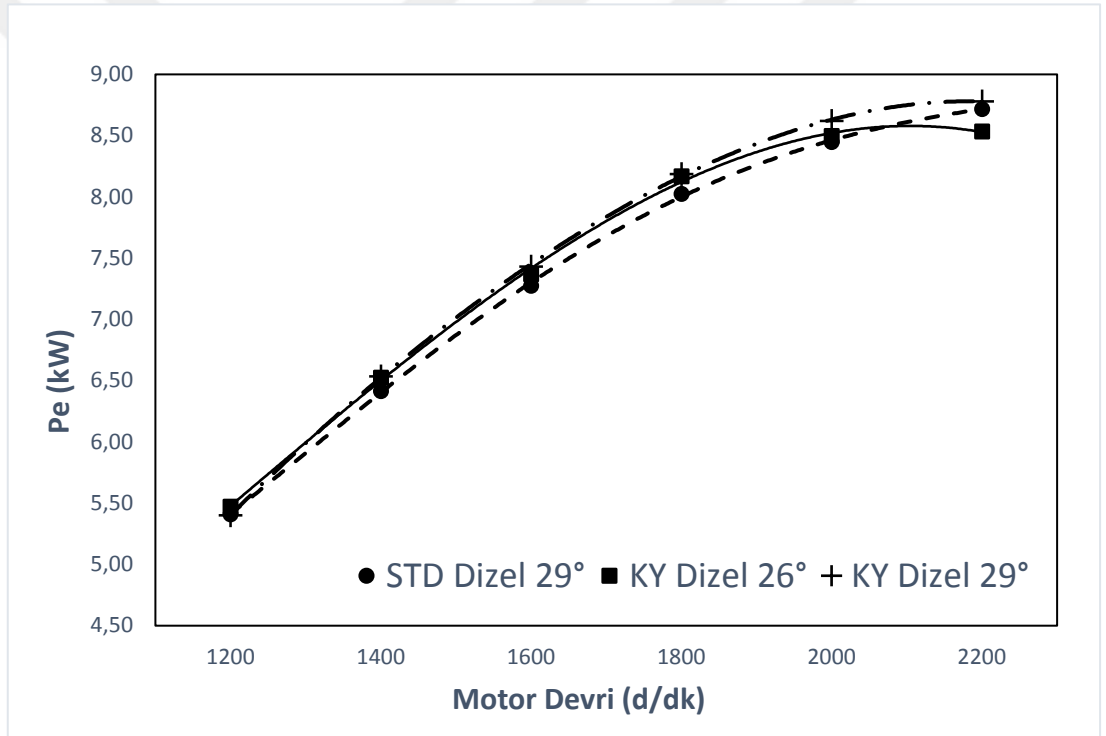
Kısmi yalıtım ile motor karakteristiğinin değişmesi, yanma odası sıcaklıklarının artması beraberinde performans artışıyla beraber NO emisyonlarında artış meydana getirdiği görülmüştür. Avans değerinin düşürülmesi düşük devirlerde performansa olumlu yansırken yüksek devirlerde yakın bir seyir izlediği görülmüştür. Ancak en önemlisi NO emisyonlarının oluşumunu ciddi oranda azalttığı tespit edilmiştir.

5.4. Kısmi Yalıtımlı Motor ile Standart Motorun Karşılaştırılması

Standart motorda 29° KMA olan avans kısmi yalıtımlı motorda 26° KMA olarak seçilmiştir. Bu kıyaslama dizel yakıt ile yapılarak seramik kaplamanın performans ve emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Seramik kaplı motorun yüksek yanma odası sıcaklığının yanmayı iyileştirdiği, avansın düşürülmesinin daha kısa sürede daha iyi bir

yanma kalitesi sağladığı ve istenmeyen emisyonları ciddi miktarda azalttığı tespit edilmiştir.

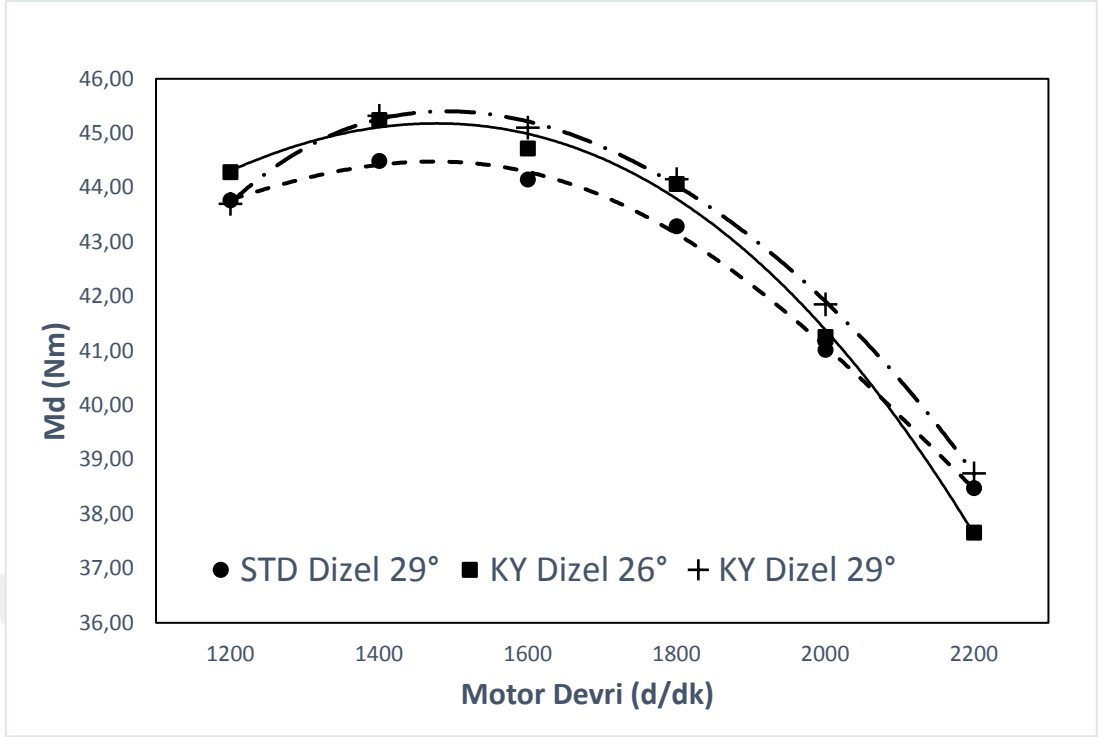
Efektif güç incelendiğinde birbirine yakın olmakla birlikte 1400 – 2000 dev/dk aralığında kısmi yalıtımlı motorda %1 kadar güç artışı tespit edilmiştir (Şekil 5.24). Yine kısmi yalıtımlı motorda 1400 – 2000 dev/dk aralığında torkun daha yüksek olduğu, maksimum torkun %2.1 kadar fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.25). Özgül yakıt tüketiminin de buna bağlı olarak daha az olduğu görülmektedir. Özgül yakıt tüketiminin kısmi yalıtımlı motorda 1400 – 2000 dev/dk aralığında %5,6 kadar daha az olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5,26). Aynı aralıkta efektif verimin yüksek olduğu da grafikten görülmektedir (Şekil 5.27).



Şekil 5.24. Seramik kaplamanın Efektif Güce Etkisi

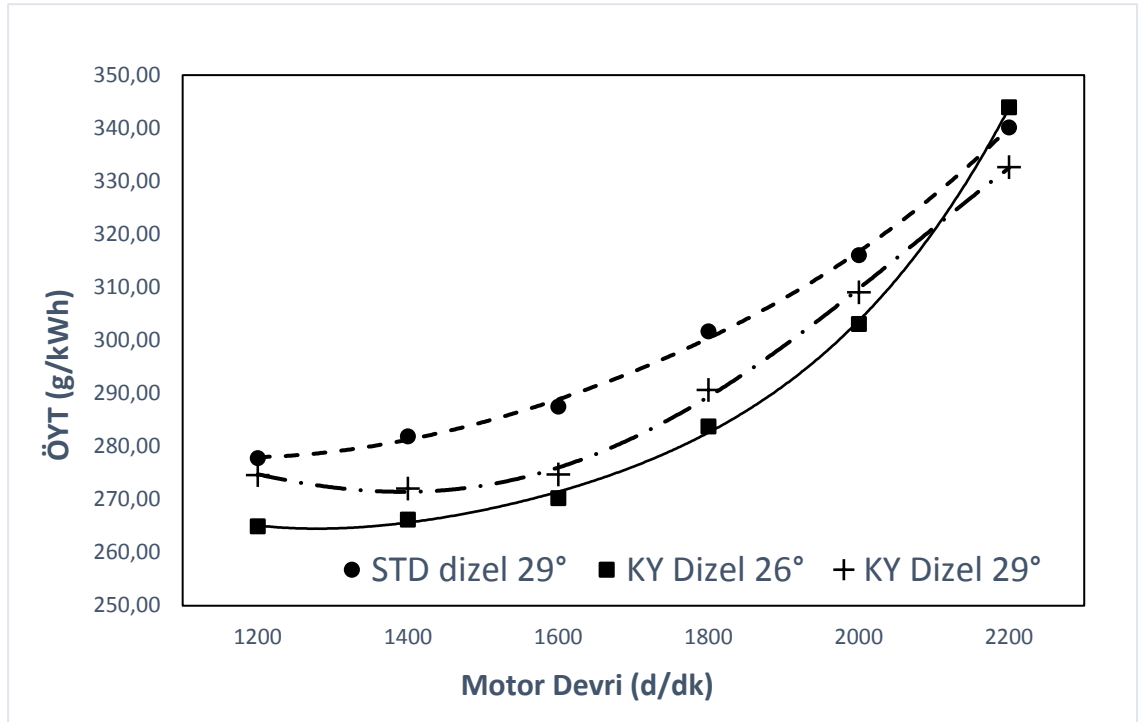
Kısmi yalıtım ısı kaybını düşürerek motor yanma odasında sıcaklık artışına sebep olmuş bu da yanma kalitesini artırmıştır. Kısmi yalıtım ile 26° KMA değerinde dahi standart motora göre daha fazla güç üretildiği görülmektedir (Şekil 5.24).

Motor momentinde de aynı durum gözlemlenmektedir. 1400-2000 d/dk aralığında kısmi yalıtım ile torkun arttığı görülmektedir. Bunun sebebinin yanma odasındaki ısı kaybının azalarak, yanmanın iyileşmesi olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.25).



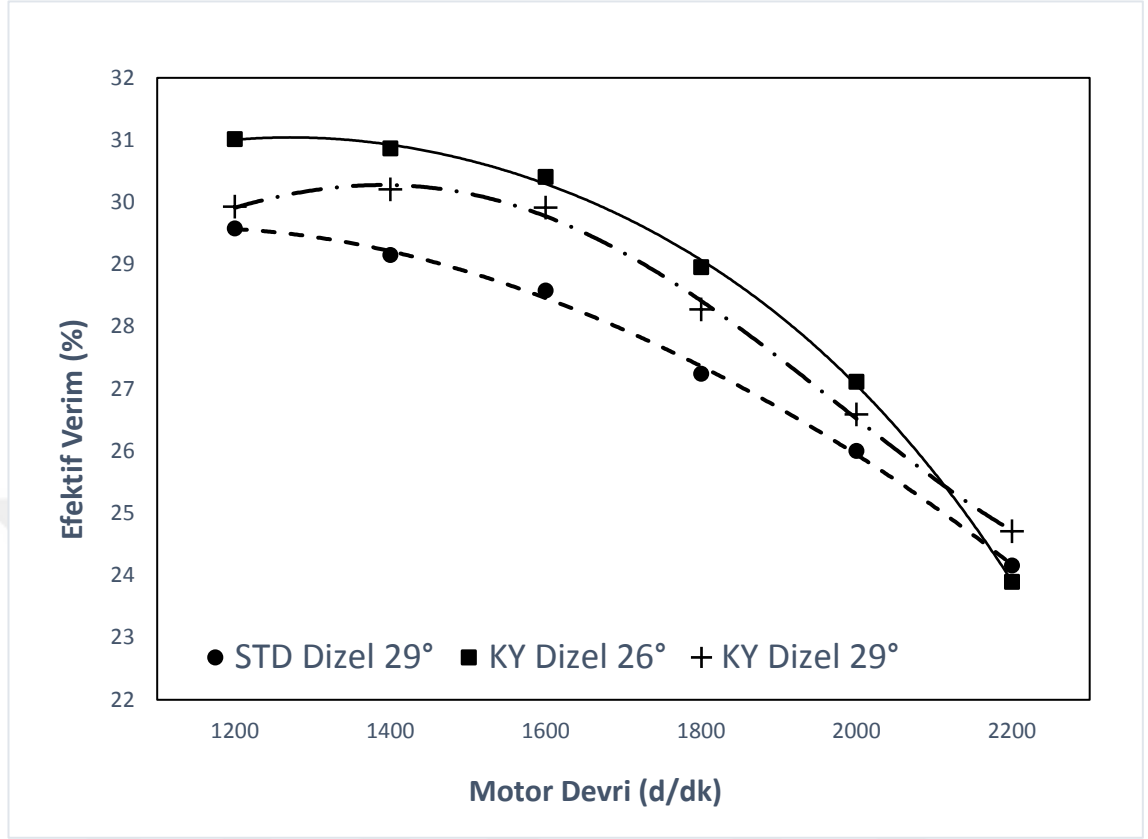
Şekil 5.25. Seramik kaplamanın Döndürme Momentine Etkisi

Özgül yakıt tüketimi Şekil 5.26'da görüldüğü gibi kısmi yalıtımın yanmada sağladığı iyileşme sayesinde düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 5.26. Seramik kaplamanın Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

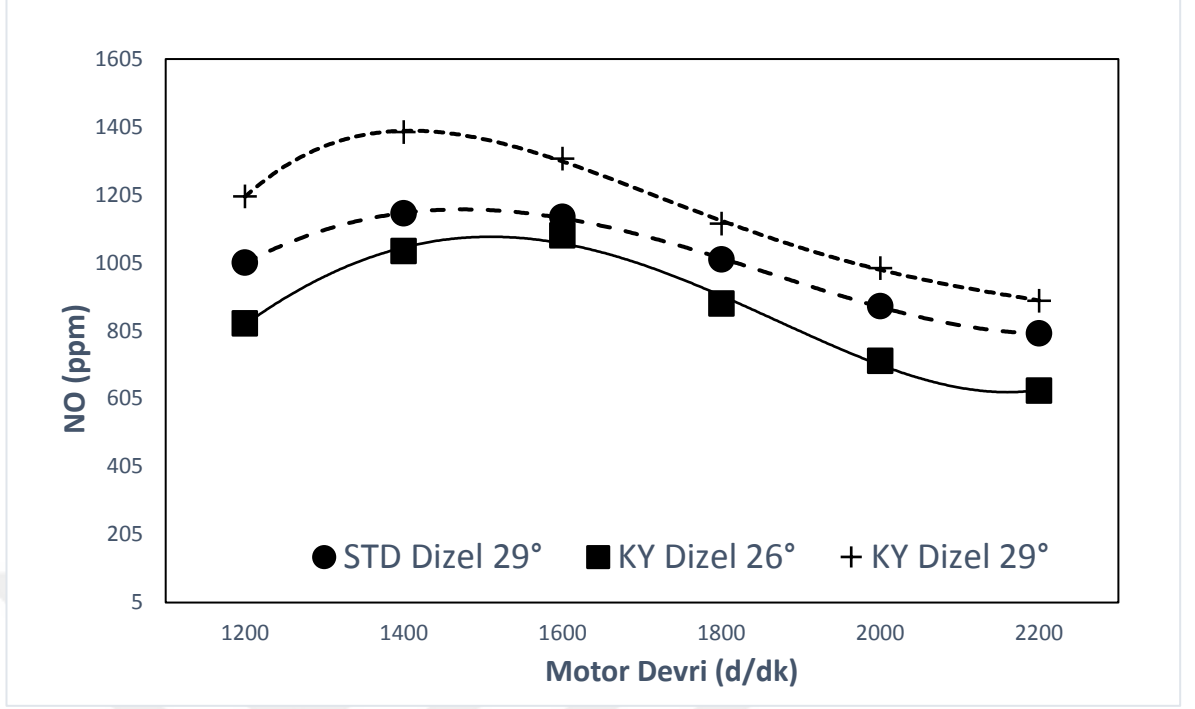
Efektif verim de kısmi yalıtım ile artmıştır (Şekil 5.27).



Şekil 5.27. Seramik kaplamanın Efektif Verime Etkisi

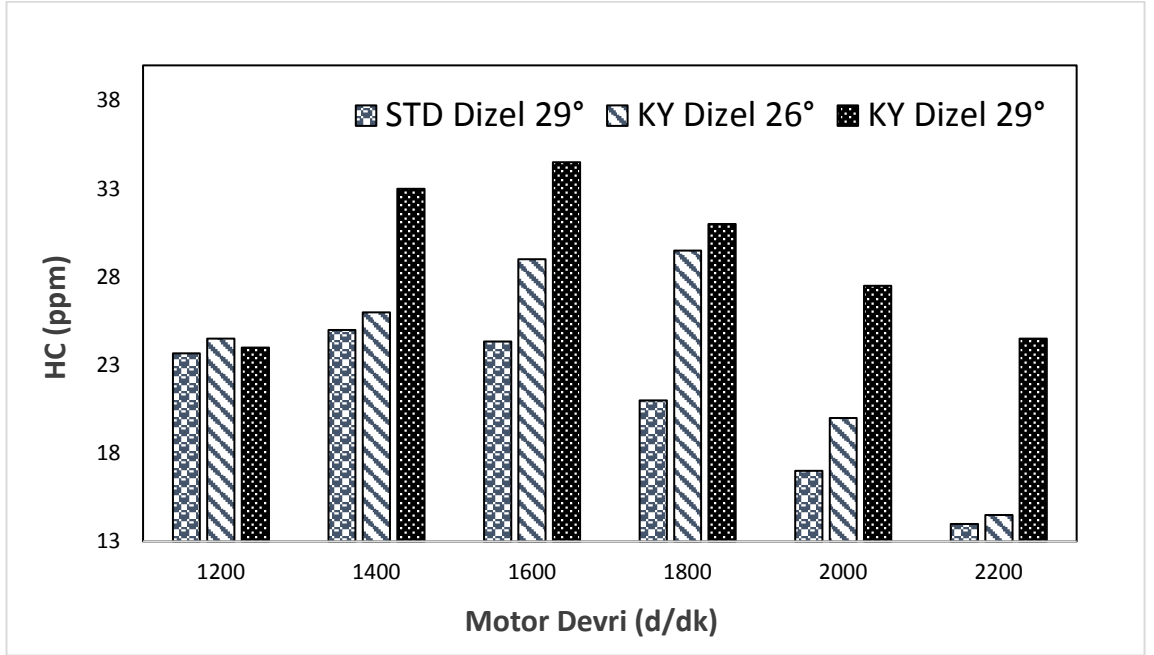
2000 dev/dk üzerinde kısmi yalıtımlı motorun performansının bir miktar düşük olmasının sebebi avansın düşürülmesidir. Yüksek devirler olan kısa yanma süresi avansın da düşmesiyle daha da kısaldığı için performansta kötüleşmeye sebep olmuştur. 1400 devir altında ise yanma odasına giren daha az yakıt enerjisinin yanma odasını yeterince yüksek sıcaklıklara çıkaramaması avansında düşük olmasından dolayı yanmayı olumsuz etkilemektedir. Bu da performans düşüşüne sebep olmaktadır.

Emisyon değerleri incelendiğinde kısmi yalıtımla birlikte yanma kalitesi iyileşmiştir. İyileşen yanma kalitesi ile CO ve is emisyonlarında önemli miktarda düşme olmuştur. Yapılan avans değişimi ile yanma süreci kısaltılarak NO oluşum reaksiyonlarının büyük ölçüde önüne geçilmiştir. Ortalama %20 kadar NO_x emisyonlarında düşüş tespit edilmiştir (Şekil 5.28). Seramik kaplamanın sağladığı yanmadaki iyileşme ile CO emisyonlarında %65 (Şekil 5.29), is emisyonlarında %25 (Şekil 5.30) iyileşme görülmüştür.



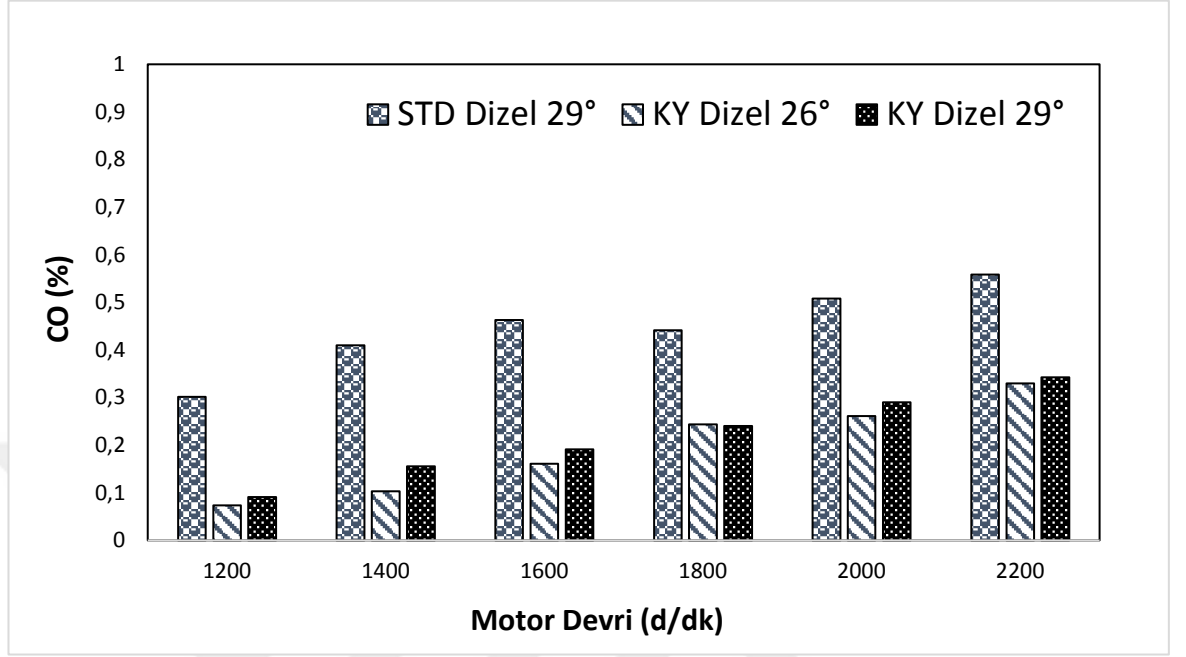
Şekil 5.28. Seramik kaplamanın NO Emisyonuna Etkisi

HC emisyonlarında kısmi yalıtım uygulandığında artış görülmektedir. Ancak bu ölçüm cihazının ölçüm aralığındadır (+/-12 ppm) (Şekil 5.29). Değişim olmadığı kabul edilmiştir.



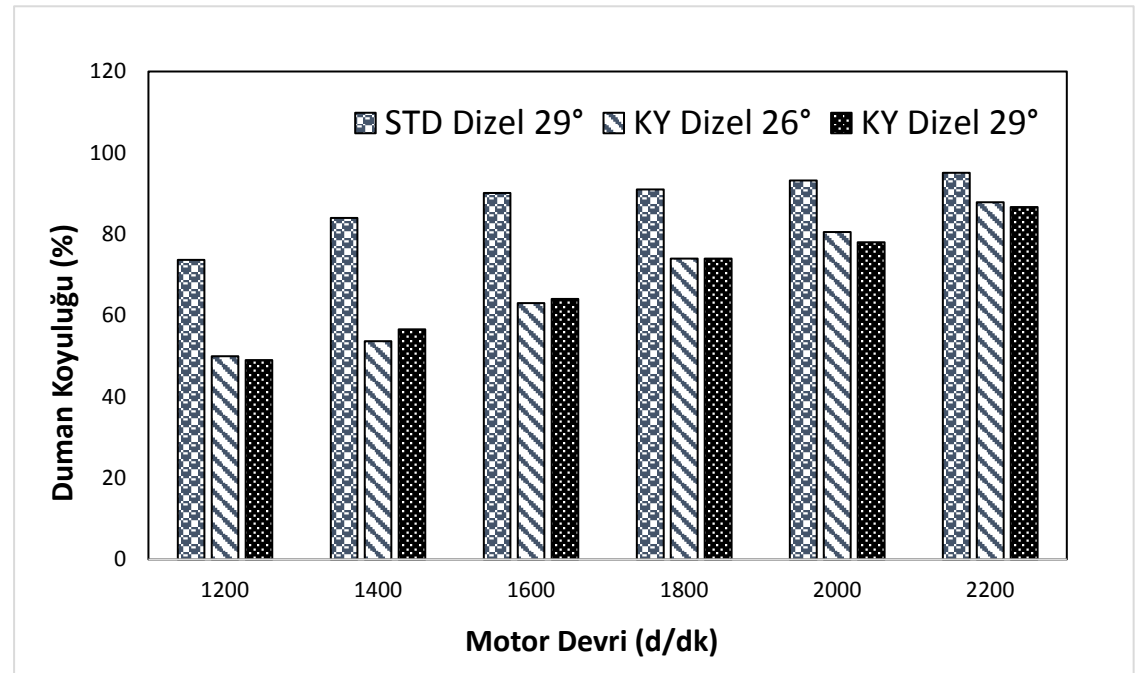
Şekil 5.29. Seramik kaplamanın HC Emisyonuna Etkisi

CO emisyonlarının kısmi yalıtım ile birlikte yanmanın iyileşmesi sebebiyle ciddi oranda azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.30)



Şekil 5.30. Seramik kaplamanın CO Emisyonuna Etkisi

Duman koyuluğunun da kısmi yalıtım ile sağlanan yanma iyileşmesi sayesinde bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.31).

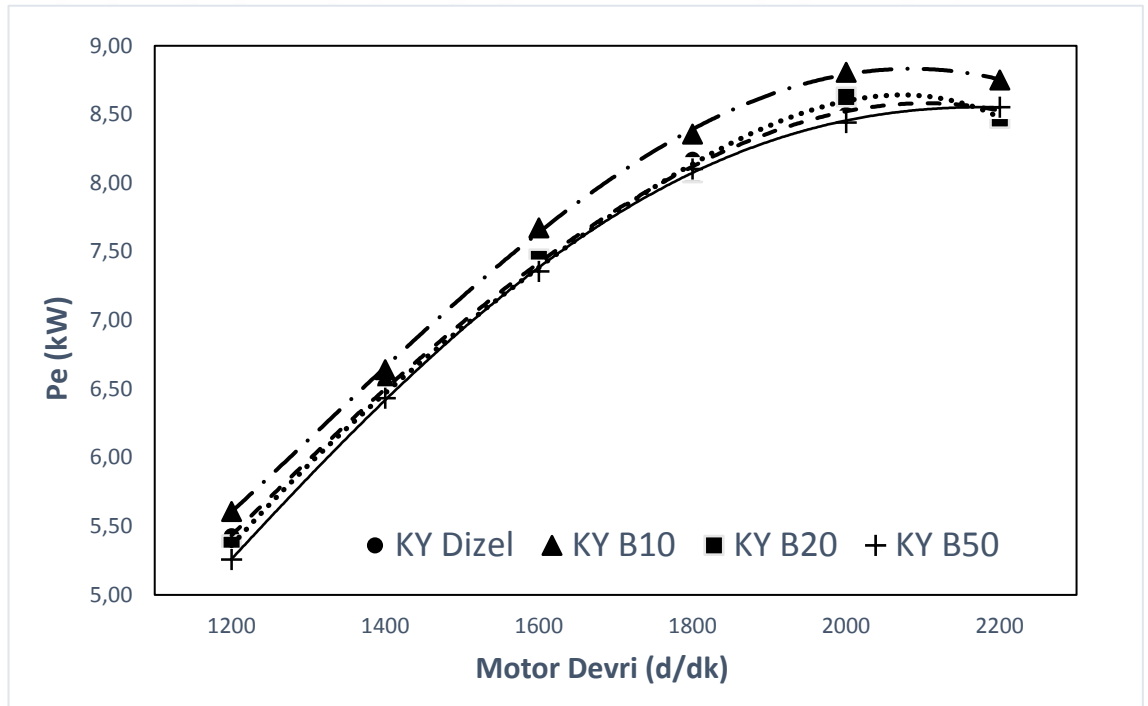


Şekil 5.31. Seramik kaplamanın İS Emisyonuna Etkisi

5.5. Kısmi Yalıtımlı Motorda Biyodizel ve Dizel Yakıtlarının Kıyaslanması

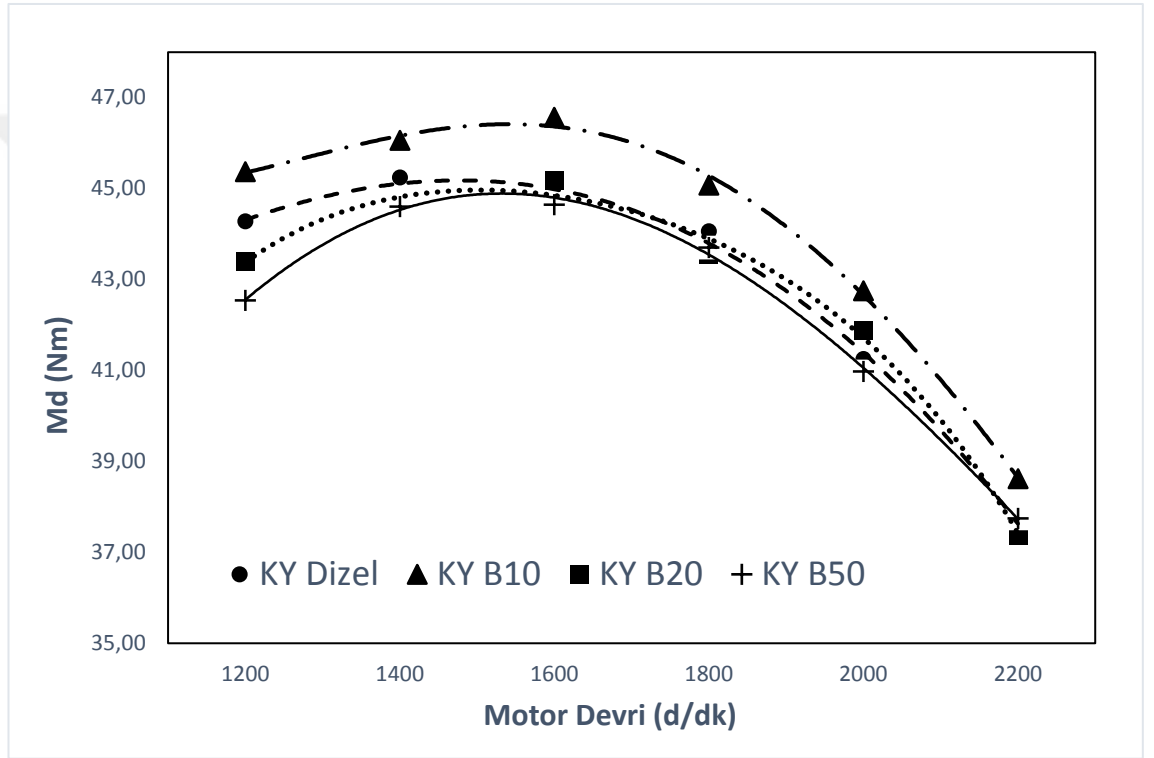
Kısmi yalıtımlı motorda artan sıcaklıklar ile avans değerinin 26° seçilmesi sonucu viskozitesi yüksek olan biyodizelin atomizasyonunun tam olarak sağlanamaması %10 üzeri biyodizel karışımlarında performansta düşüşe sebep olmaktadır. %10'a kadar uygulanan biyodizel karışımlarında içeriğindeki oksijen ile yanmada iyileşme tespit edilmiştir. B20 ve B50 karışımları biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olmasına rağmen dizel yakıt ile hemen hemen yakın performans sergilemektedirler. Bunun nedeni oksijen içeriği sayesinde yanma üzerinde sağladığı iyileşmeden kaynaklanmaktadır. Ancak yine de %10 üzerindeki karışımlarda performansta düşüş gerçekleşmiştir.

Maksimum gücün üretildiği 2000 dev/dk aralığında B10 yakıt kullanıldığında dizel yakıtı göre efektif güçte %3,6'lık bir artış tespit edilmiştir. Maksimum torkun üretildiği 1400 – 1600 dev/dk aralığında torkun %3,3 arttığı tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketiminde bir en düşük B10 yakıtı gözlemlenmiştir. Biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olmasına rağmen B50 yakıtın B20 ve dizel yakıtı yakın güç vermesi efektif verime baktığımızda düşük devirlerde B50 yakıtın daha verimli olduğunu göstermektedir. Devir yükseldikçe yanmadaki kötüleşme verimi de düşürmektedir.



Şekil 5.32. Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının Efektif Güce Etkisi

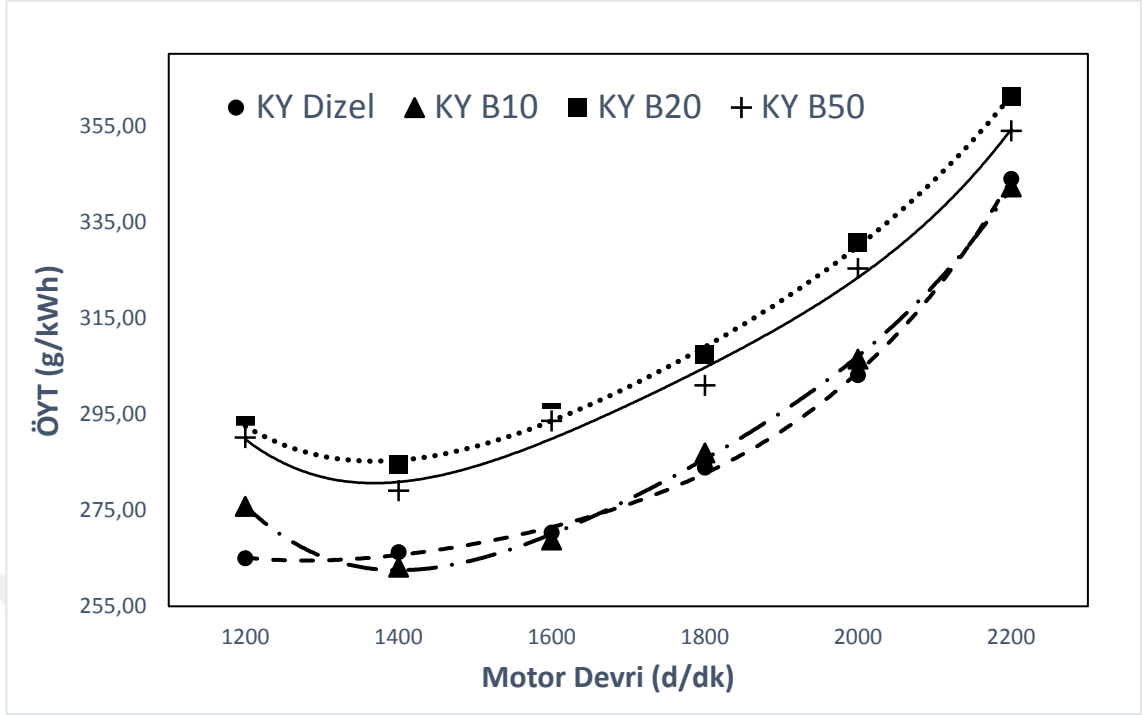
Şekil 5.32 incelendiğinde kısmi yalıtımlı motorda B10 yakıtı ile elde edilen gücün daha yüksek olduğu görülmektedir. Motor karakteristiğindeki değişim ile avansın düşürülmesi buna sebep olmuştur. Standart motorda B20 yakıt ile alınan diğerlerine göre görece yüksek performansa karşın kısmi yalıtımlı motorda B10 yakıtının diğer yakıtlara göre daha iyi performans sergileme sebebinin biyodizelin yanmada oksijen fazlalığı sağlama avantajı yanında yüksek viskositeye sahip olma dezavantajı olduğu düşünülmektedir. 26° KMA değerine düşen avans yanma süresini kısaltmakta ve viskositesi yüksek olan biyodizelin yanması zorlaşmaktadır.



Şekil 5.33. Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının Döndürme Momentine Etkisi

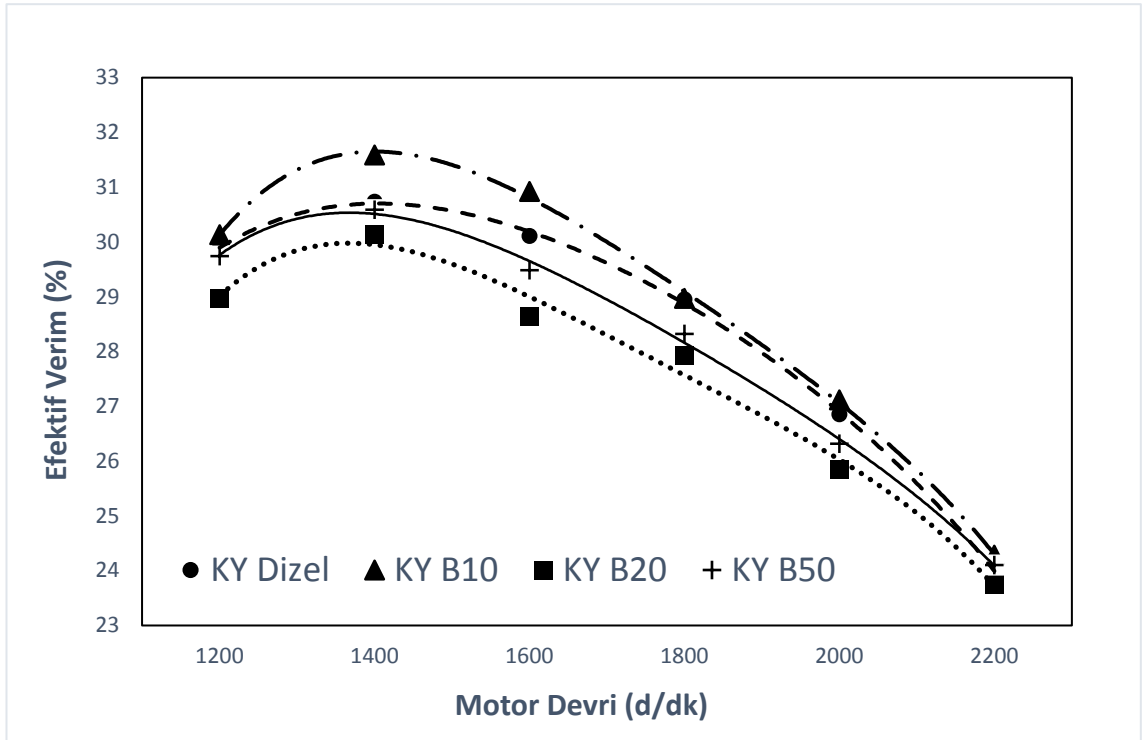
Şekil 5.33'de de aynı durum teyit edilmektedir. Tork değeri de efektif güçte olduğu gibi B10 yakıtında en iyi olduğu tespit edilmiştir.

Özgül yakıt tüketimide performansın bir göstergesidir. Şekil 5.34 incelendiğinde önceki parametrelerle aynı doğrultudan en iyi performans gösteren B10 yakıtının en düşük özgül yakıt tüketimini sağladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.34. Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

Düşük devirlerde B10 yakıtın daha iyi performans gösterdiği devir yükseldikçe değerlerin birbirine yaklaştığı efektif verimleri incelendiğinde görülmektedir (Şekil 5.35).

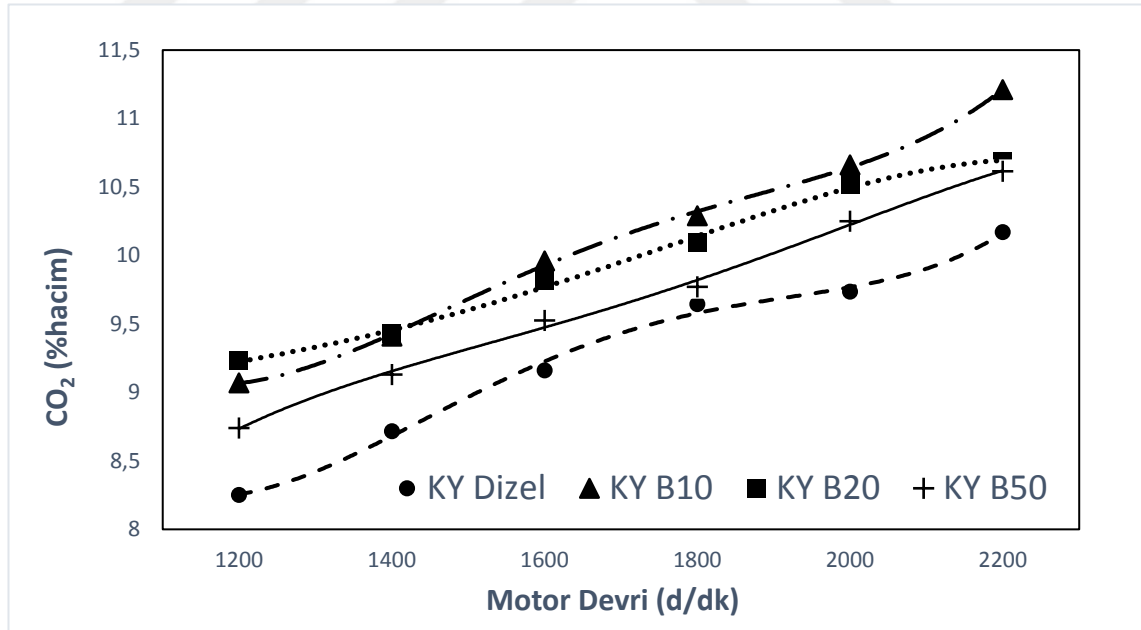


Şekil 5.35. Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının Efektif Verime Etkisi

Egzoz emisyonları incelendiğinde yanmanın en iyi olduğu yakıt olan B10'da tam yanma ürünü olan CO₂ emisyonlarının en fazla olduğu görülmektedir. B20 ve B50 yakıtladının içerdiği oksijen ile yanma sırasında dizel yakıtı göre daha iyi performans sergilese de B10 en iyi sonucu vermiştir (Şekil 5.36).

Biyodizel yakıtın viskozitesinin yüksek oluşu karışımdaki biyodizel oranı arttıkça püskürtme sırasında atomizasyonun tam olarak sağlanamaması sonucu büyük moleküller halinde yakıtların yanması ile sıcak bölgeler oluşmuş ve B20 ile B50 yakıtlarında NO emisyonlarını tetiklemiştir. 1600 dev/dk altı devirlerde biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olmasından ötürü daha düşük yanma odası sıcaklığı ile NO emisyonları dizel yakıtı göre düşük çıkmıştır. 1600 dev/dk üzerinde ise yanma odasına gönderilen yakıt miktar arttığından sıcaklık yeterince yükselmiş ve biyodizelin yapısında bulunan oksijenle NO reaksiyonları artmıştır (Şekil 5.37).

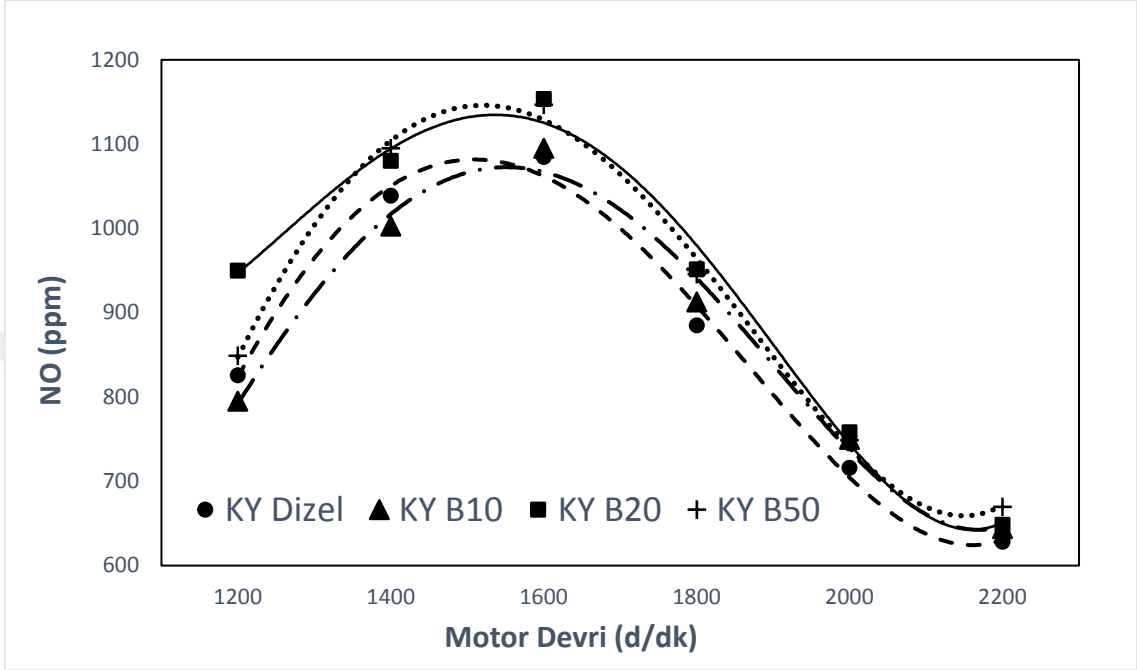
HC, CO ve is emisyonlarında yine biyodizelin viskozitesinin etkili olduğu görülmektedir. Atomizasyonun yeterince iyi sağlanamaması yanma kalitesini düşürmektedir (Şekil 5.38 – 5.39 – 5.40).



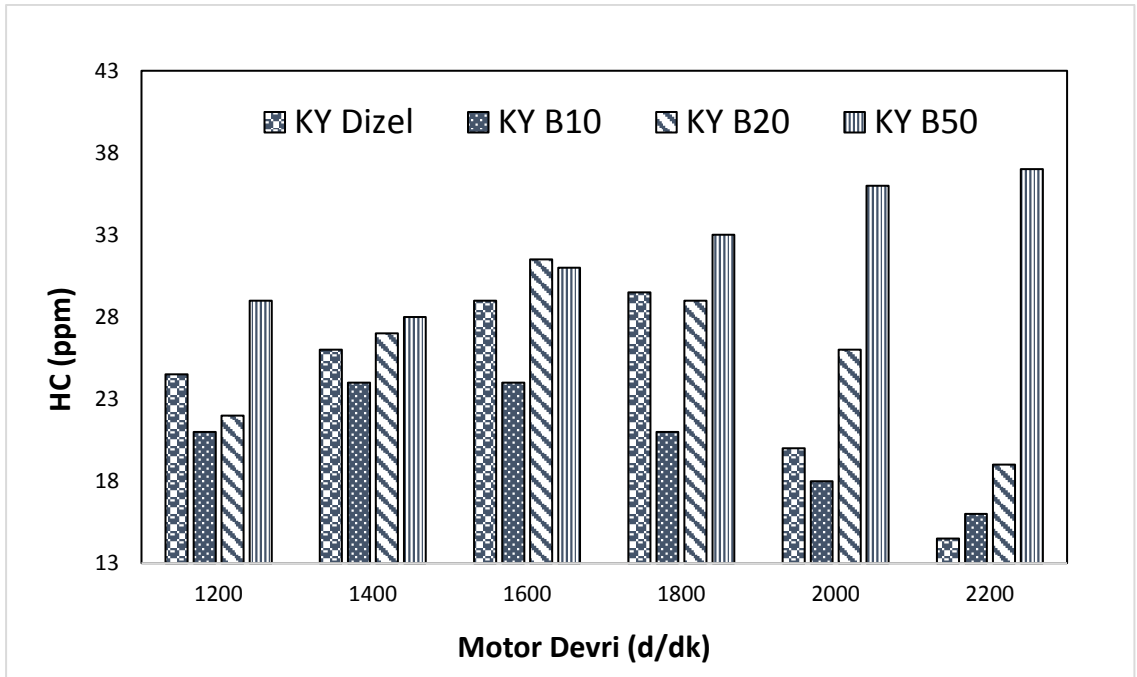
Şekil 5.36. Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının CO₂ Etkisi

Yanma ne kadar iyiyse tam yanma ürünü olan CO₂ emisyonu da o kadar yüksek olur. B10 yakıtı en iyi yanma performansına sahip olduğundan en yüksek CO₂ emisyonlarının B10 yakıtında olduğu görülmektedir (Şekil 5.36).

Şekil5.37 incelendiğinde NO emisyonlarının B20 ve B50 yakıtlarında B10 ve Dizel yakıtı göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin biyodizel yakıtın oksijen içeriğinin yanma sırasında sağladığı oksijen fazlalığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

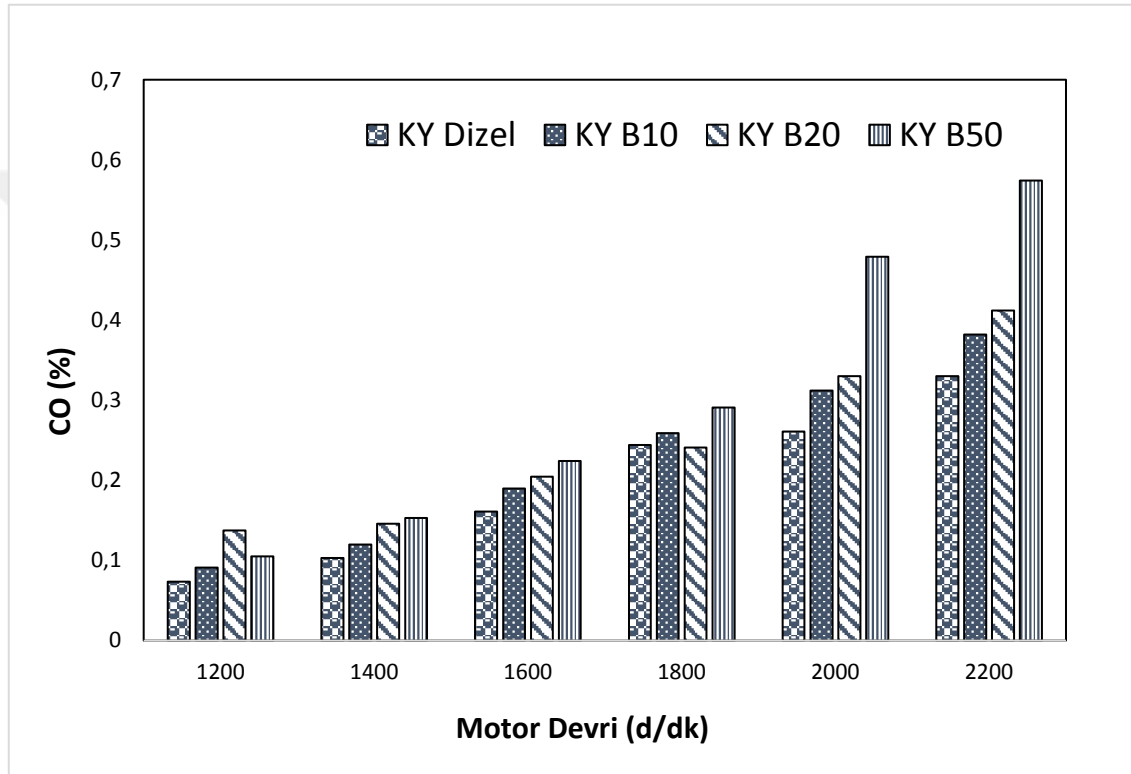


Şekil 5.37. Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının NO Etkisi



Şekil 5.38. Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının HC Etkisi

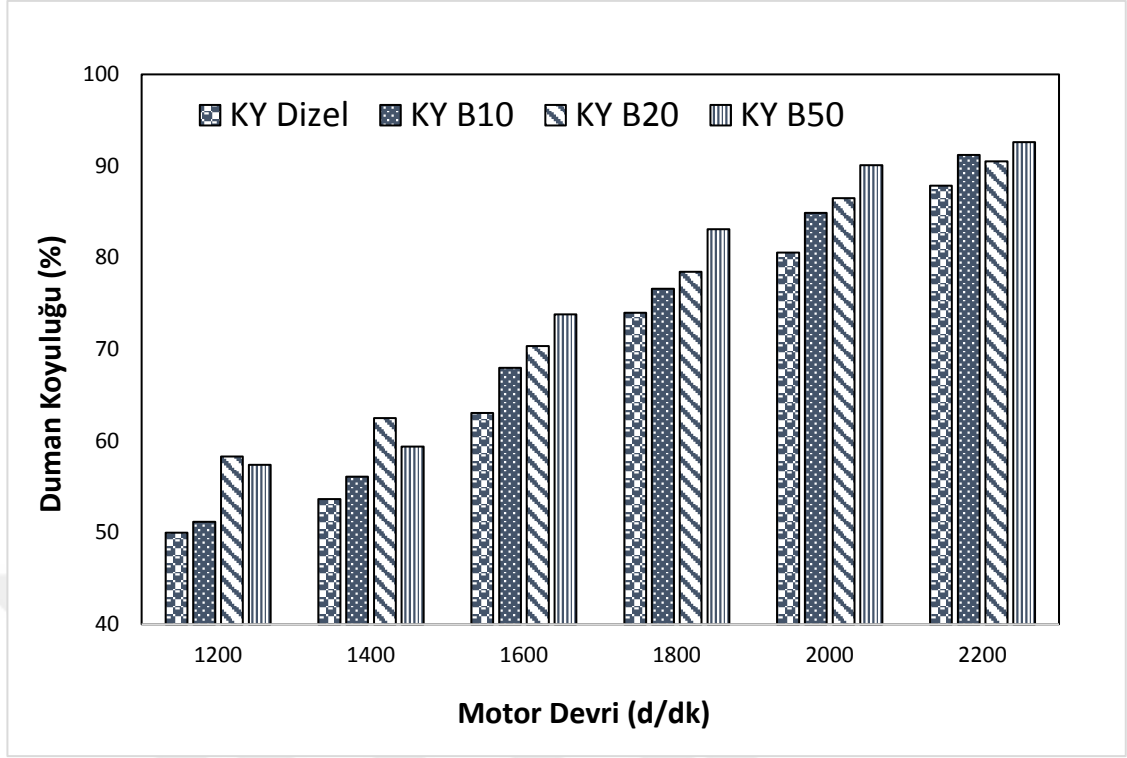
Şekil 5.38 incelendiğinde HC emisyonlarında yanma performansı ile ilişkisi görülmektedir. Düşük devirlerde ölçüm cihazının ölçüm aralığında kaldığı için değerler yakın kabul edilmiş ancak yüksek devirlerde yakıtların yanma performansına göre eksik yanma ürünü olan HC emisyonunun değişimi görülmektedir. Yanma performansı en kötü olan B50 yakıtı ile motor çalıştırıldığında en çok HC emisyonunu ortaya çıkardığı görülmüştür. En az HC emisyonunu dizel yakıt vermiştir. Bunun sebebidir biyodizel yakıtın viskozitesinin yüksek olması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.39. Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının CO Etkisi

Bir diğer eksik yanma ürünü olan CO emisyonunun dizel yakıtta en düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun biyodizel yakıtın viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 5.39).

Benzer durum Şekil 5.40 incelendiğinde duman koyuluğunda da görülmektedir. Biyodizel yakıtın viskozitesinin yüksek oluşu KMA değeri ile yanma odasında kaldığı sürenin kısalması duman koyuluğunu düşük devirlerde bir miktar artırmış ancak yüksek devirlerde oksijen fazlalığının sağladığı avantajla daha yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir.



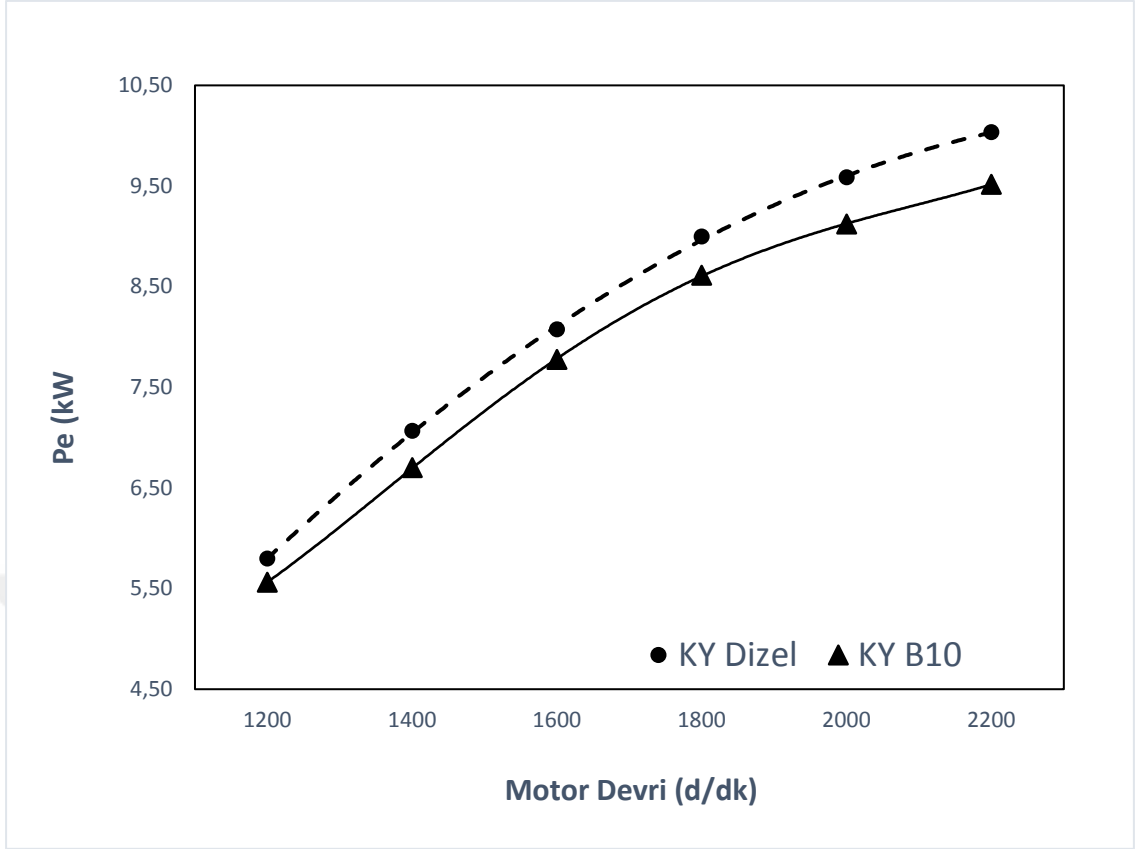
Şekil 5.40. Farklı Oranda Biyodizel Kullanımının İs Etkisi

Kısmi yalıtımlı motorda B10 yakıtının gösterdiği görece daha iyi performans sebebiyle kısmi yalıtımlı motorda yakıt olarak B10 yakıtı tercih edilmiştir. Standart motorda 29° KMA avans değerinde B20 yakıtı en iyi performansı gösterirken, kısmi yalıtımlı motorda avans değerinin düşürülmesi ile B10 yakıtı en iyi performansı sergilemiştir. Biyodizelin yüksek viskozite değerinden dolayı %10 üzeri biyodizel karışımlarda, yanma odasında kalma süresinin de kısılması sebebiyle yanma kalitesinin kötüleştiği düşünülmektedir.

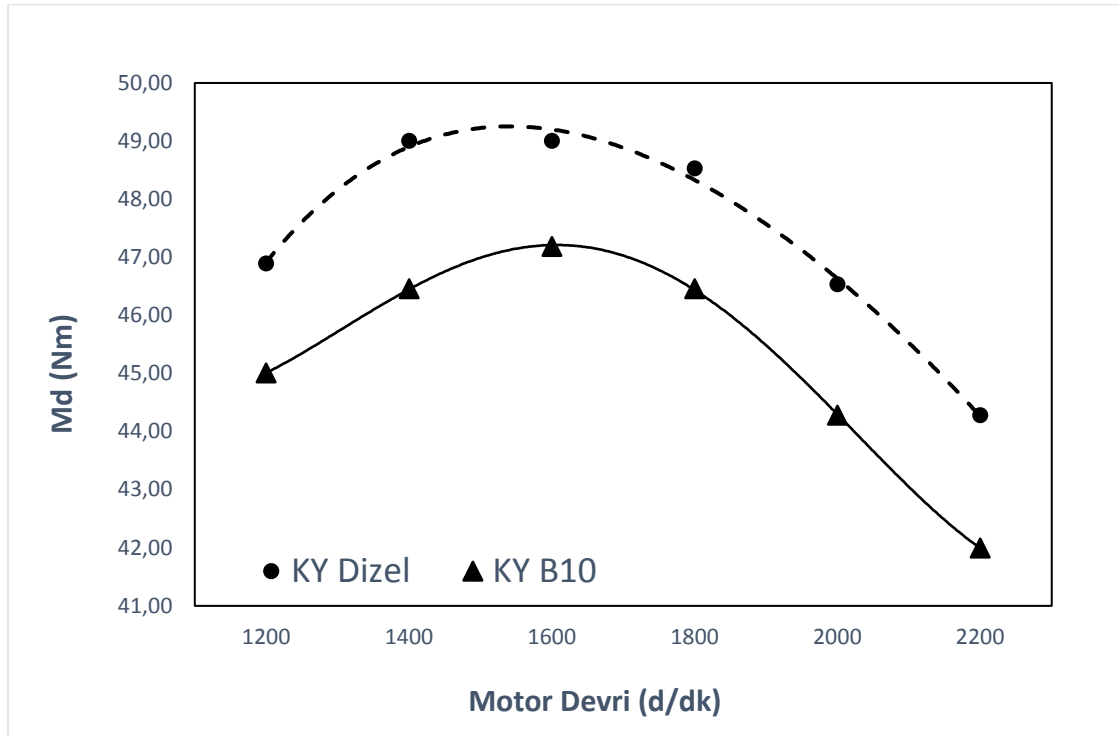
5.6. Kısmi Yalıtımlı Motorda Aşırı Doldurmanın Etkilerinin İncelenmesi

Kısmi yalıtımlı motorda da standart motorda olduğu gibi 1,2 bar uygulanan aşırı doldurma biyodizelin oksijen avantajını ortadan kaldırmıştır. Hava fazlalığı ile yanma iyileşmiştir. Biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olması efektif güç ve döndürme momentinin B10 yakıtında daha düşük olmasına sebep olmuştur. (Şekil 5.41 – 5.42).

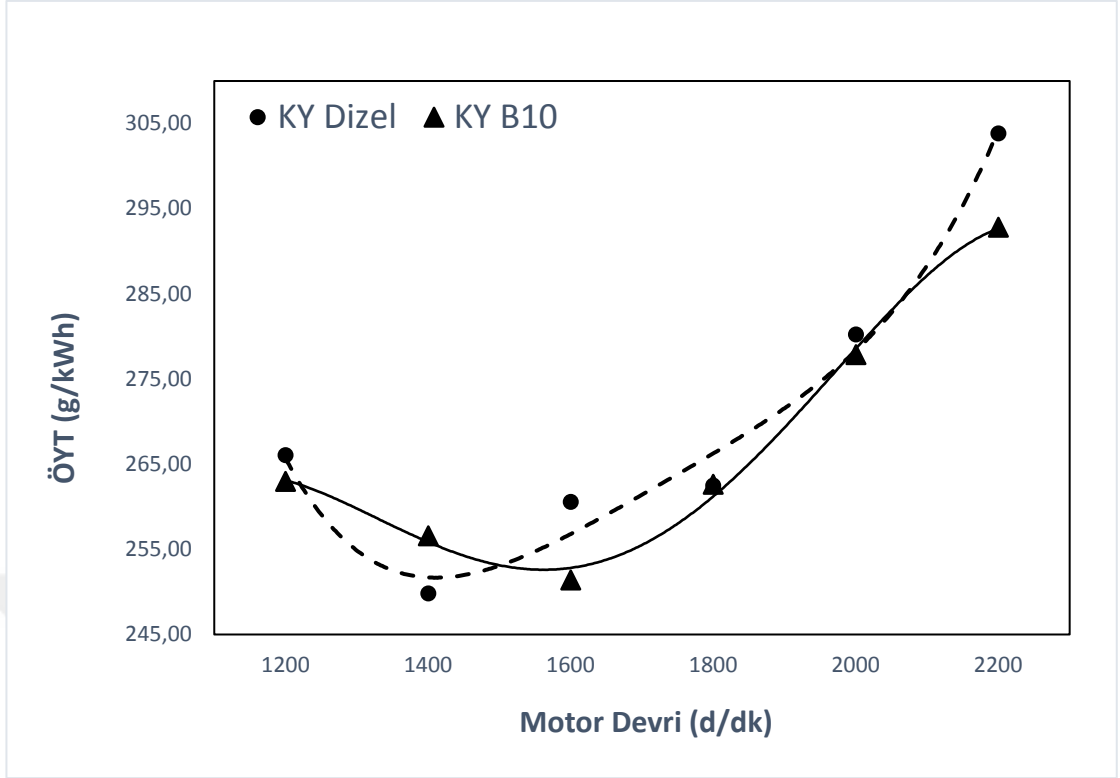
Özgül yakıt tüketimleri birbirlerine yakındır (Şekil 5.43). Efektif verim alt ısıl değerinin biyodizelde daha düşük olmasına rağmen benzer karakteristikler göstermelerinden dolayı B10 ve Dizele yakıtın birbirine yakındır (Şekil 5.44).



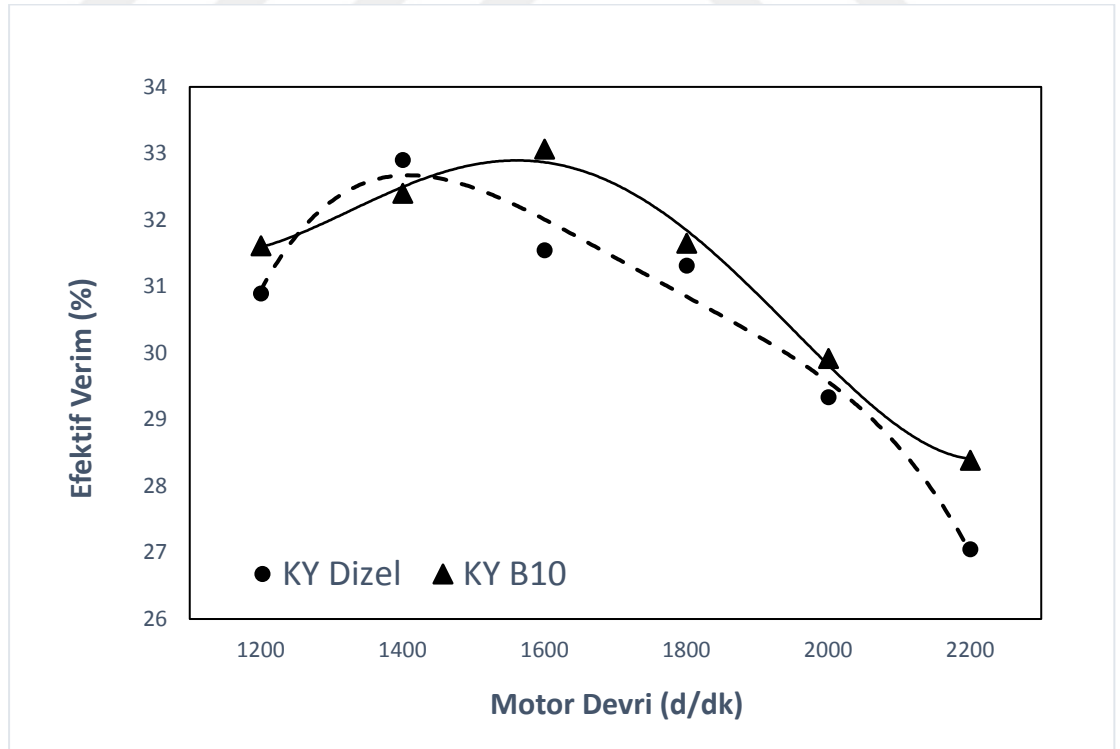
Şekil 5.41. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Efektif Güce Etkisi



Şekil 5.42. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Döndürme Momentine Etkisi

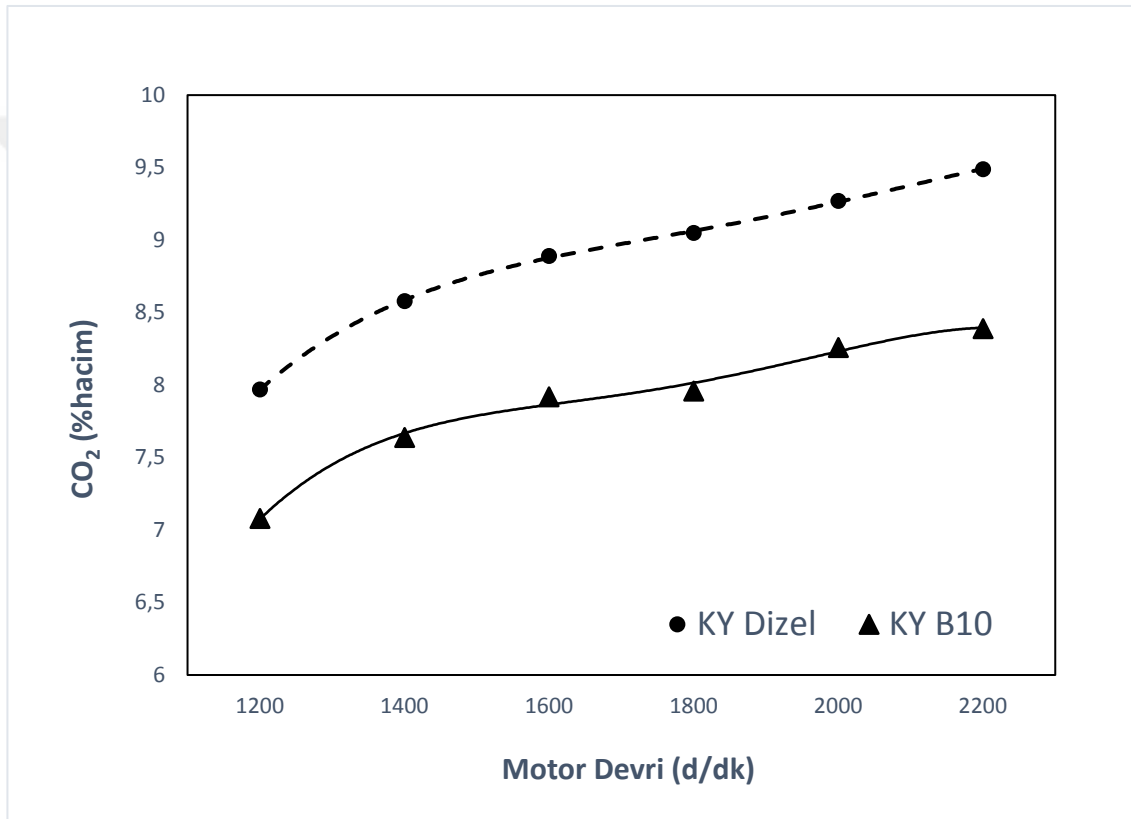


Şekil 5.43. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Özgöl Yakıt Tüketimine Etkisi

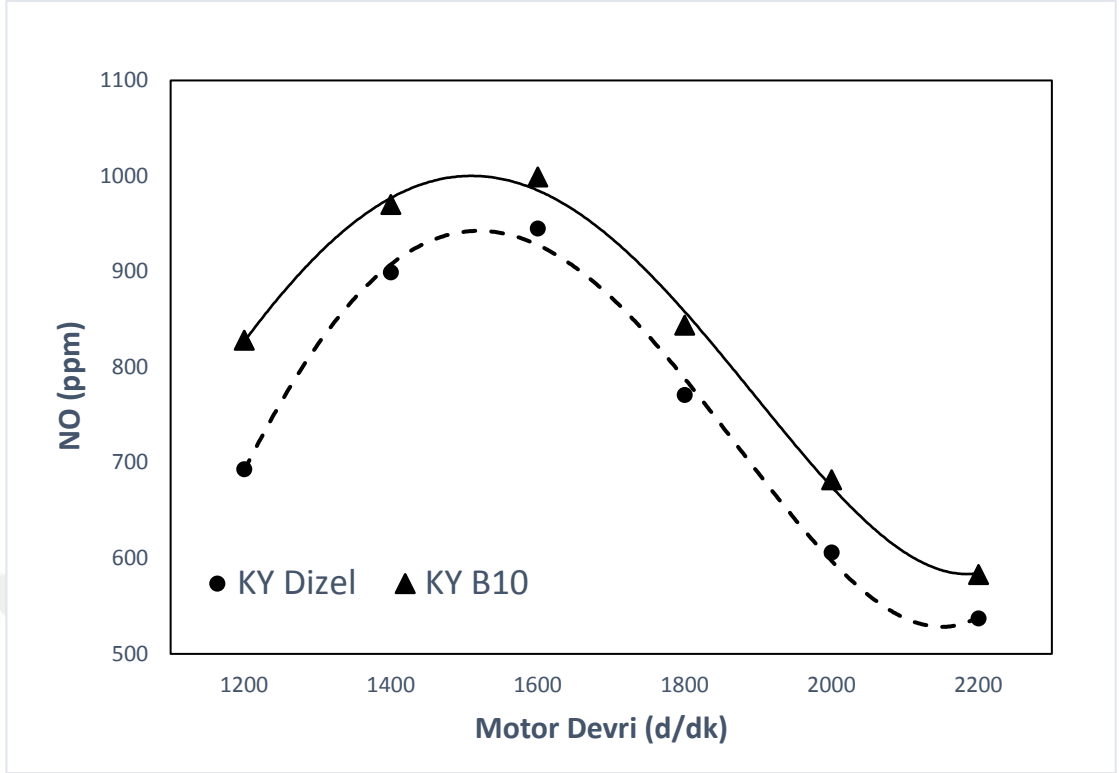


Şekil 5.44. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının Efektif Verime Etkisi

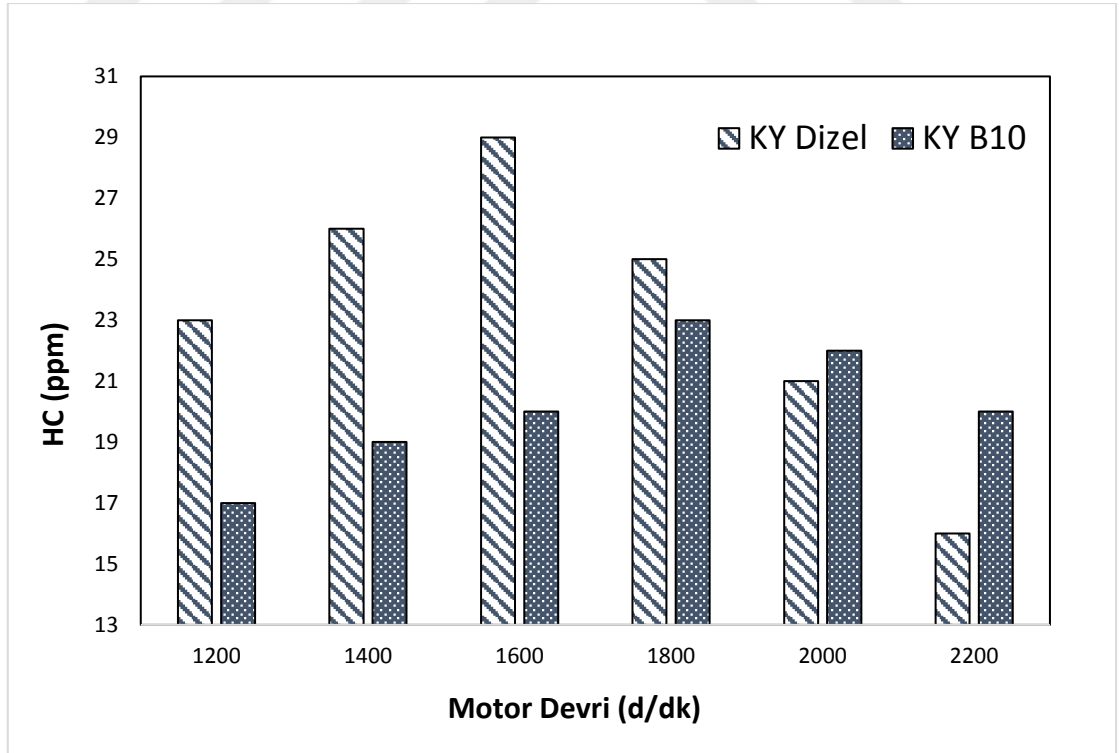
Aşırı doldurma uygulaması sonucu yanma tüm yakıtlarda iyileşmiştir. En iyi yanma performansın görüldüğü dizel yakıtında CO₂ emisyonu en fazladır (Şekil 5.45). Biyodizel viskozitesinin yüksek oluşu yanma kalitesini etkilemektedir. NO emisyonları biyodizelin içerdiği oksijen nedeniyle B10 yakıtında yüksektir (Şekil 5,46). HC, CO ve is emisyonları Biyodizelin yapısında barındırdığı oksijen sayesinde daha düşüktür (Şekil 5.47 – 5.48 – 5.49). Aşırı doldurma ile hava fazlalığı sağlansa da biyodizelin yapısındaki oksijen dizel motorlar da karşılaşılan yakıt hava karışımının tam olarak sağlanamaması problemini bir nebze azaltarak eksik yanma ürünü emisyonların daha az olmasında en önemli etkindir.



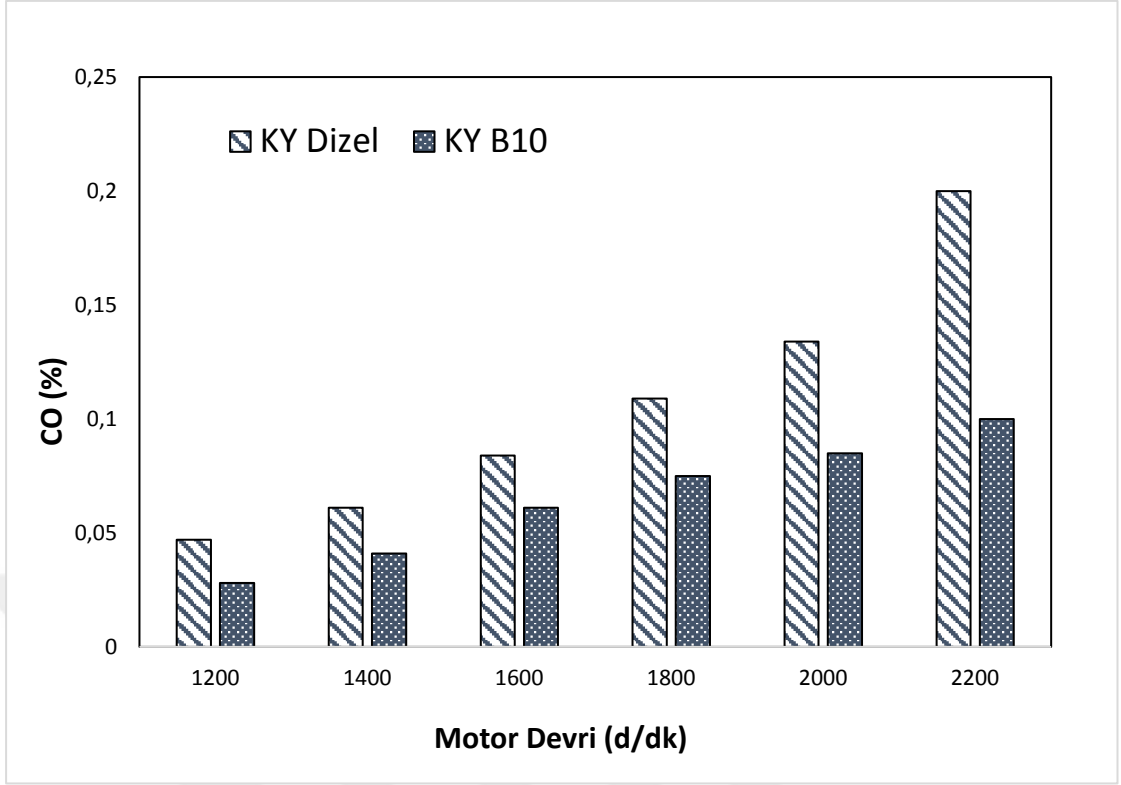
Şekil 5.45. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının CO₂ Emisyonuna Etkisi



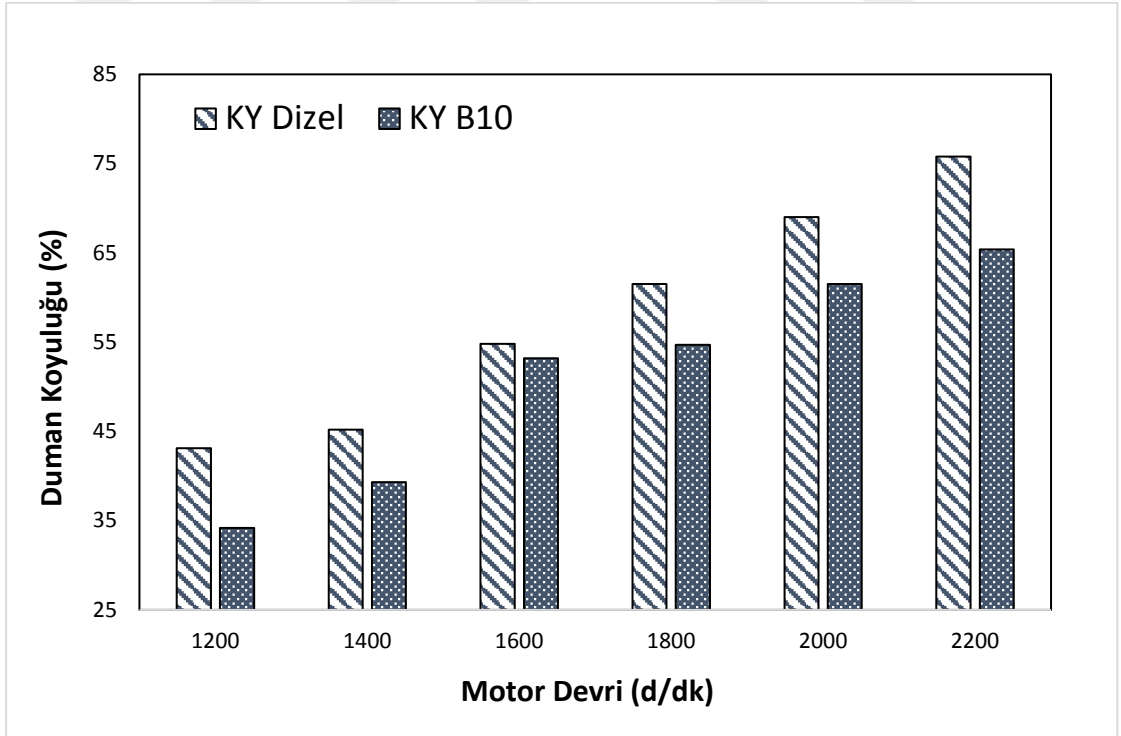
Şekil 5.46. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının NO Emisyonuna Etkisi



Şekil 5.47. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının HC Emisyonuna Etkisi



Şekil 5.48. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının CO Emisyonuna Etkisi



Şekil 5.49. 1,2 bar Aşırı Doldurma Uygulamasının İs Emisyonuna Etkisi

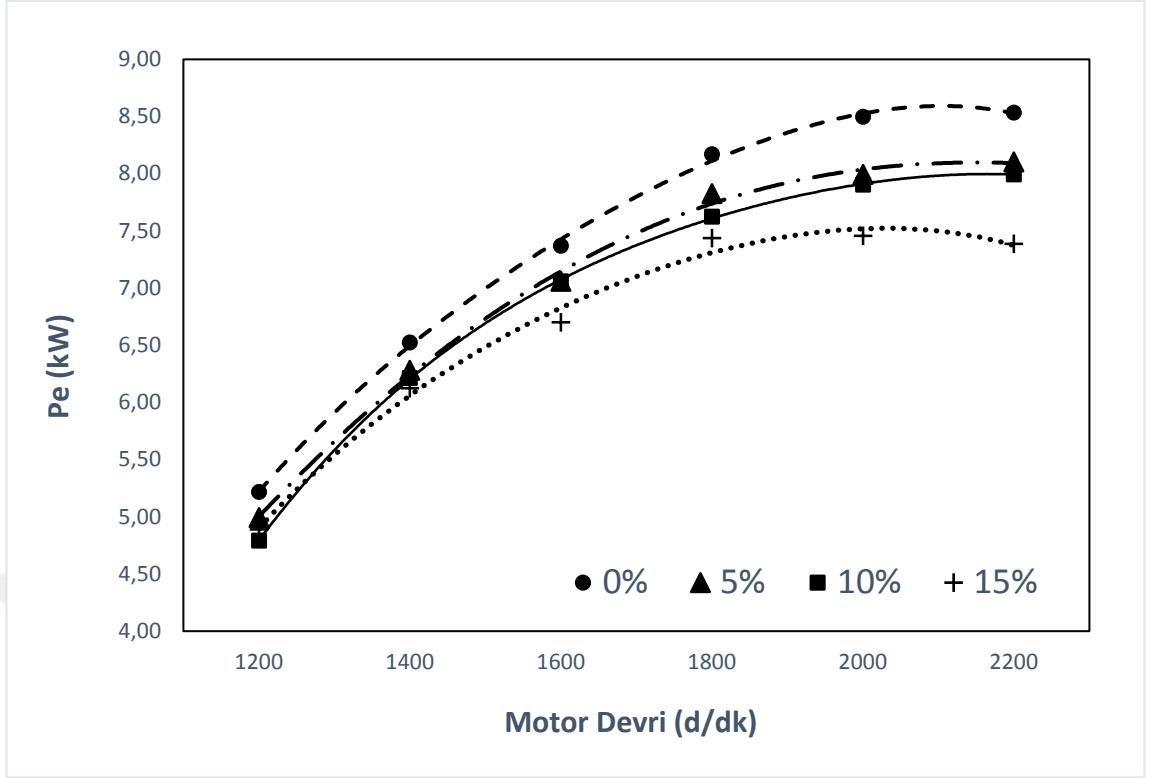
5.7. Kısmi Yalıtımlı Motorda Optimum EGR Oranının Belirlenmesi

Avans değışikliği ile NO emisyonlarında düşüş sağlansa da bu düşüş yeterli değildir. Yanmada gerçekleşen iyileşmeler ve yanma odasında sağlanan yüksek sıcaklıklar NO_x emisyonlarını tetiklemektedir. NO_x emisyonlarını düşürmek için yanma sırasında ve sonrasında farklı yöntemler uygulanmaktadır. Performansı artırmak için yapılan tüm iyileştirmelere karşılık egzoz emisyon standartlarını sağlamak için bazen bu performanstan feragat etmek gerekmektedir. Egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) bu yöntemlerden biridir. Egzoz gazının çevrilerek belli bir oranda emme manifolduna gönderilmesi prensibine dayanır. Bu şekilde NO_x emisyonları ciddi şekilde azalırken performansta bir miktar kayıp olur.

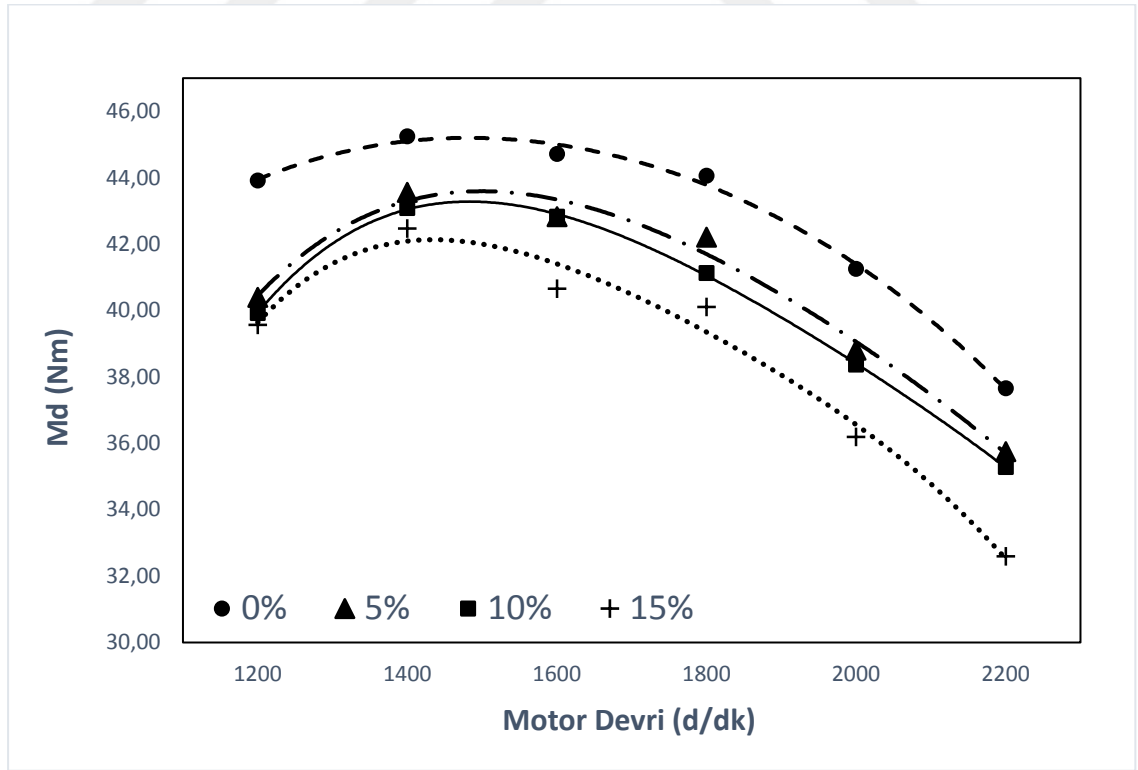
Kısmi yalıtımlı dizel motorunda dizel yakıt ile %5, %10, %15 oranlarında EGR uygulanarak performans ve emisyonlara göre en uygun EGR oranı belirlenmiştir. Uygulanan EGR'ye orantılı olarak performansın düştüğü, beraberinde NO emisyonunun da düştüğü tespit edilmiştir. %15 EGR oranında HC, CO ve is emisyonlarının aşırı derecede kötüleştiği gözlemlenmiştir. En ideal olan performansta ki düşük kayba karşın NO emisyonunda yarı yarıya gerileme sağlanan %10 EGR oranı çalıştığımız motor için seçilmiştir.

EGR uygulaması uygulanan EGR oranıyla orantılı olarak efektif güç ve momentte azalmaya sebep olmuştur. Deney motorumuz için en uygun oran %10 EGR olarak tespit edilmiştir. %10 EGR uygulandığında performansta en yüksek gücün alındığı 2000 – 2200 dev/dk aralığında efektif güçte %7 kayıp tespit edilmiştir (Şekil 5.50). Buna karşılık NO emisyonunun %65 oranında azaldığı görülmüştür (Şekil 5.55).

%10 ve %5 EGR uygulamalarında efektif güç ve moment değerlerinin birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.50 – 5.51). Buna karşın NO emisyonları tarafında ciddi farklılığın olduğu görülmektedir (5.55).

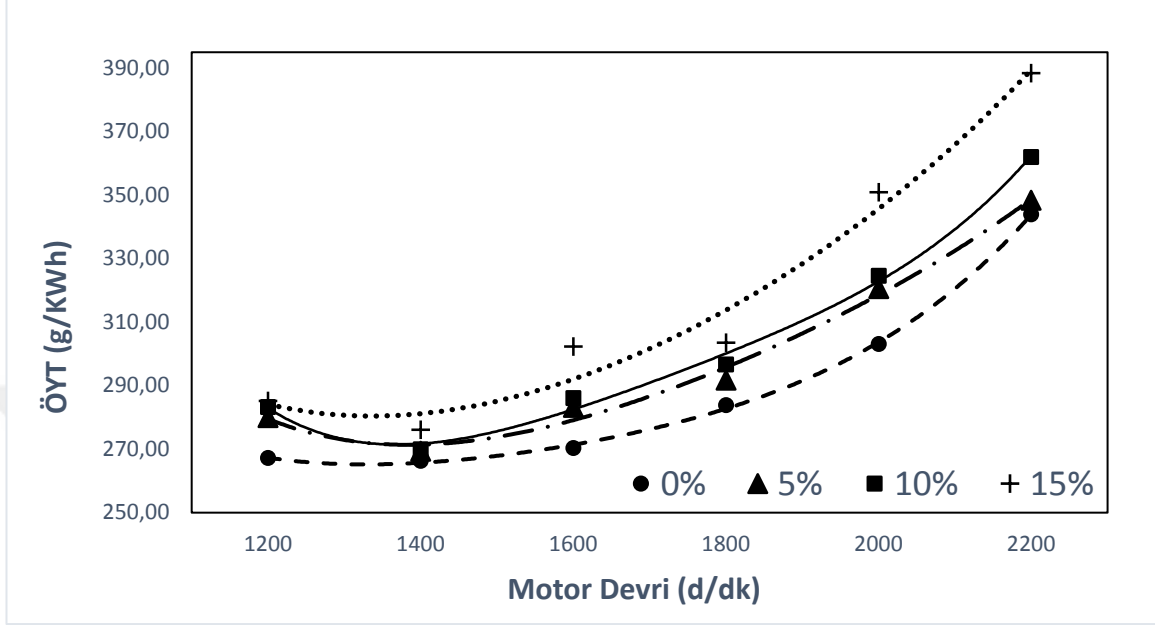


Şekil 5.50. EGR Uygulamasının Efektif Güce Etkisi



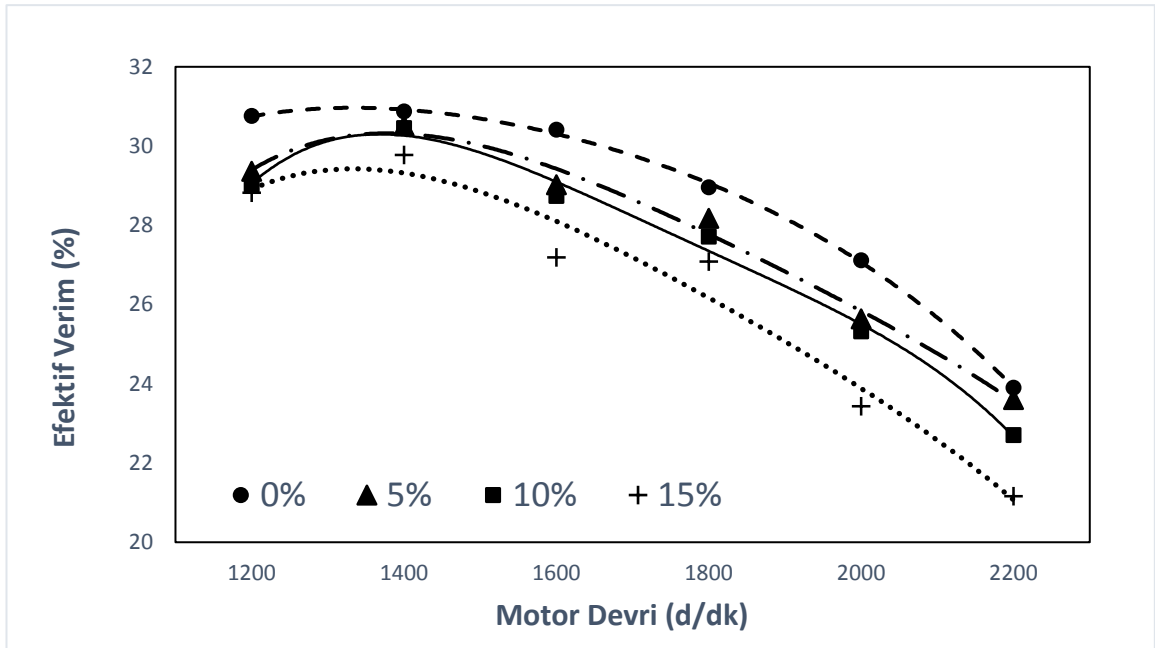
Şekil 5.51. EGR Uygulamasının Döndürme Momentine Etkisi

Özgül yakıt tüketiminin uygulanan EGR oranıyla orantılı olarak arttığı görülmektedir. Bu EGR ile yanmanın kötüleşmesi dolayısıyla yakıt tüketiminin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 5.52).



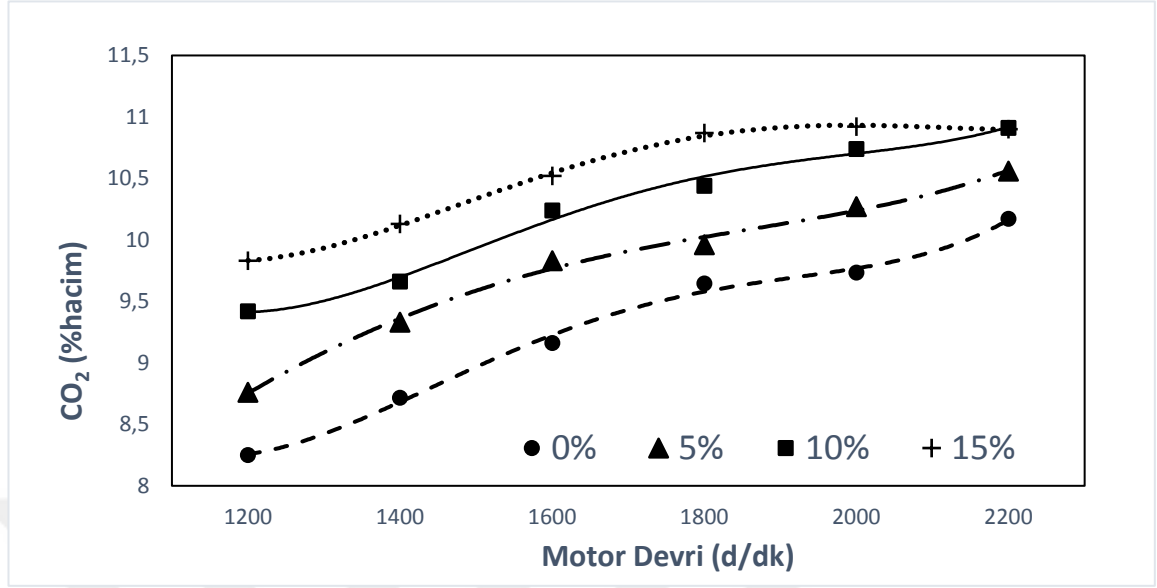
Şekil 5.52. EGR Uygulamasının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

Yanmanın kötüleşmesi uygulanan EGR oranına göre verimi olumsuz etkilemektedir (Şekil 5.53).



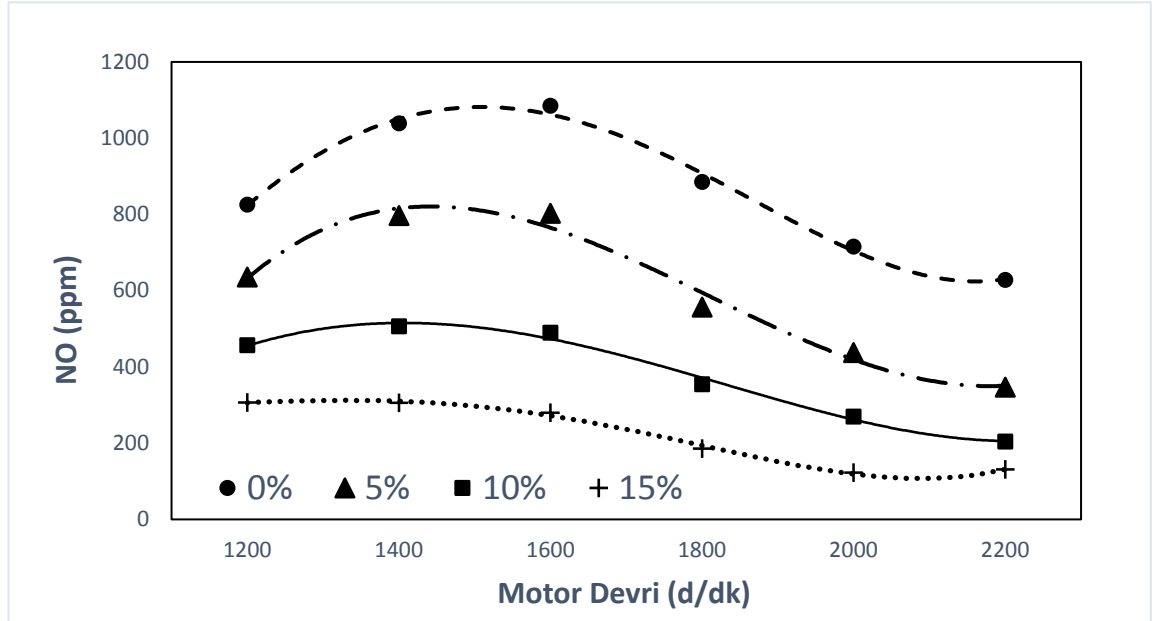
Şekil 5.53. EGR Uygulamasının Efektif Verime Etkisi

EGR ile yanma odasına egzoz gazı göndermek CO₂ emisyonlarını artırmıştır (Şekil 5.54).



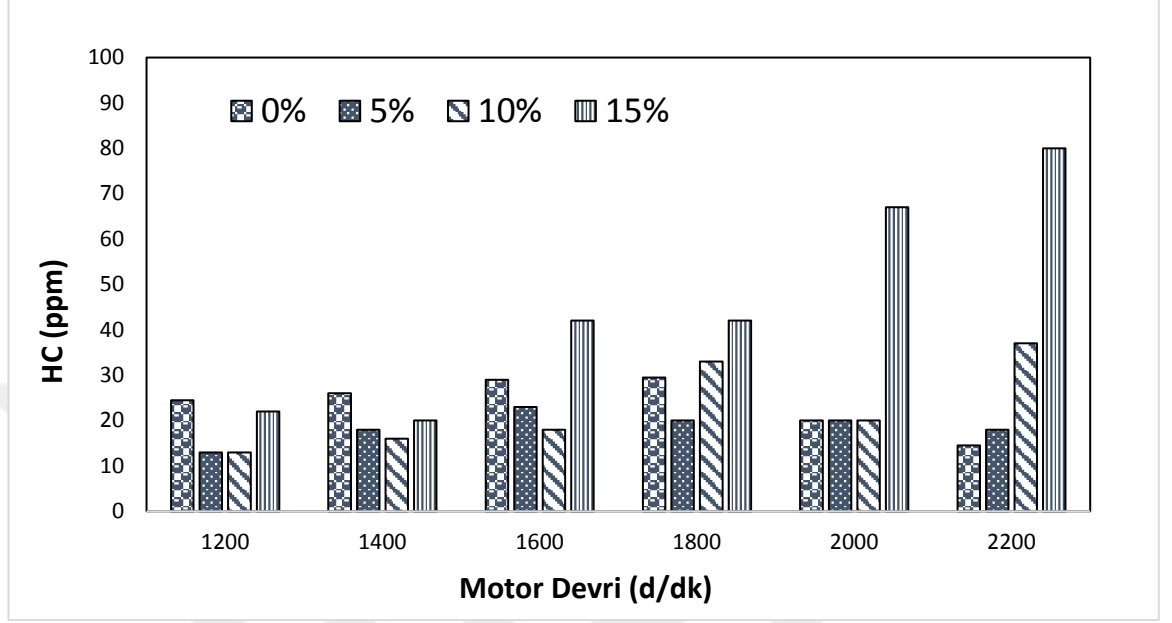
Şekil 5.54. EGR Uygulamasının CO₂ Emisyonuna Etkisi

EGR uygulamadaki asıl amaç olan NO emisyonlarının düşürülmesi Şekil 5.55’de görülmektedir. %5 ve %10 oranlarında uygulanan EGR ile az miktarda tespit edilen performans kaybının yanında NO emisyonlarında ciddi oranda düşüş tespit edilmiştir. Özellikle %10 EGR uygulandığında NO emisyonundaki düşüş yarıdan fazladır. Bu da EGR uygulamasının amacına ulaştığını göstermektedir.



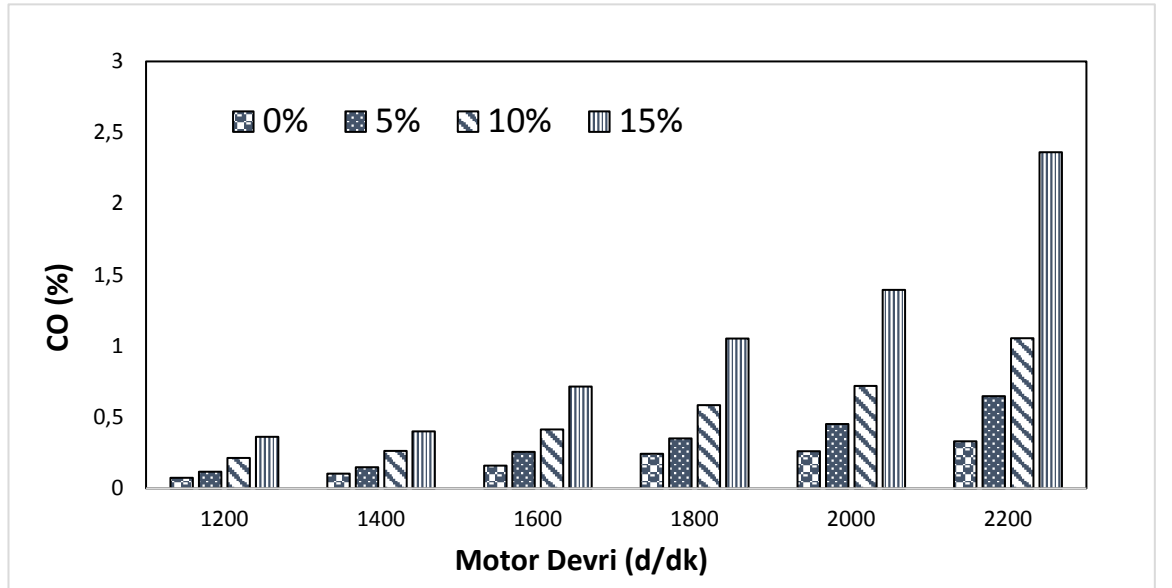
Şekil 5.55. EGR Uygulamasının NO Emisyonuna Etkisi

HC emisyonu yüksek %15 EGR uygulandığında yanmayı çok fazla kötüleştirmesinden ötürü arttığı gözlemlenmiştir. Diğer değerlerde cihaz ölçüm aralığında yakın değerler gözlemlenmiştir (Şekil 5.56).



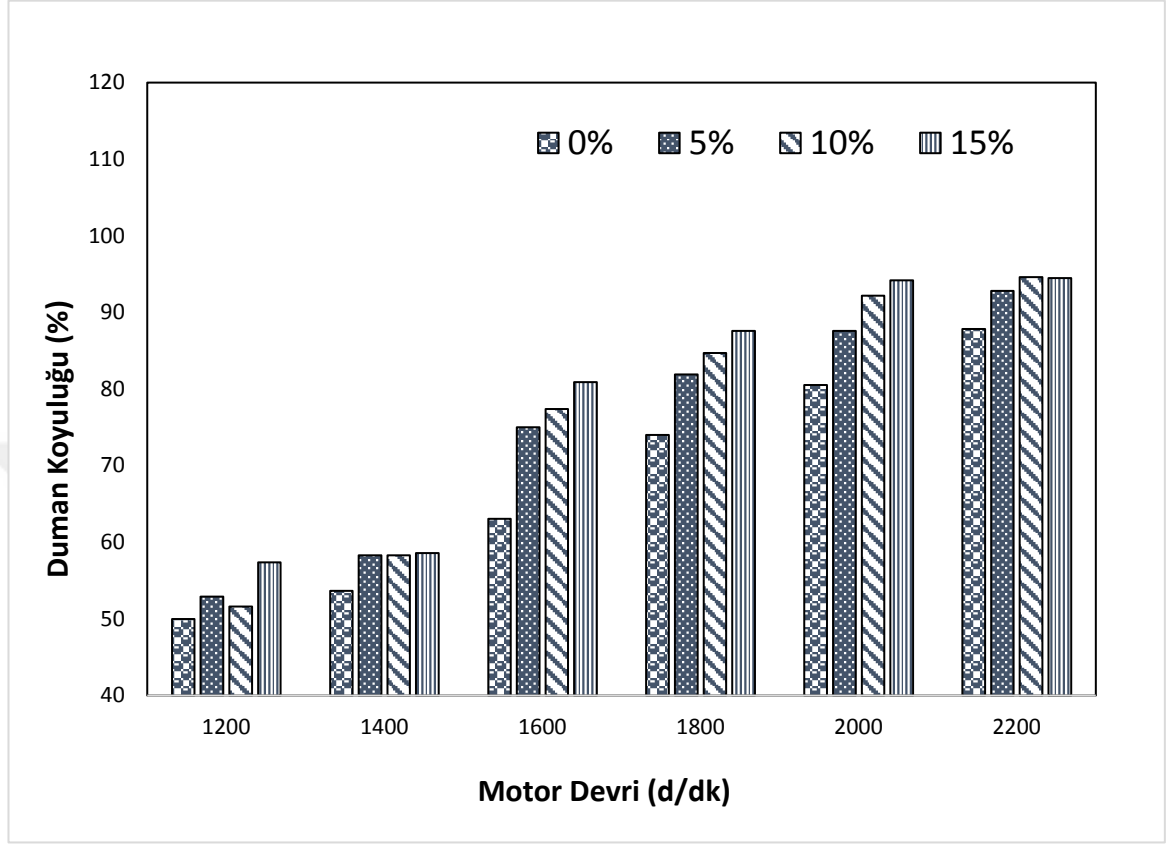
Şekil 5.56. EGR Uygulamasının HC Emisyonuna Etkisi

Bir başka eksik yanma ürünü olan CO emisyonunda da uygulanan EGR oranına göre artış gözlemlenmiştir. EGR'nin yanma üzerindeki olumsuz etkisi bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.57)



Şekil 5.57. EGR Uygulamasının CO Emisyonuna Etkisi

Duman koyuluğu da benzer şekilde EGR oranı arttıkça artmıştır. EGR'nin yanma üzerindeki olumsuz etkisi burada da görülmektedir (Şekil 5.58).

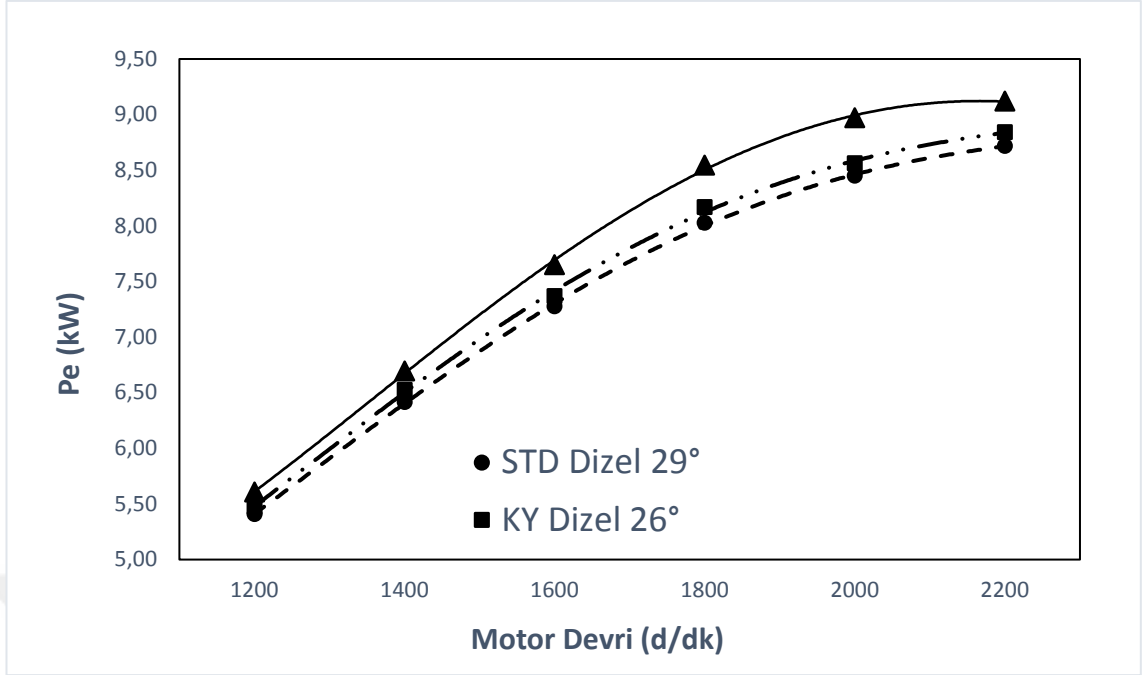


Şekil 5.58. EGR Uygulamasının İs Emisyonuna Etkisi

5.8. Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motorda Biyodizel ve EGR Kullanımının Etkilerinin İncelenmesi

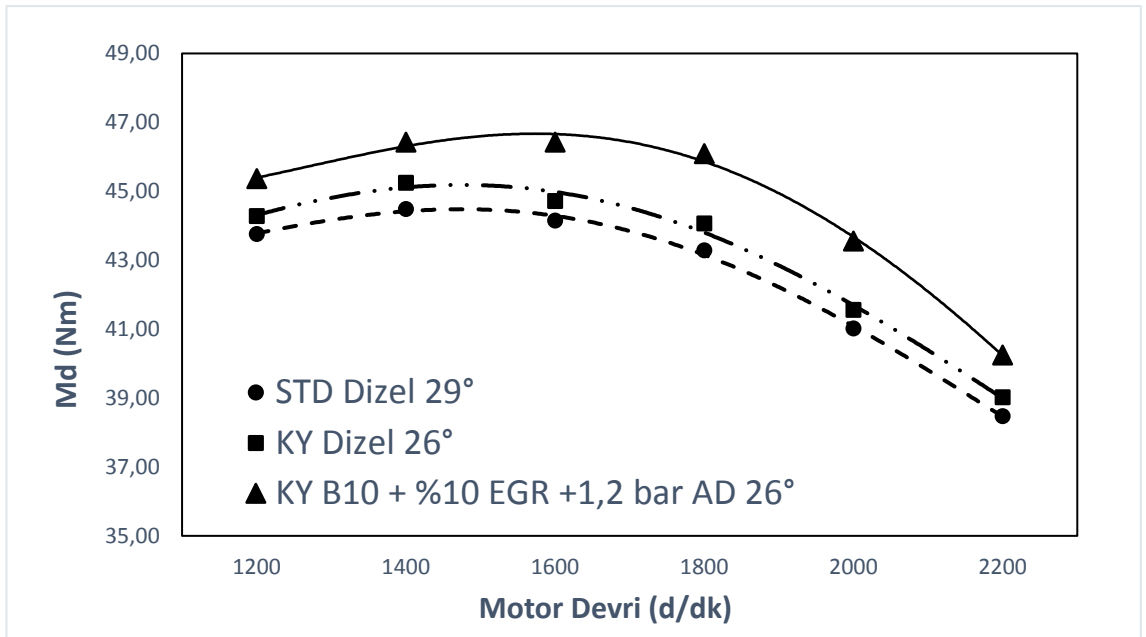
Yapılan çalışmayla, kısmi yalıtımlı aşırı doldurmalı bir dizel motorda biyodizel katkılı dizel yakıtın yakıt olarak kullanılması ve EGR ile NO emisyonunun düşürülmesi sağlanmıştır. Standart duruma göre performansta bir miktar artış sağlanmış egzoz emisyonlarının ciddi oranda düşmesi sağlanmıştır.

İlk duruma göre en yüksek gücün alındığı 2200 dev/dk devir aralığında efektif güçte %8 artış tespit edilmiştir (Şekil 5.59). En yüksek tork değerleri incelendiğinde maksimum tork değerinin %4 arttığı tespit edilmiştir (Şekil 5,60). Aynı zamanda en düşük özgül yakıt tüketiminin %10,6 azaldığı ve bunlara bağlı olarak efektif verimin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.61 – 5.62).



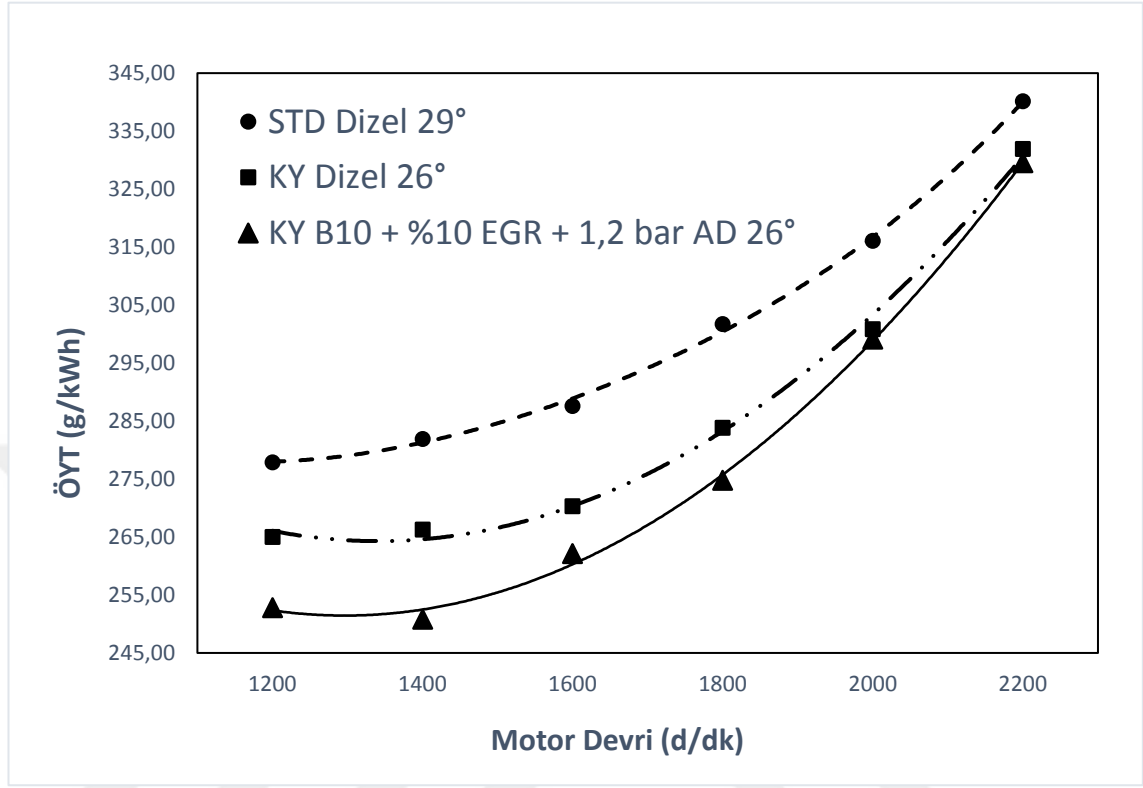
Şekil 5.59. Aşırı Doldurulmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının Efektif Güce Etkisi

Efektif güç tüm devirlerde uygulanan yöntem ile artmıştır. Bu performans artışının sebebi Kısmi yalıtım ile yanma odasında tutulan enerji ve aşırı doldurma ile sağlanan hava fazlalığı olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.59).



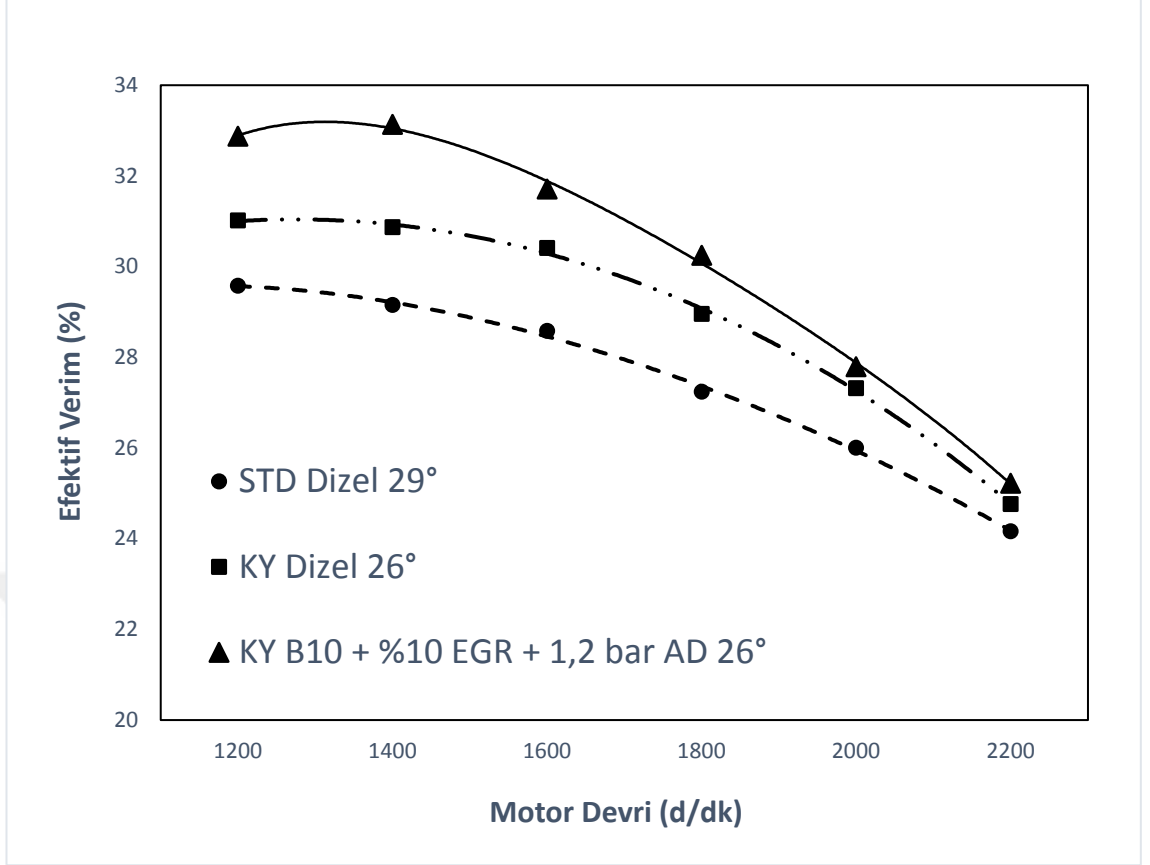
Şekil 5.60. Aşırı Doldurulmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının Döndürme Momentine Etkisi

Uygulanan yöntem ile motor momentinde de standart motora göre her devirde ortalama %6'lık bir artış tespit edilmiştir (Şekil 5.60).



Şekil 5.61. Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

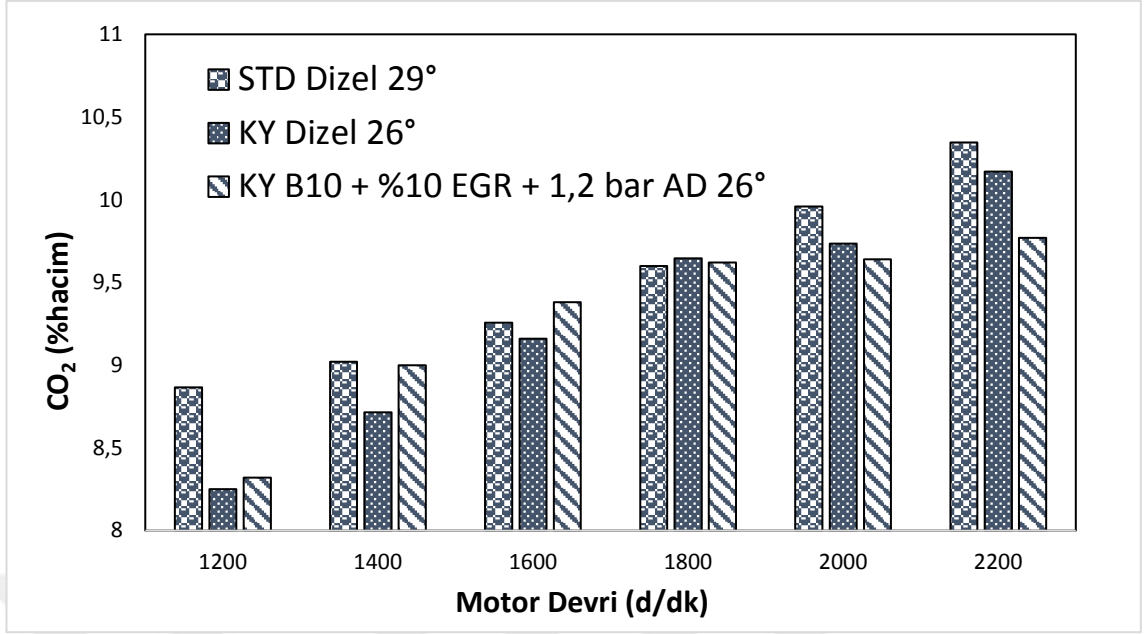
Performanstaki bu artış özgül yakıt tüketimini de özellikle düşük devirlerde ciddi oranda düşürmüştür. Bu durumun asıl sebebi kısmi yalıtım ve beraberinde değişen motor karakteristiğine göre düşürülen KMA değeri olduğu görülmektedir. Bunun yanında aşırı doldurma ile sağlanan hava fazlalığı performansın artmasında ve özgül yakıt tüketiminin düşmesinde önemli bir etken olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.61).



Şekil 5.62. Aşırı Doldurulmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının Efektif Verime Etkisi

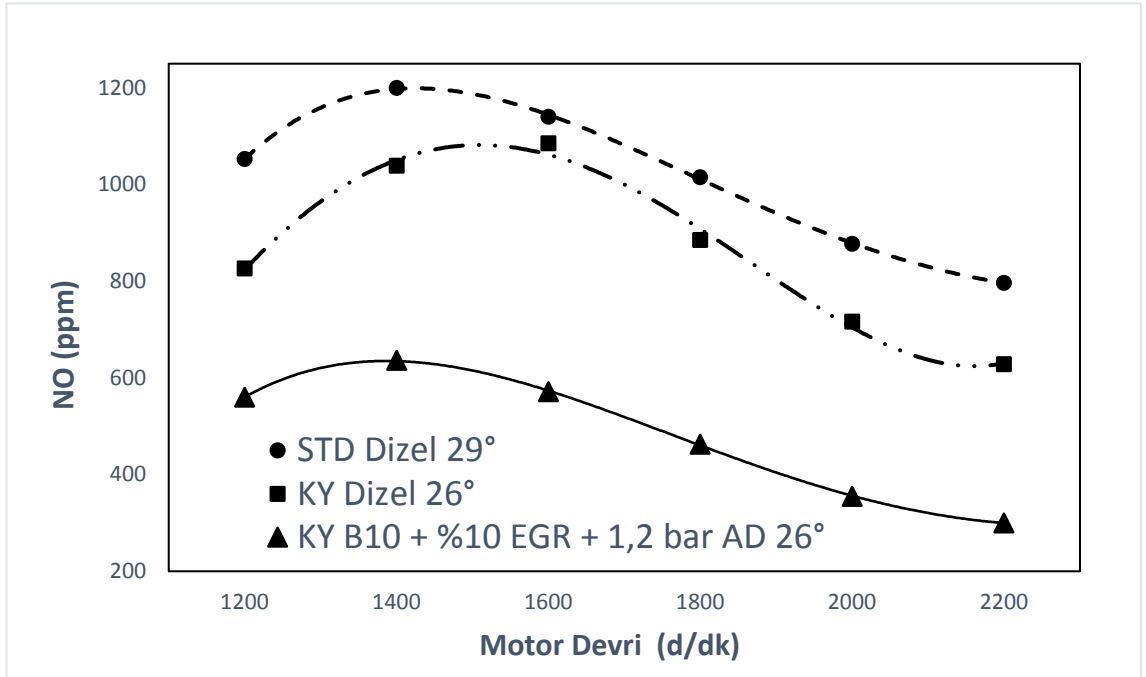
Şekil 5.62 incelendiğinde özellikle düşük devirlerde efektif verimin Standart motora göre %6 kadar yükseldiği görülmektedir. Yanma performansındaki artışın sağladığı güç artışının beraberinde verimi de artırdığı görülmektedir (Şekil 5.62).

Yapılan çalışmaların CO₂ emisyonunda düşük devirlerde bir değişikliğe sebep olmadığı yüksek devirlerde ise bir miktar azalmanın olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin Kısmi yalıtımlı motor ile 26° KMA değerine düşürülen avansın sebep olduğu, düşen avans ile yüksek devirlerde yanma sürecinin kısılmasının tam yanma ürünü olan CO₂ emisyonunun düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.63).



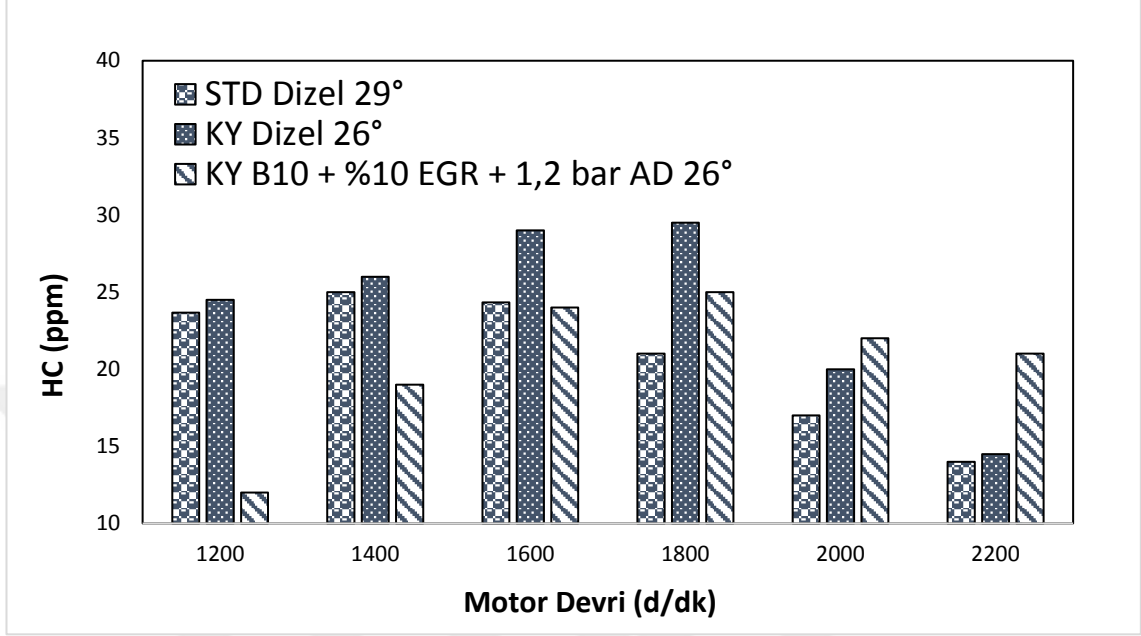
Şekil 5.63. Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dize Motora Biyodize + EGR Uygulamasının CO₂ Emisyonuna Etkisi

Yapılan çalışma sonucunda NO_x emisyonunda çok ciddi oranlarda düzelme olduğu grafiklerden görülmektedir. Bu durumun sebebi motor avans değerinin düşürülmesi ve uygulanan EGR'den kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 5.64).

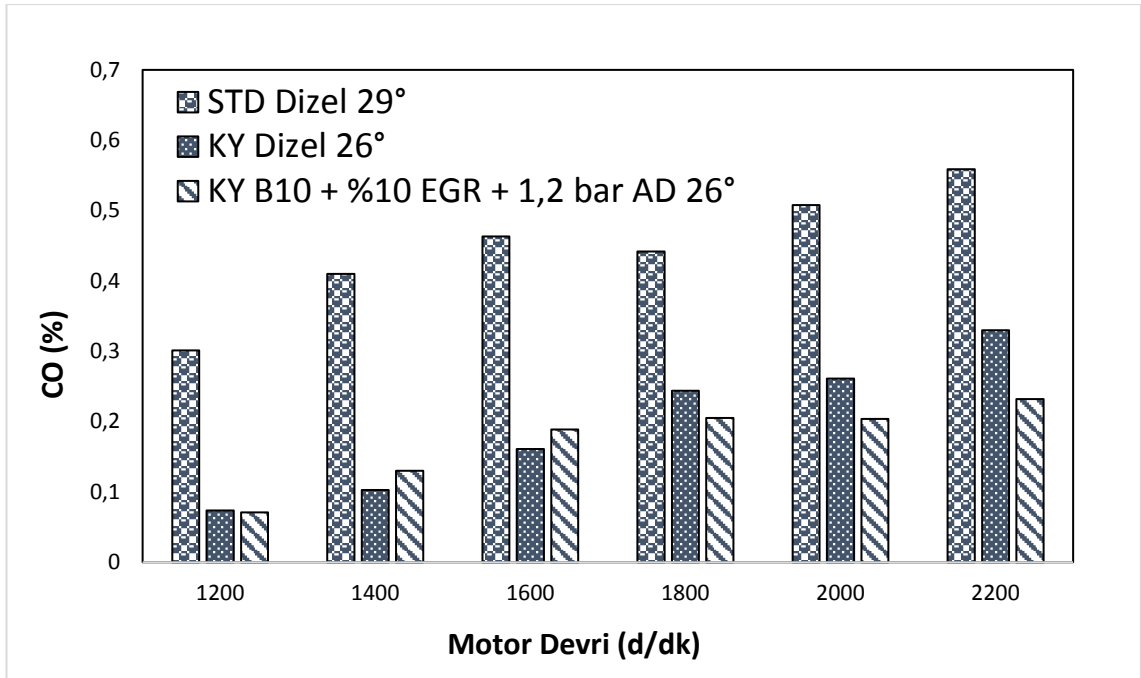


Şekil 5.64. Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dize Motora Biyodize + EGR Uygulamasının NO_x Emisyonuna Etkisi

HC emisyonlarında değerler ölçüm cihazının tespit aralığında kaldığı için yakın kabul edilmiştir. Ancak avansı düşürmenin HC emisyonunu bir miktar artırdığı bu artışın aşırı doldurma ile dengelendiği düşünülmektedir (Şekil 5.65).

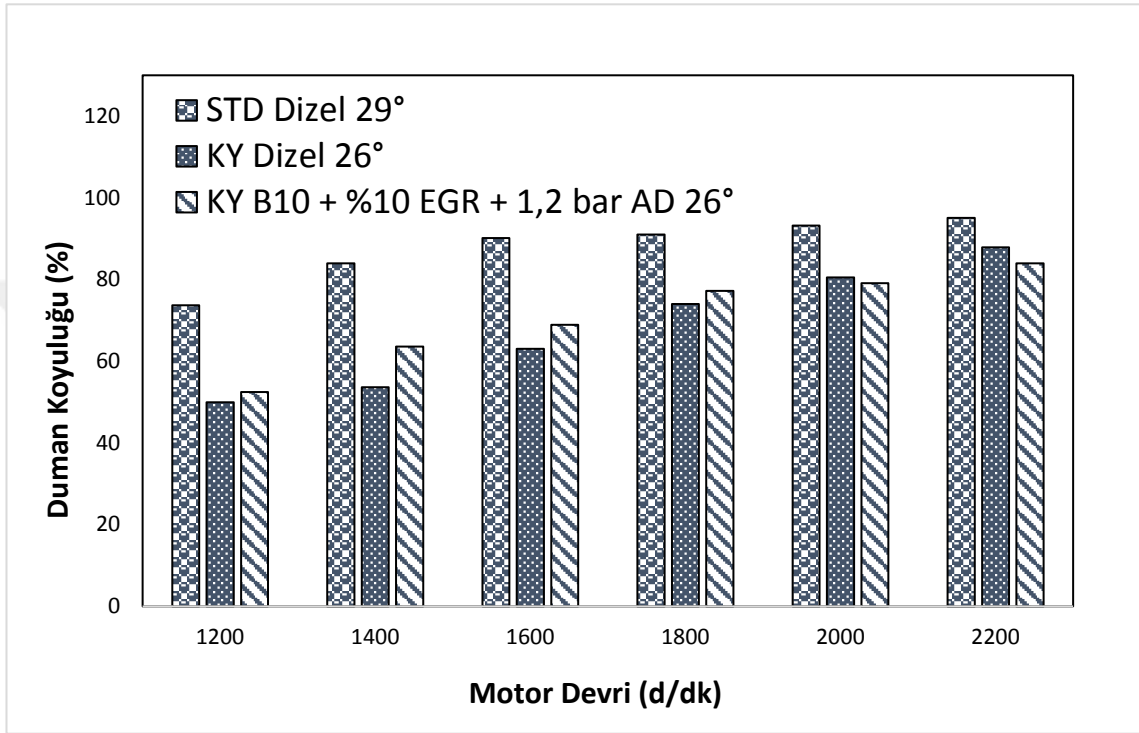


Şekil 5.65. Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının HC Emisyonuna Etkisi



Şekil 5.66. Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizel Motora Biyodizel + EGR Uygulamasının CO Emisyonuna Etkisi

CO emisyonlarının düşmesinde kısmi yalıtımın çok etkili olduğu görülmektedir. Kısmi yalıtım ile yanma performansının iyileşmesi CO emisyonlarını önemli ölçüde düşürdüğü tespit edilmiştir. Kısmi yalıtım ile beraber uygulanan aşırı doldurma sağladığı hava fazlalığı ile yanmayı iyileştirmiş ve eksik yanma ürünü olan CO emisyonlarını düşürmüştür (Şekil 6.66).



Şekil 5.67. Aşırı Doldurmalı Kısmi Yalıtımlı Dizele Motora Biyodizele + EGR Uygulamasının İş Emisyonuna Etkisi

Duman koyuluğu uygulanan yöntemler ile yaklaşık %20 oranında azaltılmıştır. Yanmanın iyileşmesi eksik yanma ürünü partiküllerin açığa çıkmasını azaltmış ve duman koyuluğunda iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.67 incelendiğinde kısmi yalıtımın bu iyileşmenin sağlanmasında önemli bir etken olduğu değerlendirilmektedir.

BÖLÜM 6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma ile alternatif bir yakıt kullanarak motor performansını artırırken egzoz gazı emisyonlarında iyileşme sağlanmaya çalışılmıştır. Özellikle uygulanan yöntemler ile yanmanın iyileşmesi sonucu artan NO emisyonunun düşürülmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda;

- Alternatif bir biyo yakıt olan biyodizel, petrol kaynaklı dizel yakıtla karıştırılarak yakıt kalitesi artırılmaya çalışılmış ve yanma üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Alt ısı değeri düşük olan biyodizel yanma enerjisini düşürmüştür fakat içerdiği oksijen sayesinde yanma kalitesini artırmış eksik yanma ürünlerinde azalma sağlamıştır. %20 üzeri karışımlarda biyodizelin viskozitesinin yüksek olması nedeniyle yanma üzerinde olumsuz etki yaratmıştır. Kısmi yalıtımlı motorda kullanıldığında motor karakteristiğinin değişmesi ile KMA'nın düşürülmesi ile yakıt hava karışımının yanma odası içerisinde kalma süresi kısalmış biyodizelin viskozitesi burada daha fazla sorun olmuştur. Bu durumda en iyi karışım oranının %10 olduğu tespit edilmiştir.
- Performansı artırmak için silindir başı seramik malzeme ile kaplanmıştır. Kaplama ile silindir içi sıcaklıklar artmış ve yanma önemli ölçüde iyileşmiştir. Silindir içi sıcaklığın tutuşma gecikmesini kısaltmış ve bize avansı düşürme şansı vermiştir. Avansın düşürülmesi ile yanan yakıt hava karışımının silindir içinde daha kısa süre kalması sağlanmış bu da NO emisyonlarının önemli ölçüde azalmasını yol açmıştır. Performans bir miktar artarken yaklaşık %20 oranında NO emisyonunda azalma tespit edilmiştir.
- Kısmi yalıtımlı motor ile değişen motor karakteristiği sonucunda svans taraması yapılarak optimum performans optimum NO emisyon salınımı değerlendirilmiştir. Avans değeri 29° KMA'dan 26° KMA'ya düşürülerek düşük

devirlerde performansta bir miktar artış NO emisyonlarında ciddi bir azalma tespit edilmiştir.

- Volümetrik verimi yükseltmek amacıyla aşırı doldurma uygulanmış bu sayede performans artırılmıştır. Aynı zamanda eksik yanma ürünü emisyonlarda iyileşme sağlamıştır. Performans artışı sağlarken beraberinde NO emisyonlarının da bir miktar yükselmesine sebep olmuştur.
- NO emisyonunu düşürmek amacıyla EGR uygulanmış, sonucunda NO emisyonu standart motora göre yaklaşık %65 oranında azalırken motor performansında bir miktar kötüleşme olmuştur. Sağlanan NO emisyonundaki iyileşme yanında performansta ki bu düşüş çok küçük kalmaktadır. Aynı zamanda performanstaki bu kötüleşme kısmi yalıtım ve aşırı doldurma ile kazanılan performansın altında kalmıştır.
- Sonuç olarak, Kısmi yalıtımlı aşırı doldurmalı B10 yakıtı ile çalışan bir dizel motoruna EGR uyguladığımızda standart motora göre performansta ortalama %5 iyileşme sağlanırken NO emisyonunda ortalama %50 azalma sağlanmıştır. Çalışma amacına ulaşmıştır.

Bir iş yapmak için enerji üretirken doğa ile bir alışveriş içerisindeyiz. Her zaman daha fazla güç üretmek faydalı olan değildir. Bunu yaparken doğaya verilen zararlar göz önünde bulundurulmalıdır. Enerjinin sürdürülebilir olması için doğa önemli bir faktördür. Karbon salınımı ile sera etkisinde en önemli etken olan fosil yakıtlara alternatif yakıtlar kullanarak doğal döngü ve sürdürülebilir enerji sağlanabilir.

Alternatif yakıtlar teşvik edilmeli ve bu yakıtların üretimi için gereken tarımsal destek sağlanmalıdır. Alternatif yakıtlara yönelimin, günümüzde petrole göre pahalı olan bu yakıtın, uzun vadede desteklendiğinde yeni iş kolları oluşmasını, dışa bağımlılığın azaltılmasını, çevreye verilen tahribatın azaltılmasını ve enerjinin sürdürülebilir olmasını sağlayacaktır. Üretim arttıkça maliyetlerde düşecektir.

Yanma sonucu açığa çıkan emisyonlardan CO₂ emisyonları doğal döngü içerisinde yok edilebilir. CO, HC, PM emisyonları yanma iyileştirilerek ortadan kaldırılabılır. Ancak NO emisyonu bir miktar maliyetine katlanarak ve daha fazla güçten biraz fedakârlık edilerek önüne geçilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Motorlu Kara Taşıtları, Kasım 2018 raporu (2019) Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, S:30628, Ocak 2019.
- [2] AÇIKALIN, H. (2013). *Biyodizel Kullanan Bir Dizel Motorunda Püskürtme Avansı ve EGR Oranlarının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin Teorik İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] URL-1<<http://www.teknikbelgeler.com/2016/makale.php?id=40>> Avrupa Emisyon Standartları, Erişim Tarihi 30.04.2019.
- [4] Type Approval of Motor Vehicles with Respect to Emissions from Light Passenger and Commercial Vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on Access to Vehicle Repair and Maintenance Information (2007). Regulation (EC) No 715/2007 Of the European Parliament and of the Council, 29.06.2007.
- [5] AYHAN, V. (2009). *Bir Dizel Motorunda Buhar Enjeksiyonunun NO_x ve İş Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] Motorin Türlerine Biyodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ (2017). T.C. Resmi Gazete, S:30098, 16.06.2017.
- [7] ELİÇİN, A. ve ERDOĞAN, D. (2007). Fındık Yağı Metil ve Etil Esteri ile Dizel Yakıtı Karışımlarının Küçük Güçlü Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi* 13, S. 137-146.
- [8] GÜLÜM, M. (2014). *Çeşitli Üretim Parametrelerinin Mısır ve Fındık Yağından Üretilen Biyodizellerin Önemli Yakıt Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] AKÇAY, H. (2006). *Bazı Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] HAŞİMOĞLU, C. (2005). *Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] HAŞİMOĞLU, C., İÇİNGÜR, Y. ve ÖĞÜT, H. (2002). Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi, *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 26, s. 127 – 135.

- [12] TAYMAZ, İ. (2001). *Düşük Isı Kayıplı Turbo Doldurmalı Bir Dizel Motorunda Isı Kayıplarının Deneysel İncelenmesi*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [13] VURAL, E. (2014). *Tek Silindirli Dizel Motora Uygulanan Seramik Kaplamaların Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [14] HAZAR, H. ve ÖNER, C., CrN Kaplamanın Bir Dizel Motoru Üzerindeki Etkileri, *Mühendis ve Makine, Cilt: 48, Sayı: 574, S. 22-26.*
- [15] CİVİNİZ, M., HAŞİMOĞLU, C., ÖRS, İ. ve SALMAN, M. (2008). Bir Dizel Motorunda Seramik Kaplamanın Motor Performansı ve ısı kayıplarına etkisi, *eJournal of New World Sciences Academy Volume:3, Number:4.*
- [16] YALÇIN, E. (2011). *İçten Yanmalı Motorlarda Aşırı Doldurma Grubunun Termodinamik Modellemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [17] YAZICI, M. (2009). *İçten Yanmalı Motorlarda Güç Artırma Yöntemleri ve Bir Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18] BAYAŞOĞLU, S. (2018). *Biyodizel Yakıtlı Bir Dizel Motorunda Piston ve Subaplarada Seramik Kaplama Uygulamalarının Motora Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] KILIÇKAN, A., ELİÇİN, A. ve ERDOĞAN, D. (2008). Pamuk Yağı Motorin Karışımlarının ve Pamuk Yağı Esterlerinin Küçük Güçlü Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanımı, *Tarım Bilimleri Dergisi 14, S. 237-245.*
- [20] ARSLAN, A. (2006). *Doğal Emişli Bir Dizel Motora Aşırı Doldurmanın Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] BÜYÜKKAYA, E. (1997). *Termal Bariyer Kaplamanın Turbo Doldurmalı Bir Dizel Motorunun Egzoz Emisyonlarına Etkileri*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] MİNİSKER, M. (2009). *Termal Sprey Yöntemiyle Oluşturulan Kaplamanın Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23] YAŞAR, H. (1997). *Termal Bariyer Kaplamanın Turbo Doldurmalı Bir Dizel Motorunun Performansına Etkileri*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24] GÜRBÜZ, H. ve GÖKKAYA, H. (2014). Termal Bariyer Kaplamanın Motor Yakıt Sarfiyatı, Egzoz Sıcaklığı ve Emisyonlara Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 20, Sayı 1, S. 15-19.*

- [25] HAZAR, H. ve ÖZTÜRK, U. (2009). Bir Dizel Motorda Al₂O₃-TiO₂ Kaplanmış Piston ve Supapların Yüzey Mikro Yapılarının İncelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 6, No 1, S. 11-16.*
- [26] BAYAŞOĞLU, S. (2018). *Biyodizel Yakıtlı Bir Dizel Motorunda Piston ve Subaplarada Seramik Kaplama Uygulamalarının Motora Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [27] GÖKAY, B. (2019). *2030 Yılında Türkiye’de Yeşil Enerji kullanım Oranlarının Tahmin Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [28] ALPTEKİN, E. ve ÇANAKÇI, M., *Biyodizel ve Türkiye’deki Durumu, Mühendis ve Makine, Cilt 47, Sayı 561, S. 57-64.*
- [29] ALÇELİK, N. (2017). *Atık Yağlardan Üretilen Biyodizelin Tek Silindirli Bir Dizel Motorun Performans, Egzoz Emisyonu ve Titreşimlerine Olan Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [30] BAYAŞOĞLU, S. (2018). *Biyodizel Yakıtlı Bir Dizel Motorunda Piston ve Subaplarda Seramik Kaplama Uygulamalarının Motora Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [31] ÖZSEZEN, A. ve ÇANAKÇI, M. (2009). Atık Palmiye Yağı ve Kanola Yağı Metil Esterlerinin Kullanıldığı Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Performans ve Yanma, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 24, No 2, S. 275-284.*
- [32] DENİZ, Ç. (2013). *Biyodizel Dizel Karışımlarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Biyodizel Oranı ile Değişimi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [33] ÇELİK, M. (2015). *Biyodizel Yakıt Özelliklerinin Motor Performansı ve Emisyon Karakteristikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [34] EFE, Ş. (2014). *Biyodizelin Silindir İçi Karakteristiklerine Etkileri ve Wavelet Analiz Tekniği ile Çevrimsel Farklara Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [35] GÜLER, K. (2008). *Biyodizel Teknolojisi, Sistem Tasarımı ve Deneysel Olarak Biyodizel Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [36] KOÇ, M. (2011). *Biyodizel Üretimine Uygun Türkiye’de Yetişen ve Yetiştirilebilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [37] DEMİR, C. (2018). *Biyodizel Üretim Yönetimi ve İş Modeli*, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- [38] KILINÇLI, Ö. (2011). *Biyodizel Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [39] YÜCEL, N. (2016). *Çay Çekirdeğinden Üretilen Biyodizelin Performans ve Emisyon Çalışmaları ve Biyodizelin Dizel Yakıtla Karışımları*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [40] ÖZATA, İ. (2009). *Seçilen Dizel ve Biyodizel Yakıtların Çevresel Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [41] BOLAT, A. (2007). *Orta Segment Bir Tarım Traktöründe Biyodizelin Motor Performansı Üzerine Etkileri ve Biyodizelin Türkiye için Önemi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [42] UZUN, G. (2018). *Yağ Asidi Katkılı Kolza Yağından Biyodizel Üretimi ve Üretilen Biyodizellerin Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [43] BULUT, C. (2008). *Atık Bitkisel Yağ Metil Esteri Kullanılan Dizel Motorunda Aşırı Doldurma Uygulamasının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [44] SUGÖZÜ, İ., AKSOY, F. ve BAYDIR, Ş. (2009). Bir Dizel Motorunda Ayçiçeği Metil Esteri Kullanımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 6, No 2, S. 49-56*.
- [45] SEZER, İ. (2016). Dizel Yakıtı, Biyodizel Yakıtı ve Karışımlarının İçten Yanmalı Motorlara Etkilerinin Teorik İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 31, No 4, S. 799-812*.
- [46] DEMİR, B. (2009). *Küçük Ölçekli Bir Biyodizel Sisteminin Oluşturulması, Elde Edilen Pamuk Yağı Metil Esterin Motor Performans Testleri, Enerjetik ve Ekserjetik Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [47] KESKİN, A., GÜRÜ, M. ve ALTIPARMAK D. (2007). Tall yağı Biyodizelinin Dizel Yakıtı ile %90 Oranındaki Karışımının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 1, S. 57-63*.
- [48] NAYIR, M. (2018). *Kanola Yağından Baz Katalizli Transesterifikasyon Yöntemi ile Biyodizel Üretiminde Reaksiyon Parametrelerinin Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [49] GÖK, C. (2008). *Biyodizel Olarak Çeşitli Bitkisel Yağların Etil Ester Metoduyla Üretilerek Karakteristiklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [50] UYAR, M. (2013). *Transesterifikasyon Yöntemiyle Üretilen Biyodizel Yakıtlarının Üzerine MnO₂, Dodekanol, Propilen Glikol Katkı Maddelerinin Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [51] EBRİNÇ, A. (2017). *Ateşleme Avansı, Sıkıştırma Oranı ve Doldurma Basıncının Aşırı Doldurmalı Benzinli Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [52] ŞAHİN, Z., DURGUN, O. ve KURT, M. (2009). Turboşarjlı Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorunda Etanol Fumigasyonunun Deneysel İncelenmesi, *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, Cilt 2, Sayı 4, S. 446-461.
- [53] GÜRSÜRER, M. (2009). *Avrupa Şehir Çevrimi ile Amerika Şehir Çevriminin Arasındaki Farkların Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi.
- [54] ÖZVERAN, A. (2013). *Tek Silindirli Bir Dizel Motora EGR Uygulamasının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Burak YILDIRIM
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.02.1991/Çorum
E-posta : brk.yldrm@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Lisans** : 2016, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme
- **Yükseklisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- Aralık 2014 – Ekim 2016 tarihleri arasında HİDROMEK firmasında çalıştı.
- Temmuz 2018’de başlayıp, halen TSK’da subay olarak görev yapmaktadır.