

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

**BİR DİZEL MOTORUNA METANOL FUMİGASYONU VE EGR
UYGULAMASININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hürol Bilgin YAYLAMIŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Vezir AYHAN

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİR DİZEL MOTORUNA METANOL FUMİGASYONU VE EGR
UYGULAMASININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hürol Bilgin YAYLAMIŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 11/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr.
Vezir AYHAN
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
İdris CESUR
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Gökhan ÇOŞKUN
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 bulunduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Hürol Bilgin YAYLAMIS

10/05/2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Vezir AYHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcısı Dr. Öğr. Üyesi İdris CESUR' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında bana her türlü desteği sunan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER	5
2.1. Dizel Motorlar	6
2.1.1. Dizel motorlarda yanma	6
2.1.1.1. Tutuşma gecikmesi.....	6
2.1.1.2. Ani yanma (Kontrolsüz yanma)	7
2.1.1.3. Kontrollü yanma	8
2.1.1.4. Art yanma	8
2.2. Dizel Motorlarda Emisyonlar	8
2.2.1. NO _x oluşumu	9
2.2.2. Partikül maddelerin oluşumu	10
2.2.3. CO oluşumu	10
2.2.4. CO ₂ oluşumu	11
2.2.4. HC oluşumu	11
2.3. Dizel Motorlarda NO _x Azaltma Yöntemleri	12

2.3.1. Su ve buhar püskürtme.....	12
2.3.2. Seçici katalitik dönüştürücü.....	13
2.3.3. Egzoz gazı geri dönüşüm sistemi.....	14
2.4. Dizel Motorlarda EGR Uygulama Biçimleri.....	17
2.4.1. Sıcaklığa göre	17
2.4.1.1. Soğuk EGR	17
2.4.1.2. Sıcak EGR	18
2.4.2. Basınca göre	18
2.4.2.1. Düşük basınçlı EGR	18
2.4.2.2. Yüksek basınçlı EGR	19
2.5. Dizel Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar.....	20
2.5.1. Metanol	21
2.5.1.1. Metanolün dizel motorlarda kullanılma yöntemleri ..	22
2.5.1.2. Yakıt – metanol kullanılması yöntemi	22
2.5.1.3. Metanol ve yakıtın karıştırıcıda belirli oranlarda karıştırılarak kullanılması yöntemi.....	23
2.5.1.4. Metanol fumigasyonu yöntemi	23
2.5.1.4. Doğrudan enjeksiyon yöntemi	23
2.5.2. Etanol	24
2.5.3. Biyodizel	26

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Deney düzeneği	29
3.1.2. Deney motoru	29
3.1.3. Dinamometre ve loadcell	30
3.1.4. Yakıt sarfiyatının ölçülmesi	30
3.1.5. Emisyon Ölçümü	30
3.1.6. Motor hızı ölçümü	31
3.2. Metanol Enjeksiyon Sistemi	31
3.3. Yöntem	32

3.3.1. Enjeksiyon parametrelerinin belirlenmesi	33
3.3.2. EGR uygulanması	34
3.4. Hesaplamalarda Kullanılan Formüller	34
3.4.1. Döndürme momenti	34
3.4.2. Efektif güç	35
3.4.3. Özgül yakıt tüketimi	35
3.4.4. Efektif verim	35
3.4.5. EGR oranı	35

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI	37
4.1. Metanol Fumigasyonunun Performans Parametrelerine Etkisi	37
4.1.1. Metanol fumigasyonunun ÖYS üzerine etkisi	37
4.1.2. Metanol fumigasyonunun efektif verim üzerine etkisi	39
4.2. Metanol Fumigasyonunun Emisyonlara Etkisi	41
4.2.1. Metanol fumigasyonunun NO emisyonuna etkisi	41
4.2.2. Metanol fumigasyonunun HC emisyonuna etkisi	42
4.2.3. Metanol fumigasyonunun CO ve CO ₂ emisyonlarına etkisi ...	44
4.2.4. Metanol fumigasyonunun is emisyonuna etkisi	47
4.2.5. Metanol fumigasyonunun O ₂ emisyonuna etkisi	48
4.3. EGR Uygulamasının Performans Parametrelerine ve Emisyonlara Etkisi	49
4.3.1. EGR uygulamasının döndürme momentine etkisi	49
4.3.2. EGR uygulamasının efektif güce etkisi	50
4.3.3. EGR uygulamasının ÖYS'ye etkisi	52
4.3.4. EGR uygulamasının efektif verime etkisi	53
4.3.5. EGR uygulamasının NO emisyonuna etkisi	54
4.3.6. EGR uygulamasının HC emisyonuna etkisi	55
4.3.7. EGR uygulamasının CO emisyonuna etkisi	56
4.3.8. EGR uygulamasının CO ₂ emisyonlarına etkisi	57
4.3.9. EGR uygulamasının is emisyonuna etkisi	58
4.3.10. EGR uygulamasının O ₂ emisyonuna etkisi	59

4.4. M20 ve %15 EGR Uygulamasının Performans Parametrelerine ve Emisyonlara Etkisi	60
4.4.1. M20 ve %15 EGR uygulamasının döndürme momentine etkisi ..	60
4.4.2. M20 ve %15 EGR uygulamasının efektif güce etkisi	61
4.4.3. M20 ve %15 EGR uygulamasının efektif verime etkisi	62
4.4.4. M20 ve %15 EGR uygulamasının ÖYS'ye etkisi	63
4.4.5. M20 ve %15 EGR uygulamasının NO emisyonuna etkisi	64
4.4.6. M20 ve %15 EGR uygulamasının HC emisyonuna etkisi	65
4.4.7. M20 ve %15 EGR uygulamasının CO ve CO ₂ emisyonlarına etkisi.....	66
4.4.8. M20 ve %15 EGR uygulamasının is emisyonuna etkisi	68
4.4.9. M20 ve %15 EGR uygulamasının O ₂ emisyonuna etkisi	69
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	70
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	76

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AÖN	: Alt Ölü Nokta
B100	: %100 Biyodizel
B20	: %20 Biyodizel
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
EGR	: Egzoz Gazı Resürkilasyon Sistemi
EGR10	: %10 EGR Uygulaması
EGR15	: %15 EGR Uygulaması
EGR15	: %20 EGR Uygulaması
EKÜ	: Enjektör Kontrol Ünitesi
H/Y	: Hava Yakıt Oranı
HC	: Hidrokarbon
HFk	: Hava Fazlalık Katsayısı
M10	: %10 Metanol Karışımli Yakıt
M15	: %15 Metanol Karışımli Yakıt
M20	: %20 Metanol Karışımli Yakıt
NO	: Azotoksit
NO _x	: Azotoksitler
O	: Oksijen
ÖYS	: Özgöl Yakıt Sarfiyatı
PM	: Partikül Madde
SCR	: Seçici Katalitik İndirgeme
SO ₂	: Kükürtdioksit
STD	: Standart
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Euro standartlarına göre NO emisyonu kısıtlamaları	2
Şekil 2.1. Bir dizel motoruna ait basınç – krank açısı diyagramı	7
Şekil 2.2. NO _x kontrol yöntemleri	12
Şekil 2.3. Motora gönderilen su oranına bağlı olarak yanma sonu sıcaklığı ve NO emisyonundaki değişim	13
Şekil 2.3. SCR sisteminin yapısı	14
Şekil 2.4. EGR oranına bağlı olarak NO _x emisyonlarındaki değişim	15
Şekil 2.5. H/Y oranına bağlı olarak EGR oranına göre NO emisyonunun değişimi.....	16
Şekil 2.6. EGR sisteminin şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.7. Düşük basınçlı EGR çevrimi.....	18
Şekil 2.8. Yüksek basınçlı EGR çevrimi.....	19
Şekil 2.9. Etanolün Sıcaklığa bağlı olarak dizel yakıt içinde çözünebilirliği.....	26
Şekil 3.1. Deney Düzenegi.....	29
Şekil 3.2. Metanol Enjeksiyon Sistemi Şeması.....	32
Şekil 3.3. Enjeksiyon kontrolcüsünde açık kalma zamanı ayar ekranı.....	34
Şekil 4.1. STD durum için moment- güç grafiği.....	37
Şekil 4.2. Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak ÖYS değişimi.....	38
Şekil 4.3. Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre ÖYS değişimi.....	39
Şekil 4.4. Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde efektif verimin değişimi.....	40
Şekil 4.5. Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre efektif verim değişimi.....	40
Şekil 4.6. Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde NO emisyonunun değişimi.....	41

Şekil 4.7. Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre NO emisyonunun değişimi.....	42
Şekil 4.8. Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde HC emisyonunun değişimi.....	42
Şekil 4.9. Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre HC emisyonundaki değişimi.....	43
Şekil 4.10. Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde CO emisyonunun değişimi.....	44
Şekil 4.11. Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre CO emisyonundaki değişimi.....	45
Şekil 4.12. Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde CO ₂ emisyonunun değişimi.....	45
Şekil 4.13. Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre CO ₂ emisyonundaki değişimi.....	46
Şekil 4.14. Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde İS emisyonunun değişimi.....	47
Şekil 4.15. Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre İS emisyonundaki değişimi.....	47
Şekil 4.16. Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde O ₂ emisyonunun değişimi.....	48
Şekil 4.17. Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre O ₂ emisyonundaki değişimi.....	49
Şekil 4.18. Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu döndürme momenti değişimi.....	50
Şekil 4.19. EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre döndürme momentindeki değişim.....	50
Şekil 4.20. Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu efektif güç değişimi.....	51
Şekil 4.21. EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre efektif güçteki değişim.....	51
Şekil 4.22. Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu ÖYS değişimi.....	52
Şekil 4.23. EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre	

ÖYS'deki değişim.....	52
Şekil 4.24. Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu efektif verimdeki değişim.....	53
Şekil 4.25. EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre efektif verimdeki değişim.....	53
Şekil 4.26. Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu NO emisyonundaki değişim.....	54
Şekil 4.27. EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre NO emisyonundaki değişim.....	54
Şekil 4.28. Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu HC emisyonundaki değişim.....	55
Şekil 4.29. EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre HC emisyonundaki değişim.....	55
Şekil 4.30. Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu CO emisyonundaki değişim.....	56
Şekil 4.31. EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre CO emisyonundaki değişim.....	56
Şekil 4.32. Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu CO ₂ emisyonundaki değişim.....	57
Şekil 4.33. EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre CO ₂ emisyonundaki değişim.....	57
Şekil 4.34. Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu İs emisyonundaki değişim.....	58
Şekil 4.35. EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre İs emisyonundaki değişim.....	58
Şekil 4.36. Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu O ₂ emisyonundaki değişim.....	59
Şekil 4.37. EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre O ₂ emisyonundaki değişim.....	59
Şekil 4.38. M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu döndürme momentinin değişimi.....	60
Şekil 4.39. M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu döndürme momenti	

değişim oranı.....	60
Şekil 4.40. M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu efektif güçteki değişimi.....	61
Şekil 4.41. M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu efektif güçteki değişim oranı.....	61
Şekil 4.42. M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu efektif verimin değişimi...	62
Şekil 4.43. M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu efektif verimdeki değişim oranı.....	62
Şekil 4.44. M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu ÖYS'nin değişimi.....	63
Şekil 4.45. M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu ÖYS' deki değişim oranı.....	63
Şekil 4.46. M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu NO emisyonunun değişimi.....	64
Şekil 4.47. M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu NO emisyonundaki değişim oranı.....	64
Şekil 4.48. M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu HC emisyonunun değişimi.....	65
Şekil 4.49. M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu HC emisyonundaki değişim oranı.....	65
Şekil 4.50. M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu CO ₂ emisyonunun değişimi.....	66
Şekil 4.51. M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu CO ₂ emisyonundaki değişim oranı.....	66
Şekil 4.52. M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu CO emisyonunun değişimi.....	67
Şekil 4.53. M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu CO emisyonundaki değişim oranı.....	67
Şekil 4.54. M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu CO emisyonunun değişimi.....	68
Şekil 4.55. M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu CO emisyonundaki değişim oranı.....	68
Şekil 4.56. M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu O ₂ emisyonunun	

değişimi.....	69
Şekil 4.57. M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu O ₂ emisyonundaki	
değişim oranı.....	69



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.2019 Şubat ayı Tük akaryakıt tüketim miktarı	1
Tablo 2.1.Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri	22
Tablo 2.2.Etanolün Özellikleri	25
Tablo 2.3.B100, B20 yakıt emisyonlarının Motorin emisyonlarıyla karşılaştırılması....	28
Tablo 3.1.Deney motorunun özellikleri	30
Tablo 3.2.Emisyon cihazı ölçüm hassasiyeti	31

BİR DİZEL MOTORUNA METANOL FUMİGASYONU VE EGR UYGULAMASININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Enerji ihtiyacı dünya nüfusundaki artış ve endüstrileşmedeki gelişmelerle gün geçtikçe artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için ülkeler yeni enerji kaynakları ararken bir yandan da enerjinin verimli kullanılması önem kazanmaktadır. Ülkeler ekonomik dengelerini sağlamak için yerli enerji kaynaklarına yönelmeye başlamışlardır.

Bu çalışmada dizel motorlarda alternatif yakıt olarak değerlendirilen metanolün fumigasyonu sonucunda performans parametrelerinin ve emisyonların değişimi incelenmiştir. Metanol fumigasyonu uygulanan motora EGR uygulamasının performans parametreleri ve emisyonlarda oluşturduğu değişim karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

Çalışmada tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motora elektronik kontrollü bir metanol enjeksiyon sistemi adapte edilerek farklı oranlarda metanol fumigasyonu uygulanmıştır. Elde edilen veriler standart durumla karşılaştırılarak irdelenmiştir. Daha sonra standart durumdaki dizel motora EGR uygulanarak elde edilen performans parametreleri ve emisyonlar karşılaştırılmıştır. Optimum metanol fumigasyonu olarak tespit edilen %20 metanol fumigasyonu ve optimum EGR oranı olarak belirlenen %15 EGR oranı aynı anda uygulanarak performans parametreleri ve emisyonlardaki değişim karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak metanol fumigasyonu efektif verimi olumlu etkilerken ÖYS' yi arttırmıştır. EGR uygulaması ise NO emisyonunu azaltırken performans parametrelerini kötüleştirmiştir.

Anahtar kelimeler: Metanol, fumigasyon, performans, emisyon, EGR

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF METHANOL FUMIGATION AND EGR APPLICATION ON A DIESEL ENGINE

SUMMARY

Energy demand is increasing day by day with the increase in world population and developments in industrialization. In order to meet the increasing energy needs, countries are looking for new energy resources while at the same time efficient use of energy is gaining importance. Countries have begun to turn to domestic energy sources to ensure their economic balances.

In this study, the performance parameters and the changes of emissions as a result of fumigation of methanol which is considered as an alternative fuel in diesel engines were investigated. The effect of EGR on the performance parameters and emissions of the engine applied to methanol fumigation is comparatively discussed.

In this study, an electronically controlled methanol injection system was applied to a single cylinder, direct injection diesel engine and methanol fumigation was performed at different rates. The data obtained were compared with the standard case. Then the performance parameters and emissions obtained by applying EGR to the standard diesel engine were compared. 20% methanol fumigation as optimum methanol fumigation and 15% EGR ratio determined as optimum EGR ratio were applied at the same time and performance parameters and changes in emissions were compared.

As a result, methanol fumigation has a positive effect on effective yield and increased specific fuel consumption. The EGR application decreased the NO emission and worsened the performance parameters.

Keywords: Methanol, fumigation, performance, emission, EGR

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerjiye olan ihtiyaç artan endüstrileşme ve nüfus sebebiyle her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyaç bir taraftan yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına diğer taraftan mevcut kaynakların daha verimli kullanılması konusunda önem arz etmektedir. Bununla beraber ülkelerin ekonomik dengeleri için mümkün olduğunca yerli enerji kaynaklarını kullanması gerekmektedir. Bunun yanında ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla çevresel etkilerin azaltılması, verimliliğin artırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması ve sürekliliğinin sağlanması önem kazanmıştır. Enerji politikalarında temel unsur teknolojik ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde enerji ihtiyacını karşılayan, güvenilir, kaliteli, temiz ve ekonomik enerji türlerine yönelmektir (İçingür & Yamık, 2003).

Tük verilerine göre 2019 yılı şubat ayında trafiğe kayıtlı araç sayısı 22.940.636 adettir. Tablo 1.1 de 2019 yılı şubat ayında tüketilen akaryakıt miktarları görülmektedir. Aynı dönemde tüketilen akaryakıt miktarına bakıldığında zaman motorin miktarının yüksekliği dikkat çekmektedir. Dizel motorlar verimlerinin yüksek olması ve düşük yakıt tüketim gibi önemli üstünlükleri nedeni ile kendilerine çok fazla kullanım alanı bulmaktadır (Oyder, 2019; Epdk, 2019).

Tablo 1.1. 2019 Şubat ayı Tük akaryakıt tüketim miktarı (Oyder, 2019)

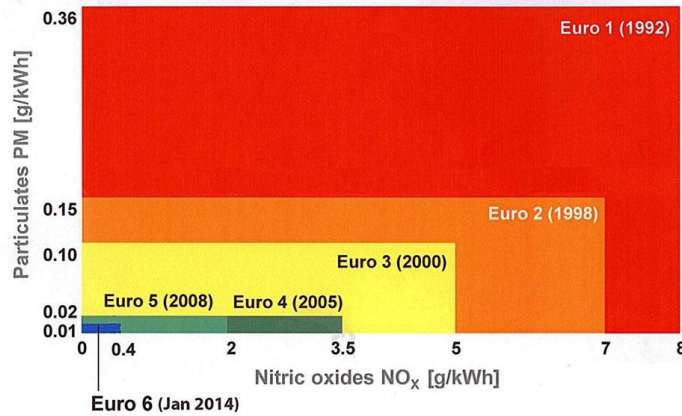
Ürün Adı	Miktar (Ton)
Benzin Türleri	164547,771
Motorin Türleri	1.663.472,639
Fuel Oil Türleri	50.666,787
Havacılık Yakıtları	101.018,182
Denizcilik Yakıtları	2.652,014
Gazyağı	209,184
Diğer Ürünler	85.745,272
Toplam	2.068.311,858

Dizel motorlarının çalışma prensibi gereği hava fazlalık katsayıları buji ateşlemeli motorlara göre oldukça yüksektir. Bu durum performans açısından etkili olduğu gibi kısmi eksik yanma ürünleri olan CO ve HC emisyon miktarlarını da azaltmaktadır. Ancak sıkıştırma oranlarının yüksek olması ve fazla hava ile çalışmaları buji ateşlemeli motorlara göre çok daha yüksek NO_x emisyonu salmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan heterojen yakıt karışım teşkili is emisyon değerlerini de arttırmaktadır (Haşimoğlu C. , 2005).

Dünyada egzoz emisyonlarına getirilen kısıtlamalar dizel motor emisyonlarını azaltmak için yapılan çalışmaları hızlandırmıştır. Yasal düzenlemelerin oluşturduğu sınırları karşılamak için hem emisyon kontrol yöntemleri hem de alternatif yakıtlar üzerine çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Kullanılan alternatif yakıtların veya katkı maddelerinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması ve mevcut sistemlerde değişiklik yapılmadan veya kısmi değişikliklerle kullanılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Petrole alternatif olabilecek başlıca yakıtlar; alkoller, doğalgaz, biyogaz, hidrojen ve bitkisel yağlardır. En yaygın olarak ise alkoller ve karışımları kullanılmaktadır. Alkoller dizel yakıtı göre moleküler yapısının küçük olması oksijen ihtiva etmeleri ve dizel yakıtta bulunan kanserojen maddeleri içermedikleri için egzoz emisyonlarına olumlu etkileri bulunmaktadır (Türkiye Enerji Konseyi, 2003; Borat, Balcı, & Sürmen, 1995).

EU Emissions Standards

Exhaust emissions Euro 1–6



Şekil 1.1. Euro standartlarına göre NO emisyonu kısıtlamaları (www.dougjack.co.uk, 2019)

İçten yanmalı motorlardan salınan zararlı emisyonların azaltılması için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler;

- Yanma öncesi tedbirler: Kullanılan yakıt bileşiminin kirletici emisyonları azaltıcı yönde hazırlanması (Katkı maddeleri, emülsife yakıt, oksijen, LPG, alkoller vs.).
- Yanma sırasındaki tedbirler: Kirletici bileşenlerin yanma sırasında azaltmak (Yanma odası şekli, yanma odası yüzey/hacim oranı, termal bariyer kaplama, sıkıştırma oranı, emme manifoldu şekli, avans ayarında değişim, EGR, su püskürtme, avans değiştirilmesi, vb.).
- Yanma sonrası tedbirler: Oluşumuna engel olunamayan kirletici bileşenleri daha sonra egzoz gazı içerisinden temizlemek (katalitik konvertör, SCR, partikül fitre vb.) olarak özetlenebilir (Ayhan, 2009).

Dizel motorlardan salınan zararlı emisyonların azaltılması için yanma odasına alkol göndermek kullanılan bir yöntemdir. Alkollerin oksijen içeriğinin yüksek olması ve buharlaşma ısılarının yüksek olması dizel motorlarda NO_x emisyonlarının azaltılması ve performansın artırılması için kullanılmasını sağlamaktadır. Bu yöntem çeşitli şekillerde uygulanabilmektedir. Literatürde alkollerin yanma odasına gönderilmesi üç farklı şekilde uygulanmaktadır. Bu yöntemler;

- Yakıt – alkol karışımı oluşturmak: Bu yöntemde motorun mevcut yakıt sistemi kullanılarak yanma odasına yakıt – alkol karışımı gönderilmektedir. Kimi durumlarda faz ayrışmasının önüne geçebilmek için karışıma stabilizatörlerde eklenmektedir.
- Alkol fumigasyonu: Emme manifolduna buhar veya püskürtme yöntemi ile alkol verilerek yanmaya müdahale edilir. Bu yöntemde farklı şartlara göre farklı oranda alkol fumigasyonu yapılabilmesi büyük avantajdır.
- Direkt alkol enjeksiyonu: Yanma odası üzerine yakıt enjektörü ile beraber çalışan bir alkol enjektörü eklenir. Bu enjektör vasıtası ile doğrudan alkol yanma odasına püskürtülmektedir (Şahin & Durgun, 2008; Eyidoğan, ve diğerleri, 2011; Özer, Çelikten, & Usta, 2005).

Ayhan, direkt enjeksiyonlu bir dizel motoruna metanol fumigasyonunun performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak incelemiştir. Motor döndürme momenti, efektif güç, efektif verim ve özgül yakıt sarfiyatında artmalar meydana geldiğini tespit etmiştir. Emisyonlarda ise; NO, duman yoğunluğu ve CO₂ emisyonlarında da genel olarak metanol fumigasyonu değerlerinde standart duruma göre azalmaların olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık, HC ve CO emisyonlarında artmalar tespit etmiştir (Ayhan, 2016).

Can ve ark dizel yakıtına %10 ve %15 hacimsel oranlarında etanol karıştırılarak farklı motor dönme sayılarında ve yüklerinde çalışan bir ön yanma odalı turbo dizel motorun egzoz emisyonlarında meydana gelen değişimleri incelemiştir. Deney sonuçları etanol ilavesinin, NO emisyonunda artmaya CO, is ve SO₂ emisyonlarında ise azalma neden olduğu gözlenmiştir. Etanolün motorine göre alt ısıl değerinin düşük olmasından dolayı motor gücünde bir miktar düşmeye sebep olduğu görülmektedir (Özer, Çelikten, & Usta, 2005).

Şahin ve Durgun indirekt püskürtmeli doğal emişli bir dizel motorunda etanol fumigasyonunun motor performans parametreleri ve NO emisyonu üzerindeki etkileri deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada etanol fumigasyonunun motor performans parametrelerini iyileştirdiği ve NO emisyonunu azaltılabileceği ancak efektif gücü turbo şarj sistemi kadar arttıramadığı görülmüştür (Şahin & Durgun, 2016).

Sezer, etanol ve dietil eterin dizel yakıtına katılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelemiştir. Etanol karışımının motor gücünde düşüşe neden olduğunu, efektif verimde artış olduğunu aynı zamanda yakıt tüketiminde azalma olduğunu tespit etmiştir. Yakıt karışımları kullanıldığında NO ve CO₂ emisyonunda azalma sağlanmışken HC emisyonunda artış olduğunu tespit etmiştir (Sezer, 2017).

Yukarıda verilen literatürde görüldüğü gibi bazı çalışmalarda alkoller dizel yakıtına hacimsel veya kütleli olarak karıştırılırken bazılarında ise fumigasyon olarak kullanılmıştır. Ancak fumigasyon ile EGR' nin bir arada araştırıldığı pek fazla çalışma yoktur. Bu çalışma diğer çalışmalardan farklı olarak dizel motora metanol fumigasyonu

ile EGR uygulamasının performans parametrelerine ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada tek silindirli bir dizel motora elektronik kontrollü bir sistemle tam emme supabının arkasına %10, %15, %20 oranlarında metanol fumigasyonu uygulanmıştır. Farklı devirlerde ve tam yük şartlarında elde edilen standart motor verileri ile alkol fumigasyon sonuçları elde edilen veriler motor performans parametreleri ve egzoz emisyonları açısından karşılaştırılmıştır. Tam yük şartlarında alkollerin etkisinden kaynaklanan bazı olumsuzlukları bertaraf etmek için farklı oranlarda EGR uygulamasının etkileri de incelenmiştir. Motora %10, %15, %20 oranlarında EGR uygulanmıştır. EGR uygulamasının farklı çalışma devirlerinde performans parametrelerinde ve emisyonlarda oluşturduğu değişiklik karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Çalışmanın son aşamasında performans açısından en iyi alkol oranı olan M20 fumigasyonu için en optimum olarak tespit edilen EGR15 birlikte uygulanmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler karşılaştırılarak performans ve emisyonlarda standart duruma göre meydana gelen değişimler incelenmiştir.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dizel Motorlar

1892 yılında Rudolf DİESEL tarafından patenti alınan dizel motorlar yüksek verimliliği sebebiyle her türlü alanda kendine yer bulmuştur. Dizel motorlar gemi makinalarından jeneratörlere, iş makinalardan günlük kullanılan otomobillere kadar yayılan bir yelpazede kullanılmaktadır.

2.1.1. Dizel motorlarda yanma

Dizel motorlarda yanma periyotlarını dört farklı aşamada incelemek mümkündür. Şekil 2.1' de yanma periyotları gösterilmektedir.

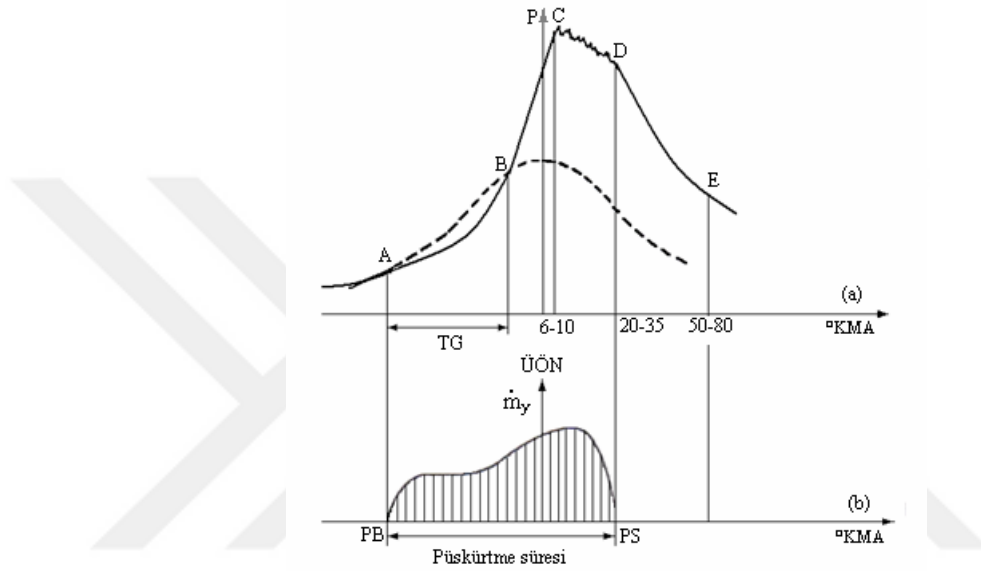
2.1.1.1. Tutuşma gecikmesi

Tutuşma gecikmesi, yanma odasına püskürtülen yakıtın buharlaşması ve tutuşmanın başladığı ana kadar geçen süredir. Bu bölge, Şekil 2.1'de gösterilen ve AB eğrisi ile ifade edilen kısımdır. Bu bölgede püskürtülen yakıtın yaklaşık %5'i ile %15'i yanar. Tutuşma gecikmesi süresi aşağıda belirtilen faktörlerden etkilenir:

1. Yakıtın kimyasal özellikleri,
2. Yakıtın püskürtüldüğü anda silindirde sıkıştırılmış olan havanın basıncı ve sıcaklığı,
3. Yakıt atomizasyonunun derecesi,
4. Dolgunun dönme hareketinin yapısı (türbülans),
5. Yanma odası sıcak yüzeylerinin etkisi.

Yanma safhası üç esas özellik arz eder:

1. Reaksiyon hızları kısmen küçüktür ve reaksiyon ürünleri ara ürünlerdir.
2. Yakıt bu süre boyunca silindirlere girmeye devam eder ve tutuşma başlayıncaya kadar silindir içine birikir.
3. Fiziksel ve kimyasal hadiseler sonucu oluşan pratik basınç ve sıcaklık değişimleri ihmal edilecek derecededir (Karakus, 2000).



Şekil 2.1. Bir Dizil Motoruna Ait Basınç-Krank Açısı Diyagramı (Karakus, 2000)

(a) Basınç-krank açısı diyagramı (b) Püskürtme seyri

2.1.1.2. Ani yanma (kontROLSÜZ yanma)

Hızlı (ani) yanma bölgesinde alev yayılır, biriken ve gelen yakıt birlikte yanarak maksimum basınca ulaşır. Bu bölge Şekil 2.1' deki BC eğrisi ile gösterilen bölgedir. Yanma başladığında oksijenle karışım oluşturan yakıt aniden yanmaya başlar ve basınç artış hızı yükselir. Yanma odasına püskürtülen yakıtın yanmasının ikinci safhası olan ani yanmadaki basınç artışı su faktörleri etkilemektedir: Yakıt püskürtme sisteminin tasarımına bağlı olan yakıtın atomizasyon derecesi, TG süresine bağlı olarak değişen ve bu süre içinde püskürtülen yakıt miktarı, TG süresince yakıtın hava ile karışımı, püskürtme karakteristiği ve silindir içerisindeki havanın türbülansı ani yanmadaki basınç

artışı üzerinde etkilidir. Tutuşma gecikmesinin uzun sürmesi ve yüksek hız karışım yüksek hızda oluşumunu olumlu yönde etkiler (Karakus, 2000).

2.1.1.3. Kontrollü yanma

Yanma periyotlarında CD eğrisi ile gösterilen kontrollü yanma bölgesinde, püskürtme işlemi ve faydalı yanma süreci sona erer. Kontrollü yanma safhası, maksimum basıncın olduğu an ile yanmanın büyük oranda gerçekleştiği süreyi kapsar. Ani yanma safhası bitiminde sıcaklık ve basınç çok yüksektir. Bu nedenle oksijenle karışımı tamamlayan yakıt hemen yanar. Bu safhada oluşan basınç değeri: Yakıt enjeksiyon hızına, Motor hızına ve yanma odasının sekline bağlı olarak hava türbülansına, Pistonun konumuna, bağlı olarak değişir (Karakus, 2000).

2.1.1.4. Art yanma

Grafikteki DE bölgesi, art yanma bölgesidir. Püskürtme bitiminden sonra, bu safhada arta kalan yakıt yanar. Dolayısıyla bu bölgenin çok dar olması gerekir. Kontrollü yanma sonunda egzoz supabının açılmasına kadar geçen süre art yanma safhası olarak kabul edilir. Dizel motorlarında karışım homojen olmadığı için yanma, genişleme süresine de sarkacak, ani bir basınç yükselmesi ile başlayan dizel yanması egzoz sisteminde de devam edecektir. Bu safha ile yanma tamamlanmaktadır. ÜÖN'dan AÖN'ya hareket eden piston hacmi arttıracığından basınç ve sıcaklık düşmektedir. Bu safhanın, yanma verimi açısından çok kısa sürmesi gerekmektedir (Karakus, 2000).

2.2. Dizel Motorlarda Emisyonlar

Fosil kökenli yakıtların yanmasından teorik olarak CO₂, H₂O ve N₂ emisyonları oluşur. Ancak gerçekte ideal şartlar sağlanamadığından tam yanma gerçekleşmemektedir. İçten yanmalı motorlarda zengin ve fakir karışım bölgeleri olduğu için O₂, CO, NO_x, partikül madde gibi emisyonlar da oluşmaktadır. Dizel motorlar fakir karışım ile çalıştığından benzinli motorlara göre CO ve HC emisyonları düşüktür. Buna karşın dizel motorlarda NO_x ve partikül madde emisyonları yüksektir. Dizel motorlarda oluşan emisyonların

oluşum mekanizmaları aşağıda açıklanmıştır (Keskin & Sağıroğlu, 2010; Çetinkaya, 2004; Özcan, 2010).

2.2.1. NO_x oluşumu

Fosil yakıtların yanması sonucu çeşitli zararlı emisyonlar açığa çıkmaktadır. Bu emisyonların yaklaşık %60'ını karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x) ve kükürt dioksit (SO₂) oluşturmaktadır. Bu emisyonlar atmosfere salınmakta, asit yağmuru sera etkisi gibi çevresel etkilere sebep olmaktadır.

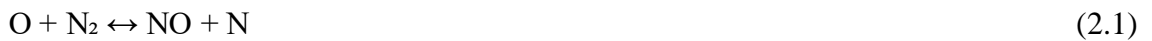
Azot oksitler yanma odası içerisinde bulunan N₂ ve O₂'nin yüksek sıcaklık sonucunda bir dizi reaksiyonu sonucunda oluşur. Dizel motorlar oluşan NO_x emisyonlarının hacimsel olarak %90' ı NO, %5'i NO₂ geriye kalan %5'i de N₂O, N₂O₃, N₂O₅ oluşturur. Dizel motorlarda NO_x emisyonlarının yüksek olmasının temel sebebi fakir karışımla çalışması ve yanma sıcaklığının yüksek olmasıdır (Miller J. & Bowman C.T. , 1989; Borat, O., Balcı, M., & Sürmen, A., 1994).

NO_x emisyonunun oluşumuna sebep olan mekanizmalar üçe ayrılmaktadır;

1. Termal NO oluşumu
2. Yakıt kaynaklı NO oluşumu
3. Ani NO oluşumu

Termal NO oluşumu yanma odasına alınan havanın içinde bulunan azotun yüksek sıcaklık etkisiyle oksitlenmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Dizel motorlarda NO emisyonu için hassas anın yanmanın başladığı an ile basıncın maksimuma ulaştığı andır. Çünkü bu anda yanma gazlarının sıcaklığı maksimum olmaktadır ve NO oluşumu artmaktadır (Heywood, 1988).

Termal NO tepkimesi Zeldovich mekanizmasına göre aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.



Yukarıdaki mekanizma HFK'ın 0,8' den büyük olduğu durumlarda geçerlidir. 1956 yılı Fenimore ve Jones üçüncü bir reaksiyonun daha gerçekleştiğini ileri sürmüşlerdir.



Burada O₂ moleküllerinden ayrılan oksijen atomları azot molekülleri ile zincirleme reaksiyona girerek NO oluşturmaktadır. Yukarıdaki denklem HFK'ın 0,8'den küçük olduğu durumlarda önem kazanmaktadır.

Yakıt kaynaklı NO; yakıtın ihtiva ettiği azot bileşiklerinin oksidasyonu sonucu ortaya çıkar. Fakir ve stokiometrik karışımlarda daha yüksektir. Buna karşın sıcaklığın etkisi düşüktür. Havanın içindeki azot çok kararlı haldedir. Öyle ki hava içindeki azotun bağ parçalanma enerjisi 940 kl/mol iken yakıtın içindeki azotun bağ parçalanma enerjisi 250-627 kj/mol' dür. Bu sebeple sıcaklığa bağlı olmadan oksijenle birleşebilmektedir. Dizel yakıtların azot ihtivası çok düşük olduğu için hesaplamalarda ihmal edilir.

Ani NO; hava içindeki azotun serbest hidrokarbon radikalleriyle tepkimeye girerek amin ve siyanid gibi ara ürünler üreterek zincirleme reaksiyon ile NO oluşumunu ifade eder. Ani NO oluşumunda sıcaklık etkisi azdır ancak hava fazlalık katsayısı ani NO oluşumunu arttırmaktadır (Miller J. & Bowman C.T. , 1989).

2.2.2. Partikül maddelerin oluşumu

Dizel motorlarda oluşan partikül madde emisyonlarının büyük bölümü is emisyonlarıdır. İs yakıtın yeterli oksijeni bulamayıp yanmadan egzozdan atılması sonucu oluşur. İs yanmamış oksidasyona uğramadan atılan katı karbon tanecikleridir. Hidrojen karbona göre daha aktif bir maddedir. Yanma odasındaki hidrojen oksijeni tutar. Hidrojen tarafından tutulan oksijenle karışım oluşturamayan karbon tanecikleri bileşik oluşturamadan is olarak egzozdan atılır (Doğan & Aktaş, 2010).

2.2.3. CO oluşumu

CO renksiz, kokusuz, tatsız ve zehirli bir gazdır. Kanda bulunan oksijen taşıyan hemoglobin hücrelerine yapışarak oksijen taşıyamamasına sebep olur. Dünyadaki CO emisyonunun %60-70' inin ulaşım sektöründen kaynaklandığı düşünülmektedir. Zengin karışımla çalışan motorlarda daha çok görülen CO emisyonu esasında tam yanmanın sağlanamadığını gösterir. Fakir karışumlu motorlarda karışımın homojen olmaması, silindir içinde oluşan düşük sıcaklıklı bölgeler ve CO' nun oksijenle reaksiyon gerçekleştirebileceği süre bulunmadan yanma odası dışına atılması sonucu CO emisyonu oluşur (Kaytakoğlu, 1995; Diler, 2006).

2.2.4. CO₂ oluşumu

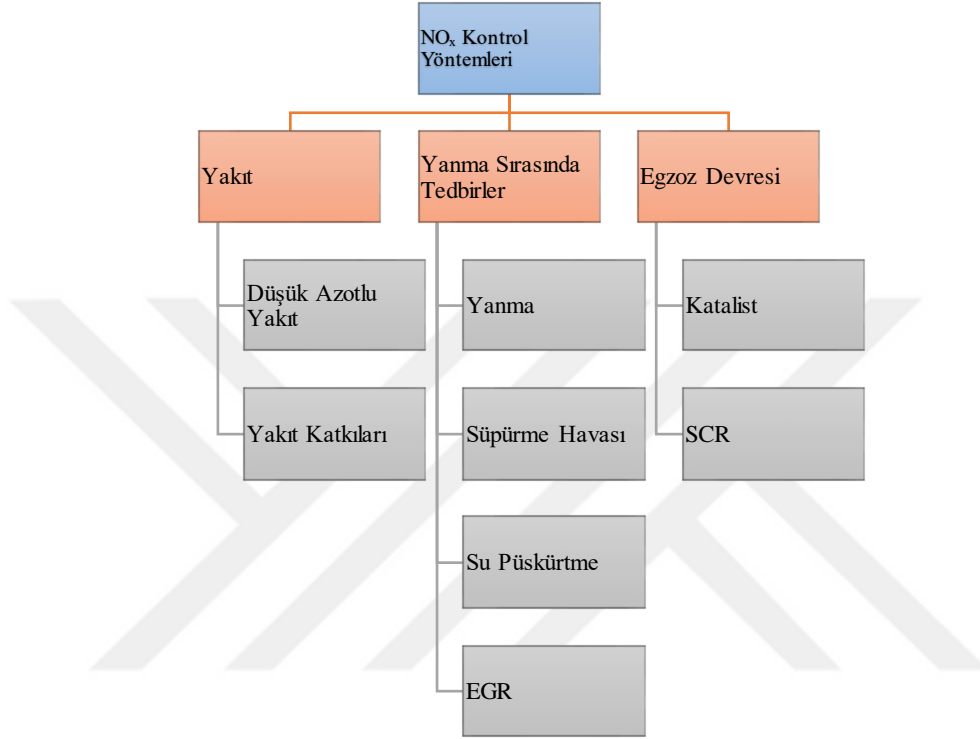
Karbonlu yakıtların yanması sonucu oluşan CO₂ insan sağlığına doğrudan etki etmese de atmosferdeki konsantrasyonunun artması sera etkisini arttırmakta ve küresel ısınma iklim değişikliklerine sebep olmaktadır (Diler, 2006).

2.2.5. HC oluşumu

HC yanmamış yakıtın oluşturduğu emisyondur. Yanma odasında oluşabileceği gibi yakıt sistemindeki buharlaşmadan da oluşur. HC emisyonundaki en önemli oluşum mekanizmaları; soğuk çalışma sonucu soğuk yanma odası cidarlarında alevin sönmesi, yanma odasındaki boşlukların hava yakıt karışımıyla dolması, yakıtın motor yağına karışması ve daha sonra buharlaşması ve supaplardaki sızıntılardır (Yıldırım, B. & Alkaya, M., 2000).

2.3. Dizel Motorlarda NO_x Azaltma Yöntemleri

Dizel motorlarda emisyon kontrolü için uygulanan yöntemler üç ana başlık altında incelenmektedir. Şekil 2.3 de şematik olarak gösterilmiştir.



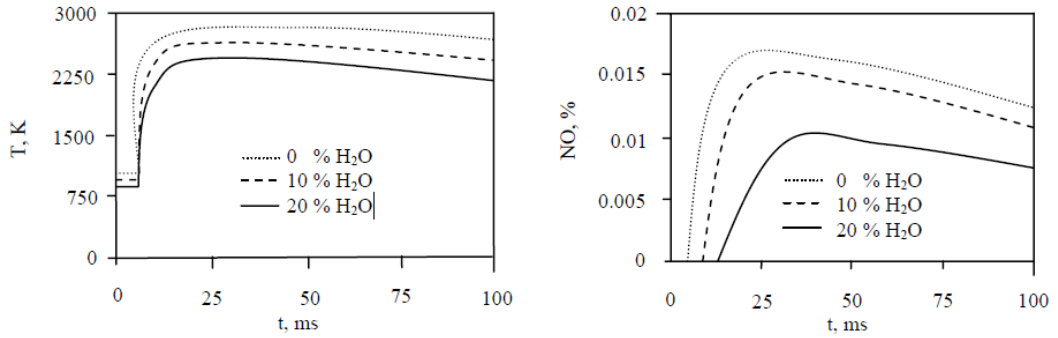
Şekil 2.2.NO_x kontrol yöntemleri (Andrews, 1995)

2.3.1. Su buharı püskürtme

NO_x emisyonlarının azaltılmasında yanma sırasında alınan önlemlerden biri motora buhar püskürtülmesidir. Buharın özgül ısısı havaya göre yaklaşık dört kat fazladır. Bu durum buharın yanma odasından daha çok ısı çekmesine böylece yanma sonu sıcaklığının düşmesine sebep olur. Yanma sonu sıcaklığının düşmesi de NO_x emisyonlarının azalmasını sağlar.

Ayhan yaptığı çalışmada dizel motora farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20, %25, %30) buhar püskürtmüştür. NO_x emisyonlarında %33'e varan değerlerde azalmalar ölçmüştür.

Şekil 2.3’ de motora gönderilen su oranına bağlı olarak yanma sonu sıcaklığındaki ve NO emisyonundaki değişim görülmektedir (Ayhan, 2009).



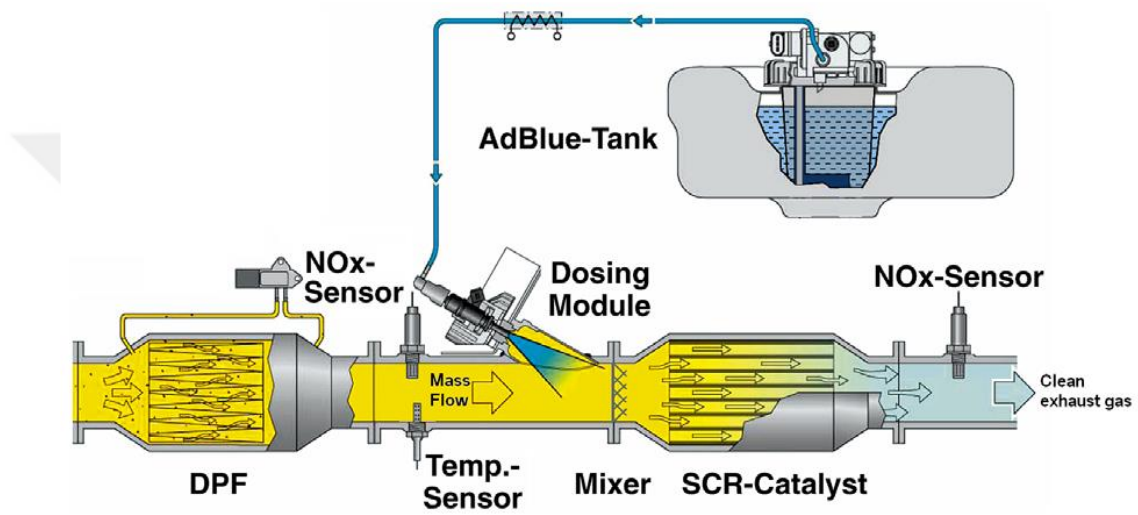
Şekil 2.3. Motor yanma sonu sıcaklığı ve NO emisyonundaki değişim (Samec, Kegl, & Dibble, 2002)

Su gönderme işlemi yaygın olarak üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar emülsif yakıt kullanmak, su fumigasyonu ve yanma odasına direkt su enjeksiyonudur. Emülsif yakıt kullanımında yakıtta karıştırılabilecek su miktarı kısıtlıdır. Bu sebeple NO_x emisyonlarına etki kısıtlı olmaktadır. Su fumigasyonu emme manifolduna su püskürtülme işlemidir. Su fumigasyonunda yanma odasına gönderilen su buharlaşmadığı takdirde yağa karışarak yağın özelliğini bozar ve aşınmaların artmasına sebep olur. Ayrıca bir zorlukta su fumigasyonunun emme supabı açıkken yapılmasıdır. Emme supabı kapalıyken yapılan su fumigasyonu birikmeler yapacağından korozyona sebep olmaktadır. Yanma odasına doğrudan yapılan su enjeksiyonu oldukça zor bir işlemdir. Bunun için ayrı bir su enjektörü ve bu enjektöre yüksek basınçta su gönderecek bir pompaya ihtiyaç vardır. Yanma odasına ortam sıcaklığında su püskürtülmesi aşırı sıcaklık farkına sebep olarak termal şok oluşturması motordaki elemanların dayanımlarını azaltacağından buhar püskürtülmesi bu problemi ortadan kaldıracaktır (Ishida & Chen, 1994).

2.3.2. Seçici katalitik dönüştürücü

Şekil 2.4’de bir SCR sisteminin elemanları görülmektedir. SCR sistemi hem partikül madde hem de NO_x emisyonlarını azaltmaya dönük bir sistemdir. Motordan çıkan gazlar ilk olarak dizel partikül filtresinden (DPF) geçerek partikül maddelerin %70’ ini burada bırakır. DPF’de bulunan katalizörlü kaplamalar sıcaklığın 450 °C’ yi geçmesiyle karbon taneciklerin yanmasını sağlar. Daha sonra katalizörün girişine püskürtülen üre-su karışımı ile tepkime oluşturularak NO_x emisyonları azaltılır. Bu reaksiyonda ürün olarak N₂ ve

H₂O ortaya çıkmaktadır. Aşağıda reaksiyonun kimyasal formülü görülmektedir (Soruşbay, 1999).

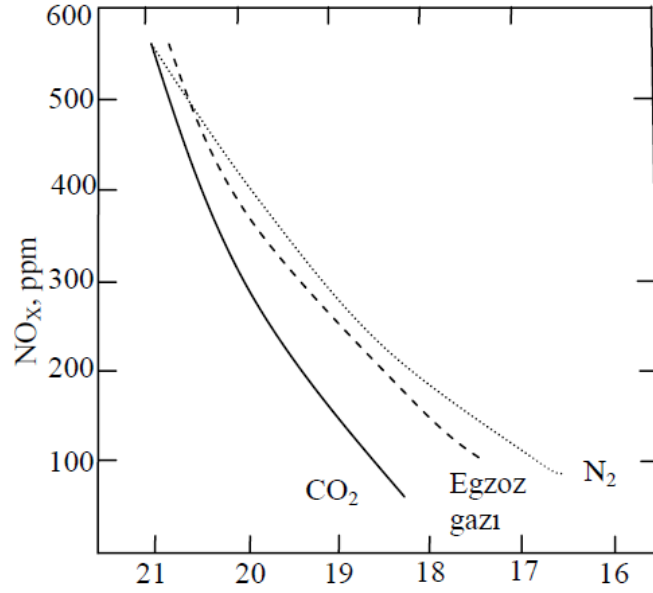


Şekil 2.4.SCR sisteminin yapısı (Anonim, 2019)

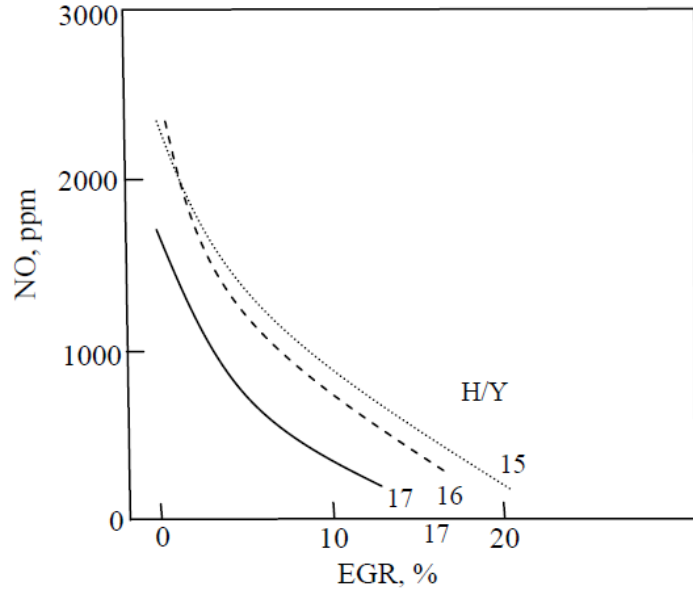
2.3.3. Egzoz gazı geri dönüşüm sistemi (EGR)

Günümüzde en sık karşılaşılan NO_x kontrol yöntemlerinden biri EGR'dir. EGR sisteminin uygulanması basit olduğu için bu yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemle egzoz gazlarının bir kısmı emme manifolduna verilerek tekrar yanma odasına girişi sağlanır. Böylece yanma odasına giren oksijen miktarı azalmakta ve azot ve oksijen moleküllerinin tepkimeye girme ihtimali azalmaktadır. Buna ek olarak oksijen konsantrasyonunun azalması reaksiyon hızını ve yanma sıcaklığı düşürerek NO oluşumunun azalması sağlanır. Şekil 2.5 de motor dolgu havasındaki oksijen oranının değişimiyle NO_x emisyonlarındaki değişim görülmektedir.

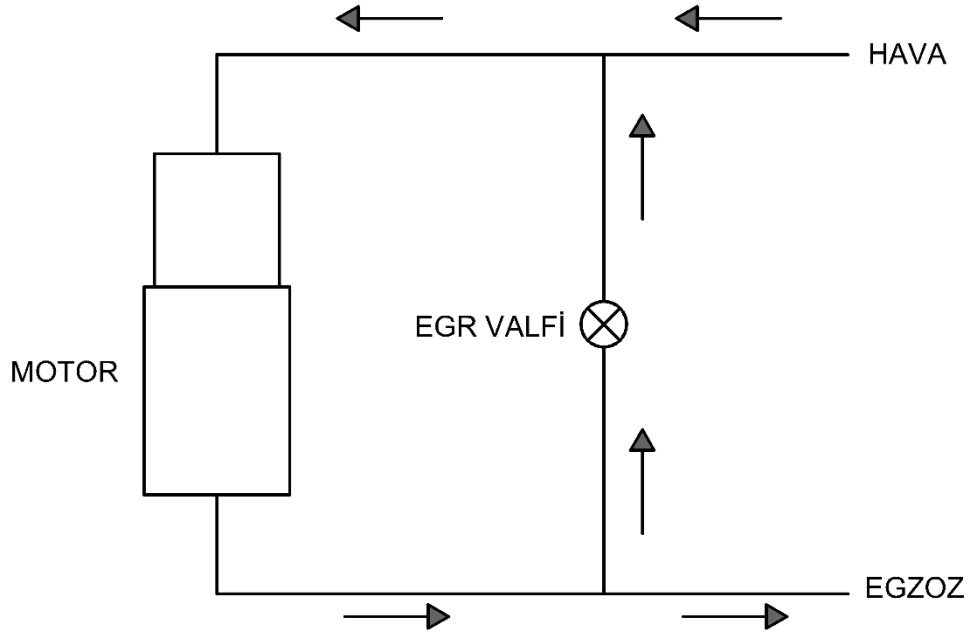
EGR NO_x emisyonlarının kontrolünde çok etkin bir yöntem olmasına rağmen dezavantajları da vardır. EGR sonucunda azalan oksijen konsantrasyonu azaldıkça tam yanma sağlanamadığından CO emisyonları artmaktadır. Azalan alev sıcaklığı ile oksidasyon hızı azalmakta ve dizel motorlarda çok önemli olan is emisyonları artmaktadır. Aşırı oranda EGR uygulanması yakıt hava karışımının oranını bozacağından dolayı partikül madde emisyonu da artar. Bu sebeple EGR oranı optimum değerde tutulmalıdır. Şekil 2.6' de EGR oranına bağlı olarak NO emisyonundaki değişim gösterilmiştir.



Şekil 2.5.EGR oranına bağlı olarak NO_x emisyonlarındaki değişim (Heywood, 1988)



Şekil 2.6.H/Y oranına bağlı olarak EGR oranına göre NO emisyonunun değişimi (Heywood, 1988)



Şekil 2.7.EGR sisteminin şematik gösterimi

EGR uygulaması yanma sonucu oluşan partikül maddelerin tekrar yanma odasına girmesine de sebep olur. Bu partikül maddeler motor aşınıtlarına sebep olur.

Haşimoğlu ve Ark. yaptığı çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motora %10, %20, %30 oranlarında EGR uygulamıştır. Elde edilen verilere göre

NO_x emisyonları haricinde bütün parametrelerin kötüleştiği görülmektedir. Yapılan çalışmada motor gücünde %50 ye varan düşüşler görülmüştür. ÖYS %10 EGR için %15 artarken %20 ve %30 EGR oranlarında ÖYS sırasıyla 2 ve 3 katına çıkmıştır. No emisyonuna bakıldığı zaman NO emisyonu %10 EGR için %35, %20 EGR uygulaması için %75 azalmıştır. %30 EGR uygulandığında ise emisyon cihazı NO emisyonu ölçmemiştir. Söz konusu çalışmayı yapan araştırmacılar ideal EGR oranı olarak %10 tavsiye etmektedirler. Araştırmacılar ayrıca performans parametrelerindeki kötüleşme sebebiyle tam yük şartlarında EGR'nin iptal edilerek farklı bir yöntem uygulanabileceğini belirtmektedir (Haşimoğlu, İçingür, & Öğüt, 2002).

Tok dört silindirli, direk enjeksiyonlu, turbo beslemeli, comman rail dizel motorla yaptığı çalışmada farklı oranlarda (%10, %15, %20, %25, %30) EGR uygulamıştır. Motor gücüne bakıldığı zaman %10 EGR oranında motor gücünde %7,75 kayıp yaşanmıştır. EGR oranı %30' a çıktığında kayıp %22,5'dir. ÖYS de %10 EGR için artış miktarı %13,45 iken %30 EGR oranında artış %72,25' i bulmaktadır. NO emisyonu ise %10 EGR oranında %34,77 azalmıştır. %30 EGR oranında düşüş %86,5 olmuştur (Tok, 2010).

2.4. Dizel Motorlarda EGR Uygulama Biçimleri

2.4.1. Sıcaklığa göre

2.4.1.1. Soğuk EGR

Motordan çıkarak yanma odasına tekrar gönderilecek hava yüksek sıcaklıktadır EGR havasının sıcaklığı düşürülmeden motora gönderilmesi yanma sonu sıcaklıklarını arttırır. Bu yöntemde EGR hattı üzerinde motor soğutma suyuyla EGR havası soğutularak motora verilir. EGR havasının çığ noktasının altına soğutulması emme manifolduna su taneciklerinin gelmesine sebep olabilir. Bunun önüne geçilmelidir.

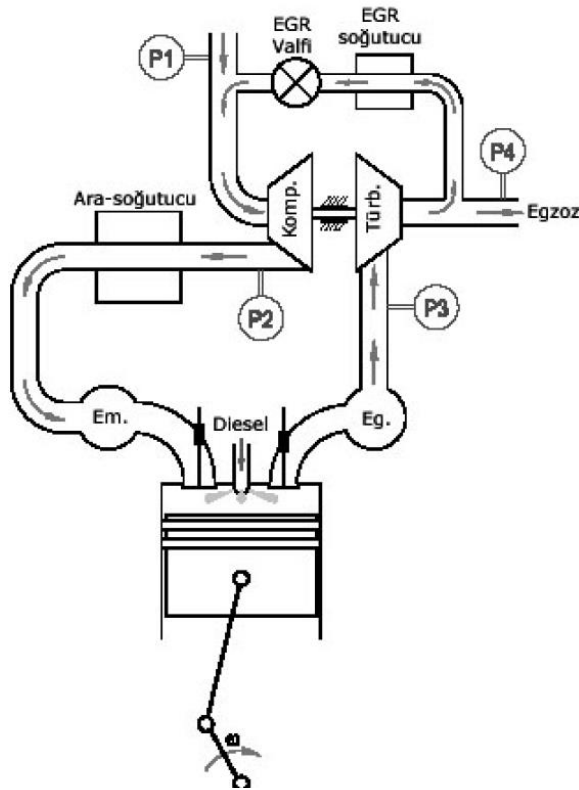
2.4.1.2. Sıcak EGR

EGR havası herhangi bir soğutma işleminden geçmeden motora gönderilmektedir. Dolgu havasının sıcaklığı artacağından volümetrik verimin düşmesine sebep olur.

2.4.2. Basınca göre

2.4.2.1. Düşük basınçlı EGR

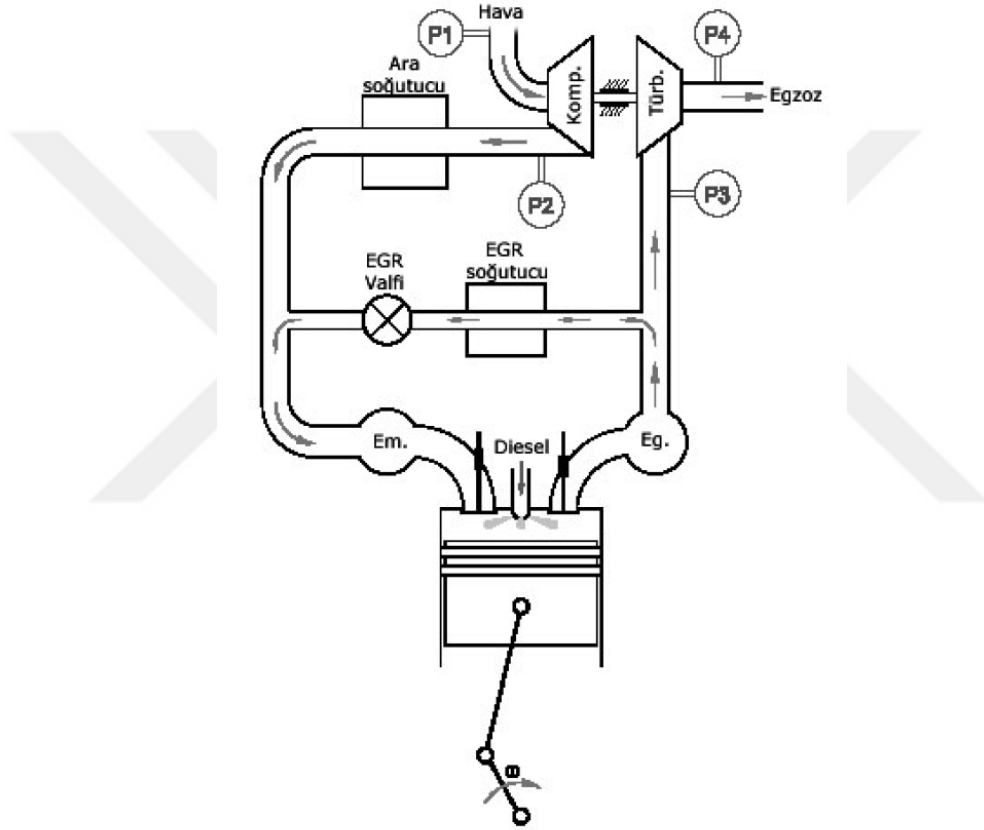
Günümüzde kullanılan dizel motorlar genellikle turbo beslemelidir. EGR havasının egzoz hattından emme hattına geçişi için basınç farkına ihtiyaç vardır. Düşük basınçlı EGR yönteminde EGR havası türbin çıkışından kompresör girişine hareket eder. Bu iki nokta arasında doğal bir basınç farkı vardır. Bu yöntemde kompresör ve ara soğutucu EGR havasına maruz kalır. Şekil 2.8'da düşük basınçlı EGR çevrimi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Düşük basınçlı EGR çevrimi (Zheng, M., Reader, G.T., & Hawley, J.G., 2003)

2.4.2.2. Yüksek basınçlı EGR

Kompresör ve ara soğutucunun EGR havasından etkilenmemesi için egzoz gazının türbin girişinden ara soğutucu çıkışına verilmesi işlemine yüksek basınçlı EGR denir. Ancak bu sadece türbin giriş basıncı emme basıncından yüksek olması durumunda uygulanabilmektedir. Şekil 2.9’ da yüksek basınçlı EGR çevrimi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Yüksek basınçlı EGR çevrimi (Zheng, M., Reader, G.T., & Hawley, J.G., 2003)

2.5. Dizel Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar

Günümüz dünyasında enerji politikaları, çevre bilinciyle birlikte insanların refahı için kullanılacak şekilde ve ulusal çıkarlar göz önüne alınarak belirlenmelidir. Petrole olan bağımlılığının azaltılması, gelecekte yaşanabilecek petrol krizlerinin en az sıkıntıyla atlatılabilmesi ve çevrenin zararlı etkilerden korunabilmesi için alternatif yakıt arayışları ve bunların içten yanmalı motor yakıtı olarak kullanılabilirliklerinin araştırılması zorunlu hale gelmiştir (Kulakoğlu, 2009).

Alternatif yakıt olarak dizel motorlarda başlıca;

- Metanol
- Etanol
- Hidrojen
- Biyodizel kullanılmaktadır (Bayraktar & Durgun, 2004).

Yapılan araştırmalara göre, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan karbon monoksit, hidrokarbon ve azot bileşiklerinin yarısı, benzin ve dizel motorlarından kaynaklanmaktadır. Kükürt dioksit, kurşun, kurum gibi artıklar da yine motorlu taşıtlardan etrafa yaydığı zararlı bileşenlerdir. Özellikle dizel motorları kükürt dioksit ve is oluşumunda ilk sırada yer alır. Karbon monoksit gazı, kapalı yerlerde insanların ölümüne neden olabilmekte, azot bileşikleri ise tarım ürünlerine zarar vermekte ve binalarda aşınmalara yol açmaktadır. Motorlu taşıtların havayı kirletmelerinin temel sebebi, yakıtın bir kısmının yanmamasıdır. Böylece havadaki egzoz gazı emisyonlarını artırmaktadır, bu da hava kirliliğinin önemli bir bölümünü teşkil etmektedir (İlhan, 2007).

Alternatif yakıtlar, özellikle alkollü yakıtların egzoz emisyonu ve kaynakların sürdürülebilirliğinin yanı sıra çevresel kaygılar üzerindeki ulusal tehdidi ve ekonomik kaygıları azaltmak için potansiyel olarak sunulmaktadır. Son zamanlarda uygulanan yönetmelik talimatına uygun yenilenebilir araç yakıtlarının kullanımındaki artışın sonucu olarak, alternatif yakıtlara ilgi devam etmektedir. Son otuz yıl içinde otomotiv araştırmalarında, alkollü yakıtların öncelikli metanol, etanol ve hidrokarbonlu karışım

yakıtlarla uyum içinde olduğu ispatlandığından azot oksitleri (NO) ve partikül madde (PM) emisyonlarının yanı sıra az da olsa fren termik verimini iyileştirdiğini görülmektedir (Brusstar M., Stuhldreher M., Swain D., & Pidgeon W., 2002).

2.5.1. Metanol

Alternatif yakıt olarak metanolün kullanımına ilk olarak ABD' de başlanmıştır. Metanol ve etanolün yakıt olarak kullanımında Brezilya ve A.B.D. başı çekmektedir. Alkollerin yakıt olarak kullanımının temel gerekçeleri, genellikle bazı ülkelerdeki petrol bulunmaması, temiz ve yenilenebilir bir yakıt olmasıdır. Alkol kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen en önemli sebep ise; alkollerin alt ısıl değerinin düşük olması ve buna bağlı olarak birim enerji maliyetinin yüksek olmasıdır (Holman, Fergusson, & Mitchell, 1991; Borat, Balcı, & Sürmen, 1995; Yağcıoğlu, 1984; Ingamells & Lindquist, 1975).

Metanol, doğalgaz ve kömürden üretilbildiği gibi tarımsal atıklar gibi kaynaklardan hatta doğrudan yanma ürünü olarak ortaya çıkan CO₂ gazının yakalanıp işlenmesi ile elde edilebilen bir yakıttır. Kimyasal yapısı CH₃OH olan metanol basit alkol diye adlandırılır, düşük karbon içeriğiyle ve yüksek hidrojen miktarına sahip bir sıvı yakıttır. Ülkemizin tarımsal üretim potansiyelinin yüksek olması ve ayrıca, linyit rezervleri bulunması, metanol üretimini yerel kaynaklarla yapabileceğimizi göstermektedir. Metanol renksiz, saydam, hafif kokulu, toksik, higroskopik bir sıvıdır. Kimyasal özellikleri Tablo 3.1'de belirtilmiştir (Candan, 2012; Karaosmanoğlu, 1990).

Tablo 2.1. Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri (Acaroğlu, 2003)

Kimyasal Denklemi	CH ₃ OH
C/H Oranı	0,25
Molekül Ağırlığı	32,04
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³) sıvı	0,79
Isıl Değeri (MJ/Kg)	20,1
Isıl Değeri (MJ/lit)	15,9
Stokiyometrik Karışı Hava/Yakıt (Kütlesel)	6,44
(Hacimsel)	7,14
Buharlaşma Isısı (MJ/Kg)	1,1
Tutuşma Sınırları % (Hacimsel)	6-37
Hava Fazlalık Katsayısı λ	0,24-2,22
Laminer Alev Hızı(m/s)	0,52
Adyabatik Alev Sıcaklığı(°C)	1878
Kaynama Noktası(°C)	65,1
Donma Noktası(°C)	-97,6
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı(°C)	470
Oktan Sayısı ROS (Araştırma Oktan Sayısı)	110

2.5.1.1. Metanolün dizel motorlarda kullanılma yöntemleri

Metanolün dizel motorlarda kullanılmasının belli zorlukları vardır. Bu zorlukları aşmak adına aşağıdaki yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları aşağıda açıklanmıştır. Kullanılan yöntem ne olursa olsun metanol plastik parçaların moleküler ve elastomer yapısını bozucu bir etki yapmaktadır. Sızdırmazlık malzemelerinde ve yakıt hatlarında bu konuya dikkat etmek gerekmektedir. Metal yüzeylerde ise paslanmaz malzemelerin kullanımı metanolün korozif etkisinin önüne geçmek için önemlidir.

2.5.1.2. Yakıt – metanol karışımı kullanılması yöntemi

Metanolün oktan sayısının yüksek olması dizel motorlarda doğrudan kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple metanol yakıt ile seyreltilerek kullanılması yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemin en büyük avantajı motorda herhangi bir değişikliğe gerek duyulmamasıdır. Ancak yakıt karışımında karışım oranı ve sıcaklığı bağlı olarak faz ayrışması görülmektedir. Faz ayrışmasının önüne geçmek için emülsif yakıt karışımları kullanılmaktadır.

2.5.1.3. Metanol ve yakıtın karıştırıcıda belirli oranlarda karıştırılarak kullanılması yöntemi

Bu yöntemde iki farklı depoda bulunan metanol ve motorin bir dozaj ayar sistemiyle karıştırılarak motora gönderilmektedir. Bu karışım oranının çalışma şartına göre değiştirmesini sağlayacaktır. Ancak sistem oldukça karmaşıktır. Karışımın homojen olarak motora göndermekte oldukça zordur.

2.5.1.4. Metanol fumigasyonu yöntemi

Bu yöntemde metanol emme manifolduna verilerek emme havasıyla yanma odasına girmesi sağlanmaktadır. Bu amaçla emme manifolduna bir enjektör entegre edilmektedir. Enjektör kontrol ünitesiyle istenilen miktarda metanol püskürtülebilmektedir. Ancak püskürtme işlemi sadece emme supabı açıkken yapılmalıdır. Supabın kapalı olduğu durumlarda enjeksiyonun devam etmesi birikmelere ve korozyona sebep olmaktadır. Metanolün buharlaşma ısısının yüksek olması emme manifoldundan ısı çekmesine sebep olmaktadır. Daha düşük sıcaklıkta olan emme havası volümetrik verimin artmasını sağlamaktadır. Ancak metanol eğer yeterli ısıyı çekemezse yoğunlaşmalar olacaktır. Bu yoğunlaşmalar motor yağına karışırsa yağın seyrelmesine ve aşınmaların artmasına sebep olacaktır. Özellikle soğuk çalışma durumunda yoğunlaşma oluşmamasına dikkat edilmelidir. Fumigasyon sisteminin en büyük avantajı çalışma şartlarına göre metanol fumigasyon oranının değiştirilebilmesidir. Fakat bu bir sistem maliyeti oluşturmaktadır.

2.5.1.5. Doğrudan enjeksiyon yöntemi

Bu yöntemde yanma odasına iki farklı enjektör yardımı ile yakıt ve metanol ayrı ayrı gönderilmektedir. Ancak kullanılacak motor üzerinde köklü değişikliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Metanolün yanma odasına gönderilmesi için yüksek basınçta pompalanması oldukça zordur. Basit yapıdaki motorlarda sistemi oldukça karmaşıklarıdır. Saf haldeki metanolün yanma odasına teması özellikle plastik sızdırmaz elemanların yapısını bozacağı ve metal yüzeylerde oksitlenmeye sebep olacağı unutulmamalıdır.

2.5.2. Etanol

Renksiz, güzel kokulu kaynama noktası 78 0C, donma noktası -117,3 °C ve yoğunluğu 0.789 g/cm³ olan sıvıdır. Buharlaşma gizli ısısı dizel yakıtından 1,5 kat daha fazladır. Bunun anlamı, buharlaşma esnasında yanma odasından daha fazla ısı çekilmesidir. Bu nedenle ilk hareket dizel yakıtına göre biraz daha zor olmaktadır

Yoğunluk bakımından incelendiğinde dizel yakıtının 15 °C' deki yoğunluğu 0,820- 0,860 kg/l arasındadır. Dizel yakıtına göre etanolün yoğunluğu daha az olduğundan dolayı karışım miktarının artmasıyla birlikte yoğunluğu da düşecektir. Motorda ideal şartların sağlanması için de hacimsel olarak daha fazla yakıt enjeksiyonu gerekli olmaktadır. Yine etanolün alt ısıl değerinin dizel yakıtının %62'si kadar olması nedeniyle, etanollü çalışmalarda ÖYS karışımındaki etanol miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Dizel yakıtının kaynama noktaları yaklaşık 190 °C ile 280 °C arasında değişen farklı yapılara sahip hidrokarbon moleküllerinden meydana gelmiş bir maddedir. Etanol ise tek bir sıcaklıkta kaynayan ve aynı yapıya sahip moleküllerden oluşmuş bir maddedir. Buna göre etanol dizel yakıtına göre daha iyi buharlaşır ve temiz yanar.

Tablo 2.2.Etanolün Özellikleri (Acaroğlu, 2003)

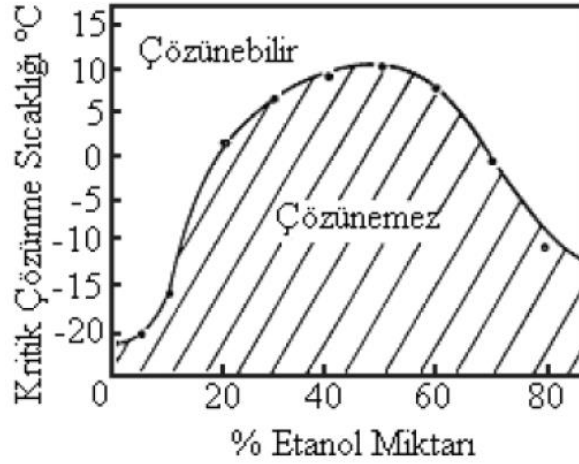
Kimyasal Denklemi	C ₂ H ₅ OH
C/H Oranı	0,333
Molekül Ağırlığı(g/mol)	46,07
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³) sıvı	0,789
Isıl Değeri (MJ/Kg)	20,1
(MJ/lı)	15,9
Stokiyometrik Karışı Hava/Yakıt (Kütlesel)	8,96
(Hacimsel)	14,3
Buharlaşma Isısı (MJ/Kg)	0,856
Tutuşma Sınırları % (Hacimsel)	3,5-19
Adyabatik Alev Sıcaklığı(°C)	1924
Kaynama Noktası(°C)	78,7
Donma Noktası(°C)	-114,1
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı(°C)	392
Oktan Sayısı ROS (Araştırma Oktan Sayısı)	106

Etanolün oktan sayısı motorine göre yüksektir. Bu sebeple dizel motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanımı zordur. Dizel motorlarda etanol genellikle;

- Motorine karışım olarak
- Etanol-Dizel emülsiyonu
- Etanol fumigasyonu
- Yanma odasına doğrudan enjeksiyon yöntemleri ile kullanılabilir.

Karışım ve emülsiyon yönteminin en büyük avantajı motorda herhangi bir değişiklik yapmadan doğrudan bu yöntemlerin kullanılabilmesidir. %20 oranına kadar karışım bu yöntemle kullanılabilir. Etanol-dizel yakıtı karışımları ile motor çalıştırılmasında karşılaşılan başlıca problem dizel ve etanol aynı tank içerisinde bulundurulursa karışım oranına, ortam sıcaklığına, karışımı oluşturan dizel yakıtının kimyasal yapısına bağlı birkaç nedenden ötürü faz ayrışması meydana gelir. Faz ayrışmasında etanol deponun üst tarafında, dizel yakıtı ise deponun alt tarafında toplanmaktadır. (Temizer, 2010) Bunu engellemek için etanol-dizel emülsiyonu kullanılmaktadır. Emülsiyonda birtakım karışımlar kullanılarak faz ayrışmasının önüne geçmeye çalışılır. Fumigasyon yönteminde ise emme havasına etanol püskürtülerek yanma sağlanmaktadır. Bu yöntem emme manifoldu üzerinde bir dizi işlem gerektirmektedir. Ayrıca bu sistemin kontrolü

içinde elektronik bir kontrolcü bulunmalıdır. Doğrudan enjeksiyon yöntemi uygulanması zor bir yöntemdir. Etanolün yanma odasına püskürtülmesi fumigasyon yöntemindeki gibi bir enjeksiyon sistemi gerektirir. Ancak buradaki en büyük zorluk metanolün de yüksek basınçta pompalanması gerekliliğidir.



Şekil 2.10. Etanolün Sıcaklığa bağlı olarak dizel yakıt içinde çözünme bilirligi

2.5.3. Biyodizel

Dizel motorlarda kullanılmak için biyolojik kaynaklardan üretilen yakıtlara biyodizel adı verilmektedir. Biyolojik kaynaklardan üretildiği için yenilenebilir bir yakıt olarak değerlendirilmektedir. İlk uygulamaları Dizel motorun geliştiricisi olan Rudolf DİESEL yapmıştır. DİESEL ilk geliştirdiği motoru çalıştırmak için yerfıstığından elde edilen yağları kullanmıştır. Ancak petrol sektörü biyodizel sektörüne göre çok daha gelişmiş bir sektör olduğu için biyodizelin yakıt olarak kullanılması geri planda kalmıştır. Yaşanan petrol krizleri ve petrol kaynaklı yakıtların oluşturduğu çevresel etkiler yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgiyi arttırmıştır. Bu ilgi biyodizel piyasasının gelişmesine sebep olmuştur. Bu ilginin başlıca sebepleri şöyle özetlenebilir;

- Biyodizeller dizel yakıtı doğrudan alternatiftir.
- Dizel motorlarda kullanıldıklarında verime etkisi azdır.
- Bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilebilmektedir.
- Tarımsal üretimde enerji bitkileri üretimi yeni bir ekonomi oluşturmaktadır.
- Çevreci ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. (Karabektaş & Ergen, 2007).

Biyodizel kullanılmış atık yağlardan üretilebildiği gibi bitkisel ve hayvansal yağlardan da elde edilebilmektedir. Soya fasulyesi, ayçiçeği gibi yağlı bitkiler biyodizel üretiminde tercih edilmektedir. Biyodizel C₁₆-C₁₈ yağ asidi zincirlerini içeren oksijen içeriği de bulunan bir yakıttır. Yapılan araştırmalar biyodizelin kirletici egzoz emisyonları açısından dizel yakıtta göre daha çevreci olduğunu ortaya koymaktadır. Biyodizelin biyolojik olarak parçalanabilir olması da avantaj olarak değerlendirilmektedir. Biyodizel bünyesinde oksijen ihtiva ederken kükürt içermez. Böylece yanma sonucunda kükürtlü bileşikler oluşmaz. Oksijen içeren biyodizelin bölgesel hava kalitesini arttırdığı da bilinen bir husustur.

Biyodizel saf olarak kullanılabilirdiği gibi dizel yakıtlarla seyreltilerek kullanımı da mümkündür. Biyodizel alt ısı değeri olarak motorine göre %8 daha azdır, buna karşın alevlenme noktası daha yüksektir. Bu özelliği biyodizeli taşıma, depolama gibi durumlarda daha güvenli bir yakıt yapmaktadır.

Biyodizelle yapılan çalışmalara bakıldığı zaman NO_x emisyonları dışında kalan bütün emisyonların azaldığı görülmektedir. Tablo 3.4'de Çevre Koruma Ajansı Saf Biyodizel ile hacimsel olarak %20 karışımlı biyodizelin emisyon değeri motorinle karşılaştırılmıştır. Emisyonlar açısından bakıldığında biyodizelin çok avantajlı olduğu görülmektedir. Biyodizel tarımsal kaynaklı ürünlerden elde edilmesi durumunda CO₂ döngüsünü hızlandırarak sera etkisini de azalmaktadır. Biyodizel kükürt içermediği için saf biyodizel kullanılması durumunda kükürtlü bileşikler oluşmaz. Biyodizelin oksijen içermesi CO, HC ve PM emisyonlarının da azalmasını sağlamaktadır. CO emisyonları Biyodizel kullanılmasıyla %48, PM emisyonları %47 azalmıştır (Alpgiray, 2006).

Tablo 2.3.B100, B20 yakıt emisyonlarının Motorin emisyonlarıyla karşılaştırılması (Yaşar,2016)

EMİSYONLAR	B100 (%)	B20(%)
Karbon Monoksit (CO)	-48	-12
Azot Oksit (NOx)	+10	-2/+2
Toplam Yanmamış Hidrokarbonlar (THC)	-67	-20
Partikül Maddeler (PM)	-47	-12
Kükürt	-100	-20
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar	-80	-13
N-Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (Nitratlı-PAH's)	-90	-50
Ozon (O3)	-50	-10

Biyodizel üretiminde günümüzde en çok kullanılan yöntem Transesterifikasyon yöntemidir. Bu yöntemde yağ küçük molekül ağırlıklı alkolle genellikle metanolle bir katalizör eşliğinde gliserin ve biyodizel oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Reaksiyon sonunda elde edilen gliserin başta sabun olmak üzere birçok üründe hammadde olarak kullanılmaktadır.

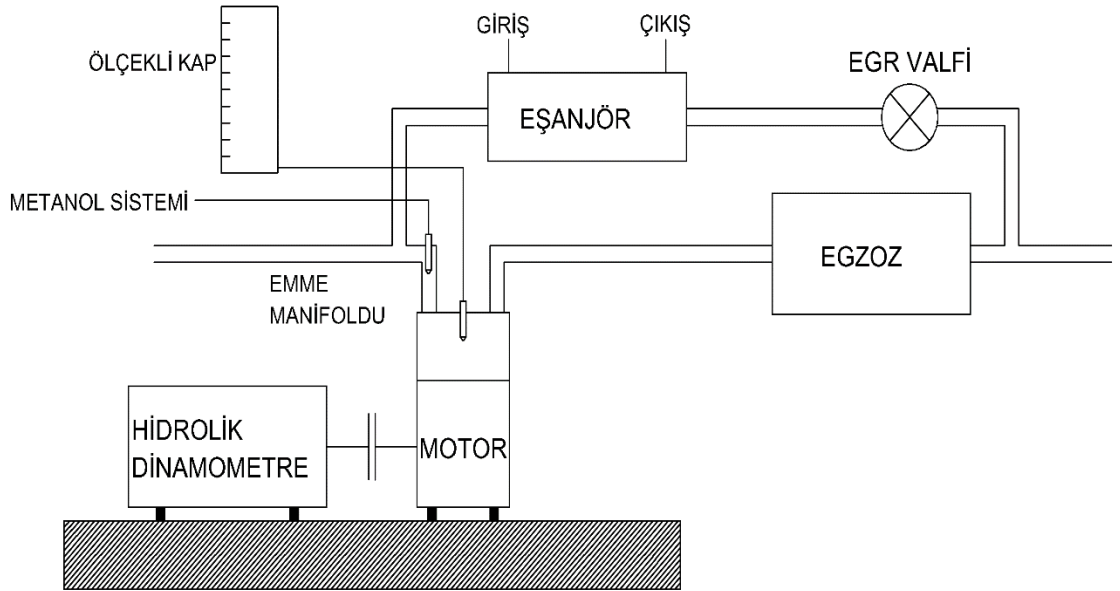
Usta ve Ark. yaptığı çalışmada tütün metil esterini farklı oranlarda Cussons P8601 dizel motor test düzeneğinde yakıt olarak kullanmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığı zaman CO ve SO₂ emisyonlarının azaldığını buna karşılık NO emisyonunun az da olsa arttığı görülmektedir. Motor gücü ise %0,64 ila %2,97 oranında artarken verim ise 1500-3000 d/d arasında artarken bu devir aralığından sonra düşmüştür.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deney düzeneği

Deneyle Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’ de deney düzeneği şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney Düzeneği

3.1.2. Deney motoru

Deney motoru özellikleri tablo 3.1’ de verilen tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, dört zamanlı, doğal emişli bir dizel motordur.

Tablo 3.1.Deney motorunun özellikleri

Motor Tipi	Super Star
Piston Çapı(mm)	108
Strok(mm)	100
Silindir Sayısı	1
Strok Hacmi(dm ³)	0,92
Maksimum Güç (kW)	12 (2200 d/d)
Enjektör Basıncı (Bar)	225
Püskürtme Avansı (KMA)	29
Maksimum Devir(d/d)	2500
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon

3.1.3. Dinamometre ve loadcell

Deney motoru hidrolik bir dinamometre vasıtasıyla yüklenmiştir. Deneyler esnasında dinamometre su basıncı sabit tutulmuştur. Motor gücünün ölçümü S tipi bir loadcell yardımı ile yapılmıştır. Kullanılan loadcellin hassasiyeti 0,1 kg' dır.

3.1.4. Yakıt sarfiyatının ölçülmesi

Yakıt sarfiyatı ölçümü, 50 cm³'lük hacimsel ölçü kabında gerçekleştirilmiştir. Ölçekli kap yardımı ile motorun 50 cm³ yakıtı tükettiği süre tespit edilmiştir. Gerekli hesaplamalar yapılarak yakıt tüketimi tespit edilmiştir.

3.1.5. Emisyon ölçümü

Çalışmada emisyon ölçümü Bosch BEA 550 marka egzoz gazı analiz cihazı ile yapılmıştır. İS emisyonları Bilsa Mode 5000 marka opacimeter kullanılarak ölçülmüştür. Deneyden önce cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Cihazın ölçüm hassasiyetleri tablo3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.2.Emisyon cihazı ölçüm hassasiyeti

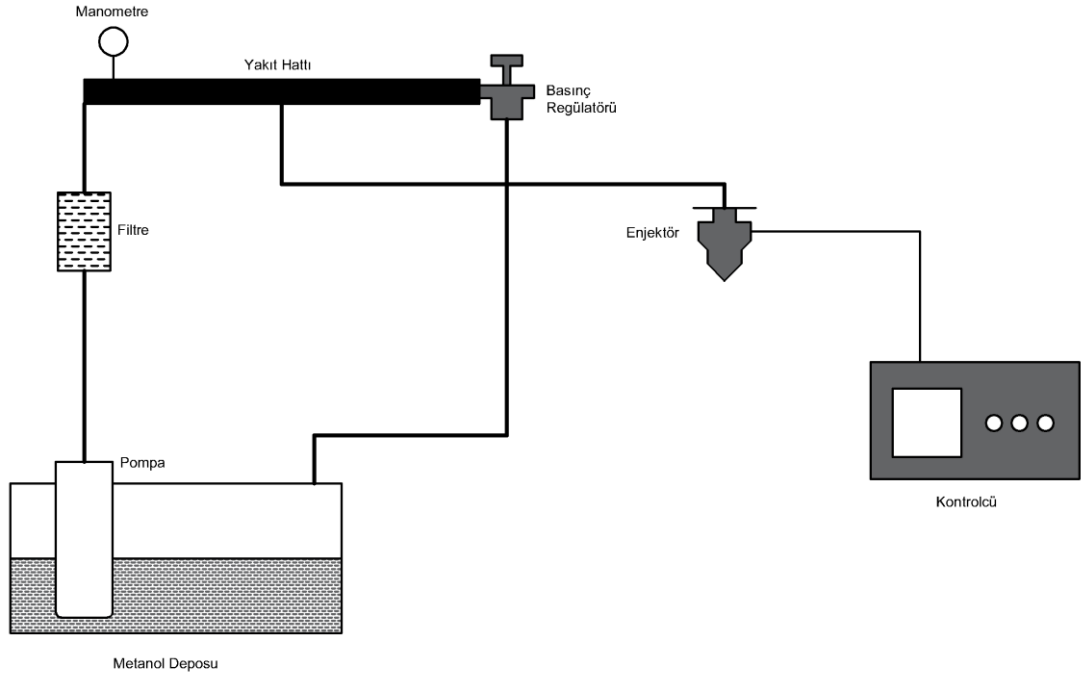
	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0 – 10 % vol.	0.001 % vol.
CO ₂	0 – 18 % vol.	0.010 % vol.
HC	0 – 9,999 ppm	1.0 ppm
O ₂	0 – 22 % vol.	0.010 % vol.
NO	0 – 5,000 ppm	1.0 ppm
Lambda	0,5 – 1,8	0,001
İs	0 – 100 %	0,01 %

3.1.6. Motor hızı ölçümü

Motor hızını tespit etmek için 5 mm' den daha yakını ölçen bir sensor kullanılmıştır. Motor çıkış mili üzerine bir civata eklenerek her turda bu civatayı görmesi ile motor devri 1 d/d hassasiyetinde tespit edilerek sensör göstergesinden değerler okunmuştur.

3.2. Metanol Enjeksiyon Sistemi

Deney motoruna metanol fumigasyonu yapabilmek için motorda değişiklik yapmaya ve bazı ek sistemler oluşturmaya ihtiyaç olmuştur. Öncelikle metanolün doğru zamanda ve istenildiği miktarda fumigasyon yapılabilmesi için elektronik kontrollü bir püskürtme sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan sistem şekil 3.2' de gösterilmektedir. Alkol enjeksiyonu için motor emme supabının hemen arkasına gelecek şekilde bir enjektör bağlanmıştır. Bu enjektörün kontrollü bir Elektronik Kontrol Ünitesi (EKÜ) tarafından sağlanmaktadır. EKÜ yardımı ile enjektörün püskürtme yapacağı krank açısı ve enjektörün açık kalma süresi kontrol edilebilmektedir. EKÜ, krank açısını absolute encoder vasıtasıyla elde etmektedir. Deney motorunda bir çevrim iki krank turunda gerçekleştiği için krank turunu yarıya indirecek bir dişli sistemi krank miline bağlanarak encoder bu sisteme bağlanmıştır. EKÜ encoder gelen açı bilgisini üst ölü nokta sensöründen gelen üst ölü nokta bilgisiyle eşleştirerek emme periyodu içinde metanolün püskürtülmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.2. Metanol Enjeksiyon Sistemi Şeması

3.3. Yöntem

Deneylerden önce motor supap ayarları kontrol edilmiştir. Enjektör basıncı 225 Bar olacak şekilde ayarlanmıştır. Soğutma kulesi tamamen suyla doldurularak motor çalıştırılmıştır. Deney ölçümlerine geçilmeden önce motor 10 dk. rölantide 30 dk. 2/3 yükte çalıştırılarak kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı 85°C de sabit tutulmuştur. Ölçümlere motor kararlı hale geldikten sonra başlanmıştır.

Deneyler tam yük şartlarında ve gaz kolu tam açık konumda ve 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400 d/d devir sayılarında gerçekleştirilmiştir.

Deneyler aşamalı şekilde yapılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi için öncelikle STD motorun performans parametreleri ve emisyon değerleri ayrı ayrı her test devrinde ölçülmüştür. Daha sonra metanol fumigasyonu için deneylere geçilmiştir. Fumigasyon yapılacak metanol miktarı kütsel olarak STD durumunda tüketilen dizel yakıtının %10, %15 ve %20' si olarak belirlenmiştir. Metanol fumigasyonu yapılırken uygulanacak miktar EKÜ aracılığı ile motora fumigasyon şeklinde gönderilmiştir. Her deney devrinde

standart durumda ölçülen döndürme momenti değerleri, standart durumda elde edilen değerler ile aynı olacak şekilde dizel yakıt miktarı kısılmıştır.

Şekil 3.2' de metanol enjeksiyon sistemi şematik olarak gösterilmektedir. Metanol tankından pompa yardımı ile basınçlandırılan metanol yakıt hattına bağlı olan basınç regülatörü ile 3 Bar basınçta enjektöre gönderilmektedir. Enjektörün kontrolü bu deney için özel geliştirilen bir kontrolcü ile sağlanmaktadır.

M10, M15 VE M20 için ayrı ayrı deneyler tekrarlanmıştır. Çalışmanın üçüncü aşamasında farklı oranlarda EGR uygulanmıştır. EGR oranları %10, %15 ve %20 olarak belirlenmiştir. Bu oranlar CO₂ oranına göre hesaplanmıştır. Denklem 4.5 de EGR oranı formülü verilmiştir. Her test devrinde ayrı ayrı EGR verileri alındıktan sonra veriler incelenerek optimum EGR oranı belirlenmiştir. Bu optimum değerlerde EGR ve metanol fumigasyonu bir arada uygulanarak deneyler tekrarlanmıştır.

3.3.1. Enjektör parametrelerinin belirlenmesi

Çalışmada metanol fumigasyonunun miktarı STD durumda tüketilen yakıt miktarına bağlı olarak belirlenmiştir. STD durumda tüketilen yakıt belirlendikten sonra fumigasyon yapılan metanolün miktarını kontrol etmek için metanol enjektörünün parametrelerini belirlemek gerekmektedir. Bunun için EKÜ üzerinden enjektör açık kalma süresinin uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. Enjektör pals genişliğini tespit etmek için enjektör açma gecikmesi zamanından başlayarak pals genişlikleri arttırılarak biri dizi deney yapılmıştır. Uygulanan her bir pals genişliğinde sabit basınç altında 500 kez püskürtme miktarı hassas teraziyle ölçülmüştür ve uygulanan süre için enjektörün püskürttüğü alkol miktarı tespit edilmiştir. Bu amaçla 0.0001 gr hassasiyetinde hassas terazi kullanılmıştır. Belirlenen miktarlar ile fumigasyon yapılacak alkol oranları karşılaştırılarak her bir devirde alkol oranına göre enjektöre uygulanması gereken pals süresi tespit edilmiştir.



Şekil 3.3.Enjeksiyon kontrolcüsünde açık kalma zamanı ayar ekranı

3.3.2. EGR uygulanması

Deney sistemine EGR uygulanabilmesi için emme ve egzoz manifoldları arasında bir boru bağlantısı oluşturulmuştur. Bu hat üzerinde elle kontrol edilen bir valf yardımı ile EGR miktarı ayarlanmaktadır. EGR oranının tespitinde kullanılan formül denklem 3.5' de verilmiştir.

3.4. Hesaplamalarda Kullanılan Formüller

Deneyler sonucunda ölçülen yük, devir, yakıt sarfiyatı gibi büyüklükler hesaplamalarda kullanılarak önemli performans parametreleri elde edilmiştir. Bu hesaplamalarda kullanılan formüller aşağıda verilmiştir.

3.4.1. Döndürme momenti

$$M_d = F \cdot L \quad (3.1)$$

F : Kuvvet (N)

L : Moment Kolu Uzunluğu (m)

3.4.2. Efektif güç

$$P_e = \frac{2\pi FLn}{1000} \quad (3.2)$$

n : Devir Sayısı (d/d)

F : Kuvvet (N)

L : Moment Kolu Uzunluğu (m)

3.4.3. Özgül yakıt tüketimi

$$b_e = \frac{V_y \cdot d \cdot 3600}{t \cdot P_e} \quad (3.3)$$

V_y : Yakıt hacmi(cm^3)

d : Yakıtın Yoğunluğu(g/cm^3)

t : Zaman(s)

3.4.4. Efektif verim

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_r} = \frac{W_e/t}{Q_r/t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u} \quad (3.4)$$

\dot{m}_y : Yakıtın kütleli Debisi (g/s)

H_u : Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

3.4.5. EGR oranı

$$EGR(\%) = \frac{[(CO_2)_{emme manifoldu} - (CO_2)_{\text{çevre}}]}{[(CO_2)_{egzoz manifoldu}]} \times 100 \quad (3.5)$$

$(CO_2)_{emme manifoldu}$: Emme manifoldundaki CO_2 konsantrasyonu

$(CO_2)_{\text{çevre}}$: Çevre havasındaki CO_2 konsantrasyonu

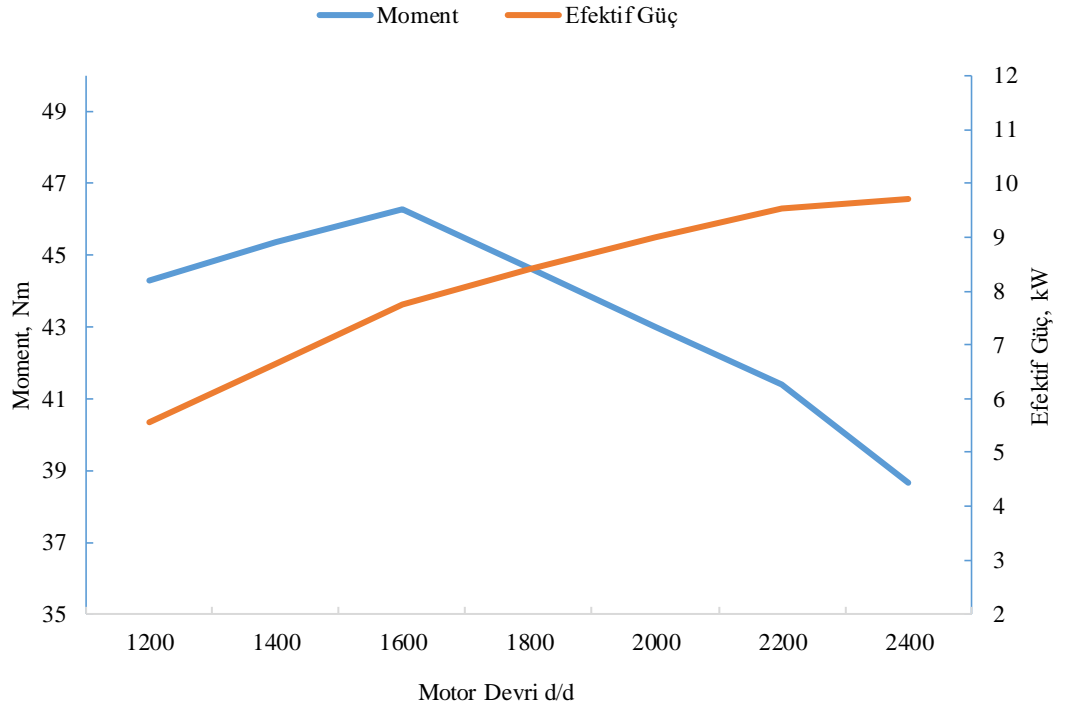
$(CO_2)_{\text{egzoz manifoldu}}$: Egzoz manifoldundaki CO_2 konsantrasyonu



BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Metanol Fumigasyonunun Performans Parametrelerine Etkisi

Deneilerin tamamı sonuçların kıyaslanabilir olması için aynı devir ve yük durumunda aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneinin ilk aşamasında motor karakteristiğinin belirlenebilmesi için motor dizel yakıt ile çalıştırılarak döndürme momenti ölçülmüş, efektif güç hesaplanmıştır. Metanol fumigasyonunun yapılmaya başlandığı ikinci aşamada yükün sabit tutulabilmesi için gaz kolu STD durumdaki döndürme momenti sabit olacak şekilde kısılmıştır. Şekil 4.1’ de STD durumda elde edilen döndürme momenti şekil 4.2’ de STD durumdaki efektif güç grafikleri verilmiştir.

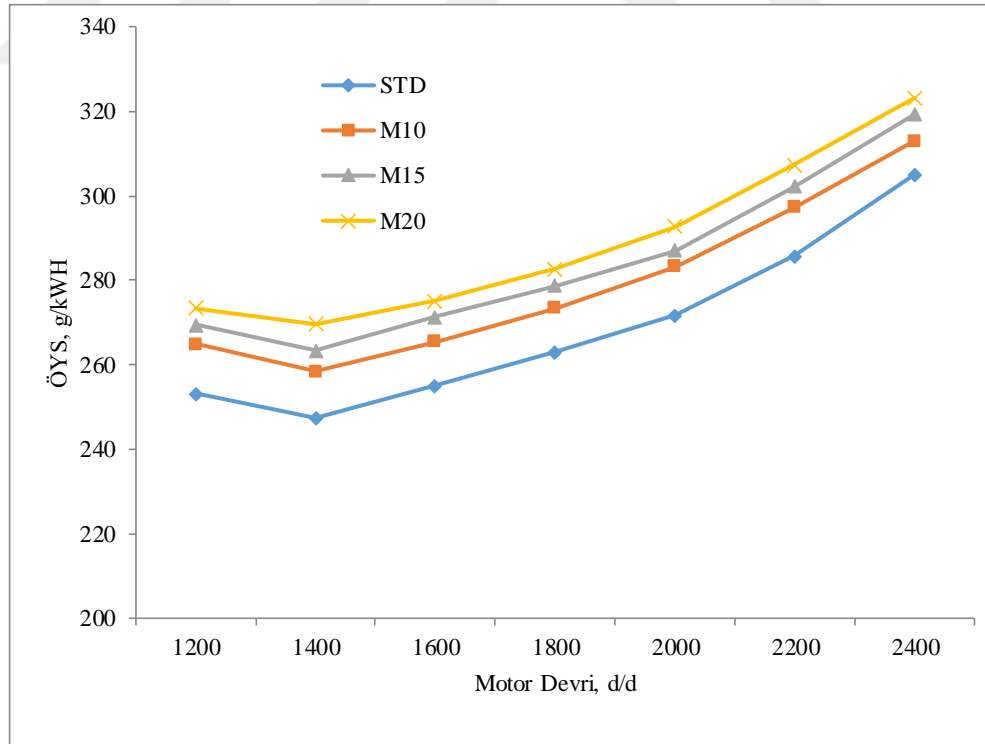


Şekil 4.1.STD durum için moment- güç grafiği

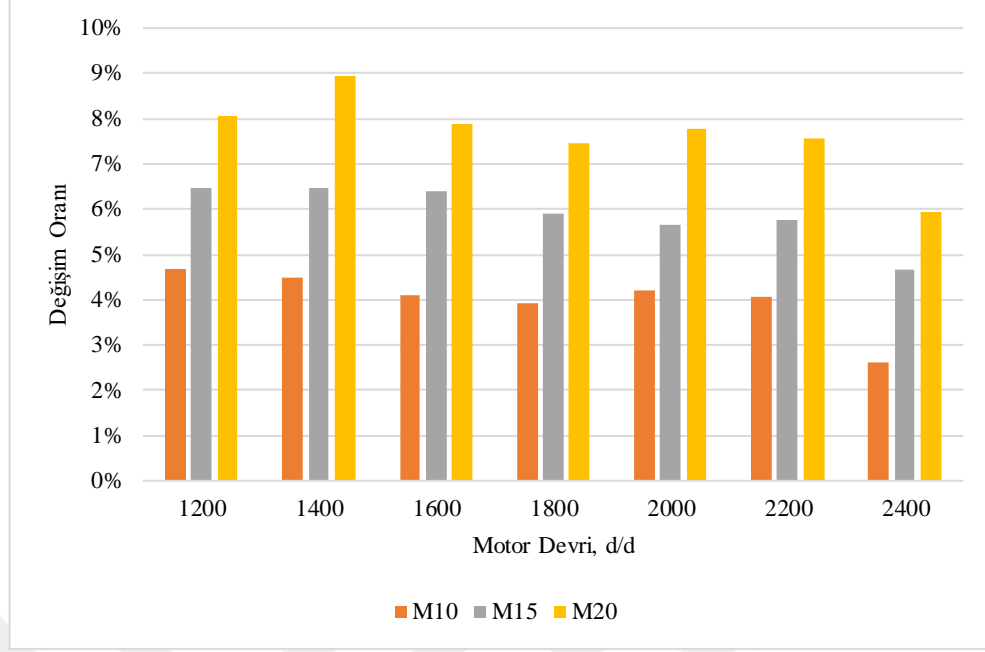
4.1.1. Metanol fumigasyonunun ÖYS üzerine etkisi

Şekil 4.2' de %10, %15, %20 oranlarında metanol fumigasyonunun standart duruma göre ÖYS üzerindeki etkisi karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ÖYS her devirde ve her fumigasyon oranında artmıştır. En yüksek artış %9 ile M20'de 1400 d/d' da görülmektedir. En düşük artış ise M10'da 2400 d/d' da %2,6 olarak tespit edilmiştir. ÖYS' de görülen artış dizel yakıtı yerine kullanılan metanolün alt ısı değerlerinin dizel yakıtı göre az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

AYHAN ve ark. etanol ile yaptıkları deneyde etanolün alt ısı değerinin daha düşük olması sebebiyle aynı miktarda enerji elde edebilmek için daha fazla yakıt kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. ÖYS artışının sebebinin metanolün dizel yakıtı göre alt ısı değerinin daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Ayhan, Cesur, Parlak, & Boru, 2008).



Şekil 4.2.Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak ÖYS değişimi

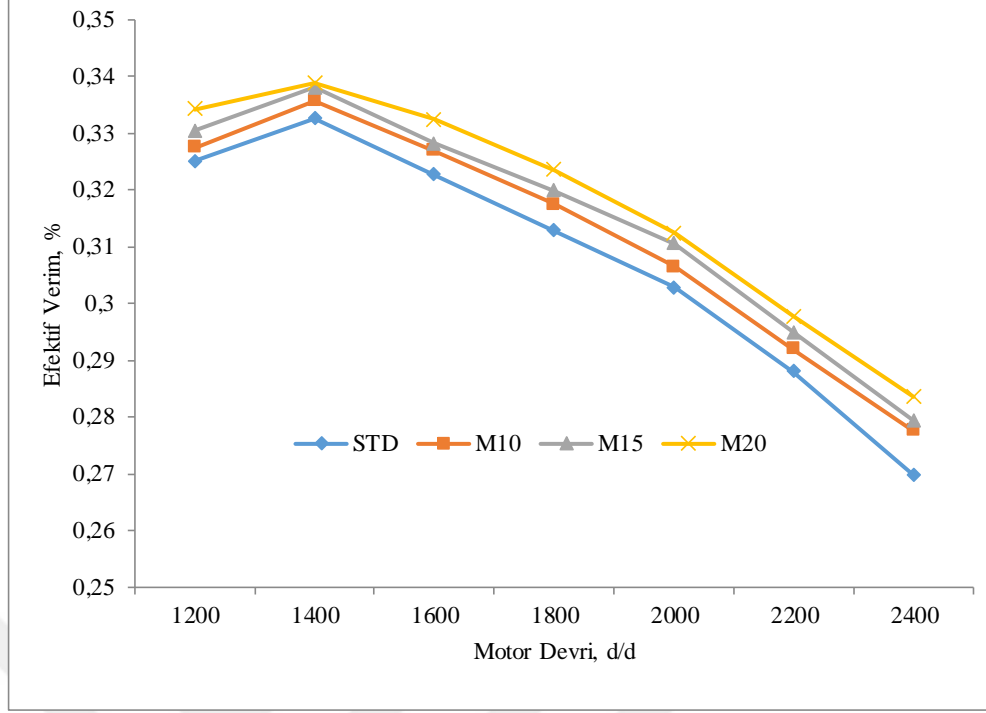


Şekil 4.3.Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre ÖYS değişimi

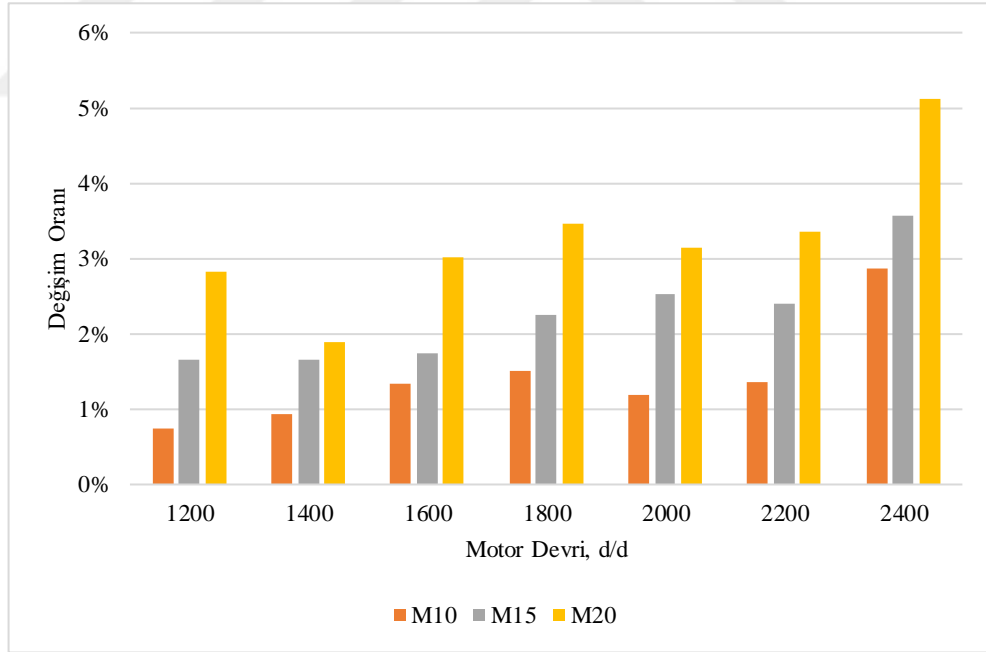
4.1.2. Metanol fumigasyonunun efektif verim üzerine etkisi

Şekil 4.4' de farklı oranlarda metanol fumigasyonunun farklı devirlerde efektif verime etkisi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Fumigasyon oranı arttıkça efektif verimin arttığı görülmektedir. Şekil 4.5' de STD duruma göre değişim oranları verilmiştir. Efektif verimdeki en büyük artış %5,1 ile M20' de 2400 d/d' da elde edilmiştir. En küçük artış ise %0,8 ile M10'da 1200 d/d' da elde edilmiştir. Efektif verimin motor hızı ve fumigasyon oranı ile arttığı gözlenmektedir.

ŞAHİN ve ark. yaptıkları çalışmada etanol fumigasyonu ile artan oksijen oranının yanmayı iyileştirdiği böylece efektif verimi arttırdığını ileri sürmektedir (Şahin & Durgun, 2016). Efektif verimdeki artışın metanolün ihtiva ettiği oksijen miktarının yüksek olması sonucunda yanmanın iyileşmesi sonucunda olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.4.Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde efektif verimin değişimi



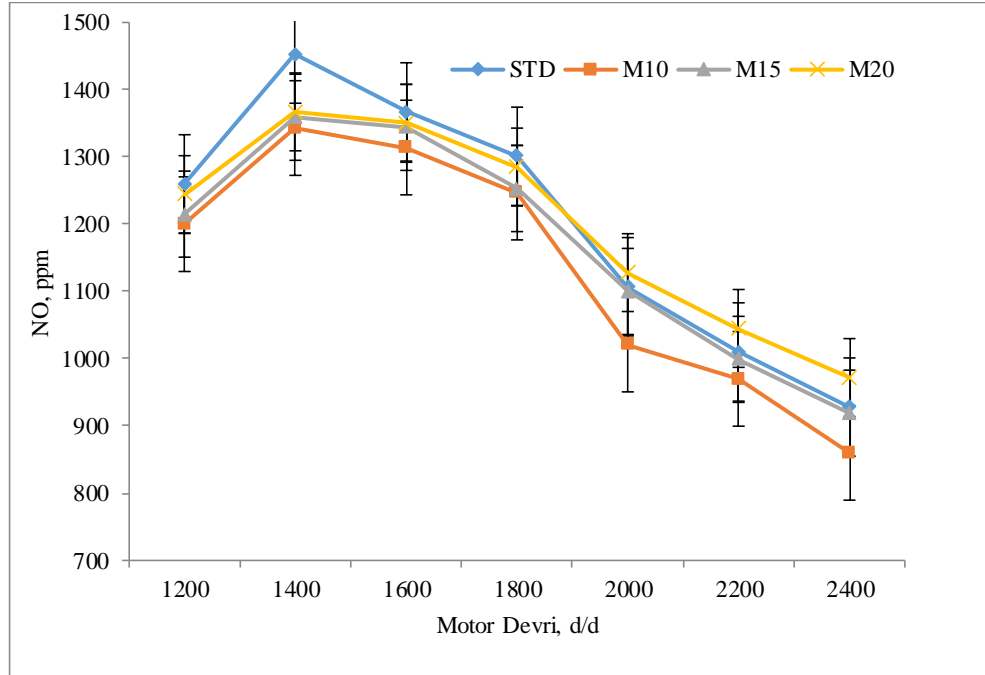
Şekil 4.5.Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre efektif verim değişimi

4.2. Metanol Fumigasyonunun Emisyonlara Etkisi

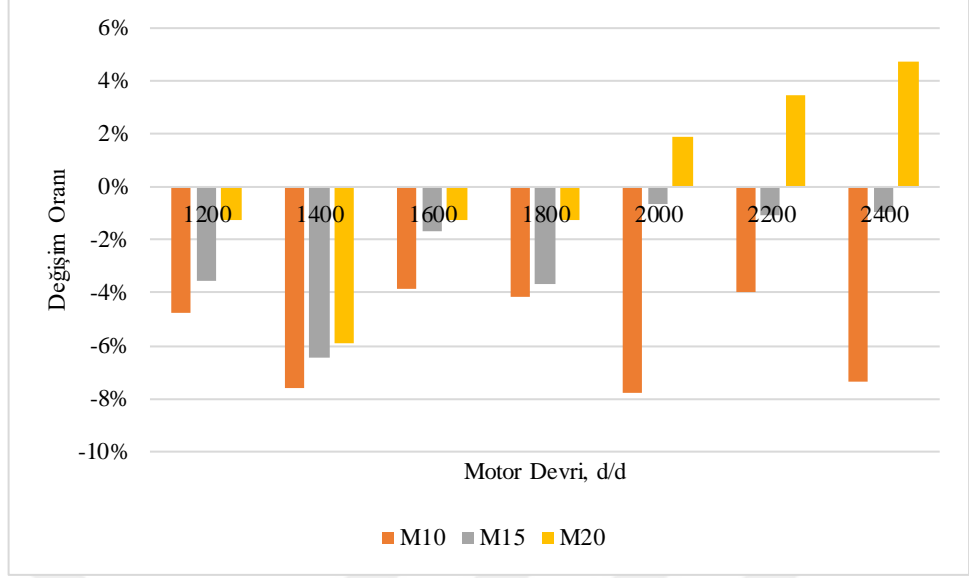
4.2.1. Metanol fumigasyonunun NO emisyonuna etkisi

Şekil 4.6’da farklı oranlarda metanol fumigasyonunun NO emisyon değişimleri standart duruma göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir. NO emisyonları M10 ve M15 için her devirde düşmüştür. En büyük düşüş M10 için 2000 d/d’ da %7,7 olarak ölçülmüştür. M20 için yaklaşık 1900 d/d’ dan sonra standart durumdan daha fazla NO emisyonu üretmeye başlamıştır. En büyük artış M20 için 2400 d/d’ da %4,7 olarak ölçülmüştür.

NO emisyonu yanma odası sıcaklığı ile ilgili olduğu bilinmektedir. Metanolün özgül ısısı havadan fazla olması sebebiyle yanma odası sıcaklığının düşmesi sonucunda NO emisyonunun azaldığı düşünülmektedir. Metanol oranının artması ile tutuşma gecikmesi uzamaktadır. Dolayısıyla yanma tamamlanmadan egzoz supabının açılması ile yanma daha geniş bir hacimde gerçekleşmektedir. Basınç ve sıcaklık düşmekte ve yanma periyodu uzamaktadır. Bundan dolayı azot ile oksijen atomları arasındaki tepkime süresi uzamakta ve NO emisyonu artma eğilimi göstermektedir (Uslu, Sayın, & Çanakçı, 2006).



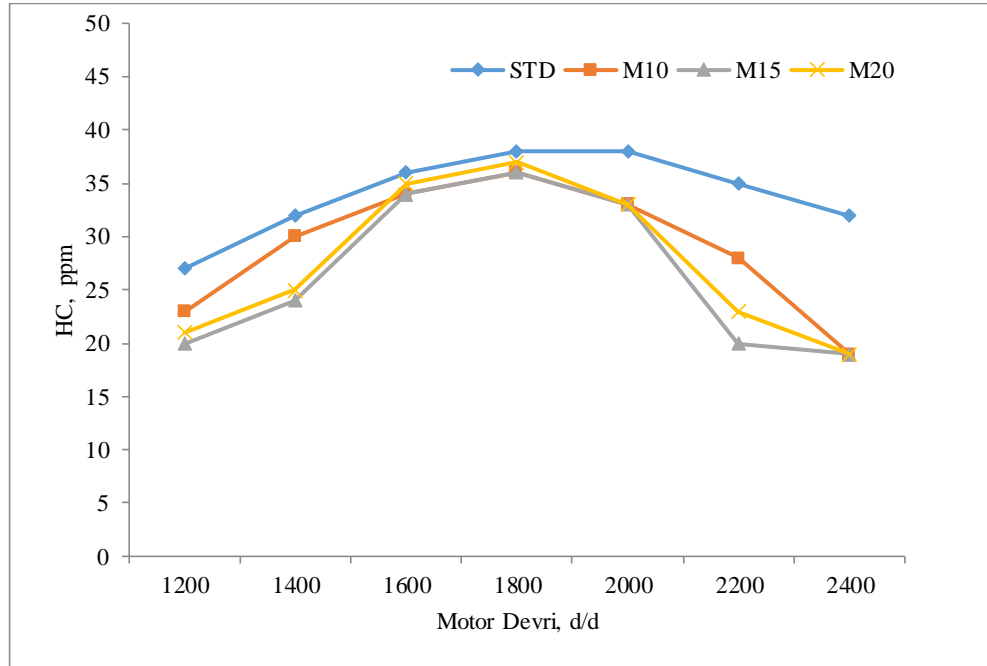
Şekil 4.6. Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde NO emisyonunun değişimi



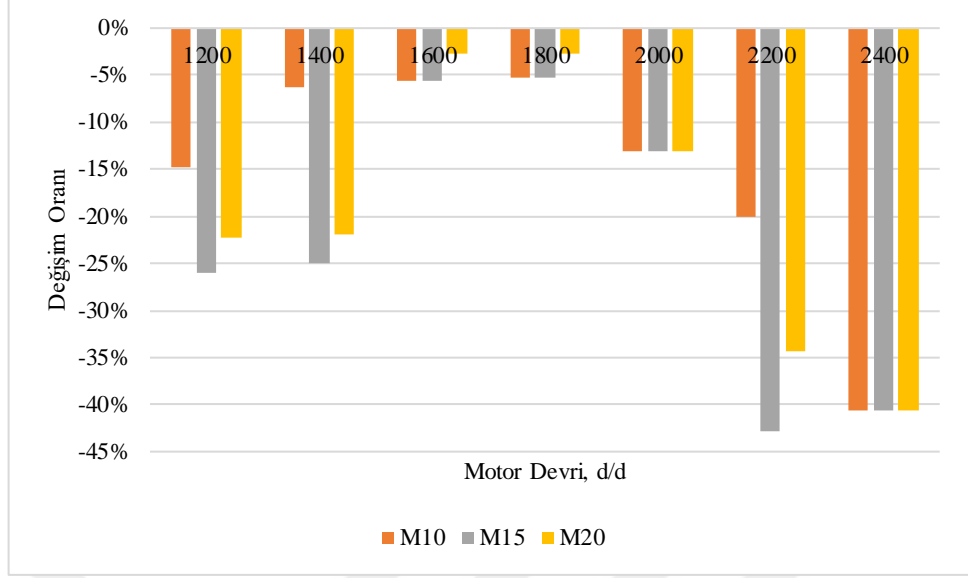
Şekil 4.7.Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre NO emisyonunun değişimi

4.2.2. Metanol fumigasyonunun HC emisyonuna etkisi

Şekil 4.8' de HC emisyonunun farklı oranlarda etanol fumigasyonu ile değişimi verilmiştir. Metanol fumigasyonunun artışıyla HC emisyonlarının azaldığı görülmektedir. HC emisyonunda en büyük düşüş M15 için 2200 d/d' da %42,9 olarak ölçülmüştür. Ortalama olarak HC emisyonu %19,13 oranında azalmıştır.



Şekil 4.8.Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde HC emisyonunun değişimi



Şekil 4.9. Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre HC emisyonundaki değişimi

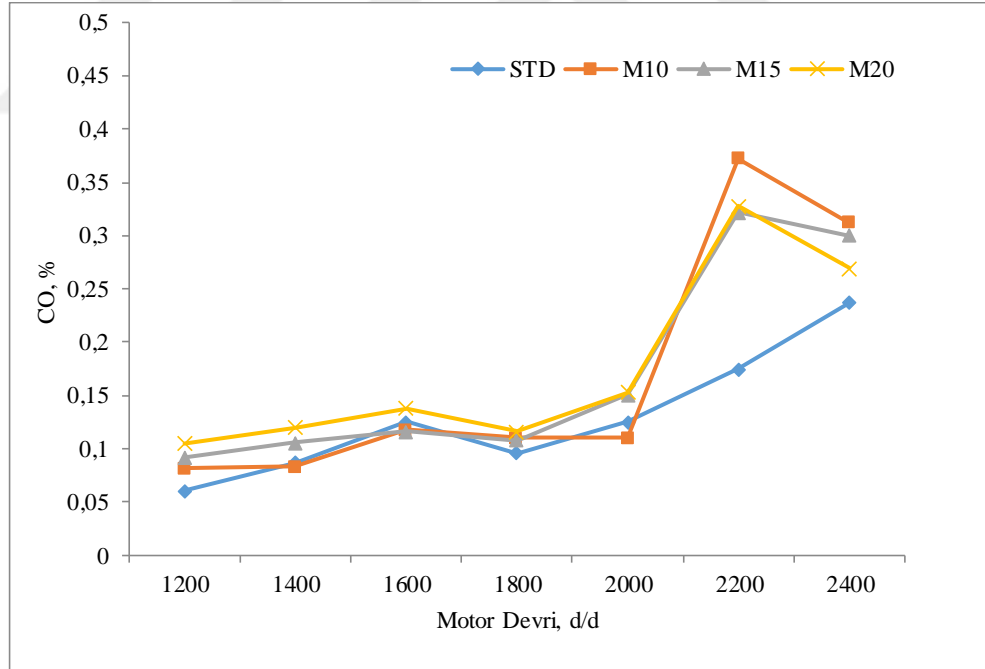
HC emisyonunun yüksek olması yakıtın tam olarak yanmadığı anlamını taşır bunun temel sebebi karışımda oksijen miktarı az olması veya yanma odası sıcaklığı düşük olması olabilir. Metanol fumigasyonu ile elde edilen HC emisyonu değerlerinin STD duruma göre daha düşük olması aşağıdaki sebeplerle açıklanabilir;

- Dizel yakıtı yerine kullanılan metanolün Hidrojen/Karbon oranı dizel yakıtı göre daha düşüktür. Dolayısıyla yanma odasındaki hidrojen konsantrasyonu daha düşüktür. Yanma odasındaki karışımın hidrojen açısından fakirleşmesi yanma ürünleri içindeki HC emisyonlarının azalmasına sebep olmuştur.
- Dizel yakıt hiç oksijen ihtiva etmezken metanolün kütle sinin yarısı oksijendir. Dizel yakıt yerine metanol kullanılması hava fazlalık katsayısını arttırarak yanma odasındaki karışımın fakirleşmesine sebep olur. Bunun sonucunda yanmayan yakıt miktarı azalır ve HC emisyonu değerleri düşer.
- Dizel yakıtı göre metanolün uçuculuğu daha yüksek ve viskozitesi daha düşüktür. Bunun sonucunda yanma odasındaki karışım dizel yakıtı kullanıldığı duruma göre daha homojen hale gelmektedir. Bölgesel olarak oluşan yanmamış yakıtların daha az olması HC emisyonlarını düşürür.
- Dizel yakıtı yerine setan sayısı daha düşük olan metanolün kullanılması sonucunda tutuşma gecikmesi artar. Artan tutuşma gecikmesi sonucunda egzoz

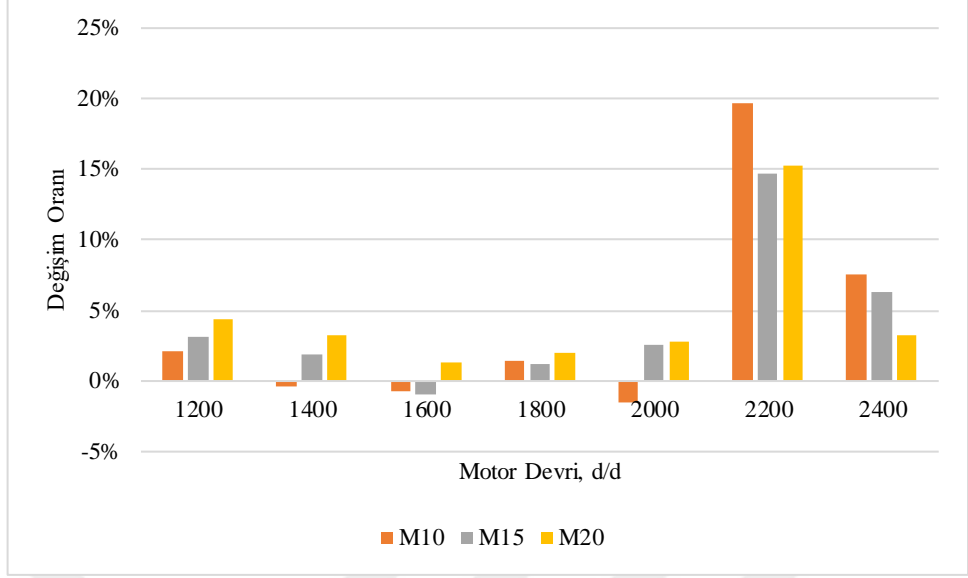
gazı sıcaklığı artacak ve artan egzoz gazı sıcaklığı ile HC emisyonu azalmaktadır. (İlhan 2007, Kulakoğlu, 2009, Taymaz ve Benli, 2009, Lei ve ark., 2010, Cinviz ve ark., 2011).

4.2.3. Metanol fumigasyonunun CO ve CO₂ emisyonuna etkisi

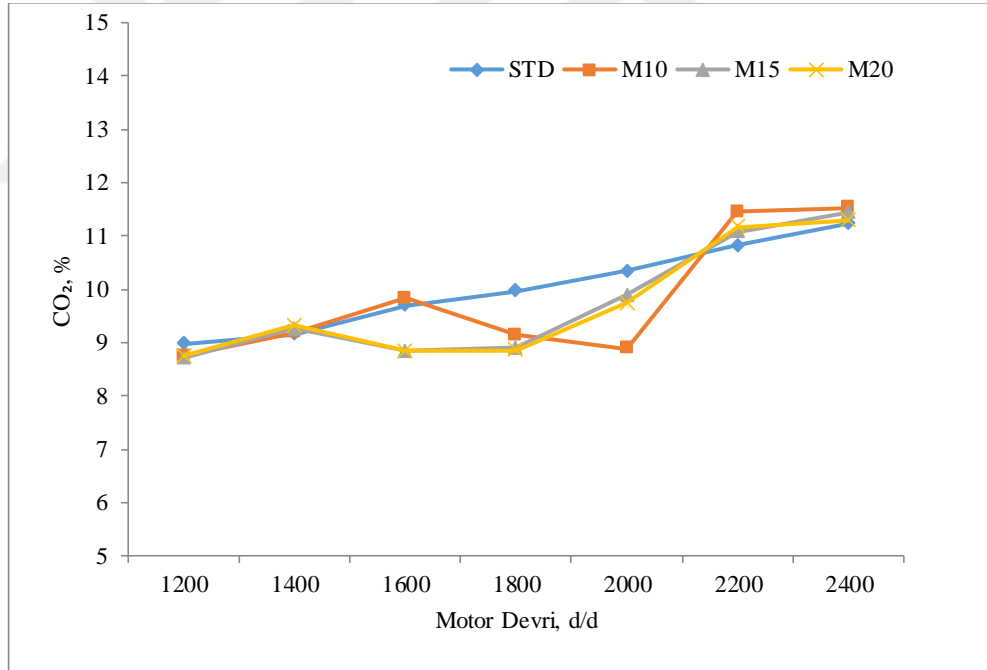
Teorik olarak tam yanmanın sağlandığı durumlarda yanma ürünleri CO₂ ve ısıdır. CO emisyonu yanmanın tamamlanamadığı durumlarda karşımıza çıkmaktadır. Şekil 4.10'da CO emisyonunun standart duruma göre değişimi şekil 4.12'de CO₂ emisyonunun standart duruma göre değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Elde edilen verilerde CO emisyonunda en büyük artış M10 için 2200 d/d' da %113 olarak karşımıza çıkmaktadır. CO₂ emisyonlarına bakıldığı zaman ortalama olarak emisyonun %2,8 azaldığı görülmektedir. CO₂ emisyonlarında en büyük düşüş M10 için 2000 d/d' da %14 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.10.Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde CO emisyonunun değişimi



Şekil 4.11.Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre CO emisyonundaki değişimi



Şekil 4.12.Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde CO₂ emisyonunun değişimi



Şekil 4.13.Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre CO₂ emisyonundaki değişimi

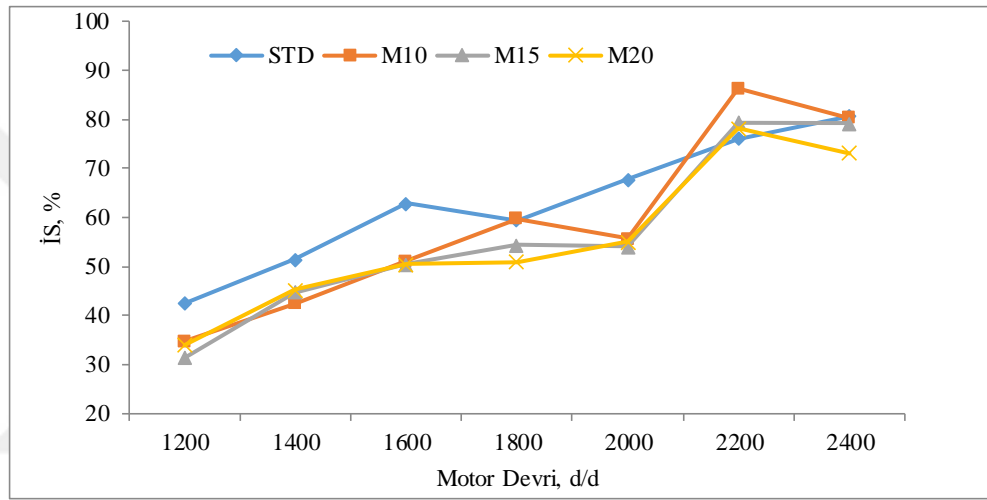
Görüldüğü gibi CO ve CO₂ emisyonları belli bir eğilimle değişmemektedir. CO ve CO₂ emisyonlarındaki değişimi toptan ele aldığımızda belli sebeplerden karşımıza çıkmaktadır.

Bunlar;

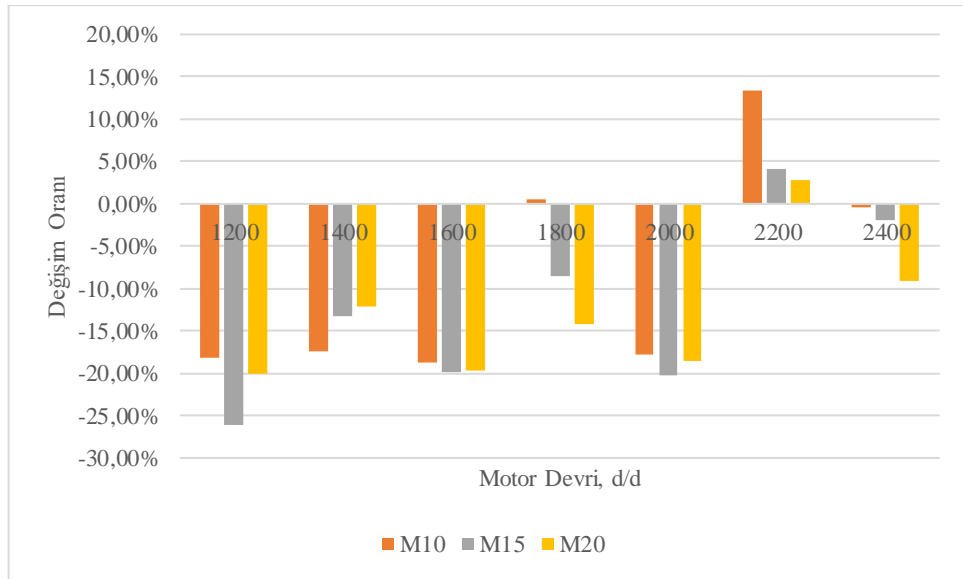
- Dizel yakıtı ile metanoldeki karbon miktarı birbirinden farklıdır.
- Metanol oksijen ihtiva ettiğinden karışım fakirleşmektedir. Böylece zengin karışım bölgeleri azalmaktadır.
- Metanolün reaksiyon hızı düşük olduğundan reaksiyon tamamlanmadan yanma odasından atılabilir.
- Metanol fumigasyonunda yanma odası sıcaklığı düştüğü için yanmayan yakıt olabilir.

4.2.4. Metanol fumigasyonunun is emisyonuna etkisi

Şekil 4.14’de metanol fumigasyonu sonucunda is emisyonlarındaki değişim görülmektedir. STD duruma göre metanol fumigasyonu sonucunda is emisyonları genelde azalmıştır. İs emisyonlarındaki en büyük azalma M15 için 1200 d/d’da yaklaşık %25’dir. İs emisyonlarının azalmasının sebebi metanolün içinde bulunan oksijendir. Fumigasyon sonucunda HFK azalmasına karşın metanolün yapısında bulunan oksijen yakıtın daha iyi yanmasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda is emisyonları azalmaktadır.



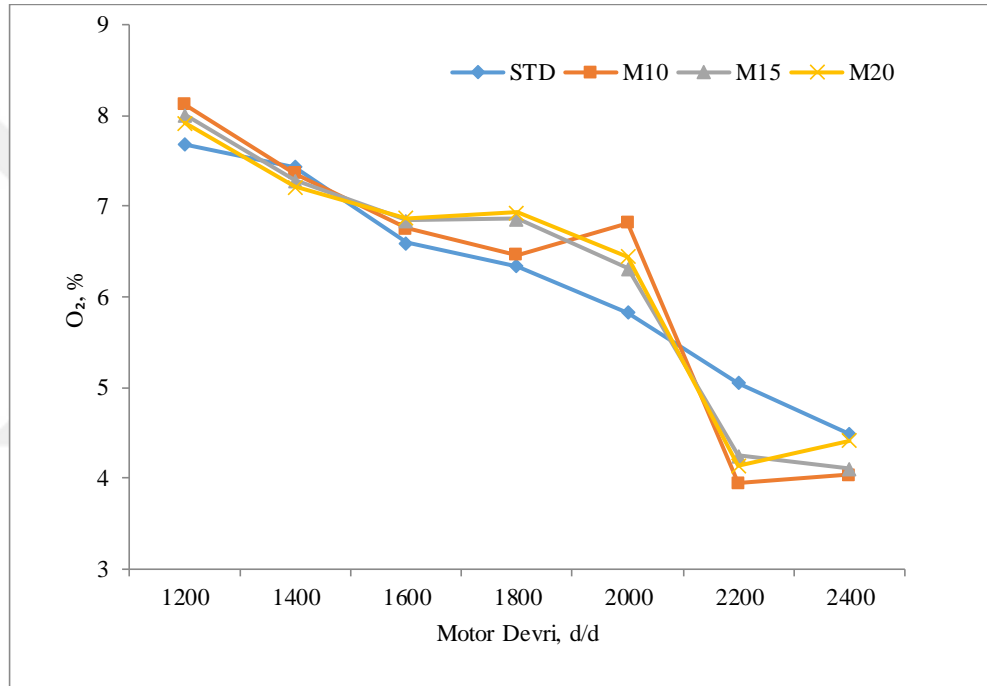
Şekil 4.14.Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde İs emisyonunun değişimi



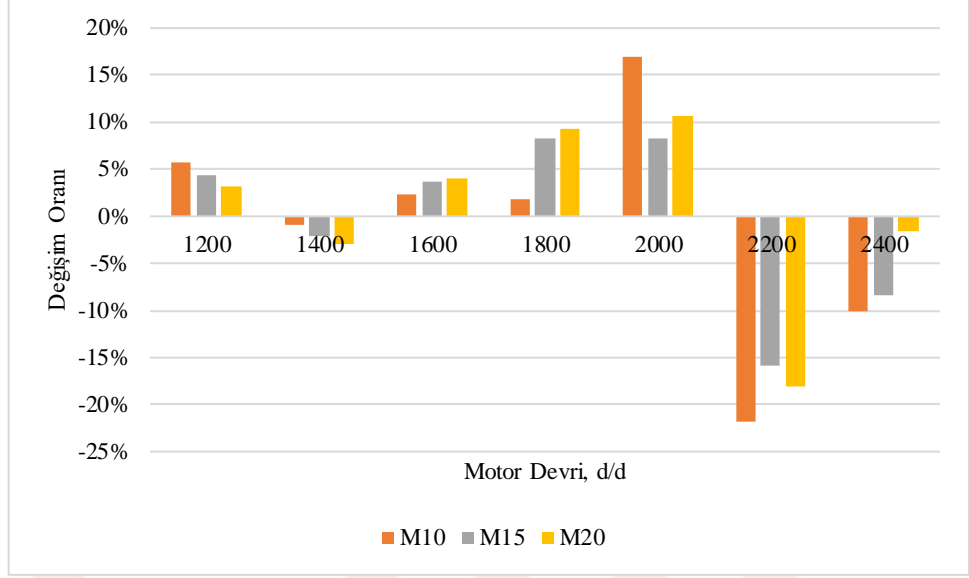
Şekil 4.15.Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre İs emisyonundaki değişimi

4.2.5. Metanol fumigasyonunun O₂ emisyonuna etkisi

Şekil 4.16'de metanol fumigasyonunun O₂ emisyonu üzerindeki etkisi görülmektedir. Metanolün kütesinin yaklaşık yarısı oksijenden oluşmaktadır. Ancak buna rağmen oksijen emisyonunda anlamlı bir değişim görülmemiştir. O₂ emisyonundaki ortalama değişim %-0,15 olarak hesaplanmıştır. Bu oran çok küçük bir orandır. En büyük azalış M10 için 2200 d/d' da %22 olarak bulunurken en büyük artış M10 için 2000 d/d' da %17 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.16.Farklı oranlarda metanol fumigasyonu sonucu farklı devirlerde O₂ emisyonunun değişimi



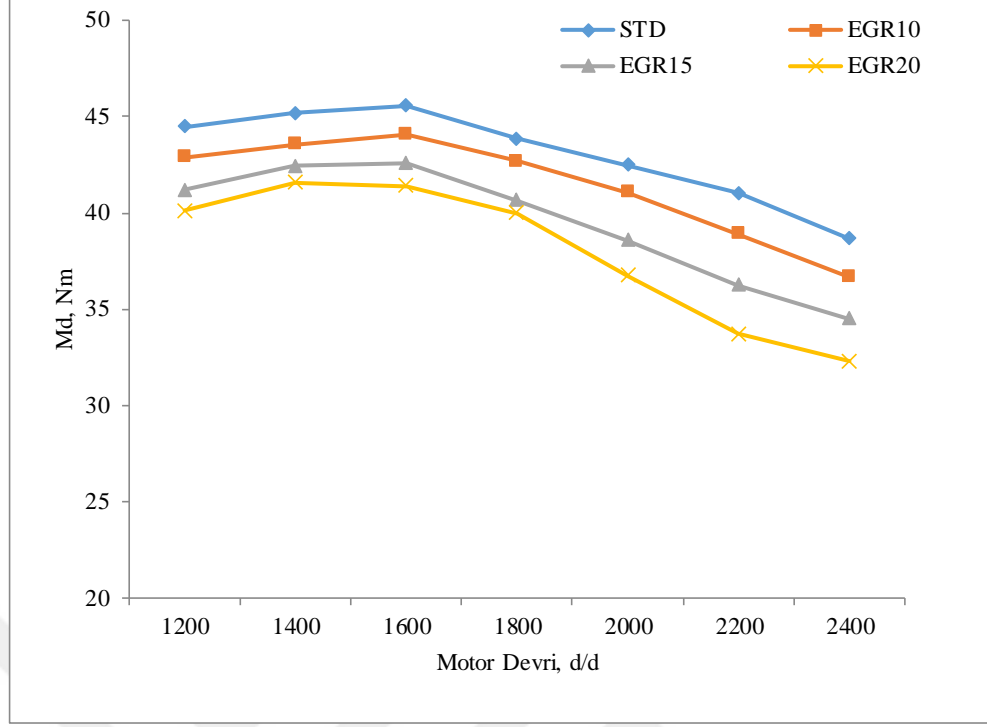
Şekil 4.17.Fumigasyon Oranı ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre O₂ emisyonundaki değişimi

4.3. EGR Uygulamasının Performans Parametrelerine ve Emisyonlara Etkileri

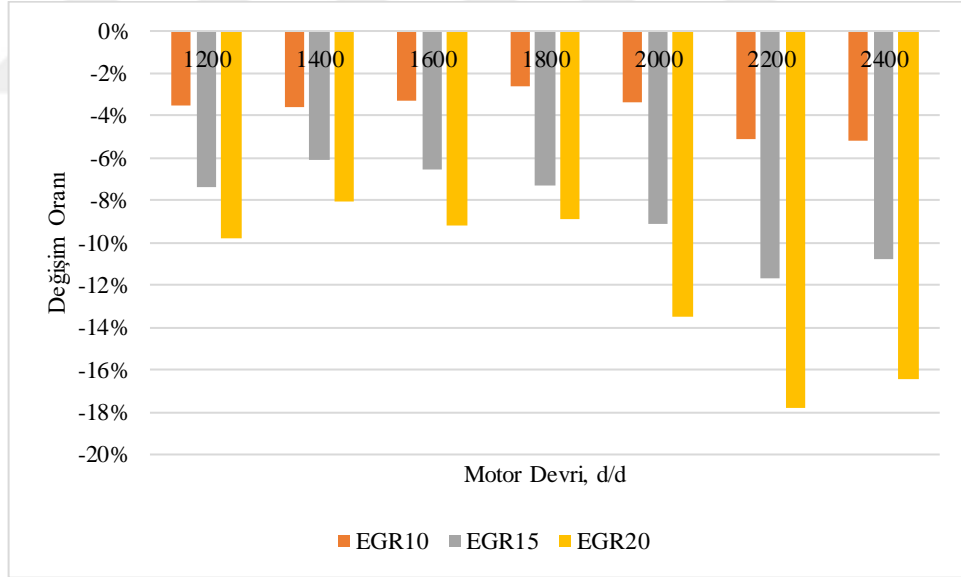
Çalışmanın bu aşamasında %10, %15, %20 oranlarında EGR uygulanarak motor performans parametreleri ve emisyonlardaki değişimler STD duruma göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

4.3.1. EGR uygulamasının döndürme momentine etkisi

EGR uygulaması beklendiği gibi motor performans parametrelerinde kötüleşmeye sebep olmuştur. Şekil 4.18’de döndürme momentinin EGR oranlarına göre değişimi görülmektedir. EGR oranı arttıkça aynı devirdeki döndürme momenti azalmıştır. Döndürme momenti ortalama %8 azalmıştır. En büyük düşüş %20 EGR için 2200d/d’ da %17,8 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.18.Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu döndürme momenti değişimi

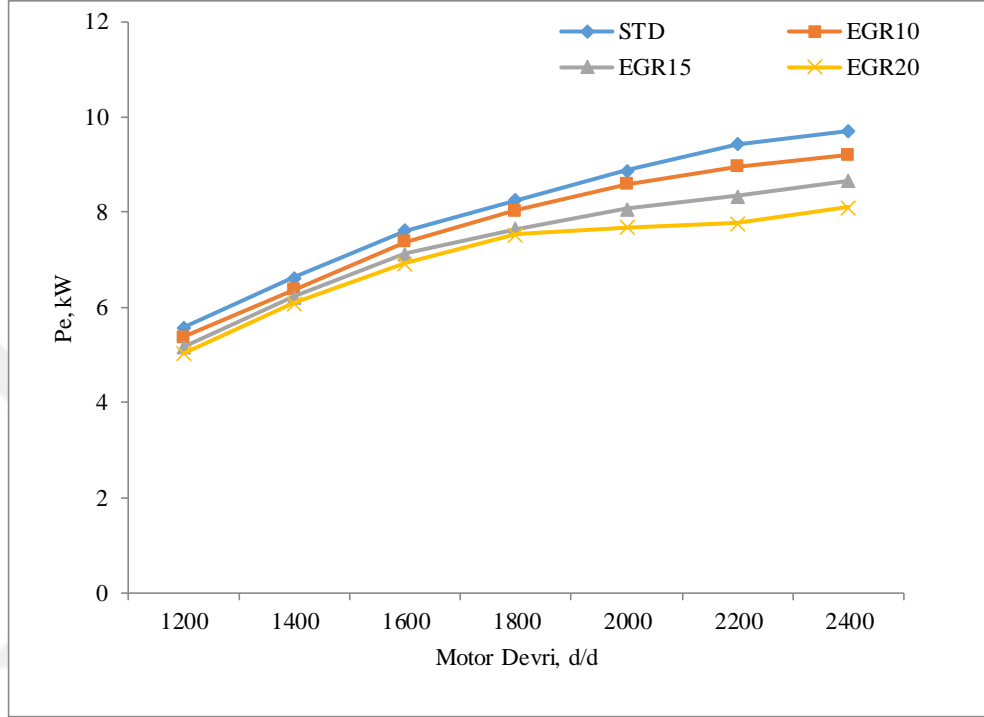


Şekil 4.19.EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre döndürme momentindeki değişim

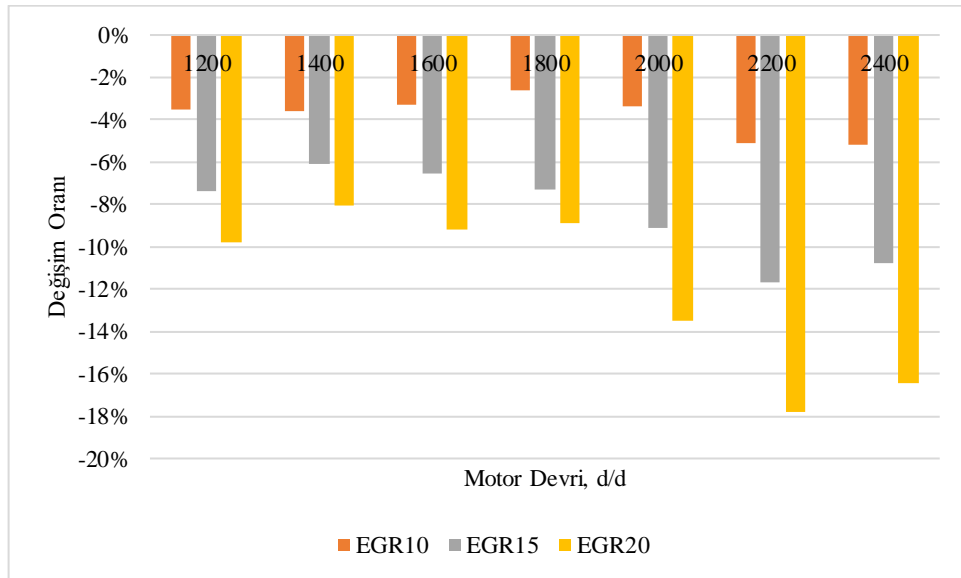
4.3.2. EGR uygulamasının efektif güce etkisi

Şekil 4.20'de efektif gücün değişimi STD durumuyla karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Diğer performans parametrelerindeki gibi EGR oranı arttıkça efektif güç azalmaktadır. Devir

arttıkça aradaki farkında açıldığı görülmektedir. TOK yaptığı çalışmada EGR oranı arttıkça motor gücünün azaldığını tespit etmiştir (Tok, 2010). Elde ettiğimiz sonuçlar TOK' un çalışmalarıyla benzer sonuçlar göstermektedir. Güçteki azalmanın yanma odasına daha az oksijen girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



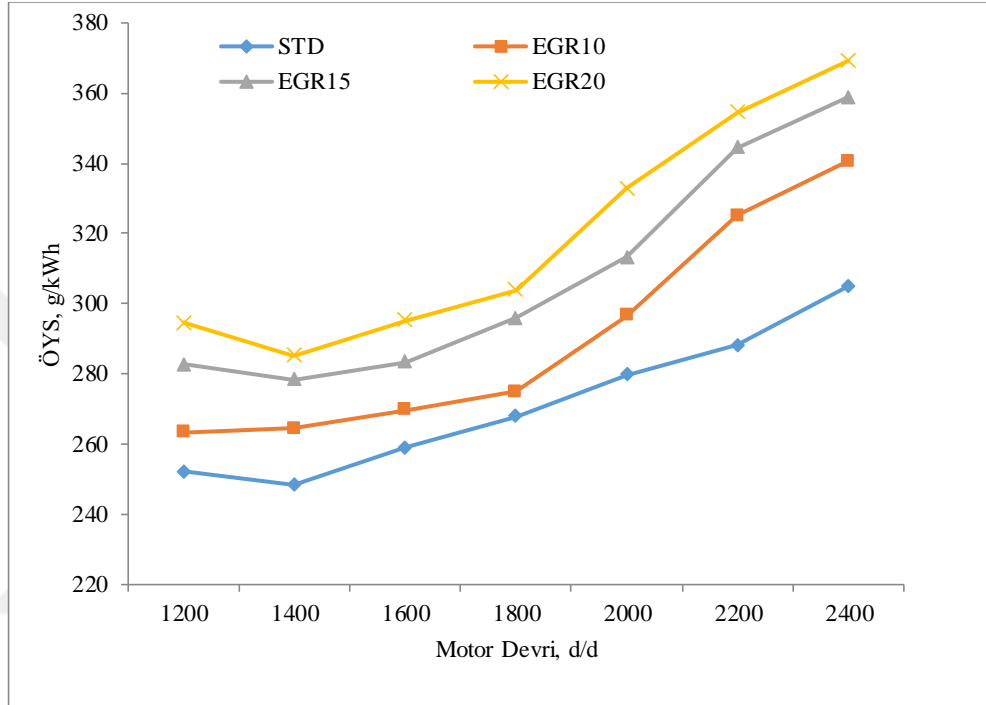
Şekil 4.20.Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu efektif güç değişimi



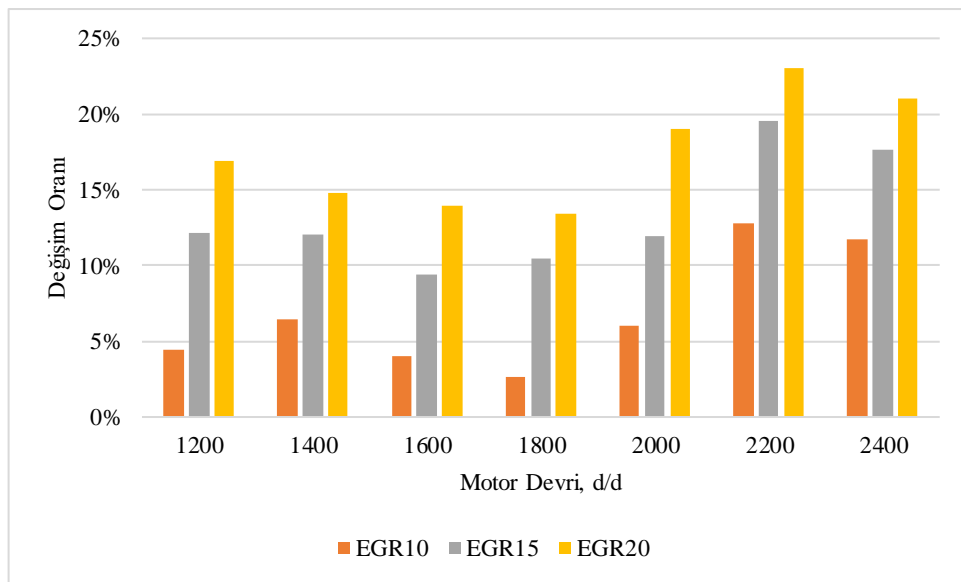
Şekil 4.21.EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre efektif güçteki değişim

4.3.3. EGR uygulamasının ÖYS' ye etkisi

Şekil 4.22'de EGR uygulamasının ÖYS'de sebep olduğu değişim STD durumla karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. EGR oranı arttıkça ÖYS' de artmaktadır. ÖYS' de ki ortalama artış %12,5 gibi ciddi bir orandadır. En büyük artış EGR20 için 2200 d/d' da %23 olarak tespit edilmiştir.



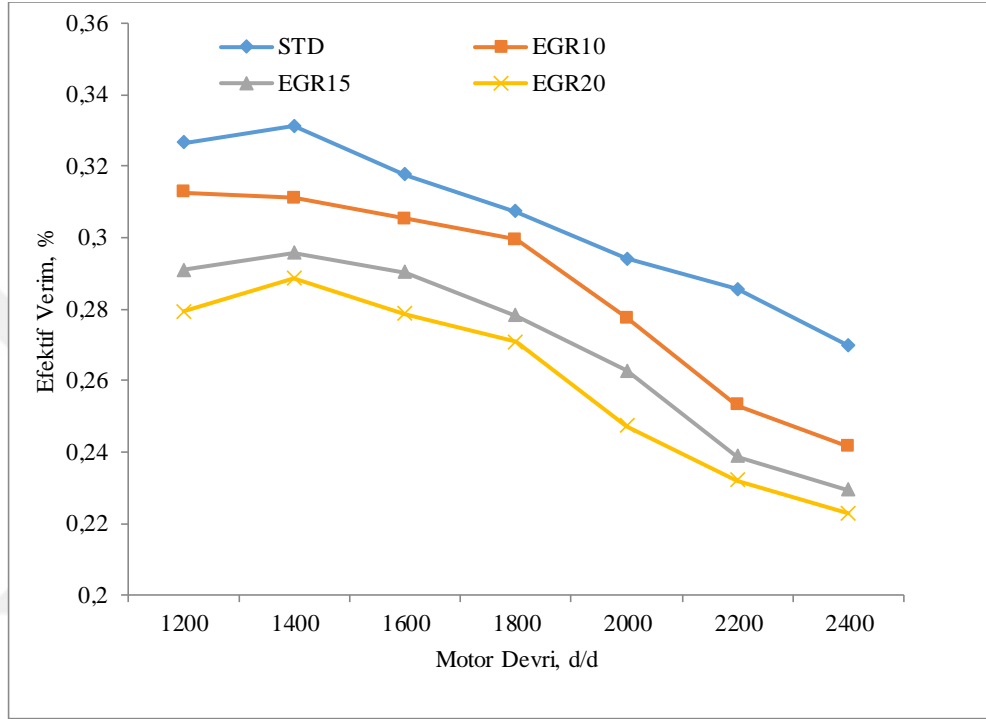
Şekil 4.22.Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu ÖYS değişimi



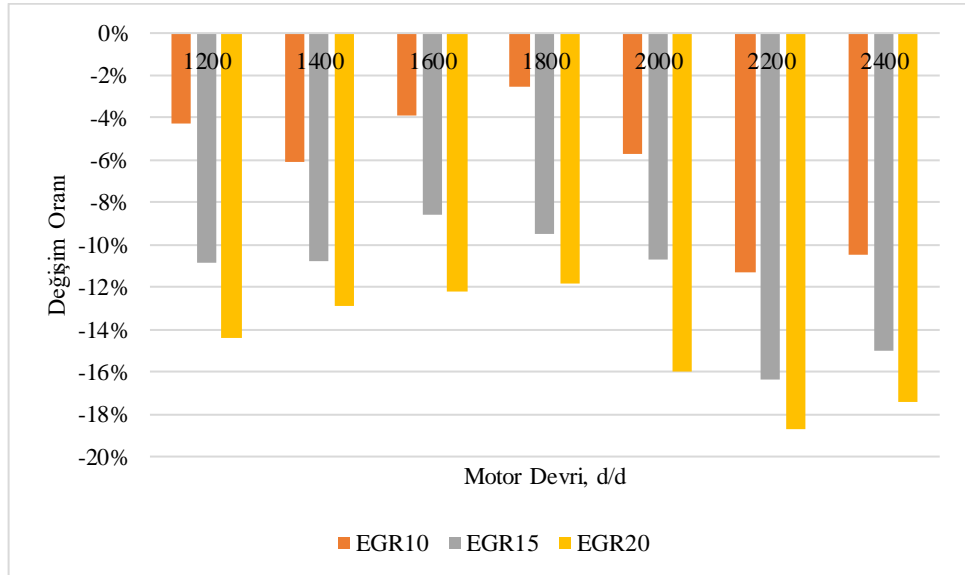
Şekil 4.23.EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre ÖYS'deki değişim

4.3.4. EGR uygulamasının efektif verime etkisi

Şekil 4.24’de EGR uygulaması sonucunda efektif verimdeki değişim gösterilmektedir. Efektif verim ortalama olarak %11 artmıştır. En büyük artış M20 için 2200 d/d’ da %18,7 olarak ölçülmüştür.



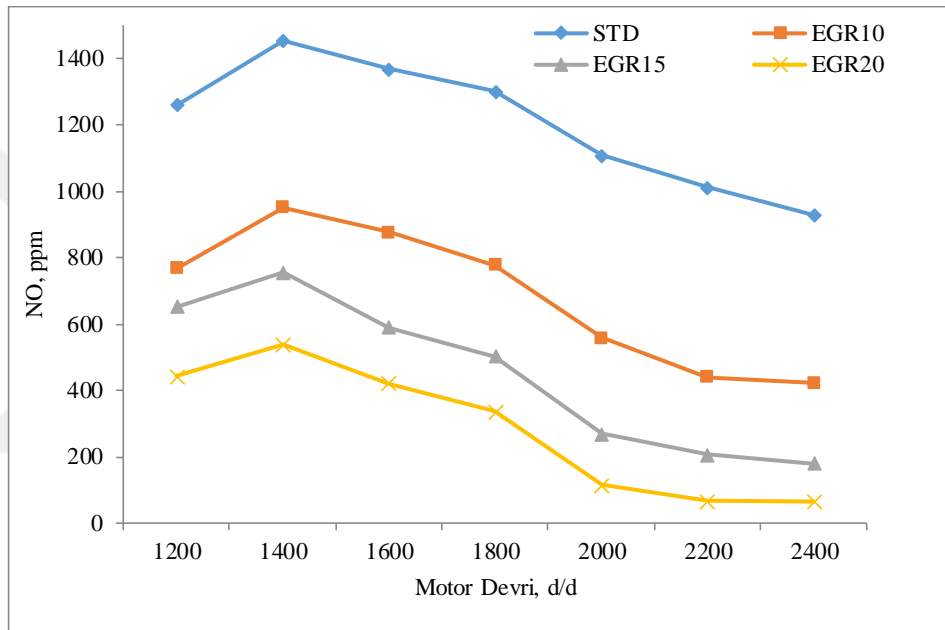
Şekil 4.24.Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu efektif verimdeki değişim



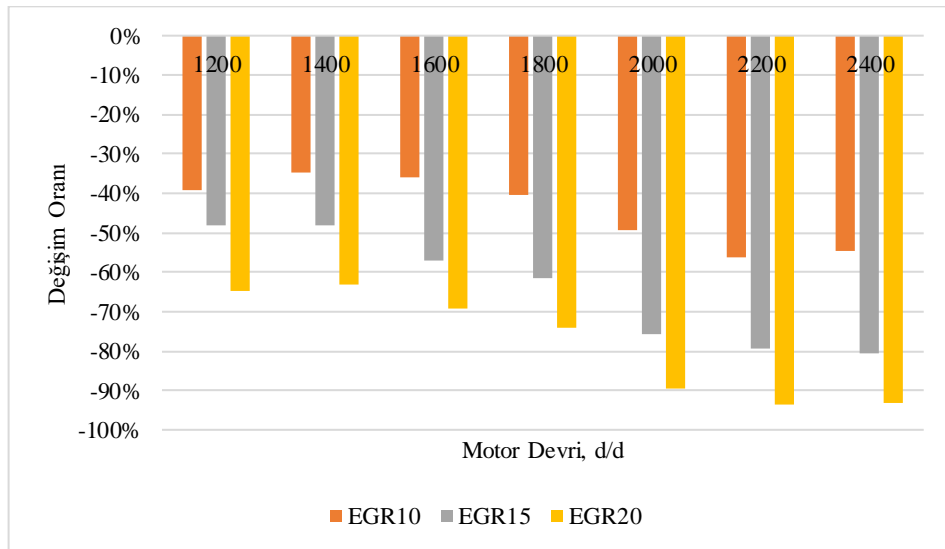
Şekil 4.25.EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre efektif verimdeki değişim

4.3.5. EGR uygulamasının NO emisyonuna etkisi

Şekil 4.26’de NO emisyonlarının farklı oranlarda EGR uygulamasıyla değişimi STD duruma göre karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Görülmektedir ki EGR uygulaması NO emisyonlarını azaltmaktadır. EGR oranı arttıkça NO emisyonu azalmaktadır. NO emisyonundaki en büyük azalma EGR15 için 2400 d/d’ da %93,4 olarak elde edilmiştir. Bu düşüşün temel sebebinin yanma odasına daha az hava alınması sonucu yanma odasındaki azot ve oksijen miktarı azalması olduğu düşünülmektedir.



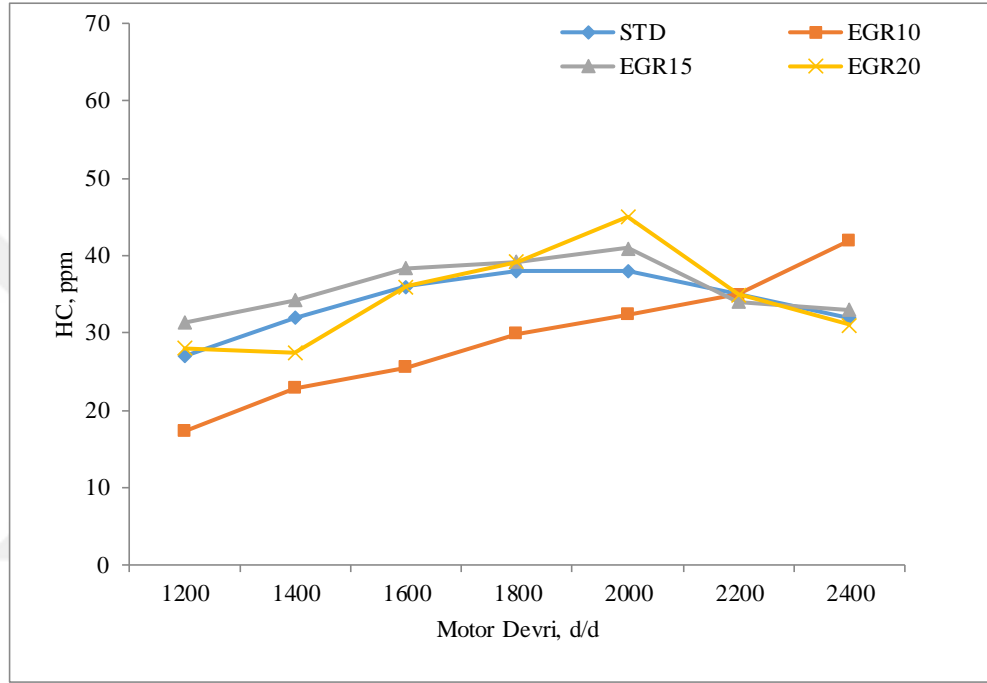
Şekil 4.26.Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu NO emisyonundaki değişim



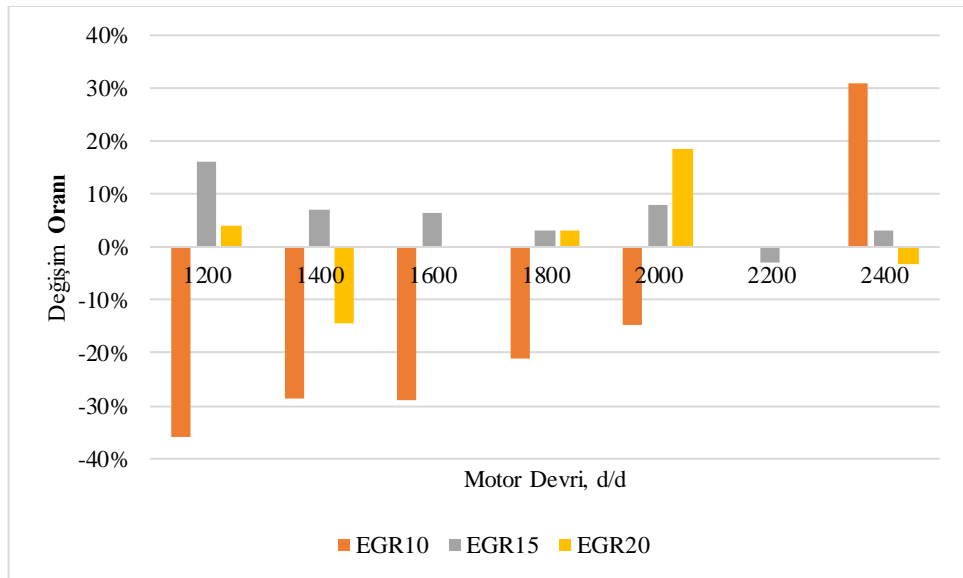
Şekil 4.27.EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre NO emisyonundaki değişim

4.3.6. EGR uygulamasının HC emisyonuna etkisi

Şekil 4.28’de EGR uygulaması sonucunda HC emisyonlarındaki değişim gösterilmektedir. EGR10 sonucunda düşük devirlerde HC emisyonları azalırken 2200 d/d’ dan sonra STD duruma göre arttığı gözlenmiştir. EGR15 ve EGR20 için ise farklı devirlerde farklı sonuçlar gözlenmektedir.



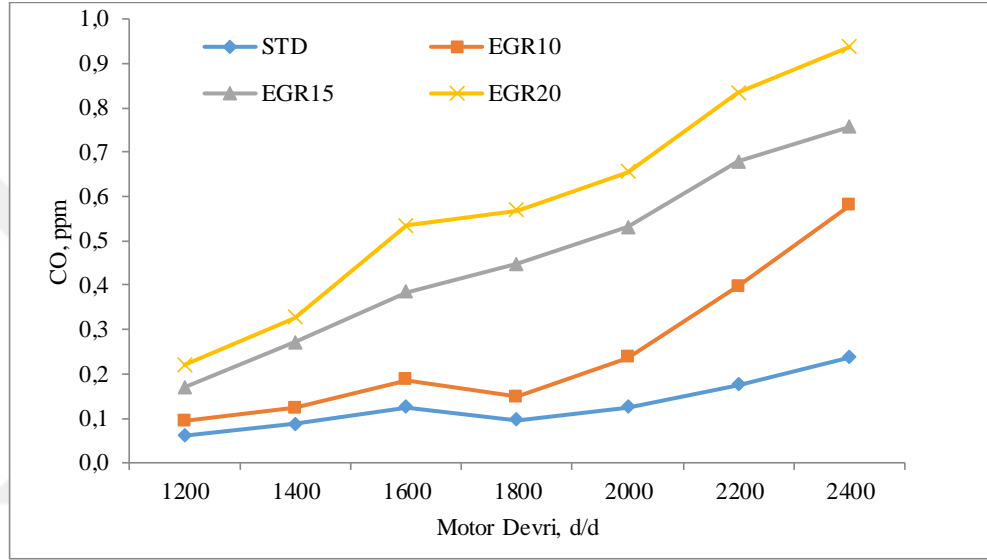
Şekil 4.28.Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu HC emisyonundaki değişim



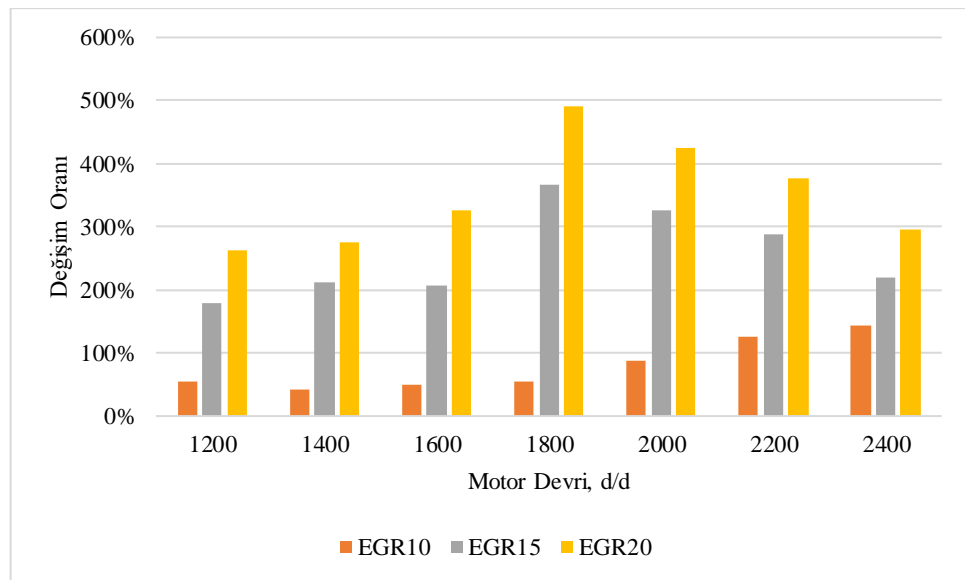
Şekil 4.29.EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre HC emisyonundaki değişim

4.3.7. EGR uygulamasının CO emisyonuna etkisi

Şekil 4.30'da EGR uygulamasının CO emisyonlarında sebep olduğu değişim görülmektedir. EGR uygulaması CO emisyonunun artmasına sebep olmuştur. CO emisyon artışı EGR20 için 1800 d/d' da neredeyse beş kat artmıştır. CO emisyonundaki bu artışın sebebinin yanma odasına giren oksijen miktarındaki azalma olduğu düşünülmektedir.



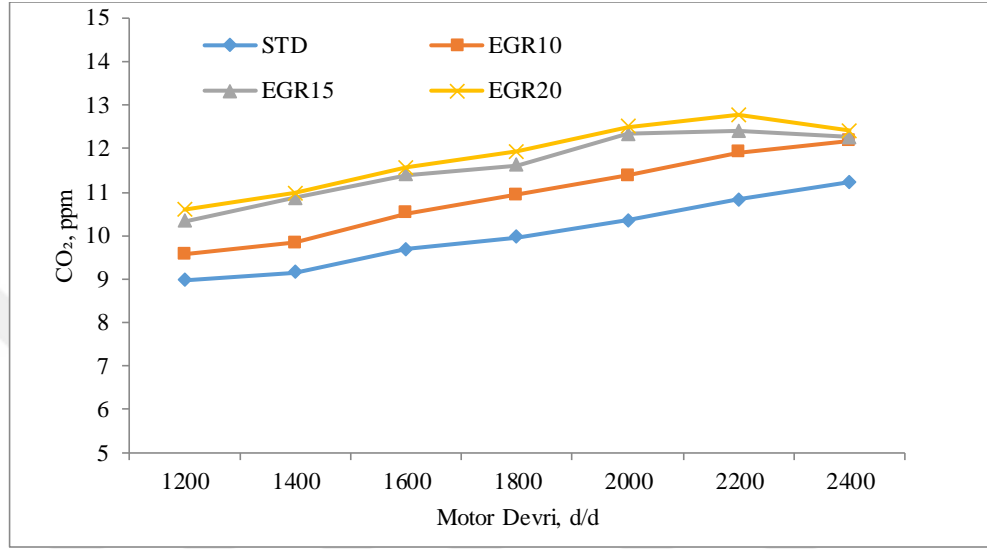
Şekil 4.30.Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu CO emisyonundaki değişim



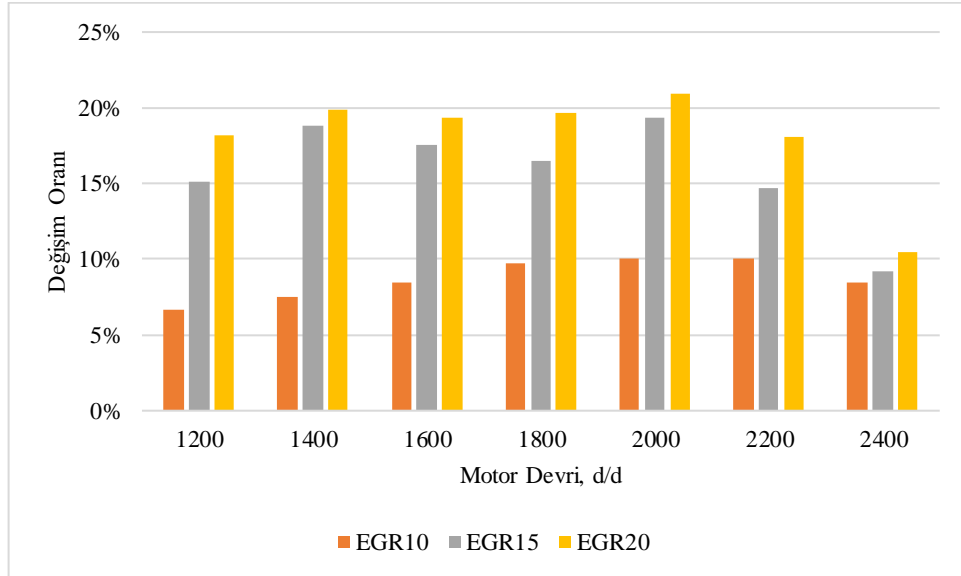
Şekil 4.31.EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre CO emisyonundaki değişim

4.3.8. EGR uygulamasının CO₂ emisyonuna etkisi

Şekil 4.32’de EGR uygulamasının CO₂ emisyonlarına etkisi görülmektedir. EGR uygulaması CO₂ emisyonlarının artmasına sebep olmuştur. En büyük orandaki artış %21 olarak EGR20 de 2000 d/d’ da ölçülmüştür.



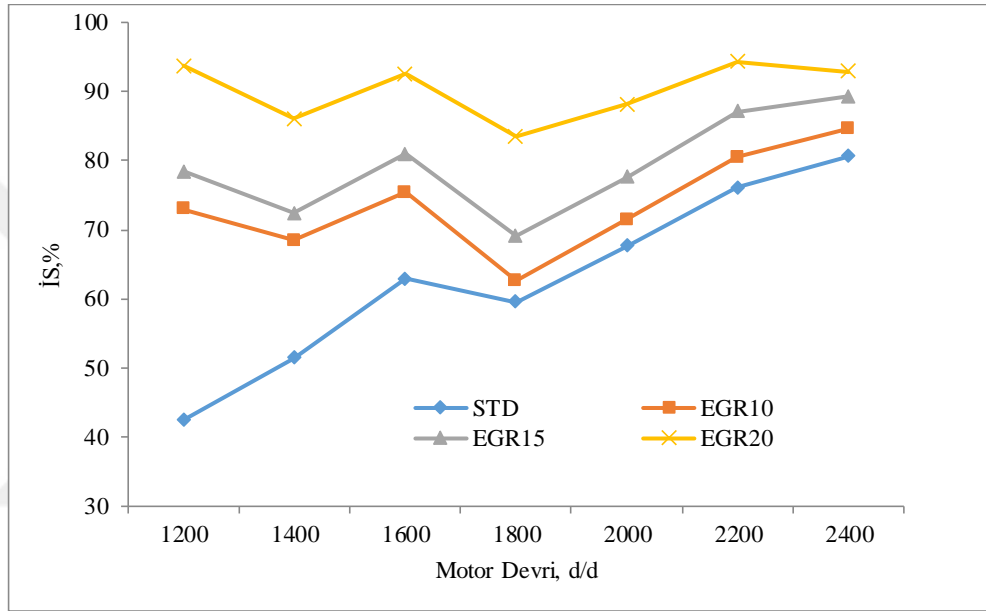
Şekil 4.32.Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu CO₂ emisyonundaki değişim



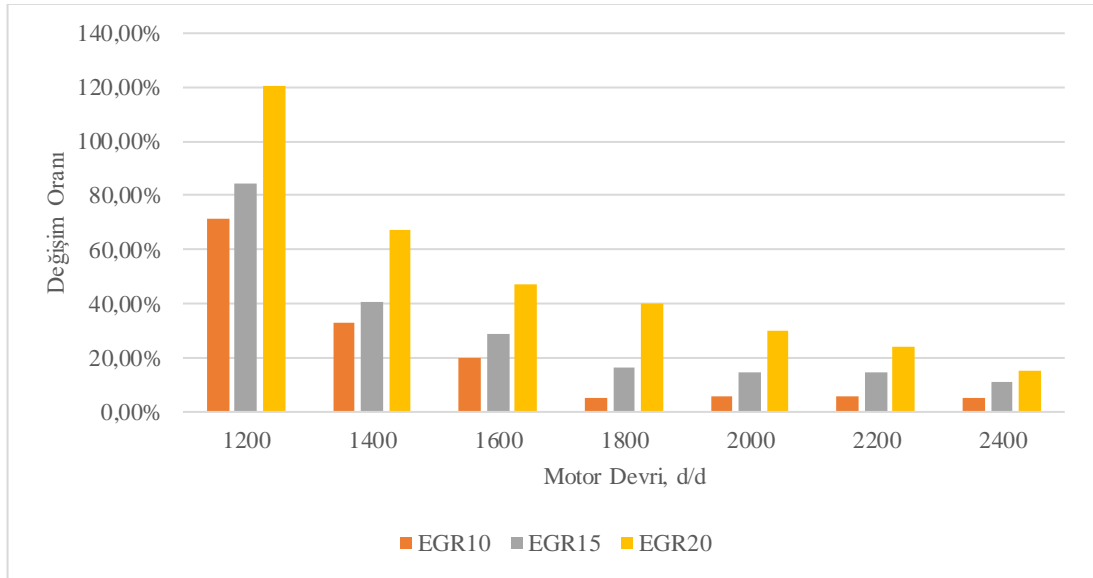
Şekil 4.33.EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre CO₂ emisyonundaki değişim

4.3.9. EGR uygulamasının is emisyonuna etkisi

Şekil 4.34’de EGR oranına bağlı olarak is emisyonlarındaki değişim görülmektedir. EGR oranı arttıkça is emisyonları artmaktadır. En büyük artış EGR20 için 1200 d/d’da %120 olarak tespit edilmiştir. EGR sonucunda yanma odasında bulunan oksijen miktarı ve alev sıcaklığı düşmektedir. Bunun sonucunda yakıt oksidasyonunu tamamlayamadan egzozdan atılmaktadır. Bu durum is emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.34.Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu İs emisyonundaki değişim

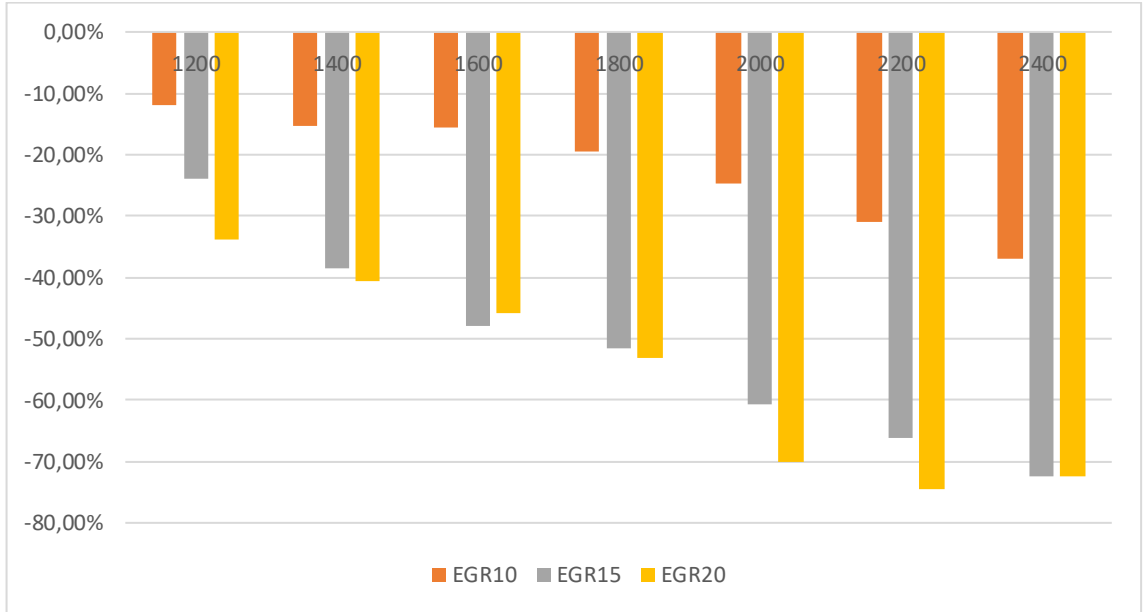


Şekil 4.35.EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre İs emisyonundaki değişim

4.3.10. EGR uygulamasının O₂ emisyonuna etkisi



Şekil 4.36.Farklı oranlarda EGR uygulaması sonucu O₂ emisyonundaki değişim

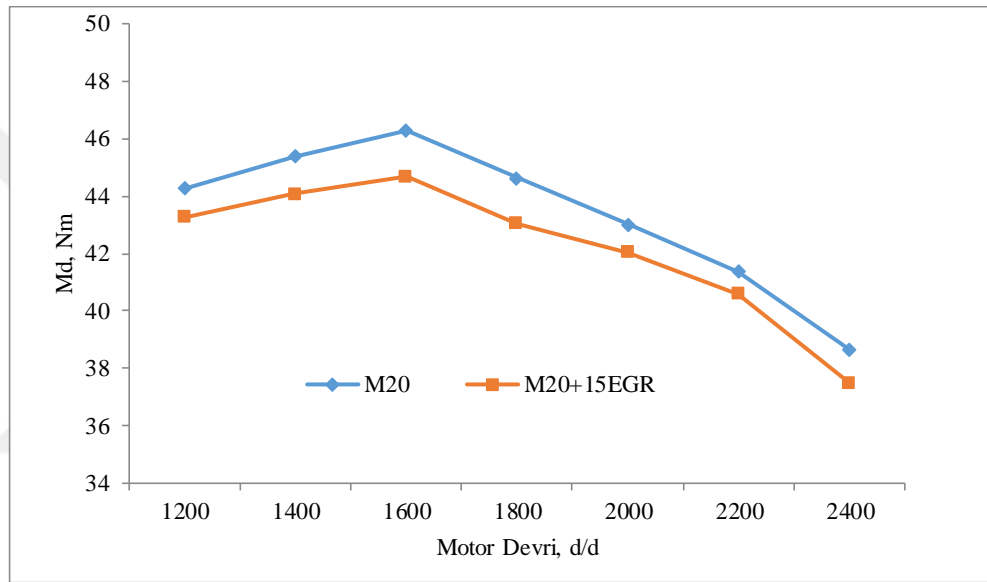


Şekil 4.37.EGR oranına ve motor devrine bağlı olarak STD duruma göre O₂ emisyonundaki değişim

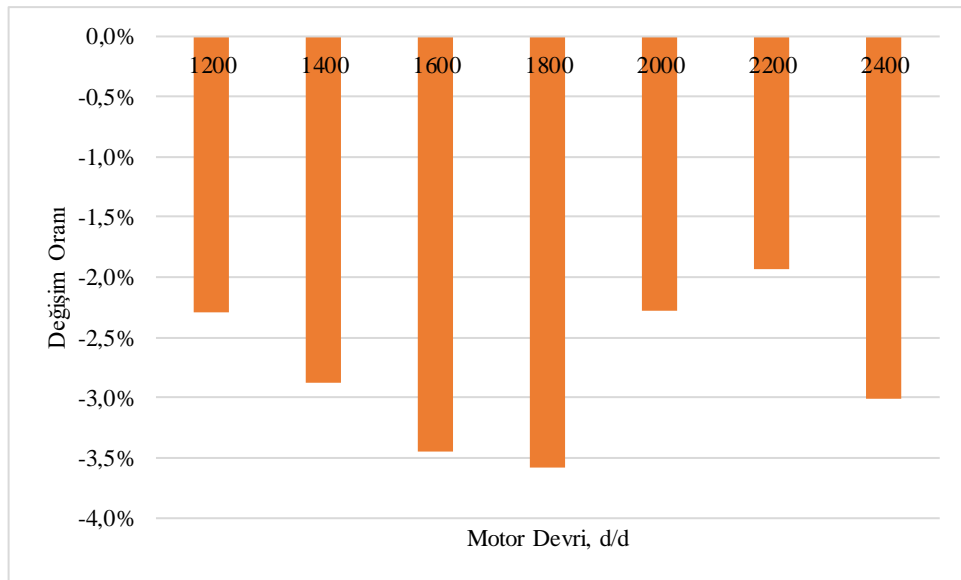
4.4. M20 ve %15 EGR Uygulamasının Performans Parametreleri ve Emisyonlara Etkileri

4.4.1. M20 ve %15 EGR uygulamasının döndürme momentine etkisi

Şekil 4.36’de M20 için uygulanan EGR15’ in döndürme momentine etkisi gösterilmiştir. EGR uygulaması Döndürme momentini düşürmüştür. En büyük düşüş 1800 d/d’ da %3,58 olarak ölçülmüştür.



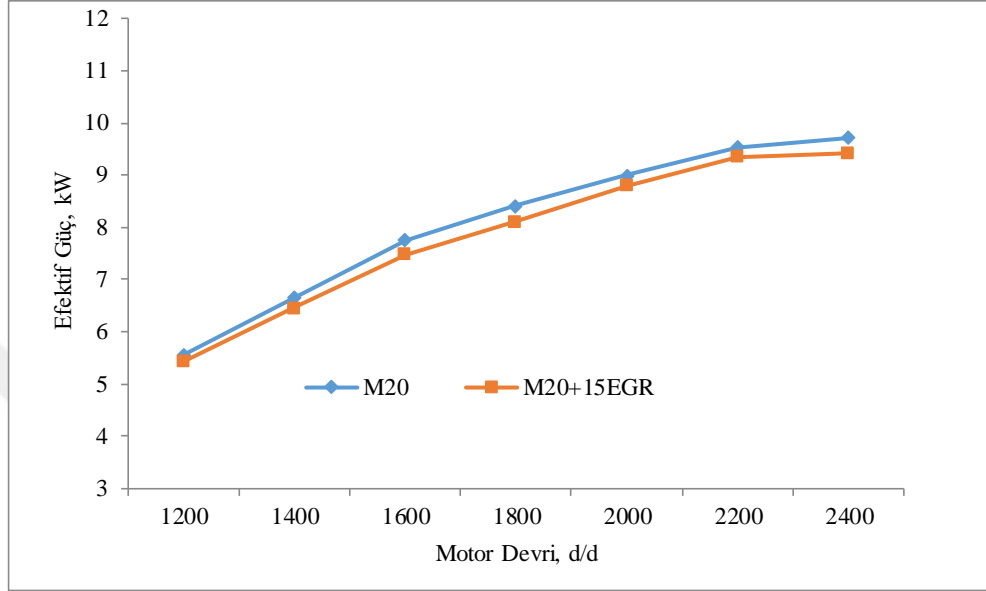
Şekil 4.38.M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu döndürme momentinin değişimi



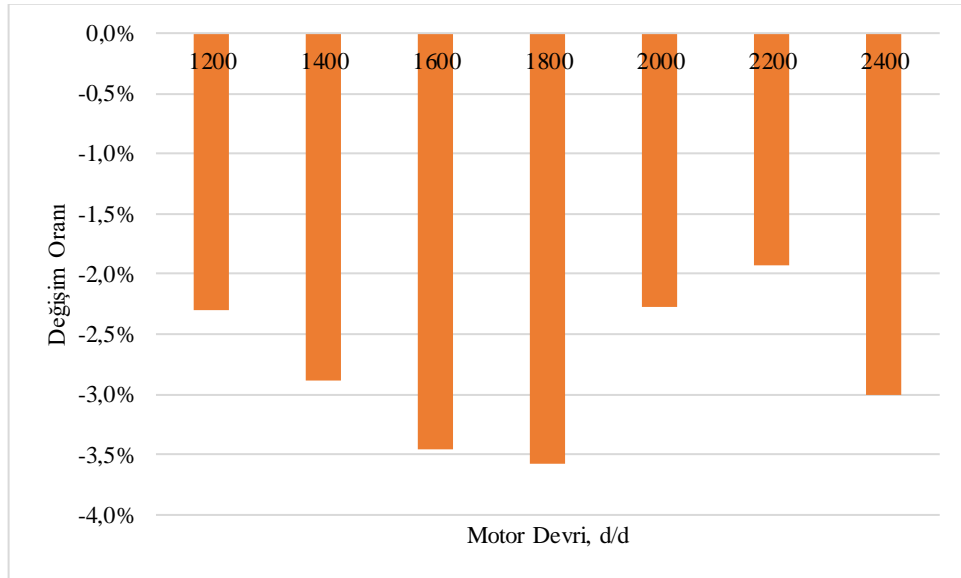
Şekil 4.39.M20’ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu döndürme momenti değişim oranı

4.4.2. M20 ve %15 EGR uygulamasının efektif güce etkisi

Şekil 4.38’de efektif güçteki değişim verilmiştir. EGR uygulaması efektif gücün azalmasına sebep olmuştur.



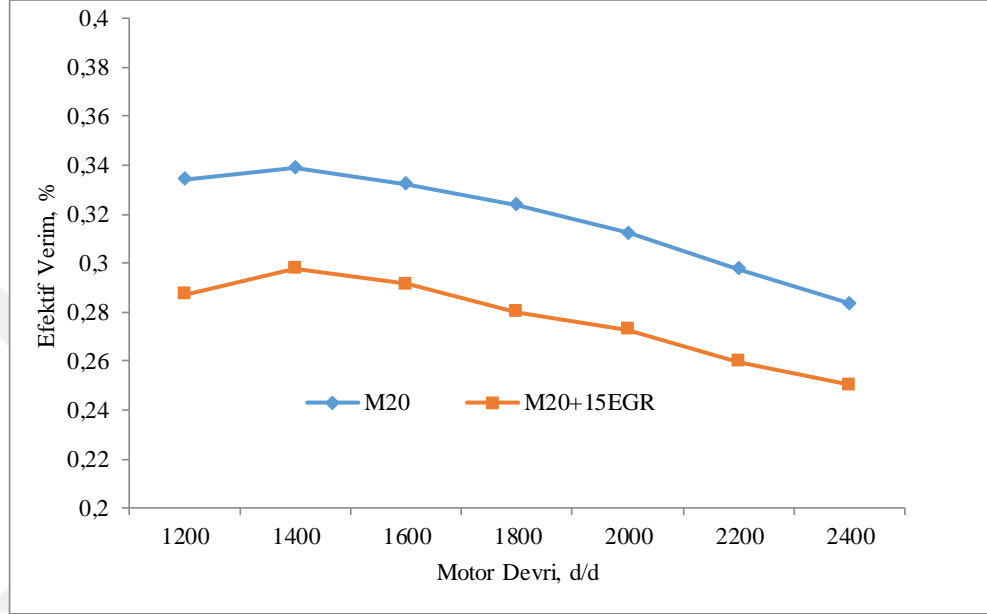
Şekil 4.40.M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu efektif güçteki değişimi



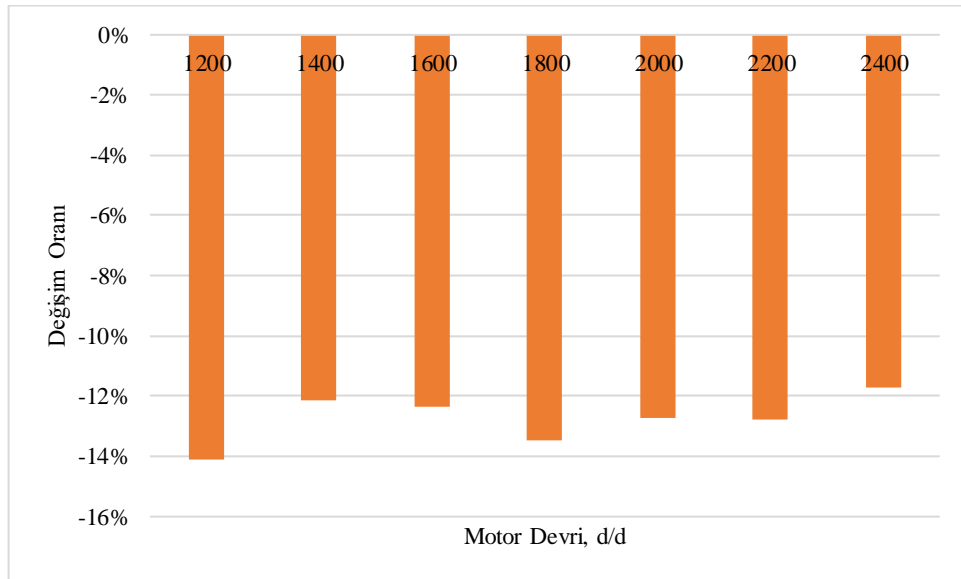
Şekil 4.41.M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu efektif güçteki değişim oranı

4.4.3. M20 ve %15 EGR uygulamasının efektif verime etkisi

Şekil 4.40'da EGR uygulamasının M20' ye göre efektif verimde neden olduğu değişim gösterilmektedir. EGR diğer performans parametrelerinde olduğu gibi efektif verimde de düşüşe sebep olmuştur. En büyük düşüş %14,13 ile 1200 d/d' da ölçülmüştür.



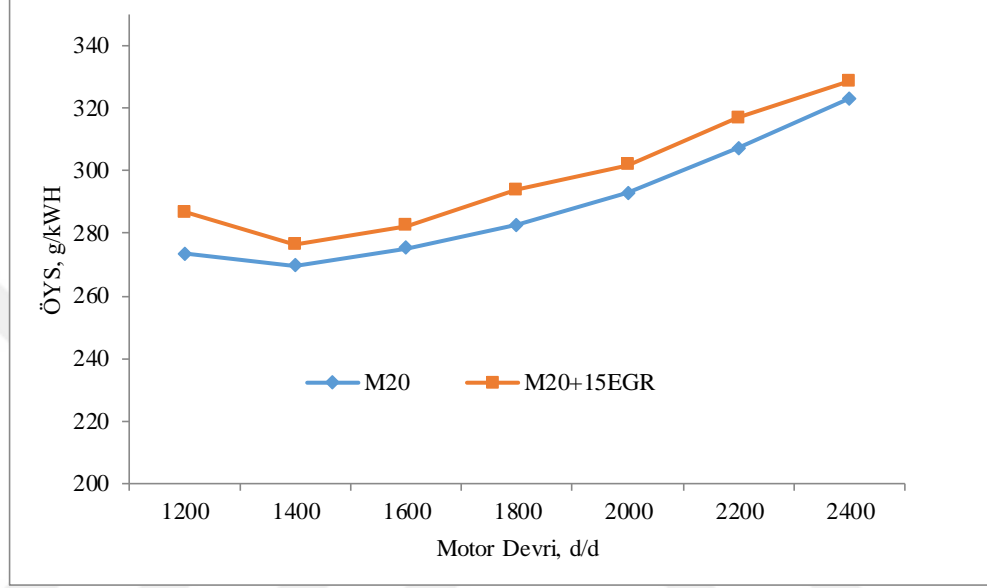
Şekil 4.42.M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu efektif verimin değişimi



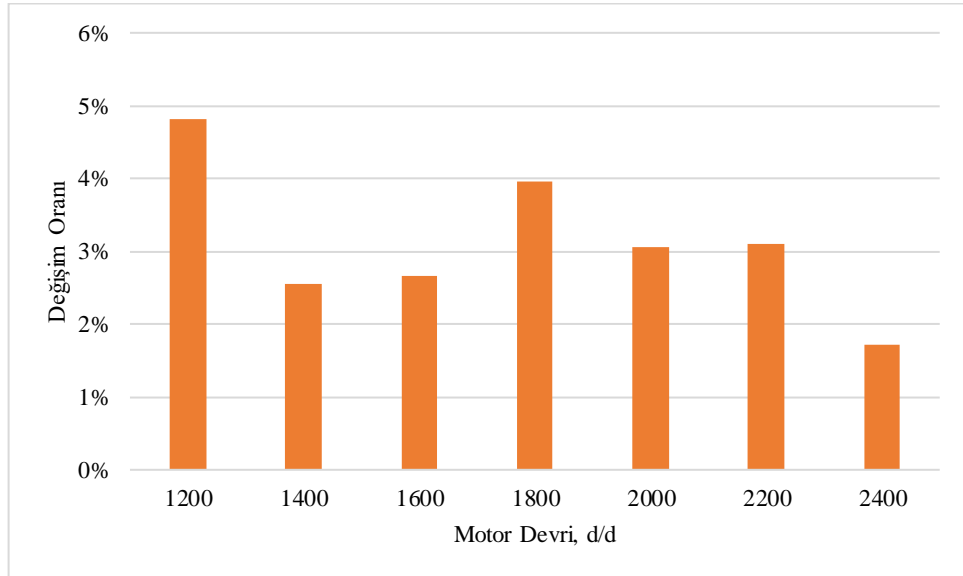
Şekil 4.43.M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu efektif verimdeki değişim oranı

4.4.4. M20 ve %15 EGR uygulamasının ÖYS'ye etkisi

M20 ile 15EGR uygulandığında ÖYS' de oluşan değişim şekil 4.42'de gösterilmiştir. EGR15 ÖYS'de artışa sebep olmuştur. En yüksek artış %4,8 ile 1200 d/d' da görülmektedir.



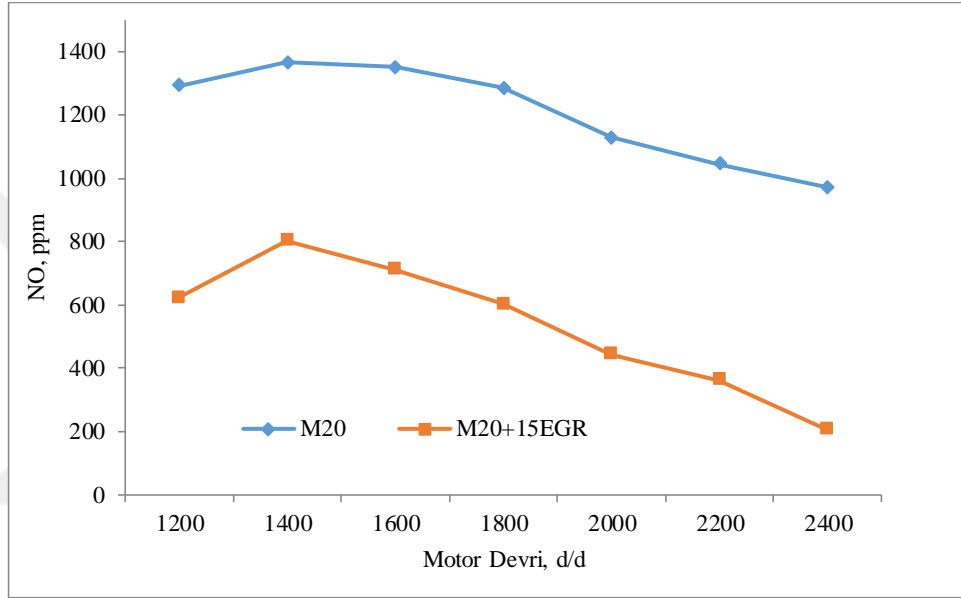
Şekil 4.44.M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu ÖYS'nin değişimi



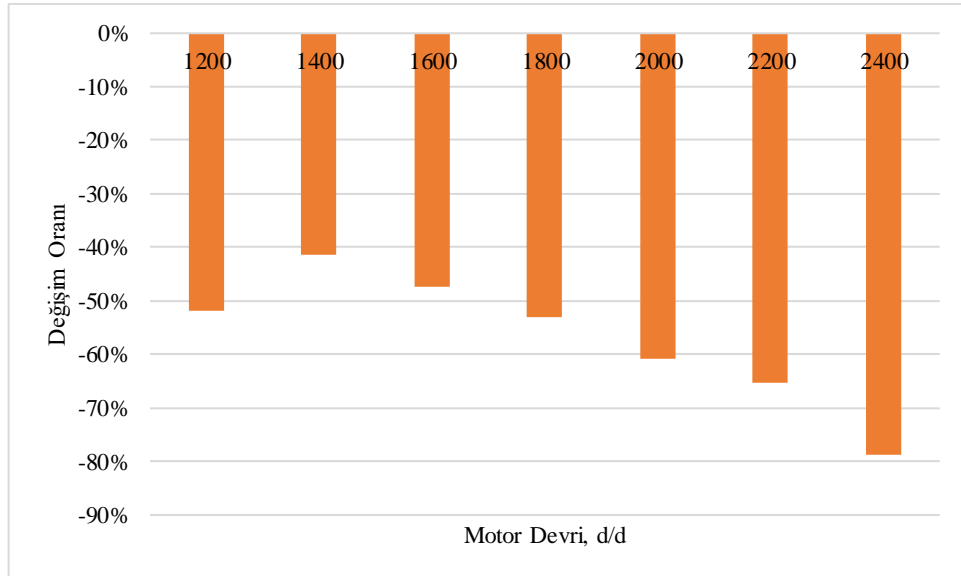
Şekil 4.45.M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu ÖYS' deki değişim oranı

4.4.5. M20 ve %15 EGR uygulamasının NO emisyonuna etkisi

EGR uygulamasının oluşturduğu en büyük fayda NO emisyonlarında gözlenmiştir. Şekil 4.44'de NO emisyonları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. 2400 d/d' da NO emisyonlarının %78,87 oranında azaldığı görülmektedir. Bu düşüşün temel sebebinin yanma odasına daha az hava alınması sonucu yanma odasındaki azot ve oksijen miktarı azalması olduğu düşünülmektedir.



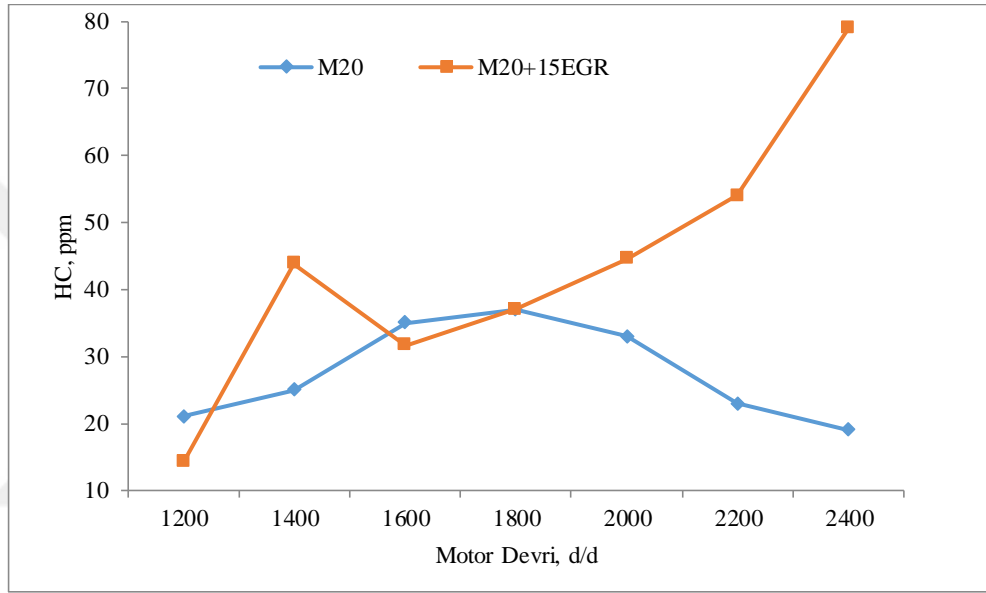
Şekil 4.46.M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu NO emisyonunun değişimi



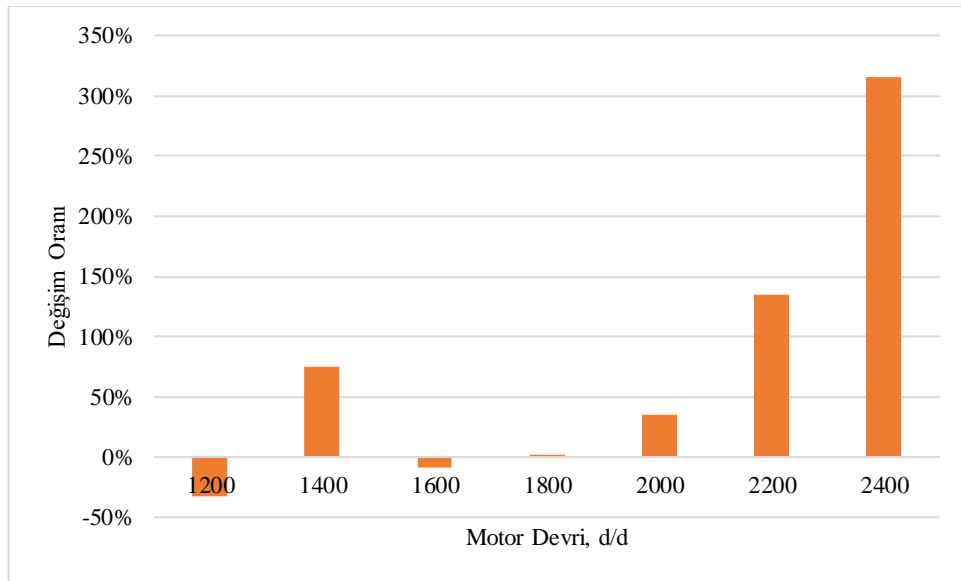
Şekil 4.47.M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu NO emisyonundaki değişim oranı

4.4.6. M20 ve %15 EGR uygulamasının HC emisyonuna etkisi

Şekil 4.46’da HC emisyonlarının EGR uygulaması ile değişimi gösterilmiştir. EGR15 bazı devirlerde HC emisyonunu azaltmış olsa da genel olarak HC emisyonlarında artış görülmektedir. Özellikle yüksek devirlerde ciddi HC emisyonu olduğu gözlenmiştir. 2400 d/d’ da HC emisyonu M20 ye göre %315 oranında artmıştır. Bu artış EGR15 uygulamasın sonucu yanmanın kötüleştiğini gösterdiği düşünülmektedir.



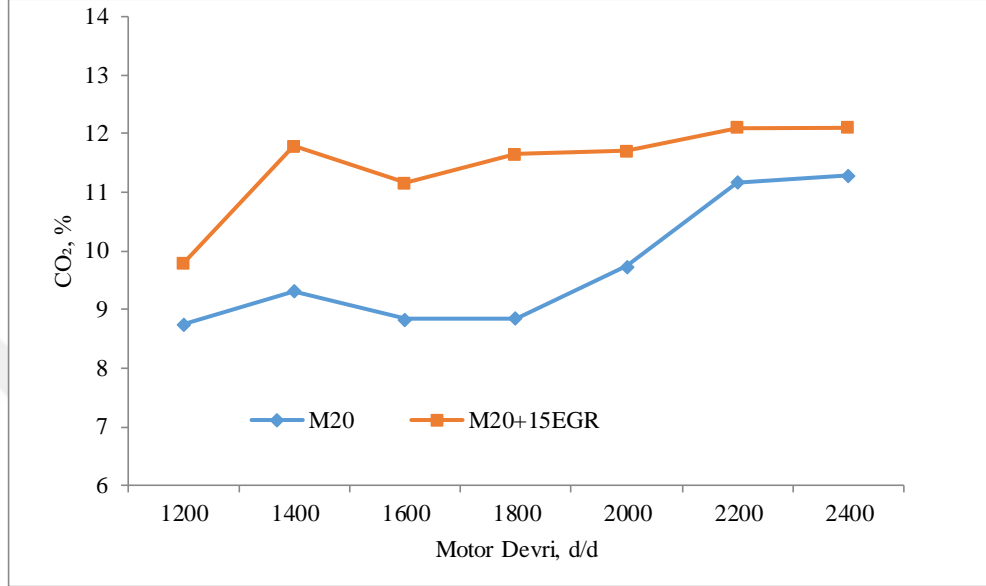
Şekil 4.48.M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu HC emisyonunun değişimi



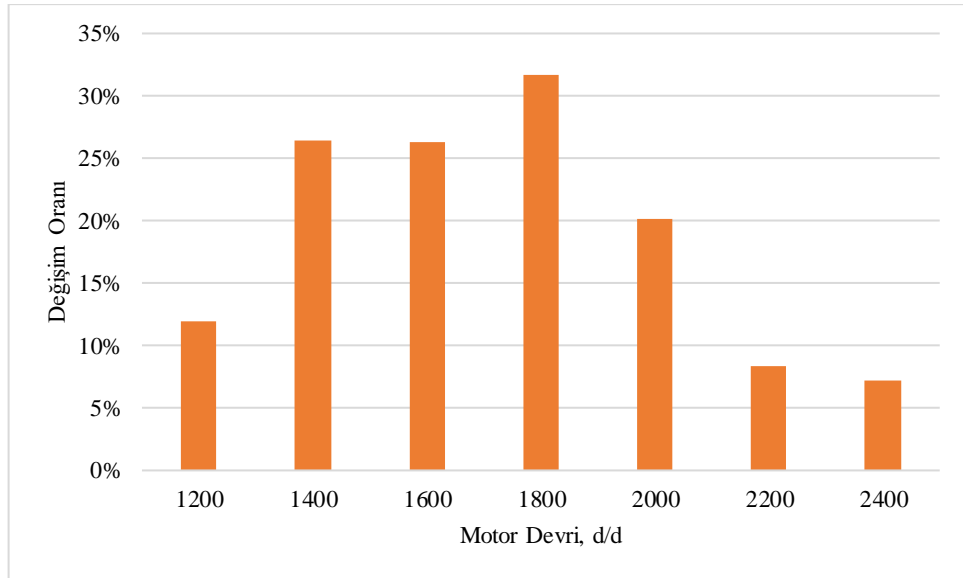
Şekil 4.49.M20’ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu HC emisyonundaki değişim oranı

4.4.7. M20 ve %15 EGR uygulamasının CO ve CO₂ emisyonuna etkisi

Şekil 4.48’de CO₂ emisyonundaki değişim görülmektedir. EGR15 sonucunda karbondioksit emisyonu artmıştır. En büyük artış 1800 d/d’ da %32 ile görülmektedir.



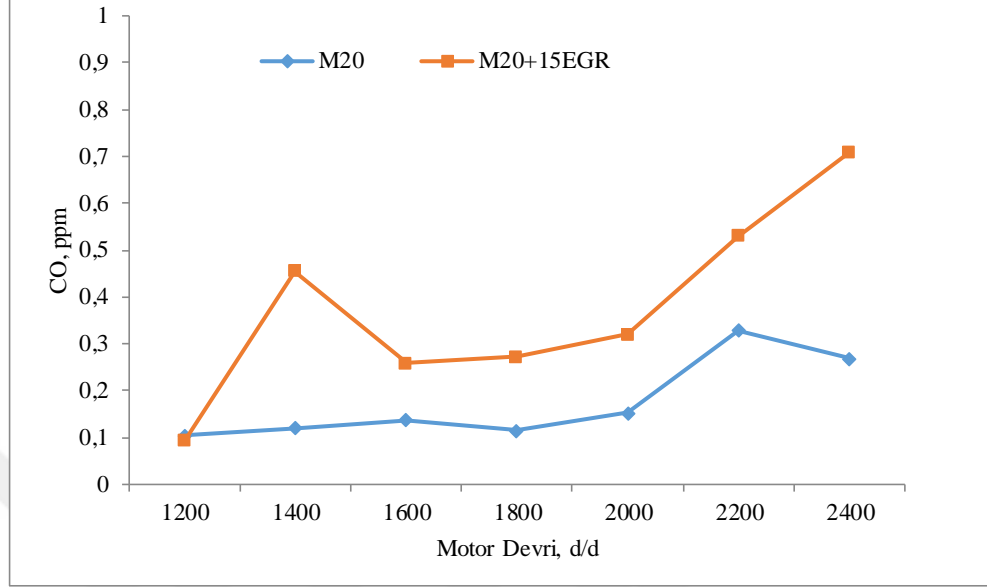
Şekil 4.50.M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu CO₂ emisyonunun değişimi



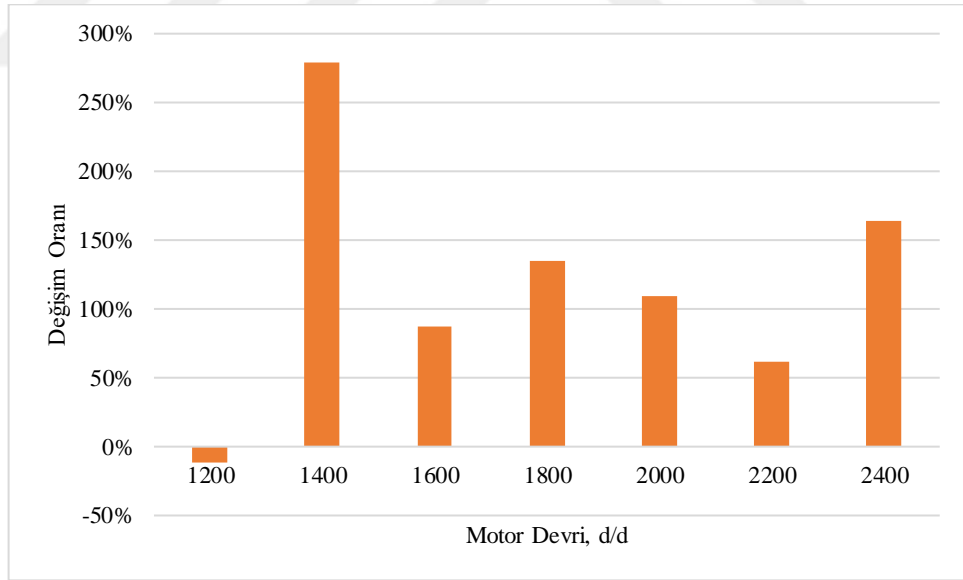
Şekil 4.51.M20’ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu CO₂ emisyonundaki değişim oranı

Şekil 4.50’ de karbon monoksit emisyonunun EGR15 ile değişimi görülmektedir. EGR15 sonucunda karbon monoksit emisyonları ciddi biçimde artmaktadır. En büyük artış %279

ile 1400 d/d' da görülmektedir. Emisyondaki bu artış yanma odasına giren oksijen miktarında oluşan azalmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.



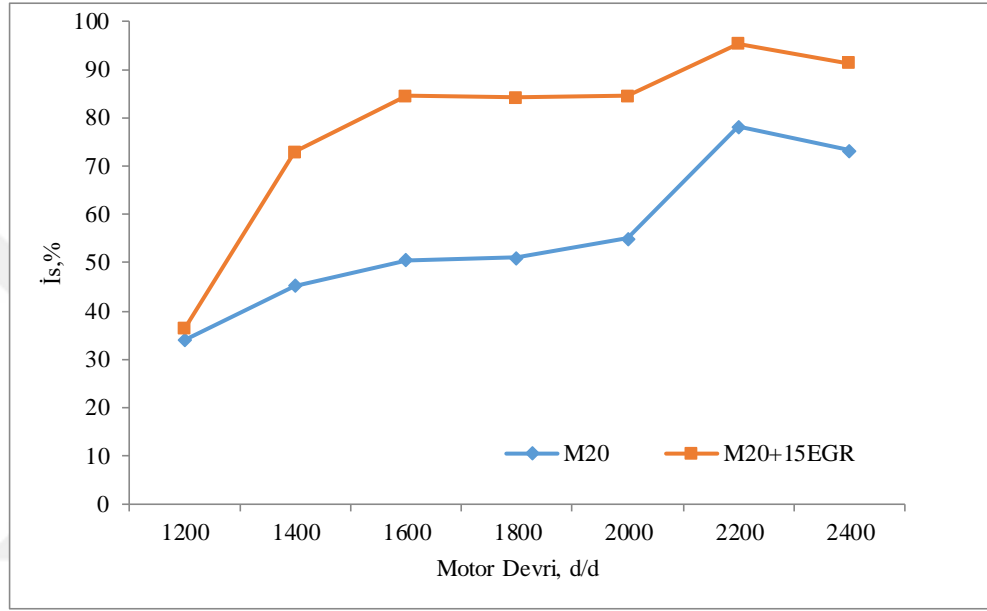
Şekil 4.52.M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu CO emisyonunun değişimi



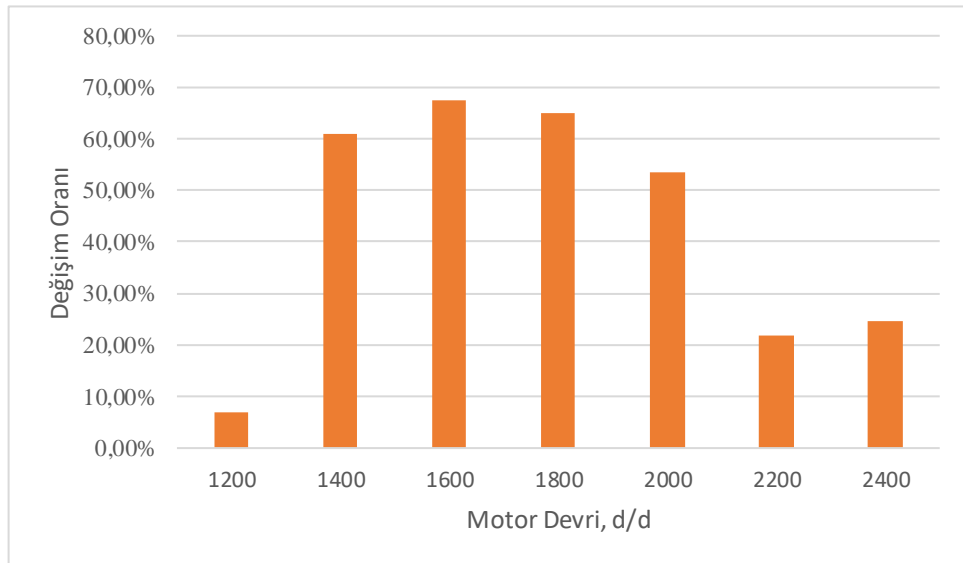
Şekil 4.53.M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu CO emisyonundaki değişim oranı

4.4.8. M20 ve %15 EGR uygulamasının is emisyonuna etkisi

Şekil 4.52’de is emisyonlarındaki değişim gösterilmektedir. İis emisyonu EGR uygulamasıyla artmaktadır. En büyük artış 1600 d/d’da yaklaşık %698 olarak görülmektedir. İis emisyonundaki artışın sebebi EGR ile motora giren oksijen miktarının azalması ve yakıtın oksidasyonunu tamamlayamadan egzozdan atılmasıdır.



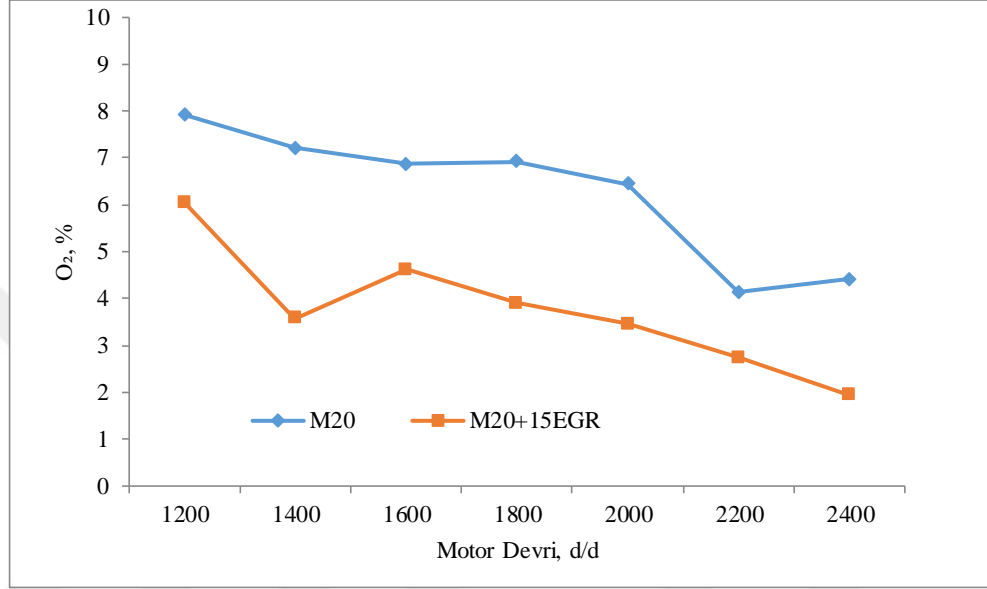
Şekil 4.54.M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu CO emisyonunun değişimi



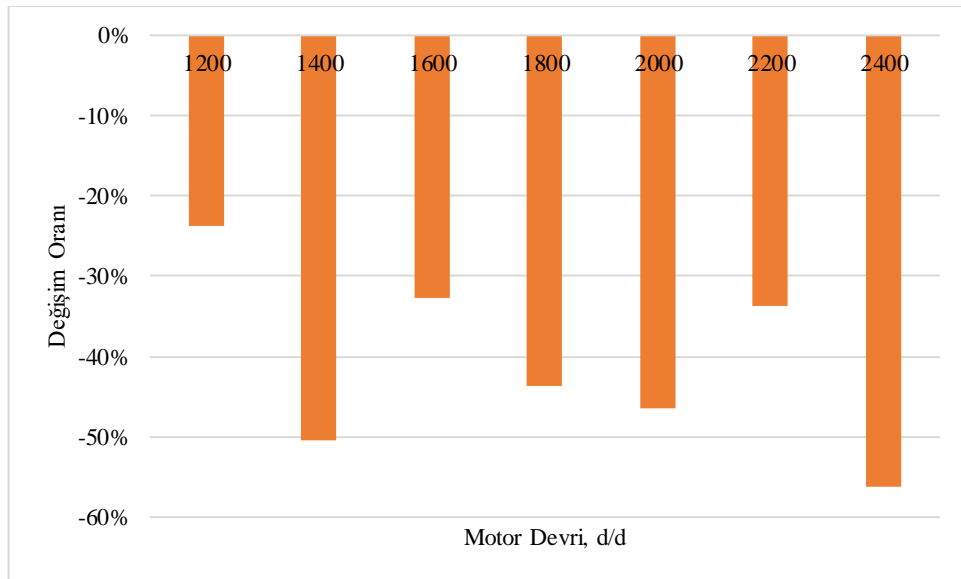
Şekil 4.55.M20’ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu CO emisyonundaki değişim oranı

4.4.9. M20 ve %15 EGR uygulamasının O₂ emisyonuna etkisi

Şekil 4.54' de oksijen emisyonunun EGR15 uygulaması ile değişimi görülmektedir. EGR uygulaması oksijen emisyonunu azaltmıştır. En büyük düşüş 2400 d/d' da %56 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.56.M20 ve M20+15EGR uygulaması sonucu O₂ emisyonunun değişimi



Şekil 4.57.M20'ye göre M20+15EGR uygulaması sonucu O₂ emisyonundaki değişim oranı

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada dizel motorlara metanol fumigasyonu ile EGR uygulandığında performans parametrelerinde ve emisyonlardaki değişim araştırılmıştır. Araştırma için elektronik kontrollü bir metanol enjeksiyon sistemi geliştirilerek deney motoruna adapte edilmiştir. Motor tam yük şartlarında ve tam gaz konumunda tutularak farklı oranlarda (%10, %15, %20) dizel yakıtı yerine metanol fumigasyonu uygulanmıştır. Std duruma göre metanol fumigasyonu sonucunda performans parametrelerinde ve emisyonlarda oluşan değişimler karşılaştırılmıştır. Ayrıca NO_x emisyonlarının azaltılabilmesi için hem STD durumunda hem de metanol fumigasyonu yapılan durumda EGR uygulanmış ve performans parametreleri ve emisyonlar araştırılmıştır.

Motora uygulanan her orandaki fumigasyon sonucunda ÖYS artmış, buna karşılık efektif verim' de artmıştır. ÖYS' de en büyük artış %20 metanol fumigasyonunda 1400 d/d' da %9 olarak saptanmıştır. Efektif verim ise %20 metanol fumigasyonunda 2400 d/d' da %5,1 olarak tespit edilmiştir.

%10 ve %15 Metanol fumigasyonunun NO emisyonunu azalttığı saptanmıştır. %20 metanol fumigasyonunda ise yüksek devirlerde NO emisyonun artmıştır. En büyük düşüş %10 metanol fumigasyonunda 2000 d/d' da %7,7 olarak tespit edilmiştir. En büyük artış ise %20 metanol fumigasyonu için 2400 d/d' da %4,7 olarak ölçülmüştür.

Metanol fumigasyonu sonucunda her oranda HC emisyonları azalmıştır. HC emisyonları %15 metanol fumigasyon oranında ve 2200 d/d' da %42,9 olarak ölçülmüştür.

CO emisyonlarında genel olarak artış eğilimi göstermiştir. Özellikle yüksek devirlerde ciddi artışlar ölçülmüştür. En yüksek artış %10 metanol fumigasyonu için 2200 d/d' da %113 olarak ölçülmüştür.

CO₂ emisyonlarına bakıldığı zaman ortalama olarak emisyonun %2,8 azaldığı görülmektedir. CO₂ emisyonlarında en büyük düşüş M10 için 2000 d/d' da %14 olarak ölçülmüştür.

O₂ emisyonlarının ortalaması değişmemişken, en büyük azalış %10 metanol fumigasyonu için 2200 d/d' da %22 olarak ölçülmüştür. En büyük artış ise %10 metanol fumigasyonu için 2000 d/d' da %17 olarak ölçülmüştür.

EGR deneyleri sonucunda performans parametrelerinin tamamında kötüleştiği görülmüştür. Buna karşın NO_x emisyonları azalmıştır. STD duruma göre en büyük azalma EGR15 için 2400 d/d' da %93,4 olarak ölçülmüştür. Metanol fumigasyonu yapıldığı durumda ise %15 EGR uygulandığı durumda 2400 d/d' da NO emisyonu %78,87 oranında azalmıştır.

Metanol fumigasyonu yöntemi ile elde edilen veriler değerlendirildiğinde;

1. Dizel motorlarda metanolün alternatif yakıt olarak kullanılmasında fumigasyon yöntemi ÖYS' de artış olmasına sebep olmakta fakat efektif verimi arttırmaktadır.
2. Metanol fumigasyonu NO emisyonlarının azaltılmasında yardımcı olmaktadır.
3. Metanol fumigasyonu HC emisyonlarını ciddi oranda azaltmaktadır.
4. EGR uygulaması NO_x emisyonlarını azaltmak için çok etkili bir yöntem olmasına rağmen performans parametrelerini ciddi şekilde kötüleştirmektedir.

KAYNAKLAR

- (2019, Nisan 14). Nisan 14, 2019 tarihinde www.dougjack.co.uk: <http://www.dougjack.co.uk/bus-industry-euro-6-emissions-limits.html> adresinden alındı
- Acaroğlu, M. (2003). *Alternatif Enerji Kaynakları*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.
- Alpgiray, B. (2006). Kanola Yağının Diesel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Andrews, G. (1995). NOx Formation and Control. England: University of Leeds.
- Anonim. (2019, Nisan 15). https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/GROW/wltp/Library/meetings/pre-2012_meetings/110908_-_rde-ldv/NOX%20parameters%20EGR%2C%20SCR%2C%20NSC.doc adresinden alındı
- Ayhan, V. (2009). *Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun NOx Emisyonlarına ve İş Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması*. Sakarya: Doktora Tezi.
- Ayhan, V. (2016). Bir Dizel Motora Metanol Fumigasyonunun Performans ve Emisyonlara Etkisi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 13(4) 65-76.
- Ayhan, V., Cesur, İ., Parlak, A., & Boru, B. (2008). Biz Dizel Motoruna Etanol Fumigasyonunun Performans ve Emisyonlara Etkisi. *10. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, 543-548.
- Bayraktar, H., & Durgun, O. (2004, 48 (533)). Buji Ateşlemeli Motorlar İçin Alternatif Yakıtların Teorik Değerlendirilmesi ve Pratik Kullanılabilirliği. *Mühendis ve Makine*, s. 48-56.
- Borat, O., Balcı, M., & Sürmen, A. (1994). *Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği*. Ankara: Teknik Eğitim Vakfı Yayınları.
- Borat, O., Balcı, M., & Sürmen, A. (1995). *İçten Yanmalı Motorlar*. Ankara: Teknik Eğitim Vakfı Yayınları.
- Brusstar M., Stuhldreher M., Swain D., & Pidgeon W. (2002). High efficiency and low emissions from a port-injected engine with neat alcohol fuels. *Society of Automotive Engineers*,, 01-2743.

- Candan, F. (2012). Dizel Metanol ve Katkı Maddelerinin Dizel Motor Performansı ve Emisyona Etkisinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Ciniviz, M., Haşimoğlu, C., Çınar, C., & Topgül, T. (2002). Dizel Motorlardaki Emme Manifoldundaki CO2 Konsantrasyonunun Egzoz Emisyonlarına Etkisi. 7. *Uluslararası Yanma Senpozyumu*, (s. 217-224). Ankara.
- Çetinkaya, S. (2004). Benzin ve Diesel Motorların Doğal Gaz Motoruna Dönüştürülmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*(81), 14-31.
- Diler, A. (2006). Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde Doğal Gaz Kullanımının Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 36-37.
- Doğan, A., & Aktaş, O. (2010). Çift Yakıtlı Bir Dizel Motorda LPG Yüzdesinin Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 171–175.
- Epdk. (2019). *Petrol Piyasası Sektör Raporu*.
- Eyidoğan, M., Çanakçı, M., Özsezen, A. N., Alptekin, E., Türkcan, A., & Kılıçaslan, İ. (2011). Etanol-Benzin ve Metanol-Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Bir Motorun Yanma Parametrelerine ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 26, No 3, 499-507.
- Haşimoğlu, C. (2005). Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanılmasının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi. *Doktora Tezi*. Sakarya: Sakarya Üniversitesi.
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y., & Öğüt, H. (2002). Dizel Motorlarda Egzoz Gazları Resirkülasyonunun Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi. 127-135.
- Heywood, J. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Holman, C., Fergusson, M., & Mitchell, C. (1991). Road transport and air pollution: Future prospects. *Rees Jeffreys Discussion Paper 25*. Transport Studies Unit, Oxford University.
- İçingür, Y., & Yamık, H. (2003). Metil ve Etil Esterlerin Dizel Yakıtı Olarak Kullanılma İmkanlarının Deneysel Olarak Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 459-464.
- İçingür, Y., & Yamık, H. (2003). Metil ve Etil Esterlerin Dizel Yakıtı Olarak Kullanılma İmkanlarının Deneysel Olarak Araştırılması. (2).

- Ingamells, J. C., & Lindquist, R. (1975). Methanol as a Motor Fuel or a Gasoline Blending Component. *SAE Transaction*, 750123.
- Ishida, M., & Chen, Z. (1994). An Analysis of the Added Water Effect of NO Formation in D.I. Diesel Engines. *SAE Paper No. 941691*.
- Karabektaş, M., & Ergen, G. (2007). Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans Karakteristikleri ve Nox Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 21-26.
- Karakus, N. (2000). Yakıt Özelliklerinin Dizel Motor Performansına ve Emisyonlarına Etkileri. *Doktora Tezi* (s. 40-62). Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karaosmanoğlu, F. (1990). Alkollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi. *Doktora Tezi*.
- Kaytakoğlu, S. E. (1995). *Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Kirlilik ve Giderme Yöntemleri*. Ankara: Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 3. Ulusal Sempozyumu.
- Keskin, S., & Sağıroğlu, A. (2010). Dizel Motorlarından Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Kontrol Yöntemleri. *Mühendis ve Makine Dergisi*(22), 81-86.
- Kulakoğlu, T. “. (2009). Dizel-Metanol Karışımı Kullanılan Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performans ve Emisyonlara Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Miller J., & Bowman C.T. . (1989). *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 15, 287-338.
- Oyder. (2019). *Sektör Raporu*.
- Özcan, F. (2010). Buji Ateşlemeli Bir Motorda LPG ve CNG (Sıkıştırılmış Doğalgaz) Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, 21-25.
- Özer, C., Çelikten, İ., & Usta, N. (2005). Etanol Karışımli Motorin Yakıtın Dizel Motoru Egzoz Emisyonlarına Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, CİLT:11, SAYI:2 219-224.
- Samec, N., Kegl, B., & Dibble, R. (2002). Numerical and Experimental Study of Water/Oil Emulsified Fuel Combustion in a Diesel Engine. *Fuel* 81, 2035–2044.
- Sezer, İ. (2017). Dizel Yakıtına Etanol ve Dietil Eter Katılmasının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 37, 1, 61-68.
- Soruşbay, C. (1999). *İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Gazları Emisyonu*. İ.T.Ü.: Ders Notları.

- Şahin, Z., & Durgun, O. (2008). Dizel Motorlarında Püskürtme Parametrelerinin Motor Performansı ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi. *IV Ege Enerji Sempozyumu 21-23 Mayıs*. İzmir.
- Şahin, Z., & Durgun, O. (2016). Improving Of Diesel Combustion-Pollution-Fuel Economy And Performance By Ethanol Fumigation. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 36, 2, 69-82.
- Temizer, İ. (2010). *Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyonları Üzerine Katkı Maddelerinin Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tok, A. (2010). *Egzoz Gazı Resirkülasyonunun Motor Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*. Bursa: Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Türkiye Enerji Konseyi. (2003). *2002 Türkiye Enerji Raporu*. Ankara: Poyraz Ofset.
- Uslu, K., Sayın, C., & Çanakçı, M. (2006). Dizel Motorlarında Çift Yakıt (Etanol -Dizel) Kullanımının Performans ve Emisyonlara etkisi. *9. Uluslararası Yanma Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 273-282.
- Yağcıoğlu, E. (1984). Biyokütle Enerjisi. *EIE Bülteni*.
- Yaşar, F. (2016). Yosun Yağından Biyodizel Üretimi ve Bir Dizel Motorunda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılmaası. *Doktora Tezi*.
- Yıldırım, B., & Alkaya, M. (2000). Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 15–20.
- Zheng, M., Reader, G.T., & Hawley, J.G.: (2003). “*Diesel Engine Exhaust Gas Recirculation-a review on advanced and novel concepts*”, . Elsevier Ltd.

ÖZGEÇMİŞ

Hürol Bilgin YAYLAMIŞ, 1984 yılında İstanbul, Kadıköy'de doğdu. İlköğrenimini Adıyaman ve Giresun'da, orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Ümraniye Lisesinden 2002 yılında mezun oldu. Aynı yıl Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesinde Lisans eğitimine başlayarak 2006 yılında mezun oldu. 2012 yılında MEB' de Teknik Öğretmen olarak göreve başladı. 2014 yılında Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği eğitimine başlayarak 2016 yılında mezun olmuştur. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisansa öğrenimine başladı. Halen eğitimine devam etmektedir.

Evli ve bir çocuk babasıdır.