

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

EGZOZ EMİSYONLARININ AZALTILMASI İÇİN SİLİNDİR ÖNCESİ YÖNTEMLERİN
ARAŞTIRILMASI VE OPTİMİZASYONU

Murat KAPUSUZ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SAMSUN
2018

Her hakkı saklıdır.

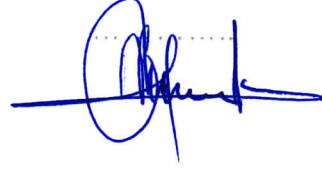
TEZ ONAYI

Murat Kapusuz tarafından hazırlanan “Egzoz Emisyonlarının Azaltılması İçin Silindir Öncesi Yöntemlerin Araştırılması Ve Optimizasyonu” adlı tez çalışması 18/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

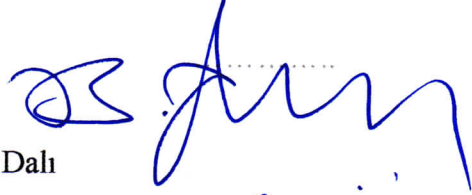
Danışman Doç. Dr. Hakan ÖZCAN
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Prof. Dr. Bahtiyar Öztürk
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı



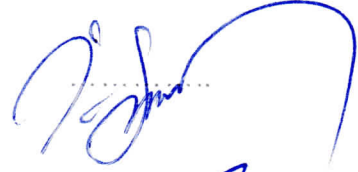
Üye Prof. Dr. Bahattin Topaloğlu
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye Doç. Dr. Hakan Özcan
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye Prof. Dr. İsmet Sezer
Gümüşhane Üniversitesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye Dr. Öğretim Üyesi Mahmut Kaplan
Amasya Üniversitesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım. / /2018

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

18/06/2018

Murat KAPUSUZ

ÖZET

Doktora Tezi

EGZOS EMİSYONLARININ AZALTILMASI İÇİN SİLİNDİR ÖNCESİ YÖNTEMLERİN ARAŞTIRILMASI VE OPTİMİZASYONU

Murat KAPUSUZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan ÖZCAN

Yapılan çalışmada standart bir benzinli motorda egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi için silindir öncesi yöntemler kullanılarak kontrolü amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yanmanın zenginleştirilmesi için kullanılacak benzin yakıtının fotokatalize maruz bırakılarak fiziksel özelliklerinin zenginleştirilmesi, HC ve CO emisyonlarının azaltılması için giriş havasının oksijence zenginleştirilmesi, NO_x emisyonlarının azaltılması için giriş havasının nemlendirme yoluyla kuru termometre sıcaklığının düşürülmesi, amaçlanmıştır.

Fotokataliz işlemi %15 etanol ve %85 benzin karışımına uygulanmış ve sonuçlar yakıtın yanma özelliklerinin iyileştiğini göstermiştir. Fotokataliz sonrası durum öncesi ile karşılaştırıldığında ortalama olarak CO emisyonu %18.1, HC emisyonu ise %7 azalmış; CO₂ emisyonu %20.3, NO_x emisyonu ise %39.7 artmıştır. ÖYT %9.9 azalmış, efektif verim ise %9.1 artmıştır.

Motor emme havasına konsantratörden elde edilen yüksek saflıkta oksijen karıştırılarak oksijen oranı %21'den %23 ve %25 seviyelerine çıkartılmıştır. Giriş havasının oksijence zenginleştirilmesi yanma hızını artırmış, yanmayı iyileştirmiş ve efektif verimi artırmıştır. Bu durum yanmamış HC emisyonlarının ve CO emisyonlarının azalmasına neden olmuştur. Fakat yanma sürecindeki bu iyileşme silindir içi maksimum sıcaklıkları artırmış ve dolaylı olarak NO_x emisyonlarını artırmıştır. İstenmeyen bu etki motor giriş havasının adyabatik nemlendirilmesi yoluyla ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Emme havası şartlandırma kabininden geçirilerek kuru termometre sıcaklığı düşürülmüş ve emme havası bağıl nemi %35'ten %65 ve 85'e çıkartılmıştır. Soğutma kabininden geçirme işlemi havanın kuru termometre sıcaklığını azaltmış ve nem oranını artırmıştır. Giriş havasının kuru termometre sıcaklığının düşürülmesi silindir içi maksimum sıcaklıkların düşmesine neden olmuştur. Ayrıca giriş havasının nemlendirilmesi yanma hızını düşürmesinden ve yanmayı homojenleştirmesinden dolayı yine silindir içi maksimum sıcaklıklarda azalmaya sebep olmuştur. Nemlendirme yöntemi düşük yüklerde yanmayı kötüleştirirken yüksek yük oranlarında mikro patlama tesiri ile yanmayı iyileştirmiştir. Nemlendirme işlemi tüm şartlarda özgül yakıt tüketiminde artışa neden olmuştur. Emisyon ve performans şartları gözönüne alındığında oksijen içeriğinin %23, bağıl nemin %85 olduğu şart en optimum şart olarak belirlenmiştir.

Haziran 2018, 173 sayfa

Anahtar Kelimeler: İçten Yanmalı Motorlar, Benzin, TiO₂, Nemlendirme, Oksijen Zenginleştirme

ABSTRACT

Doctoral Dissertation

RESEARCH AND OPTIMIZATION OF PRE-TREATMENT METHODS FOR EXHAUST EMISSIONS REDUCTION

Murat KAPUSUZ

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan ÖZCAN

The aim of the study was to control the exhaust emissions of a standard gasoline engine by pre-treatment methods. In this context, it is aimed to enrich the physical properties of the gasoline for the enrichment of the combustion by using photocatalysis, to enrich the intake air oxygen ratio to reduce the HC and CO emissions and to reduce the dry thermometer temperature by humidifying the inlet air to reduce NO_x emissions.

Photocatalysis was applied to a mixture of 15% ethanol and 85% gasoline and the results showed that fuel improves combustion characteristics. Compared to the pre-state to post-photocatalytic state, the CO emission decreased by 18.1% and the HC emission decreased by 7% on average, CO₂ emissions increased by 20.3% and NO_x emissions increased by 39.7%. The specific fuel consumption decreased by 9.9% and the effective efficiency increased by 9.1%.

By mixing high-purity oxygen from the concentrator to inlet air, the oxygen ratio has been increased from 21% to 23% and 25%. The oxygen enrichment of the intake air increases the combustion rate, improves the combustion and increases the effective efficiency. This causes unburned HC emissions and CO emissions to be reduced. However, this improvement in the combustion process increases the maximum in-cylinder temperatures and indirectly increases NO_x emissions. This unwanted effect was attempted to be removed from the engine by intake air adiabatic humidification. Air relative humidity was increased from 35% to 65% and 85%. Air passing through the cooling cabin reduces the dry-bulb temperature of the air and increases the humidity. Reducing the dry-bulb temperature of the inlet air causes the maximum in-cylinder temperatures to drop. In addition, humidification of the inlet air causes the combustion rate to be reduced and the combustion to be homogenized, resulting in a decrease in the maximum in-cylinder temperatures. The humidification method improves the burning by micro explosion effect at high load rates while worsening combustion at low loads. The humidification process in all circumstances caused an increase in specific fuel consumption. For the emission and performance requirements, 23% oxygen and 85% relative humidity conditions are determined as the most optimal conditions.

June 2018, 173 pages

Key Words: Internal Combustion Engine, Gasoline, TiO₂, Humidification, Oxygen Enrichment

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora derslerimde ve tez çalışmamda akademik görevlerine rağmen bana zaman ayıran sayın Doç. Dr. Hakan Özcan'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Ayrıca tezimle ilgili önerilerde bulunan sayın Doç. Dr. Naci Kurgan'a, Dr. Öğretim Üyesi Mevlüt Gürbüz'e, Dr. Öğretim Üyesi Lütfü Namlı'ya, Doç. Dr. Kemal Yıldızlı'ya, bana büyük ölçüde yardımları olan Arş. Gör. Kadir Kaya'ya, Öğretim Görevlisi Abdülvahap Çakmak'a sonsuz teşekkür ederim.

Bize verdikleri desteklerden dolayı Total Oil A.Ş. genel müdürlüğüne, Total Oil Yakıt laboratuvarı sorumlusu Fatih Bilgin'e, laboratuvar teknisyeni Mesut Karalı'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim aileme, eşim Aslı Doğan Kapusuz'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu Doktora Tez Çalışması PYO.MUH.1901.15.003 nolu Bilimsel Araştırma projesi olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Haziran 2018, Samsun

Murat KAPUSUZ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGE VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışma ve Gerekçesi.....	2
1.2. Geçmişteki Çalışmalar	3
1.2.1. Fotokataliz ile ilgili çalışmalar.....	3
1.2.2. Nemlendirme ile ilgili çalışmalar.....	7
1.2.3.Oksijen zenginleştirme ile ilgili çalışmalar.....	14
2. GENEL BİLGİLER	23
2.1. Uçuculuk	27
2.2. Fotokataliz.....	28
2.3. Adyabatik Nemlendirme	30
2.4. Oksijen Zenginleştirme	32
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. Deneysel Kurulum	33
3.2. Deneysel Metodoloji	43
3.3. Deney Prosedürü	44
3.4. Fotokatalizin Benzin Üzerine Uygulanması	45
3.4.1. Fotokataliz için UV'ye ve benzin çözündürmesine dayanıklı silikonun tespiti	45
3.4.2. Fotokapsül Tasarımı.....	46
3.4.3. Fotokataliz ünitesi tasarımı, imalatı, montajı.....	49
3.5. Motor Emme Havaasının Adyabatik Nemlendirilmesi.....	50
3.6. Motor Emme Havaasının Oksijen Oranının Arttırılması	52
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	57
4.1. Fotokatalizin Benzin Üzerine Etkisi.....	57
4.2. Fotokatalizin Emisyonlara ve Performansa Etkileri.....	65
4.2.1. CO emisyonuna etkisi	66
4.2.2. HC emisyonuna etkisi	67
4.2.3. CO ₂ emisyonuna etkisi.....	68
4.2.4. NO _x emisyonuna etkisi.....	69
4.2.5. Özgül yakıt tüketimine etkisi	70
4.2.6. Efektif verime etkisi	71
4.3. Nemlendirmenin Emisyonlara ve Performansa Etkileri.....	72
4.3.1. CO emisyonuna etkisi	74
4.3.2. HC emisyonuna etkisi	80
4.3.3. CO ₂ emisyonuna etkisi.....	86
4.3.4. NO _x emisyonuna etkisi.....	92
4.3.5. Özgül yakıt tüketimine etkisi	98
4.3.6. Efektif verime etkisi	104
4.4. Oksijen Zenginleştirmenin Emisyonlara ve Performansa Etkileri	110

4.4.1. CO emisyonuna etkisi	111
4.4.2. HC emisyonuna etkisi	117
4.4.3. CO ₂ emisyonuna etkisi	123
4.4.4. NO _x emisyonuna etkisi	129
4.4.5. Özgöl yakıt tüketimine etkisi	135
4.4.6. Efektif verime etkisi	141
4.5. Nemlendirme ve Oksijen Zenginleştirmenin Birlikte Kullanımı ile Elde Edilen Tüm Şartlar	146
4.5.1. CO emisyonu için optimum şartlar	147
4.5.2. HC emisyonu için optimum şartlar	149
4.5.3. CO ₂ emisyonu için optimum şartlar	151
4.5.4. NO _x emisyonu için optimum şartlar	153
4.5.5. Özgöl yakıt tüketimi yönünden optimum şartlar	155
4.5.6. Efektif verim yönünden optimum şartlar	157
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	159
6. KAYNAKLAR	163
ÖZGEÇMİŞ	171

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

CeO ₂	Seryum dioksit
CH ₄	Metan
CH ₃ OH	Metanol
C ₂ H ₅ OH	Etanol
C ₈ H ₁₈	Benzin
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
Cu	Bakır
FeCl ₃	Demir klorür
In ₂ O ₃	İndiyum oksit
HC	Hidrokarbon emisyonu
H ₂ O	Su
O ₂	Oksijen
OH	Hidroksil grubu
N ₂	Azot
NiO	Nikel oksit
NO _x	Azot oksit emisyonu
NO ₂	Azot dioksit
Pt	Platinyum
SiO ₂	Silisyum dioksit
Sm	Samaryum
TiO ₂	Titanyum dioksit
ZnO	Çinko oksit

KISALTMALAR

ASVP	Doymuş Buhar Basıncı
DI	Distilasyon indisi
DVPE	Kuru Buhar Basıncı eşdeğeri
E15	%15 etanol karışimli benzin
E30	%30 etanol karışimli benzin
E70	70°C’de yoğuşan yakıt hacmi
E100	100°C’de yoğuşan yakıt hacmi
E150	150°C’de yoğuşan yakıt hacmi
E15d60	60 dk fotokataliz uygulanan %15 etanol karışimli benzin
E30d60	60 dk fotokataliz uygulanan %30 etanol karışimli benzin
EGR	Egzoz gazı resirkülasyonu
FTE15	Fotokataliz uygulanmış %15 etanol karışimli benzin
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
KA	Krank Açısı
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
M15	%15 metanol karışimli benzin
M15d60	60dk fotokataliz uygulanan %15 metanol karışimli benzin
ÖYT	Özgöl yakıt tüketimi
PSA	Basınç salınlı adsorpsiyon
PM 2,5	2.5µm’den küçük çaplı emisyon oranı
SCR	Seçici katalitik reaksiyon
UV	Ultraviyole ışık
T10	Yakıtın %10 hacminin yoğunlaştığı sıcaklık
T50	Yakıtın %50 hacminin yoğunlaştığı sıcaklık
T90	Yakıtın %90 hacminin yoğunlaştığı sıcaklık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. TiO_2 'nin ışığı absorblama mekanizması	29
Şekil 2.2. Şartlandırma kabini... ..	31
Şekil 3.1. KTEST egzoz gaz analiz cihazı... ..	35
Şekil 3.2. Motor Ünitesi ve ölçüm kabini... ..	39
Şekil 3.3. Deney tesisatı genel yapısı... ..	42
Şekil 3.4. Kaplama yapılan silikonda benzin çözünmesi ile oluşan tahribat... ..	46
Şekil 3.5. İlkten sona doğru geliştirilmiş fotokapsül tasarımları.....	47
Şekil 3.6. Tasarlanan ve imal edilen son fotokapsül... ..	48
Şekil 3.7. Tamamlanmış fotokataliz ünitesi... ..	49
Şekil 3.8. Fotokataliz ünitesi kesit görünüşü.....	49
Şekil 3.9. Şartlandırma kabini... ..	51
Şekil 3.10. Nemlendirme cihazı sol ve ön görünüş... ..	52
Şekil 3.11. Solda nem kontrol cihazı, sağda nem sensörü bağlantısı	52
Şekil 3.12. Oksijen Konsantratörü çalışma yapısı	54
Şekil 3.13. Oksijen tankı ve oksijen jeneratörü.....	56
Şekil 4.1. Fotokatalize maruz kalmış E15 yakıtına ait FITR analizi.....	59
Şekil 4.2. Etanol ve metanol katkısı ile distilasyonda oluşan değişimler.....	61
Şekil 4.3. Fotokatalitik etki ile M15 yakıtı distilasyon eğrisinde oluşan değişim... ..	62
Şekil 4.4. Fotokatalitik etki ile E15 yakıtı distilasyon eğrisinde oluşan değişim... ..	63
Şekil 4.5. Fotokatalitik etki ile E30 yakıtı distilasyon eğrisinde oluşan değişim... ..	64
Şekil 4.6. Fotokatalitik etki ile E30 yakıtı rengine görülen koyulaşma... ..	65
Şekil 4.7. Fotokataliz işleminin CO emisyonuna etkileri.....	66
Şekil 4.8. Fotokataliz işleminin HC emisyonuna etkileri.....	67
Şekil 4.9. Fotokataliz işleminin CO_2 emisyonuna etkileri... ..	68
Şekil 4.10. Fotokataliz işleminin NO_x emisyonuna etkileri... ..	69
Şekil 4.11. Fotokataliz işleminin ÖYT'ye etkileri... ..	70
Şekil 4.12. Fotokataliz işleminin efektif verime etkileri... ..	71
Şekil 4.13. Yarım yük için standart oksijen (%21) durumunda nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri.....	74
Şekil 4.14. Tam yük için standart oksijen (%21) durumunda nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri.....	75
Şekil 4.15. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri.....	76
Şekil 4.16. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri.....	77
Şekil 4.17. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri.....	78
Şekil 4.18. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri.....	79
Şekil 4.19. Yarım yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri.....	80
Şekil 4.20. Tam yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri.....	81

Şekil 4.21. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri.....	82
Şekil 4.22. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri.....	83
Şekil 4.23. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri.....	84
Şekil 4.24. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri.....	85
Şekil 4.25. Yarım yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	86
Şekil 4.26. Tam yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	87
Şekil 4.27. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	88
Şekil 4.28. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	89
Şekil 4.29. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	90
Şekil 4.30. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	91
Şekil 4.31. Yarım yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin NO _x emisyonuna etkileri.....	92
Şekil 4.32. Tam yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin NO _x emisyonuna etkileri.....	93
Şekil 4.33. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin NO _x emisyonuna etkileri.....	94
Şekil 4.34. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin NO _x emisyonuna etkileri.....	95
Şekil 4.35. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin NO _x emisyonuna etkileri.....	96
Şekil 4.36. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin NO _x emisyonuna etkileri.....	97
Şekil 4.37. Yarım yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi.....	98
Şekil 4.38. Tam yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi.....	99
Şekil 4.39. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi.....	100
Şekil 4.40. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi.....	101
Şekil 4.41. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi.....	102
Şekil 4.42. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi.....	103
Şekil 4.43. Yarım yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin efektif verime etkisi.....	104

Şekil 4.44. Tam yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin efektif verime etkisi.....	105
Şekil 4.45. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin efektif verime etkisi.....	106
Şekil 4.46. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin efektif verime etkisi.....	107
Şekil 4.47. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin efektif verime etkisi.....	108
Şekil 4.48. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin efektif verime etkisi.....	109
Şekil 4.49. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri.....	111
Şekil 4.50. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri.....	112
Şekil 4.51. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri.....	113
Şekil 4.52. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri.....	114
Şekil 4.53. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri.....	115
Şekil 4.54. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri.....	116
Şekil 4.55. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri.....	117
Şekil 4.56. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri.....	118
Şekil 4.57. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri.....	119
Şekil 4.58. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri.....	120
Şekil 4.59. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri.....	121
Şekil 4.60. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri.....	122
Şekil 4.61. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	123
Şekil 4.62. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	124
Şekil 4.63. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	125
Şekil 4.64. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	126
Şekil 4.65. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	127
Şekil 4.66. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO ₂ emisyonuna etkileri.....	128
Şekil 4.67. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin NO _x emisyonuna etkileri.....	129

Şekil 4.68. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin NO _x emisyonuna etkileri...	130
Şekil 4.69. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin NO _x emisyonuna etkileri...	131
Şekil 4.70. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin NO _x emisyonuna etkileri...	132
Şekil 4.71. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin NO _x emisyonuna etkileri...	133
Şekil 4.72. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin NO _x emisyonuna etkileri...	134
Şekil 4.73. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri...	135
Şekil 4.74. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri...	136
Şekil 4.75. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri...	137
Şekil 4.76. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri...	138
Şekil 4.77. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri...	139
Şekil 4.78. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri...	140
Şekil 4.79. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri...	141
Şekil 4.80. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri...	142
Şekil 4.81. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri...	143
Şekil 4.82. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri...	144
Şekil 4.83. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri...	145
Şekil 4.84. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri...	146
Şekil 4.85. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda CO emisyonunda tüm şartlar...	147
Şekil 4.86. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda CO emisyonunda tüm şartlar...	148
Şekil 4.87. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda HC emisyonunda tüm şartlar...	149
Şekil 4.88. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda HC emisyonunda tüm şartlar...	150
Şekil 4.89. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda CO ₂ emisyonunda tüm şartlar...	151
Şekil 4.90. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda CO ₂ emisyonunda tüm şartlar...	152
Şekil 4.91. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda NO _x emisyonunda tüm şartlar...	153

Şekil 4.92. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda NO _x emisyonunda tüm şartlar.....	154
Şekil 4.93. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda ÖYT’de tüm şartlar.....	155
Şekil 4.94. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda ÖYT’de tüm şartlar.....	156
Şekil 4.95. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda efektif verimde tüm şartlar.....	157
Şekil 4.96. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda efektif verimde tüm şartlar.....	158



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Deney motoru özellikleri.....	33
Çizelge 3.2. Egzoz gaz analiz cihazı ölçüm özellikleri ve hassasiyeti.....	36
Çizelge 3.3. Fotokataliz deneylerinde kullanılan yakıtların karşılaştırmalı özellikleri.....	37
Çizelge 3.4. Nemlendirme ve Oksijen Zenginleştirme deneylerinde kullanılan benzine ait fiziksel özellikler.....	38
Çizelge 3.5. Ünite özellikleri.....	40
Çizelge 3.6. Ölçüm hassasiyetleri.....	41
Çizelge 3.7. Her devir değerine karşılık gelen güç değerleri ...	43
Çizelge 4.1. Tüm numuneler için DVPE ve DI değerleri.....	60
Çizelge 4.2. Tüm yakıt numuneleri için belirli sıcaklıklarda buharlaşma yüzdeleri.....	60

1. GİRİŞ

Günümüzde şehir içi hava kirliliği en önemli çevre ve sağlık sorunlarından biri haline gelmiştir. Nüfusun ve trafiğin çok arttığı şehirlerde bu sorun bariz olarak ön plana çıkmakta ve insan sağlığını büyük ölçüde tehdit etmektedir. Hava kirliliğinin en büyük kaynaklarından biri ise trafik kaynaklı zararlı emisyonlardır. Özellikle trafik yoğunluğunun arttığı bölgelerde emisyonlar çok ciddi seviyelere ulaşmakta bazı bölgelerde insan sağlığına ve çevreye kalıcı zararlara yol açmaktadır. Örneğin 2017 yılı Ocak ayı itibari ile Pekin şehrinde kirlilik düzeyi için geçici olarak sarı alarm verildi. PM 2,5 konsantrasyonu (çapı $2,5\mu\text{m}$ 'den küçük partikül oranı) $25\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü aşması durumunda sağlıksız kabul edilmekte, $200\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'yi aşması durumunda sarı alarm verilmektedir. Pekin belediyesi fazla partikül emisyonu yayan 300 bin aracı aşamalı olarak trafikten kaldıracağını bildirmiştir (Wang vd, 2017). Benzer olaylar geçmişte de yaşanmış, 1952'de Londra'daki sis faciasında 10 binden fazla insan ölmüştür (Shanmughasundaram vd, 2017). Devletler bunun gibi büyük trajik olaylar üzerine trafik kaynaklı emisyonların azaltılması yönünde otomotiv üretim firmalarına yaptırımlar uygulamıştır. Geçmişten günümüze emisyonların azaltılması yönünde sürekli devam eden AR-GE çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalara özellikle otomotiv firmaları ve üniversiteler öncülük etmektedir. Literatüre bakıldığında çalışmaların genellikle oluşan emisyonların bertarafı üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Fakat motor içi yanma şartları veya yanma reaksiyonuna katılan reaktiflerin oranlarının değiştirilerek müdahale edilmesi, böylece emisyonlar oluşmadan önce kontrol edilmesi üzerine olan çalışmaların azlığı dikkat çekmektedir. Literatürde görülen bu eksiklik ve gereksinimin azaltılması amacıyla bu çalışmada yanma öncesi şartların kontrolüne ve buna bağlı olarak emisyonların kontrollü olarak azaltılması üzerine yoğunlaşmıştır.

1.1. Çalışma ve Gerekçesi

Gün geçtikçe önemi daha da artan çevre kirliliği ve küresel ısınma sorunları insanlığı bu konularda çözüm arayışlarına yönlendirmekte, bu yüzden ilgili alanlardaki araştırmalar günden güne artmaktadır. Günümüz itibari ile içten yanmalı motorların sabit emisyon değerleri için performansının artırılması veya sabit performans için emisyon değerlerinin düşürülmesi otomotiv üreticileri, üniversitelerin mühendislik ve teknoloji araştırmacıları, yakıt laboratuvarları tarafından yoğun bir biçimde araştırılmaktadır. Yapılan literatür araştırmaları sonucu çoğu emisyon azaltma üzerine yapılan çalışmaların yanma sonrası (aftertreatment) şartlar üzerine, performans artışı çalışmalarının ise motor tasarımı ve çalışma şartları üzerine yoğunlaştığı, fakat silindir öncesi (yanma öncesi-pretreatment) yöntemlerdeki araştırmaların yetersiz düzeyde olduğu görülmüş, bu doğrultuda yapılacak bir emisyon iyileştirme çalışmasının bu eksikliğin tamamlanmasına önemli katkıda bulunabileceği öngörülmüştür. Elde edilen bu bulgulardan dolayı emisyon iyileştirme çalışmaları için silindir öncesi yöntemlerin araştırılması, geliştirilmesi ve yöntemlerin bir arada kullanılarak elde edilecek en iyi sonuçlar için optimum çalışma parametrelerinin tespit edilmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada yanma öncesi yöntemlerden üç tanesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bunlar; fotokatalitik etki yardımı ile benzin özelliklerinin iyileştirilmesi, motor emme havasının adyabatik nemlendirilmesi ile yanma esnasındaki sıcaklıkların kontrolü, diğeri ise motor emme havasının oksijen yönünden belli oranlarda zenginleştirilmesi ile yanma veriminin artırılması ve yanmamış hidrokarbonların azaltılması üzerinedir.

Fotokatalizin benzin üzerine etkileri ile ilgili literatürde herhangi bir çalışma bulunamamıştır. Bu yüzden fotokatalitik etki için yapılacak çalışmada herhangi bir öngörüde bulunulamamış, tamamen deneme mahiyetinde olmuştur.

Benzin yapısı itibariyle 200'den fazla hidrokarbondan oluşur. İçeriğinde kütlece %83-87 karbon, %11-14 hidrojen bulunur (Pulkrabek, 2004). Bu yapı içerisinde doymuş hidrokarbonlar ve doymamış hidrokarbonlar, ayrıca yakıt katkıları (oktan artırıcılar, deterjanlar...) bulunur. Doymuş hidrokarbonlar dumansız yandığından benzin içerisindeki oranının yüksek olması istenir. Bu yüzden fotokataliz yardımıyla doymuş hidrokarbonların oranını artıracak herhangi bir etkinin is emisyonlarını azaltacağı, yine fotokataliz yardımıyla doymamış hidrokarbonlara OH⁻ iyonları eklenmesi durumunda ortaya çıkabilecek alkol türevlerinin (etanol,

metanol....) oktan sayısını artırıcı bir etki yapacağı, emisyonlarda azaltıcı bir etki oluşturacağı düşünülmüştür.

Literatürde CO₂'den çeşitli yakıtlara dönüşümler üzerine çalışmalar olması (Dey vd, 2004; Usubharatana vd, 2006; Yamashita vd, 1998) benzin yakıtından çeşitli kimyasal dönüşümler veya bağ kırılmaları veya zayıflamaları yoluyla ara özelliklere sahip yakıtlar elde edilebileceği izlenimi vermektedir. Gözlemlenen bu sebeplerden dolayı fotokatalizin benzin yakıtı ve emisyonlar üzerine etkilerinin incelenmesi çalışma koşullarına dâhil edilmiştir. Yanma öncesi emisyon azaltma önlemleri için bir diğer yöntem emme havasının şartlandırılmasıdır. Emme havasının soğutulması motorlar için volümetrik verimi arttırırken; nem oranının arttırılması yanma hızını düşürerek anlık yüksek sıcaklıkları düşürür ve NO_x emisyonlarının azalmasına neden olur. Emme havasının şartlandırılması ile ilgili bir diğer yöntem ise silindir içi yanma hızını arttırarak yanmamış HC emisyonlarını azaltan oksijen ile zenginleştirme yöntemidir. Burada nemlendirmenin adyabatik olarak yapılması hava içerisine püskürtülen atomize suyun buharlaşma ısını havadan almasını ve motor emme havasının soğumasını sağlar. Nemlendirme ve oksijen zenginleştirme yöntemleri yanma hızını kontrolü ve optimum değerlere getirilmesi amacı ile bir arada kullanılmıştır.

1.2. Geçmişteki Çalışmalar

Bu tez çalışmasının konusu belirlenirken öncelikle silindir öncesi yöntemlerle ilgili geniş bir literatür taraması yapılmıştır. Tez konusuna ilişkin literatürler ana başlıklar halinde toplanarak ilerleyen sayfalarda verilmiştir.

1.2.1. Fotokataliz ile ilgili çalışmalar

Bağıl nemin CO₂'nin fotokatalitik dönüşümüne etkisinin incelendiği bir çalışmada Cu ve Pt nano parçacıkları ile fonksiyonlandırılmış TiO₂ kullanılmıştır. Deneylerde ana madde olarak metan'ın yanında hidrojen ve karbon monoksit elde etmişlerdir. Degussa P25 isimli TiO₂ ile kaplanmış levhada %9,6 Cu ve %8,7 Pt kullanımı optimum sonuçlar vermiş, %55 bağıl nem oranında ise en yüksek dönüşümü elde etmişlerdir (Rani vd, 2014).

Fotokatalitik etki yardımıyla CO₂'nin CH₄ ve CO'ya dönüştürüldüğü bir çalışmada anataz formunda TiO₂ kullanılmış olup absorbe edilmiş proton varlığının karbondioksitten metana dönüşümde daha etkili olduğunu gözlemlenmiştir. %100 titanyum tetraklorid içerikli cam ile hazırlanmış TiO₂'nin (HC katkılı) metan sentezinde çok etkili olduğu gözlemlenmiştir (Civiş vd, 2016).

Preethi vd, (2016) yaptıkları hidrojen üretimi çalışmasında nitrojen katkılı TiO₂ kullanarak sudan ayrıştırma yolu ile hidrojen elde etmişlerdir. En fazla hidrojen üretimini Pt eklenmiş azot katkılı fotokatalistler ile elde etmişlerdir.

CO₂'nin fotokatalitik etki ile redüklenmesi üzerine yapılan bir çalışmada iyot katkılı TiO₂ kullanılarak görünür ışık altında CO₂ redüklemesi araştırılmıştır. İndirgeyici olarak su kullanılmış olup, yapılan iyot katkısının fotokataliz performansını artırdığını gözlemlenmiştir (Zhang vd, 2011).

He vd, (2016) yaptıkları çalışmada TiO₂ nano levhalarının yüzeylerini sülfürik asit ile modifiye ederek karbondioksitten metan üretimini incelemişlerdir. Asit ile yapılan modifikasyonun TiO₂'nin görünür ışık altındaki aktivitesini ve görünür ışık absorpsiyonunu artırdığını tespit etmişlerdir.

Su ve hidrojenin redüktör olarak kullanıldığı CO₂'den metana dönüşümün incelendiği bir araştırmada NiO (nikel oksit) ve In₂O₃ (indiyum oksit) katkılı TiO₂ fotokatalizör olarak kullanılmıştır. Yapılan incelemelerde TiO₂'ye katkı yapılması ile fotokatalitik CO₂ redüksiyonunun arttığı, redüktör olarak su yerine hidrojen kullanılması durumunda ise redüksiyonun 1,5 kat arttığı gözlemlenmiştir (Tahir vd, 2016).

Azot katkılı TiO₂ kullanılarak yapılan CO₂'den metan ve metanol üretimi ile ilgili bir çalışmada azot katkısının dönüşümü belirgin derecede artırdığı gözlemlenmiştir (Akple vd, 2015).

Piumetti vd, (2014) yaptıkları derleme çalışmasında karbondioksitin yakıt dönüşümünde kullanılan fotokatalistleri incelemişler ve TiO₂'nin diğerlerine göre en etkin fotokatalist olduğunu; katkılılandırılarak özelliklerinin belirgin derecede geliştirilebildiğini tespit etmişlerdir.

Nikel katkısının TiO₂ etkinliğine etkilerinin incelendiği bir çalışmada indirgeyici olarak su kullanılmış ve nikel katkılı TiO₂ tabakaları dört saat ışığa maruz bırakılmıştır. En fazla ürün olarak metanol bunun yanı sıra etanol ve asetaldehit elde edilmiştir. Ağırlıkça %1 nikel katkılılandırmasının en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir (Ola vd, 2013).

TiO₂ partikül boyutlarının CO₂ indirgemesine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada partikül boyutu küçüldükçe etkinliğin arttığı fakat 14 nm'den sonra azaldığı tespit edilmiştir (Kočí vd, 2009).

Wu, (2009) CO₂'nin yakıtta dönüşümü üzerine yaptığı çalışmada; fotokataliz kullanmış ve ışık taşınımı için fiber optik kablo, redüktör olarak su kullanmıştır. Klasik bir reaktöre göre fiber optik kablo kullanımının ışınlam kaybını azalttığını gözlemlemiştir.

Bir hayvansal ürün tesisinin zararlı atıklarını bertaraf etmek amacıyla fotokatalizin kullanıldığı araştırmada, tesisin duvarları TiO₂ katkılı boya ile boyanarak ortam havası temizlenmeye çalışılmıştır. Metan düzeyinde büyük ölçüde, amonyakta ise düşük seviyelerde azalma gözlemlenmiştir (Costa vd, 2012).

Şam vd, (2007) yaptığı derleme çalışmasında fotokataliz ve fotokatalizörlerin bakteriler üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Gümüş, molibden ve tungsten katkısının TiO₂'nin antibakteriyel aktivitesine ve gün ışığında uyarılabilirliğine olan etkilerini tartışmışlardır. TiO₂'nin çeşitli katkılar kullanılarak günlük hayatta farklı amaçlarla (hidrofobik yüzeyler oluşturulması, kendini temizleyen yüzeyler oluşturulması, hava ve sudaki biyolojik yapıların arıtılması, kanserin durdurulması, çeşitli ortamlarda bakteri temizliği...) kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

NO_x bertarafı üzerine yapılan bir derleme çalışmasında seçici fotokatalitik redüksiyonları, TiO₂ için incelenmiş, bu yöntemle ilgili çalışmalarda TiO₂ yüzey alanı ve içine katılan alaşımlar, kullanılan ışıklandırma yöntemi, harcanan güçler ve verimler karşılaştırmıştır. TiO₂ ile fotokatalizin etkin bir yöntem olduğu fakat gün ışığındaki aktivitesinin yetersiz olduğu belirlenmiştir (Lasek vd, 2013).

Guarino vd, (2008) amonyak atıklarını bertaraf etmek ve ahır ortam havası temizleme amaçlı yaptıkları deneylerde; ahır duvarlarını TiO₂ nano parçacık katkılı boya ile boyamışlar ve güneş ışığı yerine yapay solar lambalar kullanmışlardır. Çalışmalarında biri deney diğeri kontrol odası olmak üzere iki oda kullanmışlar ve deney odasında elde ettikleri sonuçları, şartları değiştirilmemiş kontrol odasının sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Yaptıkları gözlemlerde NH₃ düzeyinin ortalama %30,5 civarında azaldığını, CH₄ emisyonlarının ise %15 düzeyinde azaldığını tespit etmişlerdir.

Yüksek aktiflikteki nanokatalistlerin kullanıldığı bir çalışmada su buharı ve karbondioksitin hidrokarbonlara dönüşümü incelenmiştir. Sonuç olarak en hızlı

dönüşüm %9,6 bakır ve %8,7 platinyum katkılı yüzey ile elde edilmiştir (Rani vd, 2014).

D'Auria vd, (2009) yaptıkları çalışmada ham petrolün indirgenmesinde zeolit üzerine fotokatalizin basit fotokimyasal indirgemedenden çok daha iyi bir yöntem olduğunu bulmuşlardır.

Asetik asitten fotokataliz yoluyla yararlı hidrokarbon ve hidrojen üretiminin araştırıldığı bir çalışmada katalizör olarak lantanid ile modifiye edilmiş TiO_2 kullanılmış, anataz formundaki TiO_2 'nin yüzey alanı arttırılmıştır. CH_4 üretimi için en aktif fotokatalizör olarak molce %0,05 Sm (Samaryum) içeren TiO_2 tespit edilmiştir (Asal vd, 2011).

Einaga vd, (2002) yaptıkları çalışmada 4 hidrokarbonun (benzen, toluen, siklohegzen ve siklohegzan) fotokatalitik oksidasyonunu ve reaktivasyonunu karşılaştırmak için incelemişlerdir. Oksidasyon oranının kuvvetli derecede hidrokarbonun yapısına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Toluene ve siklohegzen için fotooksidasyon oranının nem oranı düştükçe azaldığını (TiO_2 yüzeyindeki karbon depolanmasında artışa bağlı olarak), siklohegzen için nem oranı düştükçe fotooksidasyonun arttığını gözlemlemişlerdir.

Hidrojen oksijenatları üretmek amacı ile yapılan bir çalışmada CH_4 ve CO_2 'nin $ZnO-TiO_2$ ve SiO_2 katalizörleri yardımıyla fotokatalizi araştırılmıştır. TiO_2 yüzeyler üzerine uygun miktarda ZnO uygulanmasının katalizörlerin reaktivitesini ve üretimi artırdığı belirlenmiştir (Wang vd, 2005).

Literatür incelendiğinde, motor yakıtının kimyasal özelliklerini zenginleştirme veya yanma özelliklerini iyileştirme yönünde çalışmaların genellikle katkı metotları üzerine yoğunlaştığı fakat direkt kimyasal özelliklerini, aktiflik düzeyini değiştirme yönünde çalışmaların yetersiz düzeyde olduğu ve bu yönde yapılacak bir çalışmanın bu eksikliğin tamamlanmasına önemli katkıda bulunacağı düşünülmüştür. Literatürde TiO_2 üzerine çok fazla çalışma olmasına rağmen motor yakıtı üzerine etkilerinin araştırılmadığı gözlemlenmiş ve bu konuda herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu amaçla fotokatalitik etkinin benzin yakıtı üzerinde oluşturduğu değişimler araştırılmıştır. Çalışmada anataz/rutil oranı 80:20 ve ortalama parçacık boyutu 25 nm olan Ticari Degussa P25 isimli TiO_2 kullanılmıştır. İlk işlem olarak saf benzin fotokatalize tabi tutulmuş fakat tatmin edici sonuçlar alınamamıştır. Daha sonra fotokatalizin etkinliğini artırmak amacı ile etanol ve metanol katkıları uygulanmış ve fotokataliz işlemi tekrarlanmıştır.

1.2.2. Nemlendirme ile ilgili çalışmalar

Nemlendirme metodunun içten yanmalı motorlara uygulanmasında başlıca dört yöntem bulunmaktadır. Bunlar; silindir içine ayrı bir enjektörle su enjeksiyonu, emme manifolduna su enjeksiyonu, emme manifolduna buhar enjeksiyonu ve yakıt su emülsiyonu yöntemleridir. Tüm bu yöntemler NO_x emisyonlarında genel bir azalmaya neden olurken yakıt-su emülsiyon yöntemi aralarında en etkin ve en ucuz yöntem olarak görülmektedir. Ayrıca mikro patlama teorisine göre partikül ve duman emisyonları da azalmakta, atomizasyon ve karışma oranı ise artmaktadır (Mello ve Mellor, 1999; Murayama vd, 1978). Yakıt su emülsiyonları genellikle maksimum yanma sıcaklıklarını azaltıcı bir etkiye sahiptir. Bu etki nedeniyle yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının kontrolünde etkin bir biçimde kullanılır. Klasik su kullanım yöntemleri yağlama yağının kalitesini azaltmakta, dolaylı olarak motor içi parçalarda aşınmayı artırmaktadır. Bu yüzden araştırmacılar su buharı yöntemine yönelmişlerdir. Buhar enjeksiyon tekniğinin dizel motorlara uygulanması motor performansını artırmakta, azot oksit emisyonlarını azaltmaktadır.

Buhar enjeksiyonunun biyoyakıtların yanması üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, sonuçlar fakir ve zengin yanmalar için %0-5 buhar enjeksiyonlarında karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir. Zengin yanma şartlarında diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında buhar enjeksiyon oranına karşılık NO miktarındaki azalma biyodizel yakıtlarda daha yüksektir. Fakir yanma şartlarında tüm yakıtların sonuçları benzerdir. Yanma üzerine buhar enjeksiyonu (biyoyakıtlar için) CO₂, N₂, O₂, CO, H, O, OH ve NO değerlerini azaltmış, özgül ısı değerlerini artırmıştır (Gonca, 2015).

Buhar enjeksiyonunun etanol-dizel karışımları üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada modifikasyonsuz şekilde etanol ilavesinin NO_x emisyonlarını kötüleştirdiği, fakat buhar enjeksiyonu metodunun NO_x emisyonlarını azalttığı, motor performansını geliştirdiği gözlemlenmiştir (Gonca, 2014).

NO_x emisyonlarının kontrolü için buhar enjeksiyon tekniği ve EGR'nin bir arada kullanıldığı bir araştırmada yakıt kütlesine oranla %20 buhar (S20), %10 EGR (EGR10) bir arada uygulanmıştır. Deneysel sonuçlarda NO emisyonları S20+EGR10 şartları için %48,3 azaldığı gözlemlenmiştir. Buhar enjeksiyonunun torku artırdığı, EGR ile birlikte uygulanması durumunda tüm şartlarda azalttığı tespit edilmiştir. Buhar enjeksiyonunun EGR ile birlikte uygulanmasının özgül yakıt tüketiminin çok az artışı ile birlikte iyimser sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır (Kökkülünk vd, 2014).

Buhar enjeksiyon metodu ve Miller çevriminin birlikte kullanıldığı dizel motor ile yapılan NO emisyonu kontrolü üzerine bir çalışmada 5° ve 10° geciktirilmiş Miller çevrimi ve yakıta kütlece %10, 20 ve 30 oranda buhar enjeksiyonu uygulanmıştır. Deneysel çalışmada NO emisyonları %48'e kadar azalmış, HC ve CO emisyonları ise sırasıyla %46 ve %34 oranında azalmıştır. Optimum şartlar 10° gecikme ve %30 buhar enjeksiyonu için elde edilmiştir (Gonca vd, 2014).

%20 tütün yağı metil esteri karıştırılmış dizel ile yakıtlandırılmış dizel motorda buhar enjeksiyonunun etkilerinin incelendiği bir çalışmada %10 ve %20 buhar oranında enjeksiyonların performans ve emisyonlara etkileri araştırılmıştır. Buhar emme manifolduna püskürtülmüş, düşük devirlerde %10, yüksek devirlerde %20 buhar oranı optimum olarak bulunmuştur. Performans göz önüne alındığında %20 buhar oranının emisyonlar göz önüne alındığında ise %10 buhar oranının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Parlak vd, 2013).

Turbojet yanma odasına direkt buhar ve su püskürtülmesinin araştırıldığı bir çalışmada yakıt debisinin iki katı buhar püskürtülmesi durumunda NO emisyonlarında %16'ya kadar azalma elde edilmiştir. Yakıt debisine eşit miktarda buhar kullanılması durumunda CO emisyonlarının azaldığı, iki katı buhar kullanılması durumunda ise arttığı gözlemlenmiştir (Benini vd, 2009).

Elektrik kontrollü buhar enjeksiyon metodunun dizel motora uygulandığı bir çalışmada deneylerde yakıt debisinin kütlece %10, 20, 30 oranlarında buhar enjeksiyonu uygulanmıştır. 2400 d/dk hızda özgül yakıt tüketiminde %6.1 artış gözlemlenirken, NO emisyonları 1200 d/dk hızda %22,4 iyileşme göstermiştir (Kökkülünk vd, 2013).

Benzinli motorda buhar enjeksiyonu üzerine yapılan başka bir çalışmada yakıt debisinin kütlece %10, 20 ve 30 oranlarında buhar enjeksiyonu yapılmış, optimum sonuçlar %20 buhar enjeksiyonu için elde edilmiştir. Özellikle NO ve HC emisyonlarında belirgin derecede iyileşmeler tespit edilmiştir (Cesur vd, 2013).

Biyodizel (palm metil ester) kullanılan dizel motorda buhar enjeksiyonunun etkilerinin incelendiği bir çalışmada elde edilen bulgulara göre biyodizel kullanımı NO_x emisyonlarını artırmakta fakat buhar enjeksiyonu NO_x emisyonlarını azaltmaktadır. Özgül yakıt tüketimi ise buhar enjeksiyonu ile hem dizel; hem de biyodizel kullanımıyla belirgin derecede artmaktadır. Duman koyuluğu ise tam yük için azalmıştır (Murthy vd, 2011).

Hindistan Teknoloji Enstitüsünde yapılan bir deneysel çalışmada; sıkıştırma ateşlemeli bir motorda su enjeksiyonu ve sıkıştırma oranı azaltılması yöntemleri kullanılarak hidrojen enerjisi paylaşımı incelenmiştir. Çalışmada düşük su debileri için manifolda zamanlamalı su enjeksiyonu yöntemi kullanılırken, yüksek su debileri için port enjeksiyon tekniği kullanılmıştır. Normal dizel şartlarına göre su eklenen çift yakıt modunda termal verimin arttığı; su eklenmeyen çift yakıt modunda ise termal verimin azaldığı gözlemlenmiştir. Enerji paylaşımı su ekleme metodu ile %66.5 artmıştır. Su eklenmesi metodu temel dizel modu ile karşılaştırıldığında HC, CO, NO_x ve duman emisyonları belirgin derecede azalmıştır. Geleneksel çift yakıt modu ile karşılaştırıldığında ise çok hafif miktarda artmıştır (Chintala ve Subramanian, 2016).

Singapur Ulusal Üniversitesinde direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda yakıtı su karıştırılarak yapılan deneysel araştırmada, turboşarjlı bir motor dört farklı yükte (%25, %50, %75, %100) yüklenerek performans ve emisyon incelemesi yapılmıştır. Yakıtı su katkısının güç çıkışı ve motor verimini azalttığı, buna rağmen tüm şartlarda özgül yakıt tüketiminin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca su katkısı yüksek yük şartlarında egzoz sıcaklıklarını azaltmış, tüm yük şartlarında NO emisyonları azalmış, düşük yüklerde CO emisyonları artarken; yüksek yüklerde belirgin derecede azalmıştır (Fahd vd, 2013).

Hidroksijen (H₂+O₂) ile zenginleştirilmiş benzinin yakıt olarak kullanıldığı bir çalışmada NO_x emisyonlarını azaltmak amacı ile emme manifolduna su püskürtülmüş, su ve benzinin kütleli akış oranı 0.25'e 1 olarak sabit tutulmuştur. %50 sabit kelebek açıklığı için 1500-5000 d/dk hız aralığında yapılan deneyler için hidroksijen eklenmesi ile elde edilen %141.1 NO_x emisyonu artışı su ekleme metodu ile %82.7 değerinde sınırlanmıştır. Ancak diğer motor parametrelerinde hidroksijen eklenmesi ile elde edilen iyileşmeler su ekleme metodu kullanılması durumunda kötüleşme göstermiştir (Karagoz vd, 2015).

Yıldız Teknik Üniversitesinde yapılan bir çalışmada, Miller çevrimine sahip dizel motorda, kam mili açısı 10° kaydırılarak sıkıştırma sürecinde alt ölü noktadan 52° sonra kapanan emme valfi 62° sonra kapanacak şekilde ayarlanmış, kütleli olarak %20 oranında buhar püskürtülerek performans değerlerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Buhar uygulaması metodu tork, güç ve termal verimi fark edilir ölçüde azaltmıştır (Gonca ve Sahin, 2017).

Hidrojen ile yakıtlandırılmış dizel motorun araştırıldığı bir çalışmada yüksek sıkıştırma oranından kaynaklı vuruntuları gidermek, hidrojeni dizel motorda

yakılabilir hale getirmek için su püskürtme metodu kullanılmıştır. Çalışmada hacimce üç farklı oranda (%5, 10, 15) ve iki farklı sıcaklıkta (27°C ve 60°C) su püskürtmesi yapılmıştır. Ayrıca su püskürtme zamanı (711° KA, 717° KA, 723° KA) etkisi hem dizel yakıt hem hidrojen için araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar %15 oranında 60°C sıcaklıkta suyun püskürtülmesinin farklı deney şartları için en yüksek silindir içi basıncı, indike torku, indike termal verimi, fren gücünü verdiği gözlemlenmiştir. En düşük emisyonlar ise %5 hacimsel oran, ve 27°C sıcaklıktaki su için gözlemlenmiştir (Taghavifar vd, 2017).

Benzinli motorun modifiye edilerek dört zamanlıdan altı zamanlıya dönüştürüldüğü bir çalışmada termal ve termodinamik etkinliğin su enjeksiyonu ile genel olarak azaldığı, silindir cidarı sıcaklıklarının ve atık egzoz ısısının azaldığı, optimum şartlar için belirlenen su oranı ve zamanlaması için motor performansının arttığı gözlemlenmiştir (Arabaci ve Icingur, 2016).

Direkt enjeksiyonlu benzinli motorda düşük yükler için su püskürtülmesinin araştırıldığı bir çalışmada 640° krank açısından itibaren 10° boyunca su püskürtülmüş; yakıtla birlikte kütlece %15 su enjeksiyonunun en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Belirli motor parçalarının soğumasına bağlı olarak ortalama efektif basınç ve verim artmış NO_x emisyonları ise azalmıştır (Wei vd, 2017).

Dizel motora buhar enjeksiyonunun incelendiği bir çalışmada katalizör olarak demir klorür (FeCl₃) kullanılmış; emme havası ile yaklaşık %3-5 kütle oranlarında buhar enjeksiyonunun, %60 ve 80 yük değerleri için sonuçları incelenmiştir. Özgül yakıt tüketimi saf dizel ile karşılaştırıldığında buhar enjeksiyonu ile yaklaşık %4 oranında azalmış, termal verim %4 artmıştır. %3 ve %5 kütle oranında buhar enjeksiyonu için maksimum basınç sırasıyla %6 ve %4 civarında azalmış, CO emisyonları sırasıyla %5 ve %8 oranında artmış, CO₂ emisyonları %1 ve %3 oranında azalmış, HC emisyonları %2 ve %5 oranında artmış, NO emisyonları %46 ve %51 oranında azalmış, egzoz sıcaklıkları ise düşmüştür (Patnaik vd, 2016).

Delhi teknoloji enstitüsünde yapılan bir çalışmada, dizel motorda aynı kütle oranında (0.4:1) yakıtta su karıştırılması ile emme portuna su püskürtülmesinin etkileri karşılaştırılmış, tüm deneyler 1500 d/dk hızda uygulanmıştır. Tam yük için NO emisyonları saf dizel için elde edilen 1034 ppm den; emülsiyon yöntemi ile 645 ppm değerine, püskürtme yöntemi ile 643 ppm değerine düşmüş, fakat kısmi yüklerde NO emisyonlarındaki azalma genellikle enjeksiyon ile daha az; emülsiyon yöntemi ile daha fazla olarak gözlemlenmiştir. İş emisyonları su enjeksiyonu ile saf dizele göre

azalmıştır. CO ve HC emisyon seviyeleri emülsiyon yöntemi ile enjeksiyon yöntemine göre daha yüksek olarak elde edilmiştir. Saf dizel ile karşılaştırıldığında emülsiyon yöntemi ile termal verim fakir yanma şartlarına bağlı olarak azalmıştır (Subramanian, 2011).

Ürdün üniversitesinde yapılan bir çalışmada dizel yakıt hacimce %5 ve 30 aralığında %5'er artışlarla su karıştırılmış, 1000-3000 d/dk hız aralığında deneyler yapılmıştır. Emülsiyon kullanımı ÖYT değerlerinde artışa yol açmasına rağmen termal verimde artışa ve NO_x emisyonlarında ise iyileşmelere sebep olmuştur. Yüksek oranlarda su ilavesi azot oksitleri azaltmış, fakat genellikle CO₂ emisyonlarında artışa yol açmıştır (Alahmer vd, 2010).

Morsy, (2015) yaptığı deneysel çalışmada bir dizel motorda emme havası üzerine çeşitli oranlarda (E/W; %25, 50, 75, 100) etanol su karışımları püskürterek değişimleri incelemiştir. Emiş havası üzerine su içeren karışım püskürtülmesi; NO emisyonlarında azalmaya yol açarken, saf etanol püskürtülmesi hafif miktarlarda artışa yol açmıştır. Tüm etanol-su karışımları için CO, HC emisyonları ve yakıt tüketimi artış eğilimi gösterirken; egzoz gaz sıcaklıkları düşme eğilimi göstermiştir. Ayrıca etanol su karışımı kullanımı termal verimlerde küçük artışlara yol açmıştır.

Gaziantep Üniversitesinde yapılan bir çalışmada LPG yakıtlı bir motorda emme manifolduna su püskürtülmesinin etkileri incelenmiş, manifold içerisine yakıt kütlece 0.125, 0.2, 0.33 ve 0.5 oranlarında su püskürtülmüştür. Çalışmada su püskürtme yönteminin hava yakıt karışımı üzerinde soğutma etkisi oluşturduğu, yanma oranlarını yavaşlattığı maksimum yanma sıcaklıklarını düşürdüğü, CO ve HC emisyonlarında değişime yol açmadan NO_x emisyonlarında %35'e varan düşüşlere neden olduğu belirtilmiştir (Ozcan ve Soylemez, 2005).

Dizel-su karışımlarının dizel motorda meydana getirdiği etkilerin incelendiği bir çalışmada dizel yakıt içerisine %10, 20 ve 30 oranlarında su karıştırılmış, daha yüksek oranlarda düzgün motor çalışması sağlanamadığından daha yüksek değerler incelenememiştir. Deneylerden elde edilen gözlemlere göre su ekleme yöntemi üst ölü nokta öncesi geri basınçları artıran tutuşma gecikmesi periyodunu artırmış, bu durum güç çıkışının azalmasına neden olmuştur. Fakat bu durum bağıl olarak çok düşük ve tolere edilebilir değerlerdedir. Güç çıkışındaki bu azalma ÖYT değerlerinde bağıl olarak artışa neden olmuştur. Maksimum basınç artış oranı ise su eklenmesi ile artmıştır (Selim ve Ghannam, 2010).

Kore’de otobüs motorları üzerinde yapılan bir çalışmada dizel yakıt içerisinde %13, 15, 17 oranlarında su karıştırılmış, setan sayısı su karıştırılmasına bağlı olarak azalmış, bu eksikliği gidermek için yakıt içerisinde %0.2, 0.5 ve 1 oranlarında setan sayısı arttırıcı yakıt katkısı eklenmiştir. Elde edilen bulgulara göre %15 su oranı en iyi sonuçları vermiştir. Düşük ve orta yüklerde emülsiyon kullanımı ÖYT’yi arttırmış tam yükte ise ÖYT’yi azaltmıştır. Su içeriği arttıkça elde edilen maksimum tork azalmış, NO_x emisyonları ve partikül emisyonları ise sırası ile %12 ve %33 oranında azalmıştır (Park vd, 2004).

Bir dizel motorda ısı akışı ve termal yükleme üzerine yapılan çalışmada saf gaz yağı ve farklı oranlarda su-dizel karışımlarının ısı akışına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre dizel su eklenmesi silindir cidarı boyunca ve silindir kafasındaki araştırılan tüm lokasyonlardaki ısı akışını ve metal sıcaklıklarını azaltmıştır (Selim ve Elfeky, 2001).

Su-dizel emülsiyonlarının dizel motorların performansı ve egzoz emisyonları üzerine yapılan bir derleme çalışmasında dizel motorlarda nemlendirme üzerine bir çok araştırma incelenmiş, kullanılan yöntemler arasında dizel-su karışımı (emülsiyon) yönteminin en etkin ve modifikasyon olmadan yapılabilen en ucuz yöntem olduğu belirlenmiştir. Ayrıca incelenen çalışmaların geneline göre; karışım yakıttaki su oranı arttıkça mikro patlama teorisi (sıvı suyun yüksek sıcaklıklardaki ortama girdiğinde aniden buharlaşarak patlama etkisine benzer genişlemesi) gereğince termal verimin arttığı, ÖYT’nin, torkun ve gücün belirgin derecede iyileştiği belirlenmiştir. NO_x emisyonları yaklaşık %45 oranında azalırken, partikül maddede ise %80-90’a varan azalma gözlemlenmiştir (Vellaiyan ve Amirthagadeswaran, 2016).

Tongji üniversitesinde yapılan bir çalışmada termal verim potansiyelini araştırmak amacı ile oksijence zenginleştirilmiş yakıt içeren otto çevrimi su püskürtme metodu ile kombine edilerek oluşturulmuştur. Hesaplama sonuçlarına göre, su püskürtme sıcaklığı 120°C olması durumunda termal verim %53, 200°C olması durumunda ise %67 oranında artmaktadır. Prototip motor üzerinde yapılan deneylerde ise uygun koşullar altında yük ve su püskürtme miktarı arttıkça, termal verim %32.1’den % 41.5’e kadar artmaktadır (Wu vd, 2014).

Mutah üniversitesinde yapılan bir çalışmada, su-dizel emülsiyonları yakıt olarak kullanılmış, hacimce %5, 10, 15, 20 oranlarında su içeren karışımlar tek silindirli, direkt enjeksiyonlu dizel motorda, 1200-3300 d/dk hız aralığında deneyler yapılmıştır. Yakıt içerisindeki su içeriği arttıkça motor torku, gücü, termal verimi

artmıştır. %20'lik su karışımı için termal verimde çalışılan devir aralığı için yaklaşık %3.5 oranında artış olmuştur. Ayrıca yakıttaki su oranı arttıkça ÖYT ve egzoz gaz sıcaklığı azalmıştır (Abu-Zaid, 2004b).

Dizel motorda su-dizel karışımlarının ve EGR'nin etkilerinin incelendiği bir çalışmada yüksek hızlı direkt enjeksiyonlu 1.5 litre hacme sahip bir dizel motora hacimce %25.6 su karıştırılmış dizel yakıt olarak uygulanmış, çalışmada öncelikle sadece emülsiyonların uygulanması araştırılmış daha sonra ise EGR yöntemi ile kombine edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; emülsiyon kullanımı ile NO_x emisyonları genellikle azalmış (%50'ye kadar) ve partikül madde oranı da azalmıştır (maksimum bağıl azalma %94). Yanma su emülsiyonlarının püskürtülmesinden büyük ölçüde etkilenmekte, temel bulgular; tutuşma gecikmesinin arttığını, yakıt ve çevreleyen gazın daha iyi bir biçimde karıştığını göstermektedir (Maiboom ve Tauzia, 2011).

Lin ve Wang, (2004) yaptıkları deneylerde; üç fazlı emülsiyonları yakıt olarak kullanmış, sonuçlar su karışimli emülsiyon kullanımının egzoz gaz sıcaklıklarını düşürdüğünü, NO_x, CO emisyonlarını ve duman koyuluğunu azalttığını göstermiştir.

Tayvan Ulusal Okyanus Üniversitesinde yapılan çalışmada yanmayı geliştirmek için mikro patlama teorisinden yararlanmak amacıyla ultrasonik yöntem ile karıştırılarak hazırlanmış su ve yağ karışımları yakıt olarak kullanılmış, böylece; NO emisyonları, is konsantrasyonu, duman koyuluğu azalmış fakat ÖYT ve CO emisyonları artmıştır. CO₂ ve O₂ emisyonları için ise belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir (Lin ve Chen, 2006).

Yapılan literatür incelemesinde yanma sıcaklıklarını düşürme, NO_x emisyonlarını azaltma amacıyla yapılan çalışmaların daha çok dizel motor üzerine yoğunlaştığı, nemlendirme metodu olarak ise çoğunlukla yakıtta su ekleme ve emme manifolduna su püskürtülmesi uygulandığı belirlenmiştir. Literatürdeki eksikliklerin giderilmesine katkıda bulunacağı ve de yeni bir bakış açısı getireceği düşünüldüğünden bu çalışmada dizel yerine benzinli motor tercih edilmiş, nemlendirme için ise diğer yöntemlerden farklı olarak emme havasına ayrı bir şartlandırma odasında atomize su püskürtülmüştür. Ayrı bir şartlandırma odası kullanılmasının hava ile suyun daha homojen karışmasını sağlayacağı, atomize su püskürtülmesinin buharlaşmayı ve evaporatif soğutmayı tetikleyeceği düşünülmüştür.

1.2.3. Oksijen zenginleştirme ile ilgili çalışmalar

Hava bileşenlerine birçok farklı yöntemle ayrılabilir. Kriyojenik ayırıştırma, basınç salınımlı adsorpsiyon, membran teknolojisi bunlardan başlıca olanlarıdır. Her yöntem farklı saflıkta, farklı basınçta ve farklı debilerde oksijen üretimi sağlar. Dahası her teknoloji farklı maliyetlere sahiptir. Kriyojenik ayırıştırma yönteminde, gaz veya sıvı olarak oksijen, nitrojen ve argon elde edilir. Ayırıştırma işlemi için çok düşük sıcaklıklarda distilasyon yöntemi kullanılır. Kriyojenik ayırıştırma yöntemi yüksek saflıklarda ayırıştırma gerektiren durumlarda kullanılır. Basınç salınımlı adsorpsiyon yöntemi ise genellikle daha düşük saflıklarda oksijen üretiminde kullanılır ($\leq 95\%$). Küçük çaplı oksijen üretimine daha uygundur.

Geleneksel membran teknolojisi havayı gözenekli bir membran filtre üzerinden geçirerek ayırıştırma işlemidir. Filtre büyük ve yavaş moleküllerin geçmesini engellerken küçük ve hızlı moleküllerin geçmesine izin verir. Oksijen küçük ve hızlı moleküllere sahipken, nitrojen ve argon büyük ve yavaş moleküllere sahiptir. Bu yüzden membran filtre üzerinden oksijen geçişi miktarı daha fazla olurken nitrojen ve argon geçişi daha az düzeylerde gerçekleşir. Eski dönem membran filtrelerinin üretim saflıkları %50'den daha düşük seviyelere sahipti. Fakat ilerleyen teknoloji sayesinde bu saflık seviyesi %90'ın üzerine çıkmıştır.

Oksijen ile zenginleştirilmiş havanın birçok uygulama alanı vardır. Kimyasal temizlik işlemleri, zehirli atık bertarafı, biyoteknoloji bunlardan başlıcalarıdır.

Literatür araştırmaları oksijen zenginleştirmenin; içten yanmalı motorlarda belirgin yanma zenginleşmesine, yanma hızı ve veriminin artmasına yol açtığını göstermektedir. Oksijen zenginleştirme yöntemi içten yanmalı motorlarda iki şekilde sağlanmaktadır. Bunlardan ilki ve yaygın olarak kullanılanı moleküler yapısında oksijen içeriği bulunan yakıtların ana yakıtla karıştırılması veya direkt olarak kullanılması şeklindedir. İkinci yöntem ise motor emme havası içerisindeki %21'lik oksijen düzeyinin daha yüksek oranlara çıkartılmasıdır. Literatürde %35 oranına kadar zenginleştirmelerin uygulandığı çalışmalar mevcuttur.

Fazlalık oksijen kullanımı, yanma süresini, tutuşma gecikmesini kısaltırken, ortamdaki bol oksijen CO oluşumunu, yanmamış hidrokarbon (HC) seviyelerinin azalmasını, is emisyonlarının seviyesinin ve partikül boyutunun azalmasını sağlar. Fakat yanma süresinin kısalması ve yanma verimindeki artışlar silindir içi sıcaklıkları çok yüksek düzeylere çıkardığından oksijen oranındaki küçük artışlar, NO_x

seviyelerinde çok büyük artışlara neden olmaktadır. Bu durum genel emisyon iyileştirmesi amaçlandığında oksijen zenginleştirme yöntemi yanında NO_x kontrolü için ikincil yöntemler gerektirmektedir. EGR, nemlendirme, katalitik konvertör bunlardan başlıcalarıdır.

Oksijen zenginleştirme yöntemi yanmayı geliştirdiği için fakir karışımların yanabilmesini, düşük kaliteli yakıtların, düşük viskoziteli yakıtların içten yanmalı motorlarda daha iyi şartlarda yanabilmesini sağlar.

Literatürde bu yönde yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Fakat çalışmaların çoğu dizel motorlar üzerine yönelmiştir. Bu yüzden bu tez çalışmasında oksijen zenginleştirme yöntemi benzinli motora uygulanarak literatüre katkıda bulunulabileceği kanaatine varılmıştır.

Cacua vd, (2012); yaptıkları deneylerde dizel-biyogaz çift yakıtlı bir motorda oksijen zenginleştirmenin etkilerini incelemişlerdir. Hacimce %22, 25, 27 oranlarında oksijen içeriğine sahip zenginleştirilmiş hava motor emme havası olarak kullanılmış, %40, 50, 70 ve tam yük için deneyler gerçekleştirilmiştir. %27 oksijen içeriğine sahip hava kullanılması durumunda maksimum basınç değerleri, standart hava deneylerine göre %25 oranında artmıştır. %22 oksijen oranı için tutuşma gecikmesi azalmasına rağmen maksimum silindir içi basınçta belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir. %40 yük ve %25 oksijen oranı için CO emisyonu standart hava deneylerine oranla %19.5'e kadar azalmıştır. Metan emisyonları tüm yüklerde %27 oksijen oranı için %35 azalmış, %50 yük %25 oksijen oranı için %38 oranında azalmıştır. Elde edilen sonuçlara göre küçük miktarlarda oksijen eklenmesi, biyogaz-dizel motorunda yanma kararlılığını geliştirirken, daha fazlası negatif etkilere yol açmaktadır. Ayrıca oksijen zenginleştirme yöntemi, düşük yüklerde termal verimin iyileştirilmesi, tutuşma gecikmesinin azaltılması, yüksek yanma oranlarının elde edilmesi, metan emisyonlarının azaltılması açısından iyileştirici bir etkiye sahiptir.

Pensilvanya Devlet Üniversitesinde yapılan bir araştırmada dört silindirli turbo şarjlı bir dizel motorda emme havası oksijen zenginleştirme ve oksijen içeriğine sahip yakıt kullanımının oksitleyici reaktivite ve dizel kurum özelliklerine etkileri düşük ve yüksek yükler için karşılaştırılmıştır. Isı salınım oranı ve silindir içi sıcaklık analizleri; oksijen zenginleştirmenin yüksek yükler için düşük yüklere göre daha uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca oksijen zenginleştirme uygulanması durumunda düşük yüklerde elde edilen kurum daha düşük ya da hiç metalik özellik içermezken yüksek yüklerdeki kurum daha yüksek metalik özellikler içermektedir. Artan oksijen konsantrasyonu,

yağlama yağı buharlaşma oranını arttırarak metal artıklarının kurumla birleşmesini arttırmaktadır (Seong ve Boehman, 2011).

Biyoyakıt karışımı (%20 kardanol, %10 metanol ve %70 dizel) ile yakıtlandırılmış dizel motorda oksijen zenginleştirmenin etkilerinin incelendiği bir çalışmada giriş havası oksijen yönünden kütlece %3, 5, 7 oranlarında zenginleştirilmiş; yanma, performans ve emisyon değişimleri incelenmiştir. Artan oksijen oranı ile CO, HC emisyonları ve dumanın azaldığı, termal verim ve NO_x emisyonlarının ise arttığı gözlemlenmiştir (Dinesha vd, 2014).

Zhang vd, (2013a) yaptıkları çalışmada oksijence zenginleştirilmiş hava ve EGR yönteminin bir dizel motorda NO emisyonları ve partikül boyutu dağılımına etkilerini incelemişlerdir. Optimal nokta için iki farklı şart elde etmişlerdir. Bunlardan ilki 1600 d/dk hız için %30-40 EGR oranı ve %21.5-22.5 oksijen oranı, diğeri ise 2200 d/dk hız için %20-45 EGR oranı, %22-24 oksijen oranı şartlarıdır.

Biyogaz ile yakıtlandırılmış motorda emme havası oksijen oranının etkilerinin incelendiği bir çalışmada tek silindirli bir dizel motor modifiye edilerek, 1500 d/dk hızda çalıştırılmıştır. Emme havası oksijen oranı hacimce %21, 22, 23 oranlarında uygulanmış, sıkıştırma oranı ise 13:1 değerinde sabit tutulmuştur. En yüksek termal verimler %21 oksijen oranı için %26.2 olurken %22 ve %23 oksijen oranı için sırasıyla %27 ve %28 olarak elde edilmiştir. Yüksek oksijen oranları için fakirlik sınırı iyileşirken, NO_x emisyonları artmış fakat HC ve CO emisyonları azalmıştır. Isı salınım oranları ise yanmanın iyileştiğini göstermiştir (Porpatham vd, 2018).

Baskar ve Kumar, (2017) yaptıkları deneylerde oksijence zenginleştirilmiş hava kullanan, dizel su emülsiyonları ile yakıtlandırılmış dizel motorda performans ve emisyon incelemesi yapmışlardır. %10 su içeriğine sahip dizel yakıt kullanımı ve %27 oksijen içeriğine sahip emme havası ile şartlandırılması durumunda dizel motorun termal veriminin iyileştiği, yanma karakteristiğinin iyileştiği, ayrıca HC emisyonlarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Perez ve Boehman, (2010) tek silindirli bir dizel motorda oksijen ile zenginleştirilmiş emme havası kullanarak yüksek rakım şartlarına göre simule etmişlerdir. 5200 m'ye kadar yükseklik uygulanmış %22 ve 23 oksijen içeriğine sahip hava kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar güç çıkışının daha çok yüke bağlı olduğunu, yakıt enjeksiyon zamanının ÖYT'nin azalmasında en önemli faktör olduğunu, oksijen zenginleştirmenin yüksek rakımlardan meydana gelen silindir içi maksimum sıcaklıklardaki azalmayı giderdiğini gözlemlemişlerdir.

Hindistan Vellore Teknoloji enstitüsünde yapılan bir araştırmada tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motor emme havasına %23, %25 ve %27 oksijen zenginleştirilmesi uygulanmış, yanma sürecinin iyileştiği, termal verimin %4-8 oranlarında geliştiği, ÖYT'nin %5-12 dolaylarında azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca HC, CO emisyonları ve duman koyuluk seviyesinde sırasıyla %40, 55 ve 60'a varan azalmalar gözlemlenmiştir. Bununla birlikte; NO_x emisyonunda ciddi düzeyde artışlar oluşmuştur (Baskar ve Senthilkumar, 2016).

İzooktanın laminar yanma hızının araştırıldığı bir çalışmada oksijen içeriği %21-29 aralığında değişen gaz karışımı ve izooktan bir yanma odasında atmosferik basınç ve 373K sıcaklıkta başlangıç şartları ile yakılmıştır. Artan O₂ veya azalan CO₂ oranları için laminar yanma hızı ve yanma kararlılığının arttığı gözlemlenmiştir (Zhou vd, 2011).

Tianjin Üniversitesinde yapılan bir çalışmada yakıt olarak su-dizel emülsiyonları emme havası olarak ise %21, 22, 23 ve 24 oksijen içeriğine sahip hava kullanılmıştır. Yanma maksimum sıcaklıklarının kontrolü ve dolayısı ile NO_x emisyonlarındaki artışın kontrol edilememesi sebebiyle emme havası içerisinde %24 oksijen oranının üzerine çıkılmamış, yakıt içeriğinde hacimce %10, 20, 30 oranlarında su kullanılmıştır. Emme havasındaki oksijen içeriği arttıkça ÖYT azalmış, silindir içi basınç artmış, tutuşma gecikmesi azalmış, yakıt içeriğindeki su katkısı arttıkça ise tersi bir eğilim gözlemlenmiştir. Düşük oksijen zenginleştirme seviyesi ve %20'den düşük su katkısı optimum şartlar olarak elde edilmiştir (Liang vd, 2013).

Zhang vd, (2013b) yaptıkları deneylerde turboşarjlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motor üzerinde su-dizel emülsiyonlarının ve oksijence zenginleştirilmiş havanın etkilerini araştırmışlardır. Artan oksijen oranı ile tutuşma gecikmesi iyileşmiş, silindir içi maksimum basınçlar hafif miktarda artmıştır.

Kolza tohumu yağının yakıt olarak dizel motora uygulandığı bir çalışmada yakıt özellikleri kötü ve viskozitesi düşük olmasından dolayı yanma şartlarını iyileştirmek için emme havasına oksijen zenginleştirme yöntemi uygulanmıştır. Giriş havası oksijen yönünden %24 oranına çıkartılmış, sonuçlar normal hava ve saf dizel kullanılması durumu ile karşılaştırılmıştır. Oksijen zenginleştirme metodu, tutuşma gecikmesini kısaltmış, silindir içi sıcaklık ve basınçları artırmıştır. Partikül madde, CO ve HC emisyonları belirgin derecede azalmış, fakat NO_x emisyonları artmıştır (Li vd, 2013).

Nguyen vd, (2011) yaptıkları modellemede bir dizel motorda ayrıık enjeksiyon (peş peşe iki kez yakıt püskürtülmesi), oksijence zenginleştirilmiş emme havası ve ağır EGR'nin is emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. İlk enjeksiyonda yakıtın %75'i, ikinci enjeksiyonda %25'i püskürtülmüş, oksijen içeriği hacimce %23'e çıkartılmış, EGR oranı %30 olarak belirlenmiş, sonuç olarak ise is emisyonları %45 oranında azalmıştır.

Oksijen zenginleştirilmesi ve su ekleme metotlarının bir arada uygulandığı düşük kalite dizel yakıtın kullanıldığı dizel motorla yapılan deneysel çalışmada, termal verim ve bundan dolayı yakıt tüketimi iyileşmiş, oksijen içeriği arttıkça görülebilir duman koyuluğu azalmış, NO_x emisyonları artmıştır. Fakat yakıt katılan su içeriği NO_x emisyonlarını azaltmıştır (Sekar vd, 1990).

İllionis Üniversitesinde yapılan bir modelleme çalışmasında, emme havası oksijence zenginleştirilmiş ve yakıt olarak dizel-su emülsiyonları kullanan dizel motorda performans araştırması yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre iki yöntemin bir arada kullanıldığı optimum şartlarda, motor iç sıcaklıklarını ve NO_x emisyonlarını kontrol altında tutarken performans iyileştirmek mümkündür. Ayrıca artan oksijen içeriği ile elde edilen yüksek yanma oranları uçuculuğu daha düşük ve daha kalitesiz yakıtların kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır (Assanis vd, 1990).

El-Ezher Üniversitesinde yapılan bir deneysel çalışmada dizel bir motor doğal gazı ana yakıt, dizeli ise pilot (tutuşturucu, ön ısıtıcı) yakıt olarak kullanacak şekilde modifiye edilmiş, emme havasına oksijen ilavesi yapılarak performans, emisyon ve vuruuntu eğilimi farklı yük şartları için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; oksijen zenginleştirmenin tüm yüklerde tutuşma gecikmesini azalttığı, maksimum silindir basıncını arttırdığı yönündedir. Yüksek yüklerde oksijen oranının %21'den 25'e çıkartılması durumunda silindir içi maksimum basınçlar %5 oranında artmıştır. Oksijen oranının %21'den %30'a çıkartılması durumunda ise özgül enerji tüketiminde yaklaşık %7 oranında azalma meydana gelmiştir. Orta yükler için oksijen oranı %21'den %30'a çıkartılması durumunda HC ve CO emisyonlarında %28 azalma görülmüştür. Ancak NO emisyonları aynı şartlar için kısmi yüklerde 4 katına çıkmıştır (Abdelaal vd, 2013).

Biyogaz, propan ve hidrojen karışımının laminar yanma hızı üzerine yapılan bir çalışmada, oksijen içeriğinin artışı, yanma hızını belirgin derecede artırdığı belirlenmiştir. Stokiyometrik şartlarda biyogaz için, %3 oksijen artışı yanma hızını

%33 artırmış, biyogaz, propan, hidrojen karışımı için ise %17 oranında artırmıştır (Cardona ve Amell, 2013).

Yanma analizi üzerine yapılan bir araştırmada dizel motorda oksijence zenginleştirilmiş emme havası kullanımının tutuşma gecikmesi, ısı salınımı, yanma oranlarına etkisi araştırılmıştır. Oksijen içeriğinin %28'e çıkarılması durumunda, tutuşma gecikmesinin %6 azaldığı, ısı salınımının ortalama %50 arttığı, maksimum silindir içi basıncın %12 arttığı belirlenmiştir. Oksijen içeriğinin %24-28 aralığındaki zenginleşmesi için ortalama %8-23 oranında yanma sürelerinde azalmalar görülmüştür (Rajkumar ve Govindarajan, 2010).

Hava ve yakıtın oksijen yönünden zenginleştirilmesinin yapıldığı teorik bir çalışmada her iki tekniğin de silindir basıncında artışa, kurumda azalmaya fakat NO_x emisyonunda ise artışa yol açtığı görülmüştür. Fakat yakıtın oksijen içeriğinin fazla olmasının hava içeriğine göre daha etkili bir yöntem olduğu tespit edilmiştir (Zannis vd, 2007).

Gaz ayrıştırıcı membranlar yardımıyla oksijeni zenginleştirilmiş havanın emme havası olarak kullanıldığı dizel motorun emisyonlarının incelendiği bir deneysel çalışmada; oksijen zenginleştirmenin duman koyuluğunu belirgin derecede azalttığı gözlemlenmiştir. Özellikle küçük boyutlu (632 cc) dizel motor için ağırlıkça sadece %1 oranında oksijen artışı %70 yük ve 1400 d/dk hız için duman oluşumunu sıfıra indirmiştir. Ancak büyük boyutlu (11149 cc) dizel motor için %24.6 oksijen içeriğine sahip hava kullanılması durumunda, duman koyuluğu %92 oranında azalmıştır. Ancak CO ve HC emisyonları belirgin derecede değişmezken; çevrim başına yüksek oksijen takviyesinden dolayı NO_x emisyonları artış göstermiştir (Byun vd, 2006).

Song vd, (2004) yaptıkları çalışmada hava ve yakıt içeriğine oksijen zenginleştirme metodu uygulamışlardır. Her iki metodun da dizel motora ait partikül madde emisyonunu azaltmada etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak havanın oksijence zenginleştirilmesi NO_x emisyonlarını belirgin derecede artırmıştır.

1990 model Chevrolet Lumina'ya ait benzinli motorun incelendiği bir çalışmada oksijen içeriği hacimce %25 ve 28 olan emme havası için CO ve HC emisyonlarının belirgin derecede azaldığı gözlemlenmiştir. Fakat NO_x emisyonları belirgin derecede artmıştır (K. Ng ve Sekar, 1994).

Sekar vd, (1991) dizel bir motorun oksijence zenginleştirilmiş emme havası kullanılması durumu için deneysel ve teorik sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak

oksijen zenginleştirmesi ile tutuşma gecikmesi ve partikül madde emisyonlarının hafif derecede azaldığını rapor etmişlerdir.

Yapılan literatür araştırmaları doğrultusunda içten yanmalı motorlarda egzoz emisyonu üzerine olan çalışmaların çoğunluğunun silindir sonrası; yani yanma tamamlandıktan sonra (aftertreatment) oluşan şartlar için araştırıldığı fakat silindir öncesi şartlandırmalara yeterince değinilmediği görülmüştür. Bu yüzden bu çalışmada egzoz emisyonlarının azaltılması için silindir öncesi şartlar değiştirilerek optimum şartların elde edildiği kombinasyonun elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda üç değişik yöntem bir arada kullanılarak egzoz emisyonlarının tümünde optimum azalmanın sağlanması hedeflenmiştir. Kullanılan silindir öncesi üç yöntem :

- ❖ Kullanılacak benzin yakıtının fotokatalitik etki ile yanma özelliklerinin iyileştirilmesi
- ❖ Motor emme havasının adyabatik nemlendirme ile soğutulması ve nemlendirilmesi
- ❖ Motor emme havasının oksijen yönünden zenginleştirilmesi şeklindedir.

Motor emme havasının oksijen yönünden zenginleştirilmesinin silindir içi yanmayı zenginleştirerek ısı verimi arttıracak, çığ yakıt oluşumu (HC emisyonları) ve eksik yanmayı (CO emisyonları) önleyeceği (yakıtın daha fazla oksijen ile temasta bulunmasından dolayı) öngörülmüş ve uygulanmıştır. Dizel motorlarda silindir içerisine fazladan hava gönderildiği ve fazladan oksijen bulunduğu için hava şartlandırma yöntemlerinin benzinli motordaki kadar etkin olmayacağı düşünülmüş; bu yüzden çalışmada benzinli motor üzerine yoğunlaşmıştır. Bu doğrultuda emme havası oksijen oranı %23 ve %25 değerlerine çıkartılmıştır. Bu oran küçük bir artış gibi görülse de, oksijen yönünden bakıldığında yaklaşık %10-20 artışa tekabül etmekte, bu durum ise yanmada beklenenden daha büyük etkilere yol açmaktadır. Fakat yanmadaki bu iyileşme ve hızlanma silindir cidarlarından atılan ısıya yanma hızı arttıkça yetersizleşmesi ve yanma sırasındaki maksimum sıcaklıkların artışı nedeni ile NO_x emisyonlarında artışa neden olmuştur. Oksijence zenginleştirmenin meydana getirdiği bu dezavantaj emme havasının adyabatik nemlendirilmesi ile giderilmeye çalışılmıştır. Basınçlı su püskürtmenin uygulandığı soğutma kabininden hava geçirilmesi giriş havasının kuru termometre sıcaklığının düşmesine; ayrıca havanın nemlenmesine yol açmıştır. Bu yöntem yardımı ile giriş havası kuru termometre sıcaklığı yaklaşık 4°C düşmüş nem oranı ise %35'den %65 ve %85'e çıkartılmıştır. Giriş havasının soğutulması yanma sonu sıcaklıklarını belirgin derecede düşürmüştür. Yapılan

literatür araştırmalarında nemlendirme yönteminin kullanıldığı fakat adyabatik yolla soğutma etkisinin yeterince araştırılmadığı görölmüştür. Bu nedenle adyabatik nemlendirme yöntemi tercih edilmiştir.

Kullanılan diğer yöntemde ise; fotokatalitik etki ile yakıtın yanma özelliklerinin yanmanın iyileşeceği yönde geliştirilebileceği düşünölmüştür. Fotokatalitik malzeme kullanılarak yakıtın tam yanma oranının artırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda yakıt üzerine TiO₂ fotokatalisti ve ultraviyole (UV) ışık yardımı ile fotokataliz uygulanmıştır. Saf benzine uygulanan fotokataliz işlemi sonrası yeterli ölçüde bir değişim oluşmadığı için yakıt içerisine etanol ve metanol katkıları yapılarak belirli değişimler elde edilmiştir.

Burada yöntemlerin birlikte kullanılmasının sebeplerinden bir tanesi istenen zararlı egzoz emisyonlarındaki dramatik düşüşlerin tek bir yöntem ile karşılanmasının zorluğudur. Çünkü uygulanan bir yöntem bazı zararlı egzoz emisyonlarını azaltırken diğerlerini artırabilmektedir. Diğer yandan egzoz emisyonlarındaki düşüşler sağlanırken motor performansının ve veriminin bundan menfi yönde etkilenmemesi çok önemlidir. Burada önerilen yöntemler kombine şekilde uygulandığında yukarıda sıralanan kriterler çerçevesinde motor performansından ve veriminden ödün vermeden zararlı egzoz emisyonlarında önemli düşüşler yapacak şekilde seçilmiş ve uygulanması planlanmıştır. Özetleyecek olursak,

1. Havadaki oksijeni veya azotu zenginleştirmek için kullanılan özellikle polimer membranların basınç dayanımlarının az olması dolayısıyla kapasiteleri sınırlıdır. Bu çalışmada kullanılan PSA sistemin basınç dayanımının ve debisinin yüksek olması nedeniyle benzerlerine göre daha iyi sonuç alınmıştır.
2. Fotokataliz yöntemi ile motor yakıtının özelliklerini zenginleştirme veya yanma özelliklerini iyileştirme şeklinde çalışmalar olmadığından literatürdeki eksiklikleri tamamlama yönünde olumlu katkılar olmuştur.
3. Her ne kadar literatürde nemlendirme ile ilgili çalışmalar olsa bile adyabatik nemlendirme yardımıyla soğutma etkisinin yeterince çalışılmış olmadığı belirlenmiştir.
4. Egzoz emisyonlarının azaltılmasında kullanılan mevcut veya önerilen yöntemlerin yakıt ekonomisi veya bir zararlı egzoz emisyonunu azaltırken bir başka zararlı emisyonu kötüleştirmesi nedeniyle bu yöntemlerin birkaçı beraber kullanılarak hem

egzoz emisyonları hem de diğer motor performans parametreleri bir arada iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Performans kaybı olmadan egzoz emisyonlarının kontrolü için bu çalışmada üç yöntem belirlenmiştir. Oksijence zenginleştirme; HC ve CO gibi emisyonların azaltılmasına imkan sağlarken; adyabatik nemlendirme NO_x emisyonlarının kontrolünde kullanılmıştır. Ayrıca fotokataliz yöntemi vasıtasıyla yakıt yanma karakteristiklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu olanaklar denendikten sonra; son olarak yöntemlerin birbiriyle kombine şekilde kullanılarak nihai amaç için optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Fakat yakıt üretimindeki olumsuzluklar nedeni ile fotokataliz yöntemi kombinasyona dahil edilememiştir.



2. GENEL BİLGİLER

Artan nüfus ve kalkınmayla birlikte kara taşıtlarının sayısının da artması, hava kirliliğinin artmasına; ayrıca küresel ısınmaya neden olan sera gazları salınımının artmasına yol açmaktadır. Bu yüzden hava kirliliğine neden olan egzoz emisyonlarının azaltılması önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Sürecin devamında devletler otomotiv üreticileri için emisyonlar ile ilgili belirli sınırlamalar getiren yasalar oluşturmaktadırlar. Avrupa Birliği ilk emisyon standardını (Euro 1) 1993 yılında yayımlamış, ardından Euro 2, 3, 4, 5 standartlarını sırayla yayımlamış olup en son olarak 2014 yılı için Euro 6'yı hafif yolcu araçları ve ticari araçlar için yayımlamıştır. Belirtilen Euro 6 standartlarına göre hafif sınıf benzinli ticari araçlar için NO_x emisyonlarının 0.06 g/km, ve HC emisyonlarının 1 g/km seviyesine düşürülmesi zorunlu hale getirilmektedir (Anonim, 2010). Otomotiv şirketleri önerilen bu şartları sağlamak için daha çok silindir sonrası yöntemler üzerine yoğunlaşmakta; silindir öncesi yöntemler üzerinde yeterince araştırma yapılmamaktadır. Fakat tüm emisyon azaltım yöntemlerinin silindir sonrasına yönlendirilmesi ve emisyon oluştuktan sonra bertaraf edilmesi işletme maliyetlerini belirgin düzeyde artırmaktadır. Bu nedenle emisyonlar henüz oluşmadan önlemlerin alınmasının işletme maliyetini düşüreceği öngörülmüştür. Öngörülen bu nedenden dolayı yapılacak çalışmada standart bir benzinli motorda egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi için silindir öncesi yöntemler kullanılarak emisyon seviyelerinde belirgin derecede düşüş ve silindir sonrası yöntemlerin yükünün azaltılması; böylece işletme maliyetlerinin düşürülmesi; ayrıca literatürdeki silindir öncesi yöntemlere ait eksikliklerin azaltılması hedeflenmiştir.

Taşıtlarda kirlletici egzoz emisyonlarının azaltılması yönünde alınan önlemler niteliklerine göre üçe ayrılır:

- ✓ Birincil (primer) yöntemler-yanma öncesi önlemler: Kullanılan yakıtın fiziksel özelliklerinin kirlletici emisyon salınımını iyileştirecek yönde değiştirilmesi, motor giriş havasının emisyon iyileştirici yönde kontrol edilmesi (nemlendirme, fakir karışımli motorlar....).
- ✓ İkincil (sekonder) yöntemler-yanma esnasında önlemler: Emisyonların, motorda yanma esnasında veya diğer motor içi durumlarda oluşumunu önlemek (egzoz gazı resirkülasyonu, yanma odası tasarımı...)

- ✓ Üçüncül (tersiyer) yöntemler-yanma sonrası önlemler: Zararlı salınımları egzoz gazı içeriğinden temizlemek (termik reaktör, katalitik konvertör, partikül filtresi...)

Bu çalışmada literatür incelemeleri sonucu silindir öncesi incelenen yöntemlerin azlığı fark edilmiş; bu yönde yapılacak araştırmaların bu eksikliği gidereceği kanısına varılmıştır. Silindir öncesi uygulanan yöntemlerde ele alınan parametreleri sıralayacak olursak ;

- ❖ Motor emme havası sıcaklığı ve basıncı
- ❖ Yakıt püskürtme şekli
- ❖ Ateşleme noktası
- ❖ Sıkıştırma oranı
- ❖ Buji sayısı, tasarımı ve tırnak aralığı
- ❖ Eşdeğerlik (veya hava fazlalık) katsayısı
- ❖ Yakıtı su karıştırma
- ❖ Yakıt fiziksel ve kimyasal yapısı
- ❖ Motor emme havasının nemlendirilmesi
- ❖ Oksijen Konsantrasyonu
- ❖ Azot Konsantrasyonu

Teorik olarak motor içerisinde yalnızca karbon ve hidrojenden oluşan yakıtın tam yanması sonucunda diğer zararlı ürünler hariç sadece CO₂ ve H₂O oluşması beklenir. Ancak, bilindiği üzere bir motorun yanma odasında oluşacak kimyasal reaksiyon prosesleri için çok az bir zaman söz konusudur ve hava yakıt karışımının homojen olmaması, sıcaklık dağılımının heterojen olması ve sıcaklıklardaki ani değişimler, kimyasal proseslerin ideal termodinamik denge durumuna ulaşmasına izin vermezler. Bundan dolayı egzoz gazları içerisinde tamamlanmamış yanma ürünleri bulunur. Ayrıca bu yanma ürünlerine ek olarak, havada seyreltici olarak bulunan inert azotun yüksek sıcaklıklardaki oksidasyonu ile oluşan NO_x'ler de bulunur. Motor yanma odasında gerçekleşen yanmaya birçok parametrenin etkisi söz konusudur, dolayısıyla yanma sonucu oluşan zararlı egzoz emisyonu diye adlandırılan bütün kirleticilerin oluşum mekanizmaları bu etkiler ile birlikte değerlendirilmek zorundadır. Zira herhangi bir kirleticinin egzoz emisyonu içerisindeki oranını azaltmaya çalışırken bir başka kirleticinin miktarını artırmanız söz konusudur. Bu çalışmada birden fazla yöntemi ayrı ayrı ve bir arada değerlendirerek egzoz gazlarında belirlenen hedefi

gerçekleştirecek şekilde bu yöntemleri tek başına ve bir arada kullanarak optimum şartların belirlenmeye çalışılması önerilen çalışmanın ana hedefidir. Çalışmadaki bir başka amaç da egzoz emisyonlarını azaltırken aynı zamanda motor performansının iyileştirilip iyileştirilemeyeceği veya en azından motor performansında önemli bir kayıp olmaksızın belirlenen zararlı egzoz emisyonlarının azaltılmasının başarılıp başarılamayacağını ortaya koymaktır.

İçten yanmalı motorlarda yanma sürecine etki eden en önemli faktörlerden biri yanma ortamındaki oksijen miktarıdır. Oksijen miktarının fazla olması yanmayı iyileştirmekte ve hızlandırmakta, az olması yanmayı kötüleştirmekte yanma hızını düşürmektedir. Yanmanın kötüleşmesi durumunda HC, CO emisyonlarında, egzoz dumanı koyuluğunda artış görülmektedir. Yanmanın iyileşmesi ve hızlanması durumunda ısı verim artmakta, HC, CO emisyonları azalmakta fakat bu iyileşmelerin yanı sıra NO_x emisyonlarında artış meydana gelmektedir. Tüm emisyonların azaltılması göz önüne alındığında yanma şartlarının çeşitli yöntemlerle optimum şartlara getirilmesi gerekmektedir.

Azot oksit (NO) ve Azot dioksit (NO_2) genellikle birlikte bulunurlar ve NO_x 'ler olarak isimlendirilirler. NO_x 'ler içerisinde miktar olarak NO yüksek oranlarda bulunur. NO'nun ana kaynağı motorlarda yakıcı olarak kullanılan emme havası içerisindeki moleküler azottur. Yüksek sıcaklık ve yüksek oksijen konsantrasyonu, NO oluşum miktarını artırır. Oksijen ile zenginleştirme yöntemi; yanma sonu sıcaklıklarının artmasına neden olabileceği için NO_x emisyonlarında artışa neden olur. Ancak oksijenle zenginleştirme ateşleme geciktirmeye olanak tanıyacağı için artan NO_x emisyonlarının düşürülmesini sağlayacak bir imkânı da beraberinde getirmektedir.

NO_x emisyonu kontrolü için silindir içi yanmanın hızı, oluşan maksimum sıcaklıklar ve silindir içi homojenliğin incelenmesi gereklidir. Yanma sırasında NO_x emisyonu üç farklı şekilde oluşur (Brijesh ve Sreedhara, 2013):

- ❖ Zeldovich mekanizması ile ifade edilen ve asıl kısmı oluşturan ısı NO_x emisyonu (%90-95),
- ❖ Alev cephesinin önünde yerel sıcaklığın 2500K'i geçtiği yerlerde ani oluşan NO_x emisyonu (%5-10),
- ❖ Yakıt içerisinde bulunan azot içeriğinin oksitlenmesiyle oluşan NO_x emisyonu (%1'den az).

Yakıt içeriğindeki azottan kaynaklanan emisyonlar ihmal edilebilir. Isıl ve ani oluşan NO_x emisyonu ısı ve sıcaklıkla ilişkilidir. Bu yüzden oluşturulması gereken yöntemler silindir içi ısı geçişleri ve sıcaklık dağılımını kontrol etme yönünde olmalıdır. Yanma hızı artışı, silindir cidarlarına yakın noktalara ısı dağılımı için gerekli süre tanımadığından yerel sıcaklık yükselmelerine (yakıt çekirdeği bölgesi) neden olarak alev önünde ani NO_x emisyonu oluşumuna neden olur. Ayrıca silindir içi sıcaklık dağılımının yüksek olması ısı NO_x emisyonunu tetikler. Bu çalışmada yanma hızı kontrolü için giriş havasını nemlendirme, sıcaklık dağılım değerlerini düşürmek için ise dolaylı olarak giriş havasını soğutma uygulanmıştır. Adyabatik nemlendirme için gerekli olan suyun gizli buharlaşma ısısı, giriş havası iç enerjisinden çekilerek havanın kuru termometre sıcaklığı düşürülmüş, aynı zamanda hava nemlendirilmiştir. Bu sayede yanma hızı ve sıcaklıkları düşürülerek NO_x emisyonları kontrol edilmiş, oksijen zenginleştirme ile meydana gelen NO_x emisyonu artışı giderilmeye çalışılmıştır. Suyun yakıt ile karıştırmak yerine emme havasına püskürtülmesinin avantajı, yanma odasında homojen dağılım sağlanması, soğutma etkisinden dolayı volumetrik verimin artması olarak gösterilebilir (Subramanian, 2011).

Yapılan bu deneysel çalışmada HC ve CO emisyonlarının azaltılması için giriş havasının oksijence zenginleştirilmesi, NO_x emisyonlarının azaltılması için giriş havasının adyabatik nemlendirme yoluyla kuru termometre sıcaklığının düşürülmesi, yanmanın zenginleştirilmesi için kullanılacak benzin yakıtı üzerinde TiO_2 'nin fotokatalitik etkisi kullanılarak fiziksel özelliklerinin zenginleştirilmesi amaçlanmıştır.

Benzin söz konusu edildiğinde sürücüler genellikle yüksek performans ve pahalı fiyatları düşünürler. Beklentiler genellikle daha ucuz yakıt, daha çok yol üzerinedir. Bir benzin yakıtından beklenenleri özetleyecek olursak ;

- ❖ Soğuk şartlarda kolay çalışma, motorun çabuk ısınması
- ❖ Tüm iklim şartlarında yumuşak, vuruntusuz sürüş
- ❖ Düşük özgül yakıt tüketimi
- ❖ Buhar tıkcına karşı koruma oluşturma
- ❖ Düşük buharlaşma kaybı
- ❖ Düşük çığ yakıt emisyonları
- ❖ Karbüratör buzlanmasına karşı koruma oluşturma
- ❖ Karter yağının incelmesini minimize etme
- ❖ Yeterli depolama güvenliği

Petrol firmaları genellikle bu sayılan özelliklerin tümünü sağlayacak şekilde yakıtların optimum özelliklerde olmasını sağlamaya çalışırlar. Bu yüzden yakıt numuneleri sürekli farklı testlere tabi tutulur. Distilasyon testi, buhar basıncı testi, oktan sayısı ölçümleri, renk gözlemleri, tutuşma ve parlama noktaları tespiti gibi birçok test mevcuttur. Genellikle yakıt numuneleri test sonuçlarına göre tanımlanır. Örneğin distilasyon testi sonuçları göz önüne alındığında benzin yakıtını tanımlamanın bir yolu üç sıcaklık değerini kullanmaktır. T10, T50 ve T90 sıcaklıkları yakıtı isimlendirmede kullanılır. Burada T10, T50, T90 sıcaklıkları sırasıyla distilasyon testi sırasında %10, %50, %90'lık yakıt hacimlerinin yoğunlaştığı sıcaklıklardır. Bir diğer tanımlama yolu ise üç hacim değerini kullanmaktır. Bu tanımlamada ise E70, E100, E150 değerleri sırası ile 70, 100 ve 150°C'deki yoğunlaşan hacimsel yakıt yüzdesidir.

2.1.Uçuculuk

Bir yakıtın tutuşabilmesi için yakıt üst yüzeyinde buhar teşkili bulunması gerekir. Sıvı yakıtlar buharlaşmadıkları sürece tutuşamazlar. Bu yüzden ortam şartlarında çabuk ve kolay buharlaşan yakıtlar daha düşük sıcaklıklarda tutuşurlarken zor buharlaşan yakıtlar tutuşmak için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyarlar. Bu konuda en iyi karşılaştırma ikilisi benzin ve dizel yakıtlar olarak seçilebilir. Benzin ve dizel yakıtları birer hidrokarbon karışımı olduklarından sabit bir sıcaklıkta kaynamazlar. Belirli bir sıcaklık aralığında kaynarlar. Bu aralık benzin için yaklaşık olarak 40°C-200°C, dizel için ise yaklaşık olarak 180°C-330°C aralığındadır (Bao vd, 2014). Benzinin içerdiği hidrokarbonların daha küçük molekül yapısına sahip olmasından dolayı düşük sıcaklıklarda buharlaşır. Fakat yüksek tutuşma enerjisi gerektirir. Dizel ise benzine göre daha büyük molekül yapısına sahip hidrokarbonlar içerdiğinden yüksek sıcaklıklarda buharlaşmasına rağmen düşük tutuşma enerjisi gerektirir. Benzinin ortam sıcaklığında kolay, motorda zor tutuşması; dizelin ise tam tersi bir davranış sergilemesi bu durumdan kaynaklanmaktadır. Yakıtların motorda kullanımında en iyi şartları sağlaması için tutuşma noktaları, distilasyon eğrileri, buhar basıncı, ısı değerleri incelenir. Distilasyon eğrileri yakıtın uçuculuğu (buharlaşma kabiliyeti) hakkında önemli bilgiler verir.

Uçuculuk en basit ifadesi ile bir sıvının buharlaşma eğilimidir. Yakıtlar, yağlar ve diğer petrol ürünleri için bu özellik değişik yöntemlerle ölçülür. Bu tip ürünlerin performansı ve güvenlik faktörü; uçuculuk ile yakından ilişkilidir. Yakıtların

u uculu unun test edilmesinde birçok yöntem vardır. Distilasyon başta olmak üzere tutu ma noktası testi, Reid buhar basıncı ölçümü bunlardan bazılarısıdır. Distilasyon buharlaşma başlangıcı ve biti i kadar bilinen kısımların buharlaşma oranı ve sıcaklıklarını da tayin eder. Motor ve uçak benzinleri için distilasyon ve buhar basıncı bilgisi, bu yakıtlar için performans ile ili kilendirildi inden bu yana önem kazanmıştır.

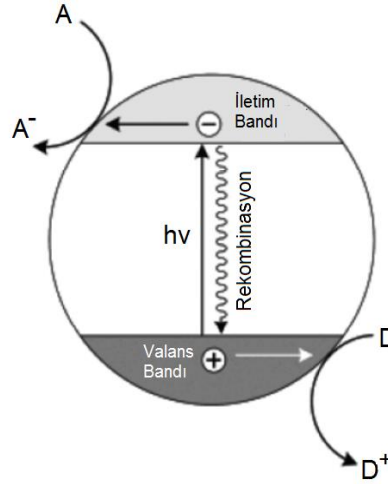
Benzinin buhar basıncı, özellikle soğuk ilk çalışma ve sıcak şartlarda sürekli çalışma durumunda uçucu bileşik emisyonlarının seviyesi için temel fizikokimyasal özelliklerden biridir. Bir yakıtın u uculu u bir veya daha çok karakteristik özellik ile açıklanır; distilasyon eğrileri, buhar basıncı, buharlaşma entalpisi ve seyrek olarak buhar sıvı oranı ile ifade edilir. Bugünlerde uçuculuk parametrelerinin özellikle benzinin buhar basıncının azaltılması için bir eğilim bulunmaktadır. Benzin yüzlerce farklı hidrokarbon molekülü içeren bir karışımdır. Kış benzinini ile yaz benzinini kar ıla tırıldı ında distilasyon eğrisi boyunca yaklaşık 5 C'lik bir d  me görülür.

Benzin içeriğindeki kaynama noktası en düşük hidrokarbonun kaynama sıcaklığı ile kaynama ba lar, kaynama kabında sıvı kalmayınca dek devam eder. Kaynama sıcaklık aralığı benzin yakıtında soğuk  alı tırma, yakıt ekonomisi, egzoz emisyonları, yanma süresi, buhar tıkcacı gibi durumlar için belirleyici niteliğe sahiptir.

2.2. Fotokataliz

Fotokatalizör, ortamda bulunan organik bileşikleri parçalayarak; basit,  evre için zararsız moleküllere dönüştüren yarı iletkenlerdir. Aynı zamanda UV ı ı ın etkisi ile yüzeyinde kuvvetli yükseltgen (oksitleyici) bir ortam oluşturan yarı iletken olarak tarif edilebilir. Bu çalışmada yarı iletken olarak ticari olarak zehirsizli i, güvenliği ve etkinliği yönünden çok tercih edilen TiO  kullanılmıştır. TiO  kullanılarak fotokatalitik etkinin ortam havası arıtma, sudaki biyolojik yapıların temizlenmesi, kendi kendini temizleyebilen yüzeyler, koku giderme, bakteri temizleme, kanseri durdurma gibi birçok uygulama alanı vardır. UV ı ı a maruz bırakılarak aktive olan TiO 'nin yüzeyinde kuvvetli bir yükseltgen (oksitleyici) oluşturarak yüzeye gelen karbon ve hidrojen bileşiklerini veya bakteri, tek hücreli, virüs gibi mikroskobik yapıdaki canlıları parçalayarak CO  ve H O gibi zararsız ve kararlı yapılara bozundurması  eklinededir. TiO 'nin doğada anataz, rutil, brukit ve TiO  (B) monoklinik olmak üzere dört farklı formu vardır (Carp vd, 2004). Bu  alı mada UV ı ı a maruz bırakıldığında en etkin olan anataz formu kullanılmıştır. 600-700 C

sıcaklıkların üzerine çıkıldığında anataz formu rutile dönüşmeye başlar, fakat bu çalışmada düşük sıcaklıklarda çalışıldığından bu durum sorun oluşturmamıştır (Hu vd, 2003). Anataz formu özellikle; yüksek elektron hareketliliği, düşük yalıtkanlık katsayısı ve düşük yoğunluğundan dolayı tercih edilir (Carp vd, 2004). TiO_2 yüksek kararlılığı, düşük fiyatı, insan ve çevre için toksik olmamasından dolayı ideal bir yarı iletkenidir (Gupta ve Tripathi, 2011). TiO_2 'nin ışık absorblama yapısı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. TiO_2 'nin ışığı absorblama mekanizması (Szacilowski vd, 2005)

Fotokatalizör yüzey (TiO_2) UV ışığa maruz kaldığı zaman elektron ve boşluk çiftleri üretir. Işığa maruz bırakıldığında TiO_2 'nin valans bandındaki elektron uyarılarak iletim bandına geçer. Böylece (e^-) yüklü elektron ve (h^+) yüklü boşluk çiftleri oluşur (Pleskov, 1999). Valans bandı ile iletim bandı arasındaki boşluk band aralığı olarak bilinir. Bu boşluk elektron çiftinin aktif kalma süreci birkaç nano saniyedir (Bussi vd, 2002). Anataz formu için foto uyarım bant aralığı 3.2 eV'tur (Gupta ve Tripathi, 2011). TiO_2 'nin sadece UV ışığı ile aktive edilebildiği ve güneş ışığının çok küçük bir bölümünü (yaklaşık %10) kullanabildiği bilinen bir olgudur. Bu yüzden günlük hayatta kullanım alanı sınırlıdır. TiO_2 'nin karakteristik özelliklerinden birisi boşlukların oksidasyon güçlerinin uyarılan elektronların redükleme gücünden fazla olmasıdır (Şam vd, 2007).

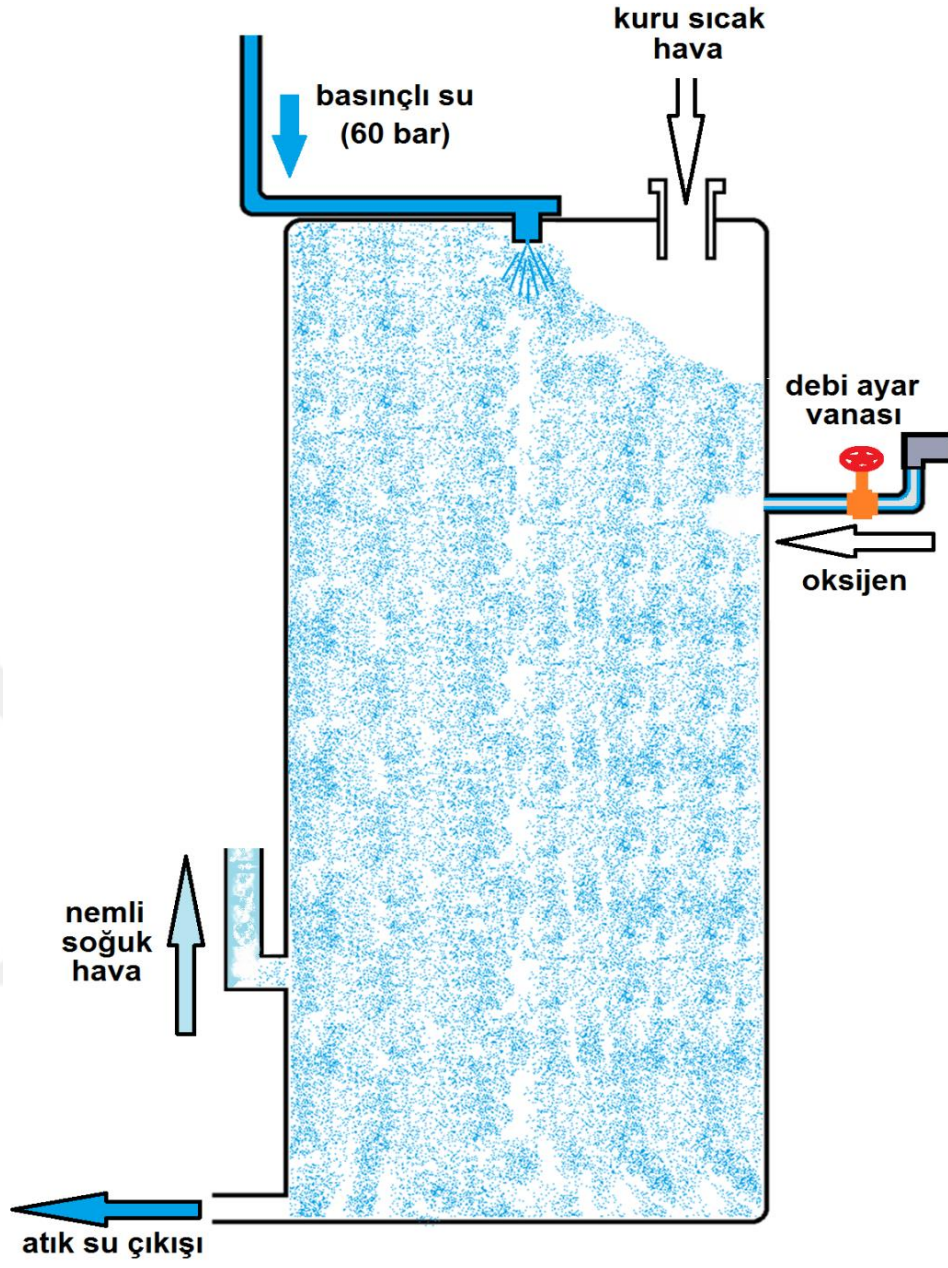
Fotokataliz işlemi için deney sürecinde bir cam yüzey üzerine kaplanmış TiO_2 kullanılmıştır. Çalışma için öncelikle ayrı olarak oluşturulmuş kapalı bir kap içerisinde kap tavanına UV ledler yerleştirilerek benzine ve UV ışığa dayanıklı yapıştırıcılar araştırılmıştır. Dayanıklılığı en fazla olan yapıştırıcı cam yüzey üzerine TiO_2 kaplanmasında kullanılmıştır. Bu çalışma daha önce literatürde yapılmadığından

tamamen deneme niteliği taşımaktadır. Fakat literatürde CO₂'den çeşitli yakıtlara dönüşümler üzerine çalışmalar olması (Dey vd, 2004; Usubharatana vd, 2006; Yamashita vd, 1998), bu yöntem ile daha zengin özelliklere sahip yakıt elde edilebileceği görüşünü desteklemiş ve bu çalışmada yöntemin kullanılmasına karar verilmiştir.

2.3. Adyabatik Nemlendirme

Oksijen ile zenginleştirme yönteminde yanmanın iyileşmesi HC ve CO emisyonlarını azaltırken NO_x seviyesini artırmaktadır. NO_x emisyonunun oluşumunda yakıt içerisinde bulunan azotta geçerli olsa da bu miktar diğer oluşum mekanizmalarına nazaran ihmal edilebilir düzeydedir. Fakat yanma hızı ve sıcaklığından oluşan NO_x emisyonu asıl kısmı temsil etmektedir. Bu yüzden NO_x emisyonunun azaltılmasında odaklanılması gereken nokta silindir içi yanma şartlarıdır. Silindir içi yanma esnasında ve sonrasında maksimum sıcaklığın olduğu bölgelerde NO_x oluşumu gözlenir. Bu yüzden bakıldığında bölgesel maksimum sıcaklıklar olması yerine daha homojen bir yanma olması NO_x oluşumunu azaltacaktır. Bu amaçla yanma hızının kontrollü olarak azaltılması silindir içi sıcaklık homojenliğini sağlamada etkili olacaktır. Bu çalışmada yanma hızının kontrolü için %35 bağıl neme sahip motor giriş havası nemlendirilerek %65 ve %85 değerlerine çıkartılmıştır. Aynı zamanda giriş havası kuru termometre sıcaklığı azaltılarak motor volümetrik veriminde iyileşmeler sağlanmıştır. Nemlendirme işlemi havanın basınçlı su püskürtme yapan bir soğutma kabini içerisinde geçirilmesiyle sağlanmıştır. Burada çok yüksek basınçlı (60 bar) su püskürtme (atomize) kullanılmasının amacı suyun atomize halde havaya karışması ve buharlaşması için gerekli gizli ısıyı havadan karşılanmasını sağlayarak havanın kuru termometre sıcaklığını düşürmek, ayrıca dolaylı olarak yanma sonu maksimum sıcaklıklarını düşürmektir. Soğutma kabinine ait resim Şekil 2.2'de verilmiştir.

Adyabatik nemlendirme işleminde akış halindeki hava üzerine 60 bar basınç ile atomize halde su püskürtülerek suyun buharlaşması ve buharlaşma gizli ısısının havanın iç enerjisinden alınması sağlanmıştır. Püskürtme işleminde havada oluşan sıcaklık düşüşü ortalama 4°C düzeyindedir. Bu sıcaklık farkı şartlandırma kabini girişi ve çıkışı arasında ölçülen kuru termometre sıcaklık farkıdır. Bu sıcaklık düşüşü volümetrik verimi iyileştirirken yanma sonu sıcaklıklarını düşürmektedir.



Şekil 2.2. Şartlandırma kabini

2.4. Oksijen Zenginleştirme

Bu yöntemde motor emme havası oksijen ile zenginleştirilmiştir. Literatür araştırmalarında ilk şartlarda polimerik membran üzerine yoğunlaşmış olsa da takip edilen çalışmalar sonucu membran yönteminin yeterli debiye ulaşamayacağı tespit edilmiş ve endüstriyel tip, zeolit moleküler eleklerle sahip çalışma debisi yaklaşık 20 lt/d olan oksijen konsantratörlerinin yeterli olacağı görülmüştür. Bu konsantratörlerin ayırıştırma yöntemi PSA (Pressure Swing Adsorption-Basınç Salınımlı Adsorpsiyon) olarak bilinir. Bu yöntemde iki adet silindir ve bunlar içerisinde zeolit tabakalar bulunur. Zeolit yapılar seramik benzeri yüksek basınç altında azotu yakalayan düşük basınçta ise serbest bırakan yapılardır (Smith ve Klosek, 2001). Silindirin birine basınçlı filtrelenmiş ve kurutulmuş hava girerek zeolit moleküler elekler üzerinde azotun tutulması sağlanır. Birinci silindirdeki zeolit yapı doygunluğa ulaştığında, giriş havası ikinci silindire yönlendirilir ve birinci silindirde basınç düşürülerek azot salınımı sağlanır. Bu sırada ikinci silindir oksijen üretmeye devam ettiğinden sistemin devamlılığı sağlanmış olur (Anonim, 2014). İstenilen kullanım şartları ve debiye göre silindir sayısı çoğaltılabilir. Çalışmada yukarıda açıklandığı gibi endüstriyel tip oksijen konsantratörü (MKLIFE S-PSA) kullanılmıştır. Daha sonra oksijen zenginleştirme oranlarına göre farklı debiler için emisyon ölçümleri incelenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada teorik araştırmalar ve deneysel çalışmalar bir arada yürütülmüştür. Çalışma boyunca ilerleyen süreçte deney şartları ve parametre değerleri literatürden elde edilen bilgiler ve edinilen tecrübeler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Deney şartları belirlendikten sonra uygulanarak sonuçlar alınmıştır. Deneysel kurulumla ait açıklamalar ilerleyen sayfalarda belirtilmiştir.

3.1. Deneysel Kurulum

Motor performans ve emisyon deneyleri eşzamanlı olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Motor Laboratuvarında bulunan Apex Innovations Pvt. Ltd şirketine ait dizel ve benzinli motora dönüşebilen, “IC Engine Soft” yazılımını kullanan motor deney ünitesi ile yapılmıştır. Deney motoruna ait teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney motoru özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Zaman Sayısı	-	4
Kurs Çapı	cm	8.75
Kurs Boyu	cm	11
Silindir sayısı	-	1
Soğutma tipi	-	Su soğutmalı
Maksimum güç	kW	4.5
Maksimum devir	d/dk	1800
Motor hacmi	cm ³	661.6
Değ. sıkıştırma oranı	-	6-10 (Otto)
Yakıt tipi	-	Benzin, dizel, LPG
Hız aralığı	d/dk	1200-1800

Deneysel kurulumda karbüratörlü, su soğutmalı, tek silindirli, sıkıştırma oranı değiştirilebilen, benzin modunda, “eddy current” tip dinamometreye bağlı içten yanmalı motor kullanılmıştır. Motor bir marş dinamosu barındırmakla beraber

dekompresyon kolu sayesinde el ile çalıştırılabilmektedir. Motorun tork yüklemeleri “Eddy current” tip dinamometre yardımıyla yapılmıştır. Dinamometre, üzerine elektromagnetler tutturulmuş bir stator barındırmakta ve rotor diski motor şaftına bağlı bulunmaktadır. Şaftın dönmesi durumunda elektromagnetler üzerindeki akım alanından kaynaklanan manyetik akı sayesinde stator üzerinde “Eddy” akımı oluşmaktadır. Akımdan meydana gelen ısı soğutma suyu devirdaimi ile ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Dinamometre yükü dinamometre kolunun bastırıldığı bir yük hücresi (load cell) tarafından ölçülmekte, devir sayısı ölçümü ise dinamometre çıkış mili üzerine bağlı tur başına 360 uyarım (pulse) gönderen bir şaft enkoder yardımı ile yapılmaktadır. Yük hücresi “S-Beam Universal” marka, 60001 model olup, maksimum 50 kg yük ölçebilmektedir. Ölçülen yük SV8 serisi universal bir yük indikatörü üzerinden görüntülenmektedir.

Deneyler esnasında 12 kg yük aşılmamıştır. Dinamometre yük kalibrasyonu karşı yük yayı ve yük hücresi üzerinde bulunan kontra somun ile yapılabilmektedir. Motor yükü dinamometre içerisindeki elektromagnetlere verilen akım yardımı ile kontrol edilmektedir. Sıcaklık ölçümleri için kalibre edilmiş PT100 tipi sıcaklık sensörleri kullanılmıştır.

Egzoz emisyonları için KTEST firmasına ait otomatik sıfırlama ve rapor verme özelliğine sahip YS 5003 model egzoz gaz analiz cihazı kullanılmış olup deneylere başlanmadan önce cihaz kalibrasyonu yine aynı firmaya yaptırılmıştır. Cihaz yardımıyla CO, CO₂, HC, O₂, NO_x gazlarının ölçümü yapılabilmektedir. Cihaza ait görünüm Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. KTEST egzoz gaz analiz cihazı

Egzoz gaz analiz cihazı ölçüm özellikleri ve hassasiyeti Çizelge 3.2’de, fotokataliz deneylerinde kullanılan yakıtların karşılaştırmalı özellikleri Çizelge 3.3’de nemlendirme ve oksijen zenginleştirme deneylerinde kullanılan benzine ait fiziksel özellikler Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.2. Egzoz gaz analiz cihazı ölçüm özellikleri ve hassasiyeti

Gaz	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet	Tekrarlanabilirlik	Gürültü(rms.)	Çözünürlük
n-Hegzan	0 - 2.000 ppm	±4 ppm mutlak ya da ±%3 bağıl	±3 ppm mutlak ya da ±%2 bağıl	2 ppm mutlak ya da %0.8 bağıl	1 ppm
	2.001 - 7.000 ppm	±%5 bağıl	±%3 bağıl	2 ppm mutlak ya da %0.8 bağıl	1 ppm
	7.001 - 15.000ppm	± %15 bağıl	±%5 bağıl	2 ppm mutlak ya da %0.8 bağıl	1 ppm
	15.001 - 30.000ppm	belirtilmemiş	belirtilmemiş	2 ppm mutlak ya da %0.8 bağıl	1 ppm
HC Propan	0 - 4.000 ppm	±8 ppm mutlak ya da ±%3 bağıl	±6 ppm mutlak ya da ±%2 bağıl	4 ppm mutlak ya da %0.8 bağıl	1 ppm
	4.001 - 30.000 ppm	±%15 bağıl	±%5 bağıl	4 ppm mutlak ya da %0.8 bağıl	1 ppm
	30.001 - 60.000 ppm	belirtilmemiş	belirtilmemiş	4 ppm mutlak ya da %0.8 bağıl	1 ppm
CO	%0.00 - 10.00	±%0.02 mutlak ya da ±%3 bağıl	±0.02 mutlak ya da ±%2 bağıl	%0.01 mutlak ya da %0.8 bağıl	hacimce %0.01
	%10.01- 15.00	±%5 bağıl	±%3 bağıl	%0.01 mutlak ya da %0.8 bağıl	hacimce %0.01
CO ₂	%0.00 - 16.00	±%0.3 mutlak ya da ±%3 bağıl	±%0.1 mutlak ya da ±2% bağıl	%0.1 mutlak ya da %0.8 bağıl	hacimce %0.01
	%16.01 - 20.00	±%5 bağıl	±%3 bağıl	%0.1 mutlak ya da %0.8 bağıl	hacimce %0.01
NO _x	0 - 4.000 ppm	±25 ppm mutlak ya da ±%4bağıl	±20 ppm mutlak ya da ±%3 bağıl	10 ppm mutlak ya da %1 bağıl	1 ppm
	4.001 - 5.000 ppm	±%5 bağıl	±%4 bağıl	10 ppm mutlak ya da %1 bağıl	1 ppm
O ₂	%0.00 - 25.00	±%0.1 mutlak ya da ±%3 bağıl	±%0.1 mutlak ya da ±%3 bağıl	%0.1 mutlak ya da %1.5 bağıl	hacimce %0.01

Çizelge 3.3. Fotokataliz deneylerinde kullanılan yakıtların karşılaştırmalı özellikleri (Owen vd, 1995)

<i>Özellik</i>	<i>Etanol</i>	<i>Metanol</i>	<i>Benzin</i>
Kimyasal formülü	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ OH	(C ₈ H ₁₈)
Moleküler ağırlığı	46	32	91
Kaynama noktası (°C)	78,3	65	45-207
Donma noktası (°C)	-117	-97	-56
Yoğunluk (kg/m ³ , 20°C’de)	811,5	794	730
Tutuşma sıcaklığı (°C)	425	470	257
Alt ısııl değeri (MJ/kg)	27	20,1	43,4
Setan sayısı	<15	<15	
Oktan sayısı	106	110	90-100
Ady. alev sıcaklığı (°C)	1930	1890	1993
Sto. Hava/Yakıt oranı	8,96	6,46	14,7
Gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)	921,1	1167,7	272
Nemden etkilenme	Etkilenir	Etkilenir	Etkilenmez
Görünüm	Renksiz	Renksiz	Renksiz, hafif, sarı

Çizelge 3.4. Nemlendirme ve Oksijen Zenginleştirme deneylerinde kullanılan benzine ait fiziksel özellikler (Anonim, 2018)

Analiz Adı	Birim	En Az	En Çok	Ölçüm B. (±)	Ölçüm Değeri	Deney Yöntemi
Yoğunluk	kg/m ³	720.0	775.0	0.1	735.9	TS EN ISO12185
Görünüş	-	Parlak	Berrak		Parlak/ Berrak	TOTAL-3.716.504.223
Mevcut Gom	mg/100 ml	-	5.0			TS EN ISO 6246
Oksidasyon Kararlılığı	dakika	360	-			TS 2646 EN ISO 7536
Kaynama Noktası - Sonu	°C	-	210	3	193	TS EN ISO 3405
Damıtma - Kalıntı Oranı	%(v/v)	-	2.0	0.1	1.0	TS EN ISO 3405
Buharlaşma %(E70)	%(v/v)	22.0	50.0	1.2	43.2	TS EN ISO 3405
Buharlaşma %(E100)	%(v/v)	46.0	71.0	1.0	62.8	TS EN ISO 3405
Buharlaşma %(E150)	%(v/v)	75.0	-	0.9	87.2	EN ISO 3405
Buhar Basıncı	kPa	50.0	90.0	0.7	76.4	TS EN ISO 13016-1
Buhar Kilitlenme indisleri	-	-	1150.0	28.8	1066.4	TS EN 228
Oksijen	%(m/m)	-	2.70			TS EN 13132
Metanol	%(v/v)	-	3.0			T3 EN 13132
Etanol	%(v/v)	-	5.0			7S EN 13132
İzo-propil Alkol	%(v/v)	-	10.0			TS EN 13132
İzo-Butil Alkol	%(v/v)	-	10.0			TS EN 13132
Tersiyer Butil Alkol	%(v/v)	-	7.0			TS EN 13132
Eterler	%(v/v)	-	15.0			TS EN 13132
Diğer Oksijenli Bileşikler	%(v/v)	-	10.0			TS EN 13132
Kurşun	mg/L	-	5.0			TS EN 237
Kükürt	mg/kg	-	10.0	0.08	<3	TS EN ISO 20845
Potasyum	mg/kg	8.00	20.0			TS 12861
Mangan	mg/kg	10.00	50.0			TS 8829
Benzen	%(v/v)	-	1.00			TS EN 238
Hidrokarbon Tipleri (Olefinler)	%(v/v)	-	18.0			T5 EN ISO 15553
Hidrokarbon Tipleri (Aromatikler)	%(v/v)	-	35.0			TS EN 130 15553
Araştırma Oktan S. (RON)	-	95.0	97.9			TS EN ISO 5164
Motor Oktan S. (MON)	-	85.0	-			TS EN ISO 5163
Bakır Şerit Korozyonu	derece	-	1			TS 2741 EN ISO 2160

Ünite ve kontrol kabinine ait görünüm Şekil 3.2’de, üniteye ait teknik özellikler Çizelge 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.2. Motor Ünitesi ve ölçüm kabini

Motor kontrol ünitesi üzerinde motor soğutma suyu ve kalorimetre suyu debileri ölçümü için $\pm 2\%$ hassasiyete sahip iki ayrı rotametre, PIC152 model yük indikatörü, dinamometre yükleme butonu, devir göstergesi, sıcaklık kalibrasyonlarının doğruluğunu kontrol etmek için sensörlerden gelen akımı mV şeklinde gösteren bir ekran bulunmaktadır. Ünitenin yakıt tüketim ölçümü doğruluğunun kontrolü, yakıt vanası ölçüm moduna getirilerek; kronometre yardımıyla saniyede tüketilen yakıt miktarına bakılıp, gerekli birimlere çevrilerek yapılmıştır. Deney ünitesi yapısı sayesinde farklı parametreler (basınç-krank açısı grafiği, ısı salınım oranı, termal verim..) üzerine çalışabilmeyi mümkün hale getirmektedir. Yakıt depoları kontrol ünitesi en üst kısmına benzin ve dizel olmak üzere iki adet yerleştirilmiş olup, 15 lt hacme sahiptir. Yakıt tüketimi, derecelendirilmiş bir tüp üzerinden hidrolik basınç farkının yazılım yardımıyla debiye dönüştürülmesi ile cc/d olarak ölçülmektedir. Hava tüketimi ise hava emiş tankı üzerine bağlı bir elektronik basınç sensörü yardımıyla mmSS cinsinden ölçülerek yazılım tarafından gerekli katsayılarla çarpılıp birimsel dönüşümü yapılmaktadır.

Çizelge 3.5. Ünite özellikleri

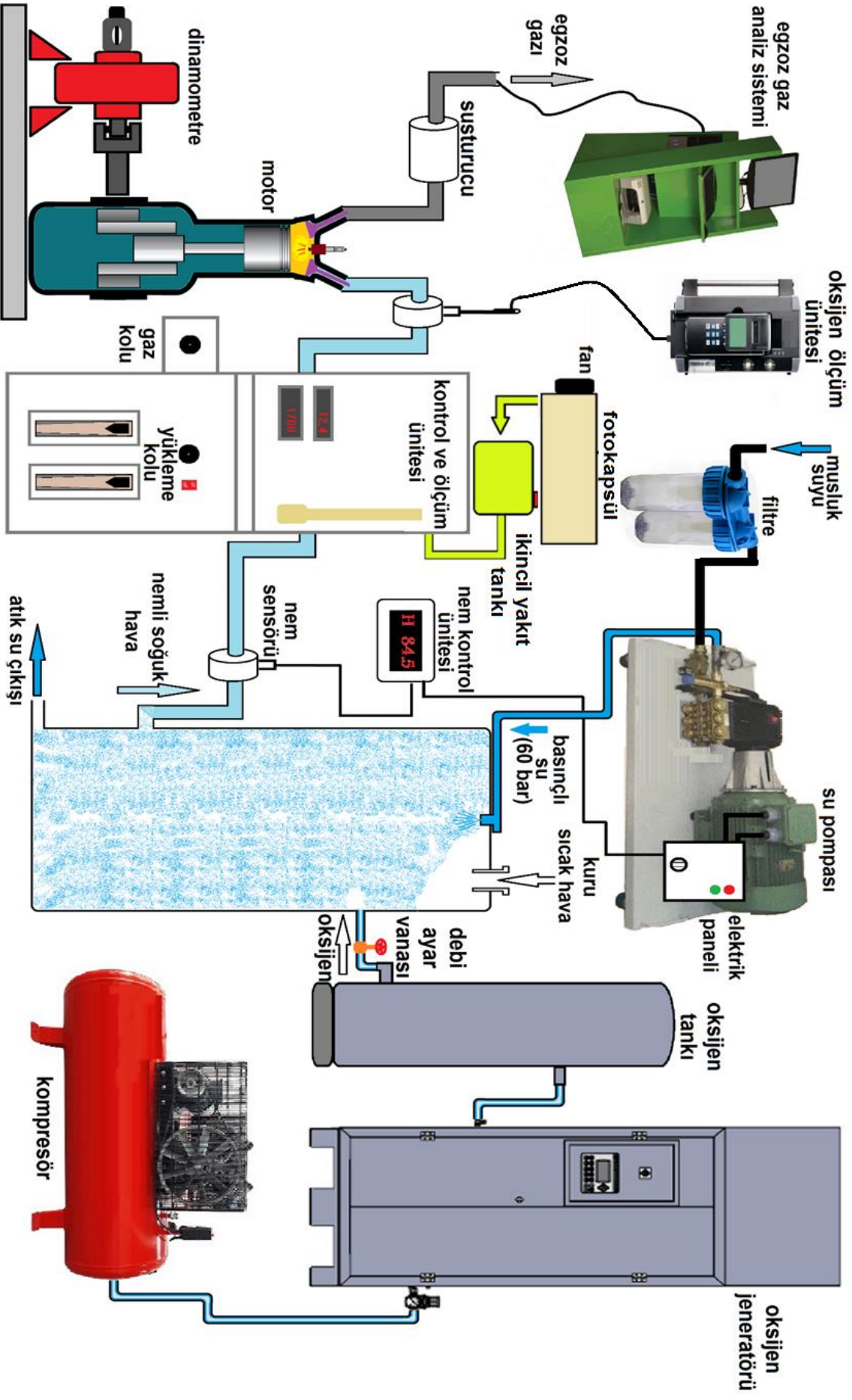
Özellik	Açıklama
Dinamometre	Model AG10 Eddy Current, su soğutmalı
Dinamometre yükleme ünitesi	Model AX-55, Sabit hız tipi
Yük ünitesi	S beam universal Model 60001 (0-50 kg)
Yük indikatörü	SV-8 Universal
Dönel şaft	Model 1260 , Tip A
Manometre	Model MX-104, U tipi, ¼” bağlantı
Yakıt ölçüm ünitesi	Cam, Model FF0.012
Sıcaklık Sensörleri	Termocouple tip K- (0-1200°C)
Basınç Sensörleri (piezo)	Yanma<5000 psi
Piezo güç ünitesi	Model AX-409
Krank açısı sensörü	Model 8.3700.1321.0360, PPR:360
Data işleme cihazı	NI-USB 6210 M serisi,16 bit, 250 kS/s
Yakıt tankı	15 lt
Dijital voltmetre	0-20V

Deney motoru silindir içi basınç ölçümü 500 psi’ye kadar ölçüm yapabilen, SM111A22 model piezo sensör yardımıyla yapılmıştır. Sensör çözünürlüğü 0.1 psi iken; hassasiyeti 1mV/psi’dir. Çalışma sürecinde kullanılan cihazlar ve bağlantıları Şekil 3.3’de verilmiştir.

Deney parametreleri ölçüm hassasiyetlerine ait değerler Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Ölçüm hassasiyetleri

Ölçülen parametreler	Doğruluk
Tork [Nm]	$\pm\%1.5$
Motor Devri [d/dk]	$\pm\%0.06$
$\dot{m}_{\text{yakıt}}$ [cc/dk]	$\pm\%0.25$
P_{cyl} [bar]	$\pm\%0.2$
Hesaplanan parametreler	Belirsizlik
Efektif Güç [kW]	$<\pm\%1.5$
ÖYT [kg/kWh]	$<\pm\%1.52$
Efektif Verim	$<\pm\%1.6$



Şekil 3.3. Deney tesisatı genel yapısı

3.2. Deneysel Metodoloji

Fotokatalize maruz bırakılmış benzin için hem performans hem emisyon değişimlerini daha iyi görebilmek amacıyla motor deneyleri sabit gaz keleşbeği açıklığında, tam yükte 1200 d/dk hız ve 12 kg yük ile başlatılmıştır. Deneyler gaz keleşbeği açıklığı değiştirilmeden yük azaltılarak 4 devir için (1200 d/dk-1800 d/dk aralığında 200 d/dk artış ile) gerçekleştirilmiştir.

Nemlendirme ve oksijen zenginleştirme deney şartları için ise deneyler 1200-1800 d/dk hız aralığında 200'er devir artışlarla dört devir olmak üzere yarım yük ve tam yükte (6-12 kg) iki yük şartı için gerçekleştirilmiştir. Emisyonların güce göre değişiminin daha net belirlenmesi açısından bu deney sistematığı tercih edilmiştir. Deney sistematığının yapısından dolayı devir değerleri ile güç değerleri torkun sabit olmasından dolayı eşleniktir. Yani her devre karşılık sabit güç değerleri tekabül etmektedir. Karşılık gelen değerler için tablo Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Her devir değerine karşılık gelen güç değerleri

Devir [d/dk]	1200	1400	1600	1800
Yarım yük (6 kg) için güç [kW]	1.37	1.60	1.82	2.05
Tam yük (12 kg) için güç[kW]	2.74	3.19	3.65	4.11

Her devire karşılık eşlenik güç değeri olmasından dolayı elde edilen bulgular hem devir hem güç yönünden yorumlanmıştır.

Motor hava emiş ağız şartlandırma kabini çıkışına bağlandıktan sonra herhangi bir işlem uygulanmadan ortam havası (yaklaşık 24°C, %35 bağıl nem) kullanılarak karşılaştırma amaçlı ön deneyler yapılmıştır. Ön deneylerdeki sonuçlar gözden geçirildikten sonra standart şart (%21 oksijen, %35 bağıl nem) deneyleri yapılmıştır. Daha sonra aynı işlemler oksijence zenginleştirilmiş hava, nemlendirilmiş hava, hem oksijence zengin hem de nemli hava için ayrı ayrı üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Her bir deney şartı için performans parametrelerinde 6 ölçüm, emisyonlar için ise 8 ölçüm alınarak ortalaması alınmıştır. Deneyler esnasında motora ait motor giriş-çıkış suyu sıcaklığı, kalorimetre giriş-çıkış suyu sıcaklığı, egzoz gazlarının kalorimetreye giriş-kalorimetreden çıkış sıcaklıkları, yakıt tüketimi, rotametre soğutma suyu debisi, motor soğutma suyu debisi ölçülmüştür. Fren gücü, ÖYT, efektif verim gibi parametreler; bu ölçümler üzerinden "Microsoft excel" yardımı ile hesaplanmıştır. Daha sonra elde

edilen veriler düzenlenerek uygun grafiklerle görsel hale getirilmiştir. Ayrıca eşzamanlı olarak egzoz gaz analizi cihazı ekranından okunan CO, CO₂, HC ve NO_x değerleri kaydedilmiş; veriler düzenlenerek grafik haline getirilmiştir.

3.3. Deney Prosedürü

Her bir deney sürecinde aşağıdaki işlemler düzenli olarak uygulanmıştır:

1. Deneylere başlanmadan önce tüm elektriksel bağlantıların sağlamlığı, topraklama varlığı kontrol edilir.
2. Ünite güç besleme şarteli açılır.
3. Soğutma suyu tankı su seviyesi kontrol edilip eksik ise tamamlanır.
4. Motor yağı seviyesi kontrol edilip eksik ise tamamlanır.
5. Motor soğutma suyu pompası açılır, motor soğutma suyuna ait rotametre kontrol edilerek istenen debiye ayarlanır. Aynı işlemler kalorimetre rotametrelerine uygulanır.
6. Dinamometre ve piezo sensörü soğutmak için yeterli suyun geldiğinden emin olunur.
7. Ünite bilgisayara bağlanıp kontrol yazılımı açılır. Eşzamanlı olarak kontrol kabini üzerindeki ekranlar kontrol edilir.
8. Emisyon gaz analiz cihazı ve bilgisayarı açılır, ortam havası ile sıfırlama işlemi yapılır. Değerlerin oksijen için 20.8 diğer emisyonlar için 0 olduğundan emin olunur.
9. Yakıt deposu vanası açıldıktan sonra yakıt hattındaki hava boşlukları giderilir, yakıt seviyesi kontrol edilir.
10. Deney motoru marş dinamosu veya çalıştırma kolu yardımıyla çalıştırılır.
11. Motor öncelikle rölantide çalıştırılıp gaz analiz cihazı içerisindeki gazların ısınması beklenir.
12. Ünite kontrol yazılımı konfigürasyon kısmına girilerek, deney şartları, yakıt özellikleri, ortam şartları gibi değerler gerekli kısımlara girilir.
13. Motor 15 dakika orta hızda (1500 d/dk) stabil hale gelene kadar beklenir. Bu esnada kontrol yazılım ekranından bu deney için yeni dosya oluşturulur.
14. Motor ve motor soğutma suyu ısınarak stabil hale geldikten sonra, cihaz probu motor egzozu içerisine 30 cm içeri ilerleyecek şekilde yerleştirilir.

15. Belirlenen her bir motor devri ve yükü için ayarlamalar yapılarak 5 dakika stabil hale gelmesi beklenir. Devir ve yükün stabil olduğundan emin olduktan sonra ölçümler alınarak açılan dosyaya kaydedilir.
16. Deney tamamlandığında deney dosyası uygun isimle kaydedilir.
17. Motor üzerindeki yük yavaşça boşaltılır, motor devri rölantiye çekilir.
18. Motor yaklaşık on dakika soğumaya bırakılır. Sonrasında stop edilir.
19. Yakıt besleme vanası kapatılır.
20. Soğutma suyu devir daimi motor stop edilmesinden sonra bir süre daha açık tutulur.
21. Soğutma suyu pompası kapatılır.
22. Ünite güç beslemesine ait şartel kapatılır.

Bu çalışmada; yapılan literatür araştırmaları sonucunda egzoz emisyonları ile ilgili yapılan çalışmaların genellikle yanma sonrası oluşan emisyonların bertarafına odaklandığı, fakat yanma reaktiflerinin oranları ve şartlarının değiştirilmesi üzerine çalışmaların yeterli düzeyde olmadığı görülmüştür. Bu yüzden yanma öncesi yöntemler üzerine yoğunlaşmış, yakıtın ve emme havasının özelliklerinin değiştirilmesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda benzin yakıtının özelliklerinin değiştirilmesi için fotokatalitik etki, emme havası özelliklerinin değiştirilmesi için ise; adyabatik nemlendirme ve oksijen zenginleştirme uygulanmıştır. İncelenen yöntemler sırası ile aşağıda verilmiştir.

3.4. Fotokatalizin Benzin Üzerine Uygulanması

Fotokatalizin benzin yakıtı üzerine uygulanması aşamasında birçok sorunla karşılaşmış, sorunların çözüm aşamaları ilerleyen sayfalarda anlatılmıştır.

3.4.1. Fotokataliz için UV'ye ve benzin çözündürmesine dayanıklı silikonun tespiti

Fotokataliz kapsüllerinin tasarımında ilk başta standart şeffaf tip cam silikonu kullanılmıştır. Fakat ilerleyen süreçte bu silikonun benzin içerisinde giderek özelliğini yitirdiği, içerisinde benzin çözündürerek yapıştığı yüzeylerden ayrıldığı tespit edilmiştir. Silikonda meydana gelen tahribata ait şekil Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Kaplama yapılan silikonda benzin çözünmesi ile oluşan tahribat

Benzer deney şartları oluşturularak 4 farklı sanayi tipi silikon denenmiş ve 2 numaralı silikonun bu şartları sağlayabildiği, uzun süreli bozunmadan kalabildiği anlaşılmıştır. Daha sonra yüksek ısıya dayanımlı ve esneklik miktarı düşük olan bu silikon kullanılmıştır. İlerleyen deneylerde bu silikonla da çözüme ulaşılamamıştır. Bu yüzden benzin ile çözünmeyen plastik türevi derlin malzeme kullanılarak yeni bir fotokapsül imal edilmiştir.

3.4.2. Fotokapsül Tasarımı

Benzin yakıtının fotokataliz etkisine maruz bırakılabilmesi için UV ışık altında TiO_2 kaplı bir yüzey üzerinden geçirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla farklı kapsül tasarımları yapılmıştır. Başlangıçta çok büyük yapılan tasarımlar daha sonra giderek küçültülmüş, hafifletirilmiş, dayanıklılığı arttırılmıştır. Her bir tasarımda benzin giriş ve çıkış boruları, kapsül içerisine TiO_2 kaplanmış yüzey, şeffaf ışığı geçiren ara yüzey oluşturulmuştur. Literatürde ve piyasada yapılan araştırmalarda fotokataliz için kullanılabilecek en uygun yarı iletkenin ticari olarak Degussa P25 ve Hombikat UV100 gibi değişik isimler altında satılan TiO_2 'nin olduğu belirlenmiş ve kullanılmıştır. Kullanılan TiO_2 'de anataz-rutil oranı 80:20 ve ortalama parçacık boyutu 25 nm'dir.

Fotokapsül oluşturma amacı ile 5 farklı tasarım yapılmış olup tasarımlara ait resimler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.5. İlkten sona doğru geliştirilmiş fotokapsül tasarımları

Motor yakıtı benzinin fotokatalitik etkiye maruz bırakılabilmesi için çeşitli TiO_2 kaplanmış kapalı hacimler tasarlanmıştır. İlk tasarım benzin deposu şeklinde tasarlanmıştır. I. tasarım için daha sonraları güvenlik unsuru yetersiz görülmüş, kapladığı yerin fazla olduğu belirlenmiştir. Daha sonra yeni bir tasarım imal edilmiştir. I. tasarımda kabın çok büyük olmasından dolayı üst kısımda meydana gelen boşlukta yakıt buharı bulunması ve buharın sızması durumunda fark edilemez oluşu ve cıvarda UV lamba için oluşturulmuş olan elektrik tertibatından meydana gelebilecek herhangi bir kıvılcımda patlama ve yangın tehlikesi oluşturması; güvenlik yetersizliği olarak görülmüştür.

Bu nedenlerden dolayı II. tasarımda değişikliklere gidilmiş ve büyük bir kap yerine boyutları olabildiğince küçültülmüş cam bir kapsül imal edilmiştir. Kapsül benzin deposu yerine benzin geçiş bölgesi şeklinde tasarlanmıştır. Cam kapsül içerisinde benzin giriş çıkış boruları türbülans oluşturmak ve fotokatalitik etkiye maruz kalmış benzinin homojen karışması amacıyla karşılıklı olmak yerine çapraz yerleştirilmiştir. Kapsül içerisi UV ledlerin yerleştirileceği yüzey hariç TiO_2 ile kaplanmıştır.

Yapılan II. tasarımda kullanılan cam silikon içerisinde benzinin çözünerek; silikonu şişirmesi ilerleyen süreçte kapsül birleşim yüzeylerinde yırtılmalara yol açmış ve kapsül sızdırmaya başlamıştır. Silikon yardımıyla yapılan III., IV. ve V. tasarımlarda da silikonun benzin tarafından çözündürülmesi kapsül kullanımında çok büyük bir sorun haline gelmiştir. Bu yüzden fotokapsül tasarımında benzin tarafından çözülemeyen bir mahfaza ve ön yüzeyine geçirilecek bir camın daha iyi bir çözüm olacağı kanısına varılmıştır. Mahfazanın imalatı için sanayide çok tercih edilen derlin

malzeme kullanılmıştır. Kütük halinde alınan malzeme freze tezgâhında istenen boyutlara indirilmiş, içi tamamen oyularak boşaltılmıştır. Ön yüzeyine camın yerleştirilebilmesi için kanallar oluşturulmuş ve bu kanala şeffaf cam oturtularak fotokapsül hacmi elde edilmiştir. Metal borular yardımıyla benzin giriş çıkış bağlantıları sağlanmış, sızdırmazlığı garantilemek için ise silikon ile camın dış kenar yüzeyleri izole edilmiştir.

Benzin ve silikonun temas yüzeyinin çok küçük olması benzinin silikonu çözme süresini uzatmaktadır. Fotokapsülün sadece deney sürecinde benzinle doldurulması ve diğer zamanlarda boşaltılması ise silikonun çözünerek yırtılması sorununu ortadan kaldırmıştır. Fotokatalizör yüzeyin oluşturulması için kapsül içerisine sığabilen bir cam kullanılmıştır. Cam üzerinde pürüzlü bir TiO_2 kaplama yapılarak fotokapsül içerisine yerleştirilmiştir. Yapılan VI. ve aynı zamanda son tasarım için görünüm Şekil 3.6’da verilmiştir.



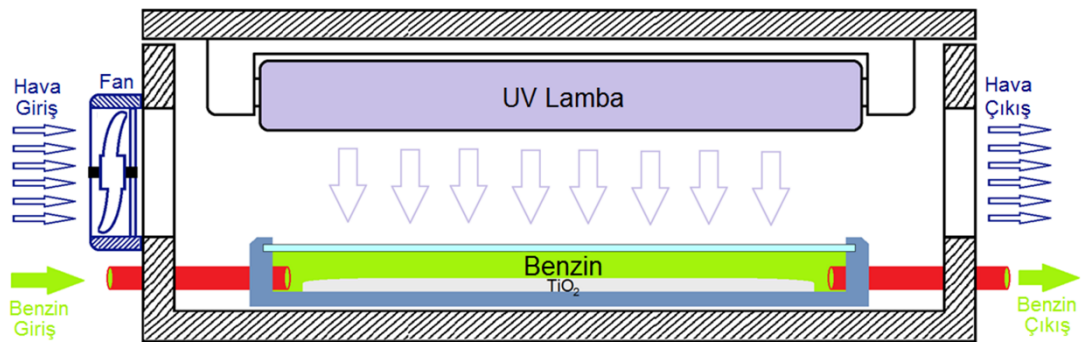
Şekil 3.6. Tasarlanan ve imal edilen son fotokapsül

3.4.3. Fotokataliz ünitesi tasarımı, imalatı, montajı

Fotokatalizde kullanılan UV ışık insan sağlığına zararlı olduğundan bu işlemin tamamen kapalı bir ortam içerisinde yapılması gerekmektedir. Bu yüzden UV lambanın ve kapsülün monte edilebileceği bir ahşap (mdf) kutu tasarımı yapılmış ve imal edilmiştir. Kutu üzerine UV lambanın ısıtma etkisini gidermek amacıyla bir bilgisayar fanı yerleştirilmiş, çalışma esnasında kontrol amaçlı yan yüzeye bir gözetleme camı yerleştirilmiştir. Daha sonra son yapılan kapsülde, iki adet UV floresan kutu kapağına monte edilerek fotokataliz ünitesi oluşturulmuştur. Üniteye ait görünüm Şekil 3.7’de açıklayıcı kesit görünüş ise Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Tamamlanmış fotokataliz ünitesi



Şekil 3.8. Fotokataliz ünitesi kesit görünüşü

3.5. Motor Emme Havaının Adyabatik Nemlendirilmesi

Benzinli ve dizel motorlarda NO_x emisyonlarının kontrolü için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri yanma sıcaklıklarının kontrolü için su kullanılmasıdır. Suyun yanma ortamına karışması yaygın olarak dört yöntem ile olur. Bunlar; ayrı bir enjektör kullanılarak silindir içerisine su püskürtülmesi, hibrit enjeksiyon kullanımı (hem yakıt hem su pompası kullanılarak aynı enjektör üzerinden püskürtme sağlanması), emme manifolduna su püskürtülmesi ve yakıt su karışımlarının yakıt hattı üzerinden beslenmesi şeklindedir. Bunlardan farklı olarak emme havasına ayrı bir şartlandırma odası yardımıyla atomize şekilde su püskürtülmesi; suyun homojen karışması ve dengeli buharlaşmasını sağlayacaktır. Ayrıca buharlaşan su buharlaşma ısını emme havası üzerinden sağladığı için emme havası soğuyacak ve volümetrik verim etkin bir şekilde artacaktır. Literatürde rastlanmaması ve sayılan tüm bu sebeplerden dolayı atomize su yardımıyla adyabatik nemlendirme yapılmasının hem literatürdeki eksik kısımları tamamlayacağı hem de motor yanma şartlarının kontrolü için verim kaybetmeden gerekli şartların elde edilebileceği kanısına varılmıştır.

Nemlendirme üzerine yapılan çalışmalarda genellikle emme manifolduna direkt su püskürtülmesi kolaylığı ve basitliği yönünden tercih edilen bir yöntemdir. Fakat emme havasına homojen karışması genellikle sağlanamaz. Bu durum yanma reaksiyonunun homojenliğini bozar. Bazı çalışmalarda ise direkt su buharı püskürtülerek NO_x emisyonları kontrol edilmeye çalışılır. Bu yöntem diğerine göre daha kapsamlı olmakla birlikte motor emme havaının giriş sıcaklığını artırır. Bu durum volümetrik verimde düşüslere neden olur. Bu yüzden toplam verimde olumsuz etki oluşturur. Motor emme havaının nemlendirilmesi ve oksijen karıştırılması işlemleri için belli hacimdeki bir şartlandırma kabini ihtiyacı meydana gelmiştir. Bu yüzden 1,75 m boya sahip 446,5 lt hacmi olan bir şartlandırma kabini oluşturulmuştur. Şartlandırma kabini üzerine, en üst orta noktaya 70 bar basınçta atomize su püskürten bir nozul konulmuştur. Tabanda ise atık suyun boşaltılması için bir vana ve gider sistemi yerleştirilmiştir. Şartlandırma kabinine ait görünüm Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Şartlandırma kabini

Suyu atomize olarak püskürtmek için 2 lt/dk debiye sahip, 60 bar basınçta çalışan bir pompa kullanılmıştır. Sistem ayarlanabilir çalışma basıncı ve debisine sahiptir. Çalışma basıncı üzerine çıkılması durumunda emniyet valfi üzerinden fazla su gidere gönderilmektedir. Sistem üzerinden çalışma zaman aralığı ve durma zaman aralığı ayarlanabilmektedir. Sisteme ait görünüm Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10. Nemlendirme cihazı sol ve ön görünüş

Nem kontrol cihazı motor emme havasındaki nem değerlerini ölçerek nemlendirme cihazı pompasını kontrol etmekte, nemin ayarlanan değerler aralığında kalmasını sağlamaktadır. Cihaz ölçümlerini emme havası hattına yerleştirilen bir prob yardımıyla sağlamaktadır. Nem sensörü ve cihaza ait görünüm Şekil 3.11’de verilmiştir.



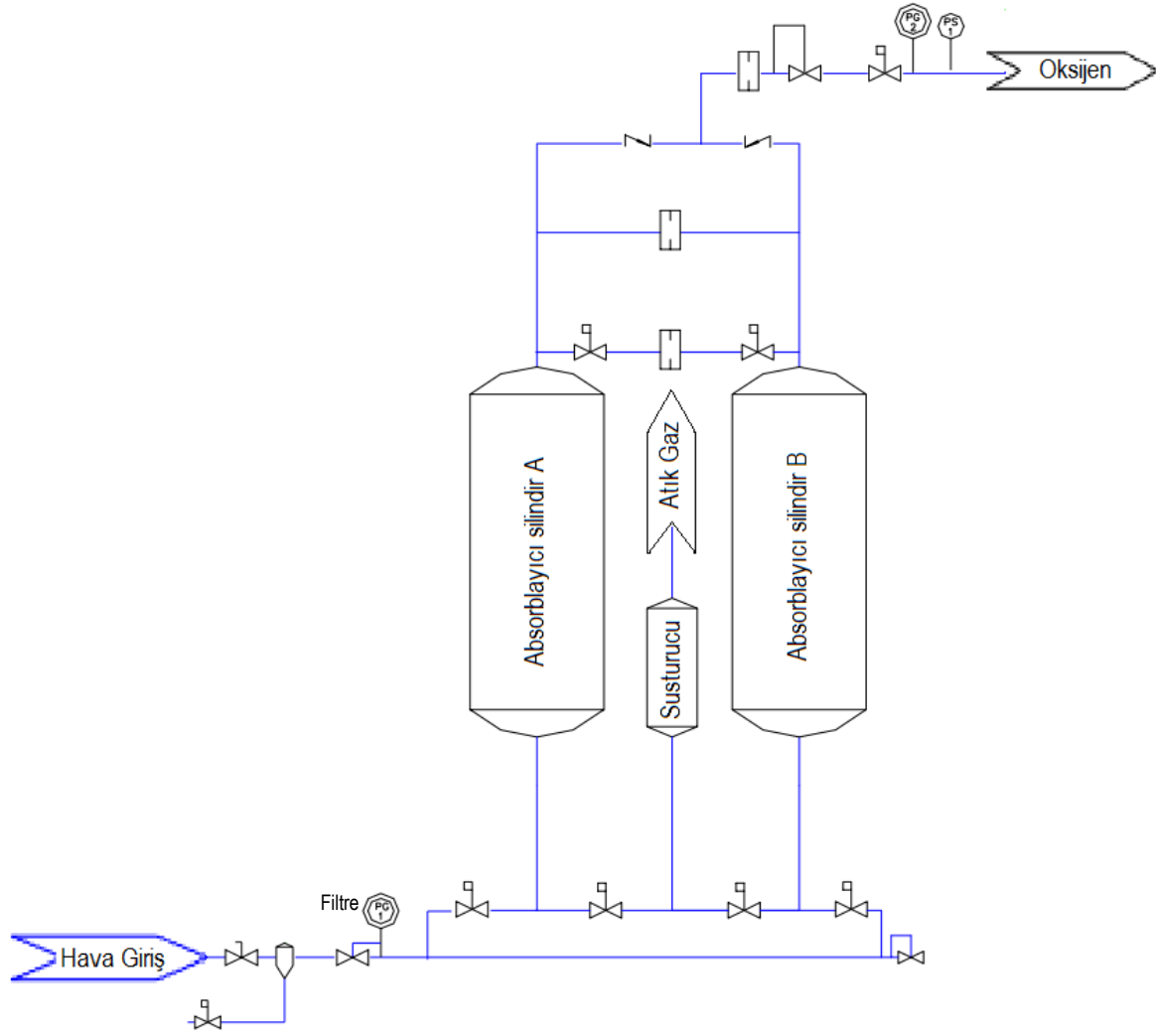
Şekil 3.11. Solda nem kontrol cihazı, sağda nem sensörü bağlantısı

3.6. Motor Emme Havasının Oksijen Oranının Arttırılması

Emme havasının oksijen içeriği yönünden zenginleştirilmesi genellikle tutuşma gecikmesinde ve yanma gürültüsünde büyük oranda azalmaya yol açar. Artan oksijen yüzdesi eşdeğer şartlarda tam yakıt yakılmasını yani çığ yakıt çıkışının önlenmesini

sağlar. Ayrıca daha kalitesiz yakıt ile çalışılabilmesini veya daha fakir karışım şartlarında verimli çalışabilmeyi sağlar. Bu etkiler termal verimin ve güç çıkışının artması potansiyeline sahiptir. Oksijen oranının yakıt içeriği veya emme havası içeriği olarak zenginleştirilmesi benzer etkilere sahiptir. Fakat literatürden de bilindiği üzere küçük orandaki artışlar büyük etkilere yol açmaktadır. Örneğin emme havası oksijen konsantrasyonu %32'ye yükseltilmesi durumunda, aynı güç çıkışını elde etmek için motor süpürme hacmi %73 oranında azaltılabilir (Caton, 2005). Veya tutuşma gecikmesi kısaltılabilir ve daha düşük kaliteli yakıtların kullanımına olanak sağlanabilir (Poola ve Sekar, 2003). Yanma odası maksimum sıcaklıklarını artırma etkisinden dolayı oksijen oranının %21 değerinden %22 değerine çıkması NO_x emisyonlarında %50'lik bir artışa yol açabilir (Li vd, 2013). Bu durum ise nemlendirme, EGR, geciktirilmiş enjeksiyon zamanlaması, yakıt katkıları karıştırılması gibi yanma maksimum sıcaklıklarını düşürücü yönde ikincil yöntemler gerektirir. Bu yüzden bu çalışmada ikincil yöntem olarak adyabatik nemlendirme uygulanmıştır.

Oksijen zenginleştirme yönteminde standart hava içeriği olan %21 oksijen ve %79 azot içeriğinde oksijen oranı artırılarak daha gelişmiş bir yanma elde edilmeye çalışılmıştır. Oksijen ayrıştırma işlemi için endüstriyel tip oksijen konsantratörü kullanılmıştır. Bu tip konsantratörlerde basınç salınımlı adsorpsiyon (pressure swing adsorption-PSA) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde azotun karbon moleküler elekler üzerinde basınç yardımıyla tutulması ve oksijenin salınması sağlanır. Oksijen devamlılığının sağlanması için, iki adet silindir ve içerisinde karbon moleküler elek yapısı bulunmaktadır. Böylece doygunluğa ulaşmış elek yapının birinin basıncı düşürülüp azotu salınırken diğer silindir oksijen üretimine devam eder. Giriş havası öncelikle filtrasyona tabi tutulur, daha sonra yönlendirici valfler yardımıyla ihtiyaç olan silindire yönlendirilerek azot doygunluğuna ulaşma ve azot boşaltma şeklinde çevrim sağlanır. Bu yöntemle ait çizim şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Oksijen Konsantratörü çalışma yapısı (Anonim, 2014)

Konsantratörün çalışma yapısından dolayı içerisinden geçen standart havanın sadece azotu tutulabilir. Yaklaşık %90 saflıkta oksijen sağlanabilir. Elde edilen bu oksijen motor emme havası ile karıştırılarak %23-25 oranında oksijen ihtiva eden bir emme havası oluşturulmuş ve emisyonlara ve yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir. Bu durum toplam hava karışımı için bakıldığında düşük artış seviyelerine tekabül etse de oksijen yönünden bakıldığında yaklaşık %10-20 artışa tekabül eder. Bu durumun yanmada büyük bir iyileşmeye neden olacağı özellikle yüksek motor devirlerinde yanmayı geliştirerek, eksik yanmadan meydana gelen HC ve CO emisyonlarını önemli ölçüde azaltacağı literatürdeki benzer çalışmalardan da bilinmektedir (Caton, 2005; Porpatham vd, 2018). Ayrıca oksijen ile zenginleştirilmiş hava ısı bırakma gecikmesi, çevrim değişimleri ve yanma zamanı azalacağı, ısı verim ve güçte ise bir artışın olacağı bilinmektedir. Oksijen fazlalığı yanma bölgesindeki sıcaklığı artırmasından

dolayı önemli oranda ısı radyasyonu artırmış ve yanma sonu sıcaklıkları artmıştır. HC ve CO emisyonları azalırken; ısı verim ise artmıştır.

Oksijen zenginleştirilmesi motorda hacimsel verimi, alev yayılma hızını artırdığı için ateşleme avansı gibi birçok parametreyi deneyler sırasında değiştirme olanağı sağlar. Bu durumda fren gücünde bir artışın sağlanması, ateşleme avansını düşürerek fakir karışım limitini iyileştirmeye olanak sağlar.

Oksijen zenginleştirme yönteminde oksijen oranı %23 ve %25 değerlerine getirilerek motor egzoz emisyon ve performans deneyleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Deneylerin yapımında 50 lt/dk debiye sahip MkLife marka endüstri tipi oksijen jeneratörü kullanılmıştır. Oksijen tankı doldurulduktan sonra deneylere başlanmıştır. Oksijen tankı 500 lt hacme sahip olup 10 bar çalışma basıncına 15 bar emniyet basıncına sahiptir. Cihaz ve tanka ait görünüm Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Oksijen tankı ve oksijen jeneratörü

Motor emme havasının oksijen oranının artırılması; motor içi yanma hızının artırılması, tam yanmamış hidrokarbonların azaltılması, yanma veriminin artırılması amacıyla uygulanır. Bu yöntemle benzer olarak NO_x emisyonlarının kontrolü için azot zenginleştirme uygulaması da bulunmaktadır. Bu çalışmada oksijen zenginleştirme işlemi için standart hava oksijen oranı olan %21'den %23 ve %25 değerlerine çıkartılarak yanmaya dair parametreler ve emisyonlar incelenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

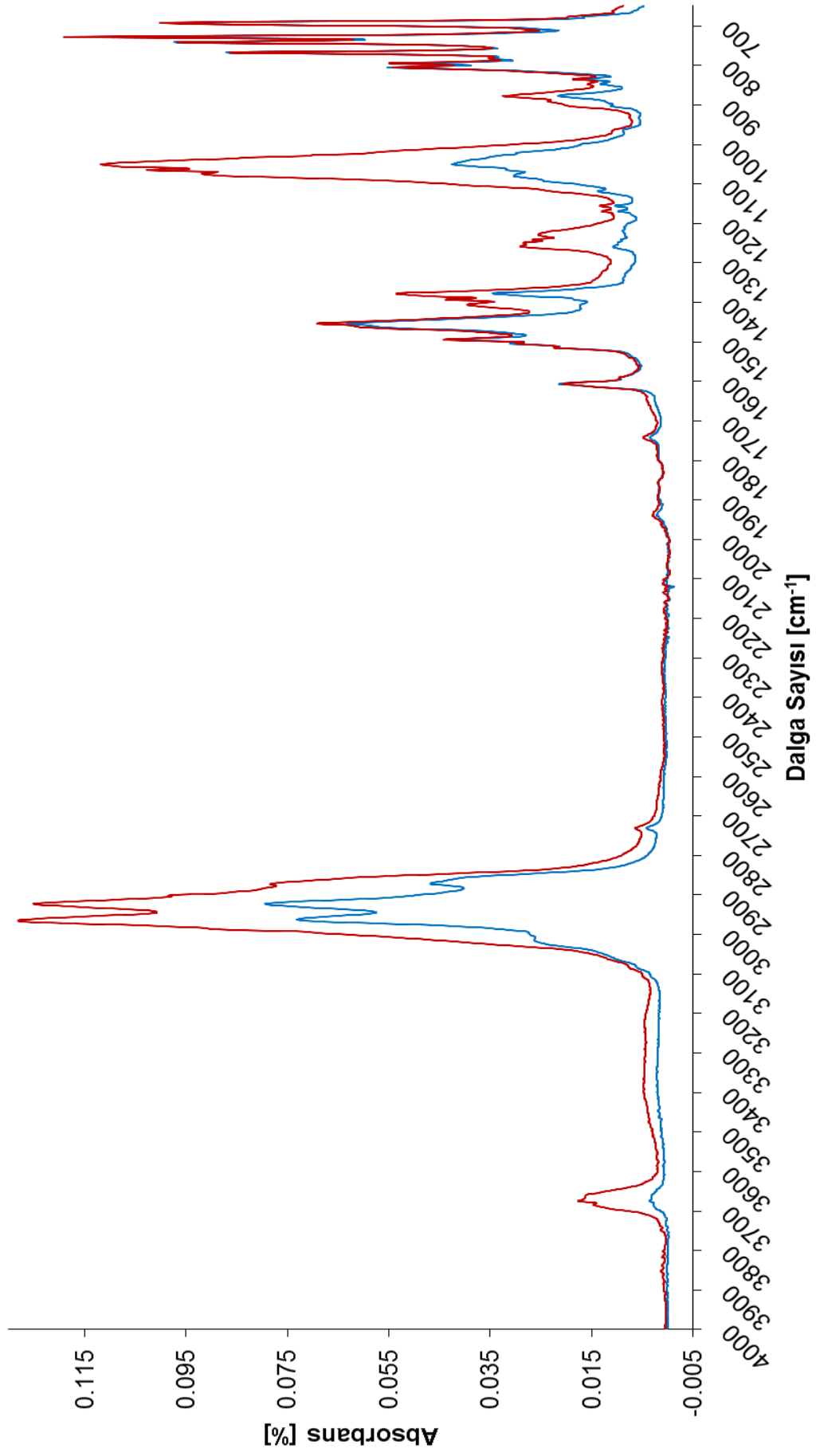
Egzoz emisyonlarının azaltılması için silindir öncesi yöntemlerin araştırılmasının ve optimizasyonunun yapıldığı bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ilerleyen sayfalarda grafikler halinde verilmiş ve yorumlanmıştır.

4.1. Fotokatalizin Benzin Üzerine Etkisi

Çalışmada kullanılan yakıtın özelliklerini geliştirmek amacı ile benzine fotokataliz uygulanmıştır. Fotokataliz etkinliğini artırmak amacı ile redüktör olarak sırasıyla su, metanol ve etanol kullanılmıştır. Fotokataliz işlemi saf benzine sırasıyla 30 dk, 60 dk ve 120 dk uygulanmış olup en fazla etki 60 dk için elde edilmiştir. Saf benzine fotokataliz uygulanması durumunda tatmin edici değişiklikler oluşmamış olup fotokataliz öncesi ve sonrası karşılaştırıldığında kayda değer bir değişiklik görülmemiştir. Oluşan farklılıklar deney hataları düzeyinde kalmıştır. Buradaki en büyük sebep iyonlaşmayı oluşturacak bir redüktör bulunmamasıdır. Benzin birçok hidrokarbonun karışımı olmasından dolayı redüktör görevini üstlenecek bir yapı olabileceği düşüncesiyle ilk işlem saf benzin ile yapılmıştır. Sonuçlarda tatmin edici herhangi bir değişiklik olmaması redüktör gerekliliğini ortaya koymuştur. Redüktör olarak ilk aşamada fotokatalizde temel olarak kullanılan su denenmiştir. Yapılan birçok denemede suyun benzin ile homojen karışmamasından dolayı fotokatalitik etkin yüzeyi (TiO_2 tabaka) kaplayarak etkinliğini düşürücü yönde etki yapmıştır. Bu durum benzin ile homojen karışan bir redüktör arayışını beraberinde getirmiştir. Süreçle birlikte OH^- iyon içeren ve benzin ile faz ayrışması olmadan karışacak ayrıca yakıt olarak da kullanılacak bir redüktör gerekliliği doğmuştur. Yapılan araştırmalarda metanol (CH_3OH) ve etanolün ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) bu özellikleri sağladığı görülmüş ve kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan su katkıları ise deney şartlarından kaldırılmıştır. Karışıklıkları ve uzun açıklamalı ifadeleri önlemek amacı ile işlem görmemiş saf benzin B100 (95 oktan kurşunsuz benzin) olarak gösterilmiştir. Etanol katkısı E harfi ve yüzdesi ile birlikte metanol katkısı M harfi ve yüzdesi ile belirtilmiştir. Fotokatalitik etki süreleri ise ifade sonlarına eklenmiş ve fotokatalize maruz kalmaması durumunda herhangi bir ekleme yapılmamıştır.

Etanol ile yapılan deneylerde distilasyon eğrisinde yaklaşık 40°C'ye varan değişimler gözlemlenmiştir. En büyük değişimler çoğunlukla distilasyonun %50-%80'lik yoğunlaşma hacimleri aralığında oluşmuştur. Buhar basınçlarındaki değişimler ise düşük düzeylerde. Çünkü fotokatalitik etkiler yakıtın tümünde değil, sadece belli molekül çeşitlerinde etkili olmaktadır. Buhar basıncı değerinde ise tüm molekül çeşitleri etkilidir. Oluşan moleküler değişimi görüntülemek amacı ile FTIR analizi yapılmıştır. E15 ve FTE15 yakıtları üç tekrarlı analiz edilerek iki numune için aritmetik ortalama alınmış, elde edilen değişimler iki seri halinde grafiğe dökülmüştür. Elde edilen grafik Şekil 4.1'de verilmiştir.

Her bir distilasyon testi için yakıt numunesinden 100 mL alınarak test cihazında kaynatma balonuna doldurulmuştur. Isıtıcı yardımıyla yoğunlaşan benzin akışı 4.5 ml/dk olacak şekilde kaynatma balonu ısıtılmıştır. Yoğuşturucu yaklaşık 10°C'de sabit tutulmuştur. Distilasyon işlemi için test cihazı olarak Herzog Mp 626 HDA 627/628 isimli test cihazı kullanılmıştır. Distilasyon testleri deniz seviyesinde yapıldığından sonuçlara basınç düzeltilmesi uygulanmamıştır. Elde edilen sonuçların hassasiyeti yetersiz görüldüğünden yakıt numuneleri distilasyon testleri Total Oil Samsun Yakıt laboratuvarında daha detaylı bir şekilde tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçların karşılaştırmalı grafikleri ilerleyen sayfalarda verilmiştir.



Şekil 4.1. E15 ve FTE15 yakıtına ait FTIR analizi

Farklı noktalarda absorbands pik şiddetinde artış görülmemesi; absorbands pik şiddetinin benzer noktalarda değişim göstermesi molekül yapısında herhangi bir değişim olmadığını göstermektedir. Artan absorbands pik şiddeti yakıt stabilitesinin arttığını göstermektedir (Shameer ve Ramesh, 2017). Fotokatalitik etkiye maruz kalan yakıtın oksidasyon kararlılığı artmış olup daha geç oksidasyona uğraması beklenmektedir. Diğer bir deyişle yakıt özelliklerini kaybetmeden, tortu oluşturmadan daha uzun süre saklanabilir. Yakıtın yanma ve termal davranışının incelenebilmesi için daha farklı analizlere ihtiyaç duyulmaktadır; fakat bu analizler imkânların yetersizliğinden dolayı yapılamamıştır.

DI değerleri distilasyon eğrisi üzerindeki veriler yardımıyla denklem 4.1 kullanılarak hesaplanmıştır (Acaroğlu vd, 2010)

$$DI^{\circ}C = 1.5(T10) + 3.0(T50) + (T90) \quad (4.1)$$

Burada T10, T50 ve T90 sırasıyla, yakıtın %10'unun, %50'sinin ve %90'ının yoğunlaştığı sıcaklıkları göstermektedir. Testlerde hava ile doymuş buhar basıncı (ASVP) ölçülmüş ve kuru buhar basıncı eşdeğeri hesaplanmıştır. Eşdeğer hesaplaması için denklem 4.2 kullanılmıştır (Anonim, 2008).

$$DVPE = (0,965ASVP) - 3,78 \quad (4.2)$$

Tüm yakıt numuneleri için buhar basınçları ve DI değerlerine ait değerler Çizelge 4.1'de, belirli sıcaklıklarda buharlaşma yüzdeleri ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

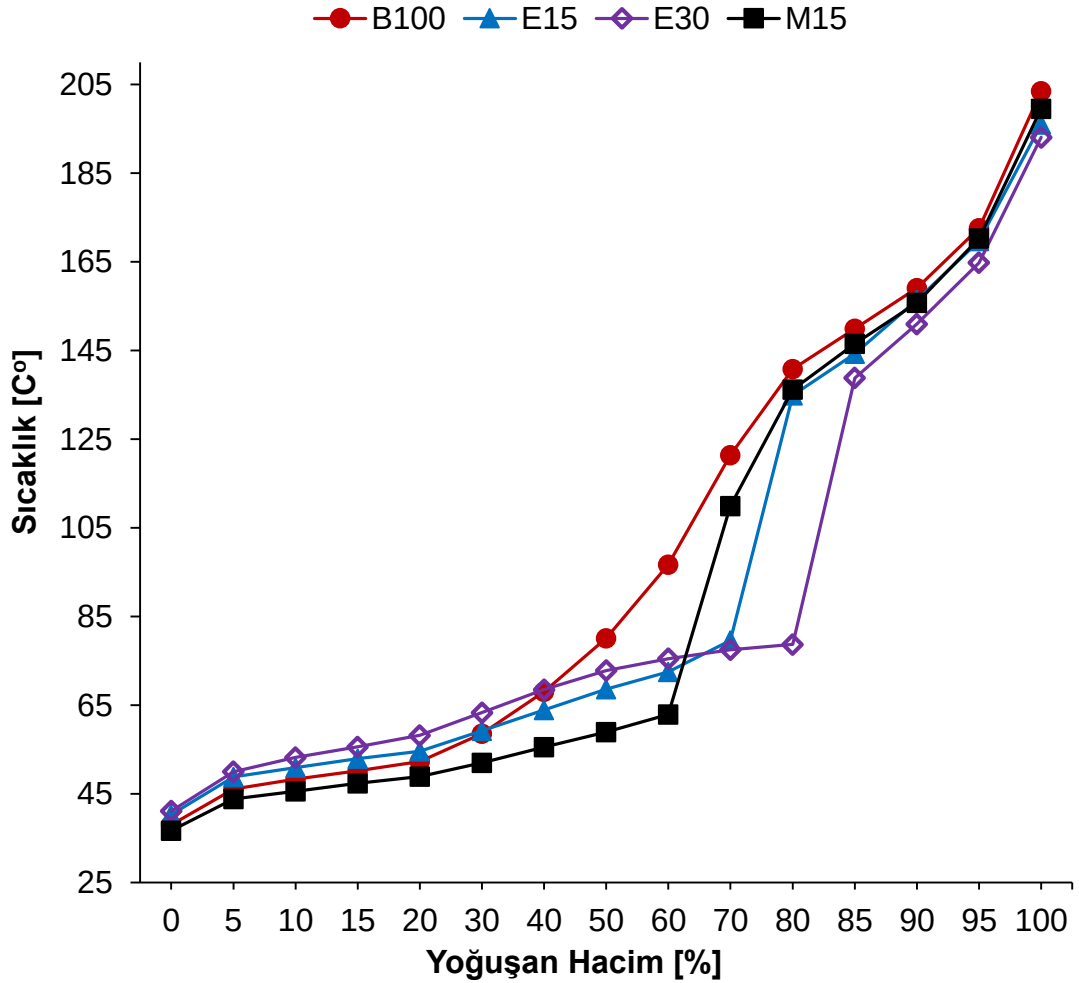
Çizelge 4.1. Tüm numuneler için DVPE ve DI değerleri

	B100	B100	B100	B100	E15	E15	E15	E30	E30	E30	M15	M15
		m30	m60	m120		m60	m120		m60	m120		m60
DVPE [kPa]	62.7	61.0	60.8	60.5	60.3	58.7	58.1	60.4	59.2	58.4	73.3	70.7
DI [°C]	465.7	470.3	472.6	471.9	433.6	438.1	434.9	443.6	444.5	445.0	396.2	403.5

Çizelge 4.2. Tüm yakıt numuneleri için belirli sıcaklıklarda buharlaşma yüzdeleri

%Vol.	B100	B100	B100	B100	E15	E15	E15	E30	E30	E30	M15	M15
Temp.		m30	m60	m120		m60	m120		m60	m120		m60
70 °C	41.8	41.1	40.7	41.2	53.7	53.7	52.8	43.2	42.0	42.6	64.7	58.5
100 °C	61.4	60.8	60.8	61.2	71.0	66.2	69.0	81.4	80.1	80.3	68.2	64.0
150 °C	85.1	85.1	84.7	85.0	87.2	85.6	87.2	89.7	89.4	89.4	87.0	85.1
180 °C	96.5	96.5	96.6	96.5	96.9	95.9	95.5	97.4	96.2	96.6	97.0	95.9

Saf benzinin etanol ve metanol ile katkılanılması durumunda distilasyon değerlerinde oluşan değişimler Şekil 4.2’de grafik ile verilmiştir.

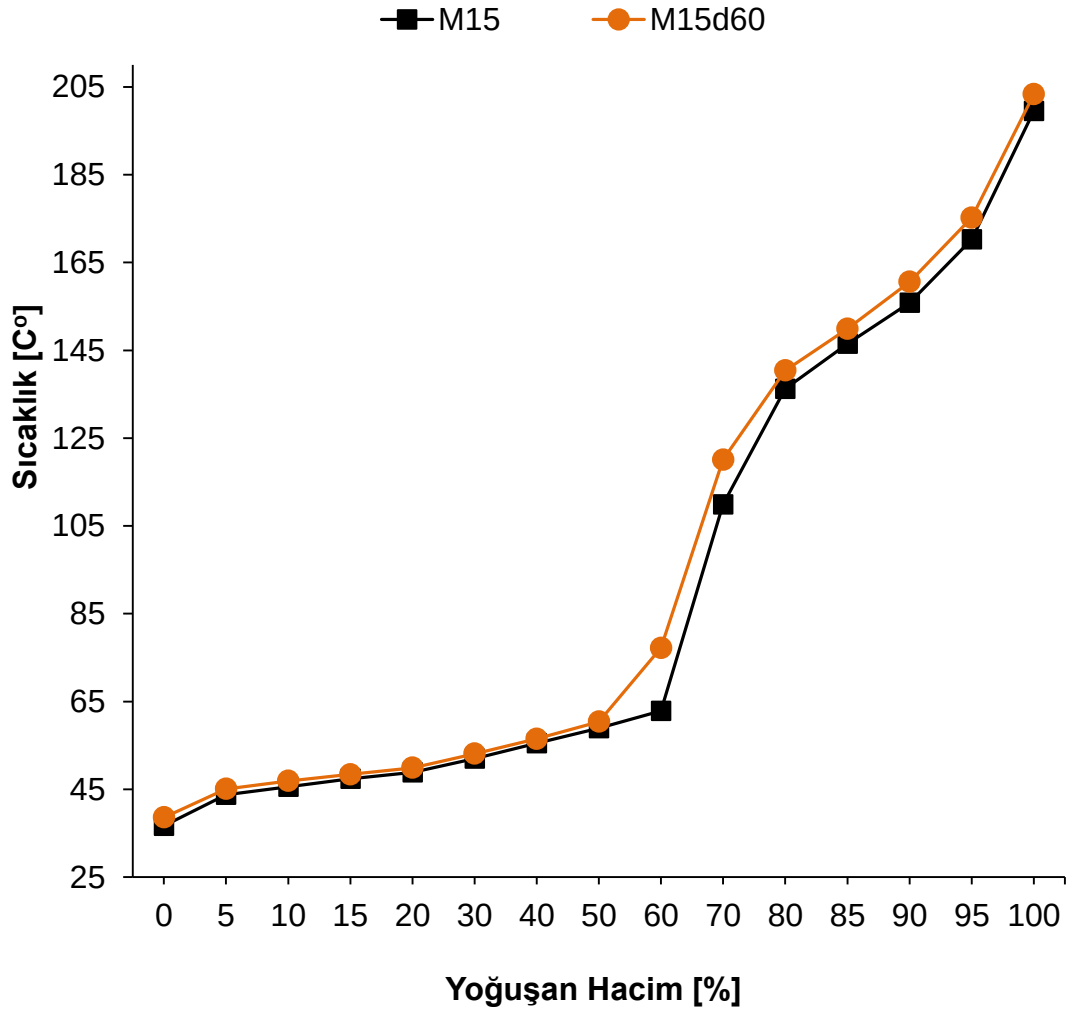


Şekil 4.2. Etanol ve metanol katkısı ile distilasyonda oluşan değişimler

Grafikten görüldüğü üzere değişimler çoğunlukla %40’tan %80 yoğuşma hacmine kadar görülmektedir. Metanolün kaynama noktası 64,5°C, etanolün kaynama noktası ise 78°C olduğundan bu bölge civarındaki yoğuşma miktarını artırmışlardır. Bu yüzden bu bölgelerde katkılı yakıtlar için yoğuşma sıcaklıkları daha düşüktür.

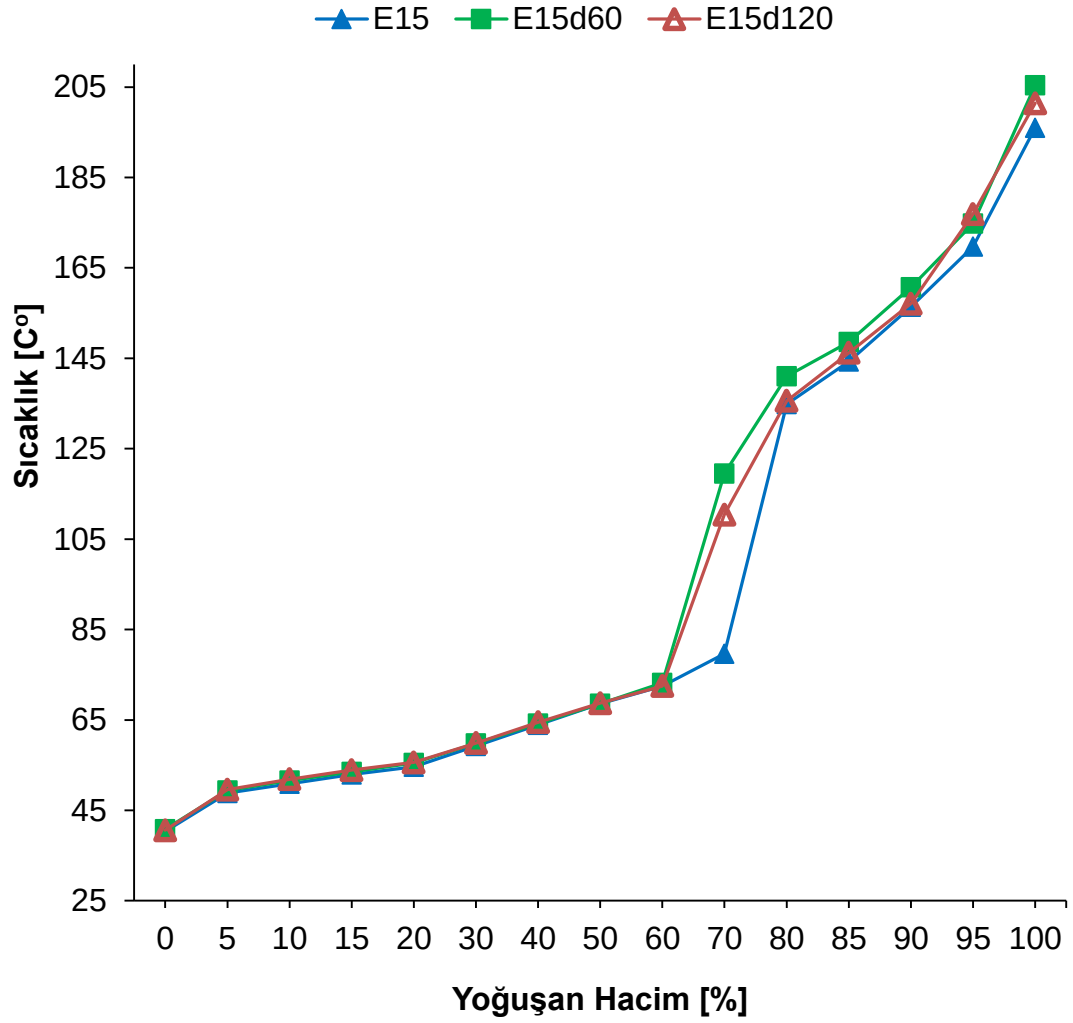
M15 yakıtı için 60dk fotokatalitik etkiye maruz bırakılması durumunda maksimum 14,3°C’lik değişim %60’lık yoğuşma hacminde görülmüştür. %70’lik hacim için 10,2°C’lik değişim görülmüş, diğer noktalarda tatmin edici bir değişim görülmemiştir. Etanol kullanılması durumunda görülen değişimler çok daha fazla olduğundan deneylere etanol karışımı ile devam edilmiştir. %15 metanol katkılı (M15)

yakıtı fotokatalitik etkiye bir saat maruz bırakılması (M15dk60) durumunda ortaya çıkan etkiler Şekil 4.3'te grafik olarak verilmiştir.



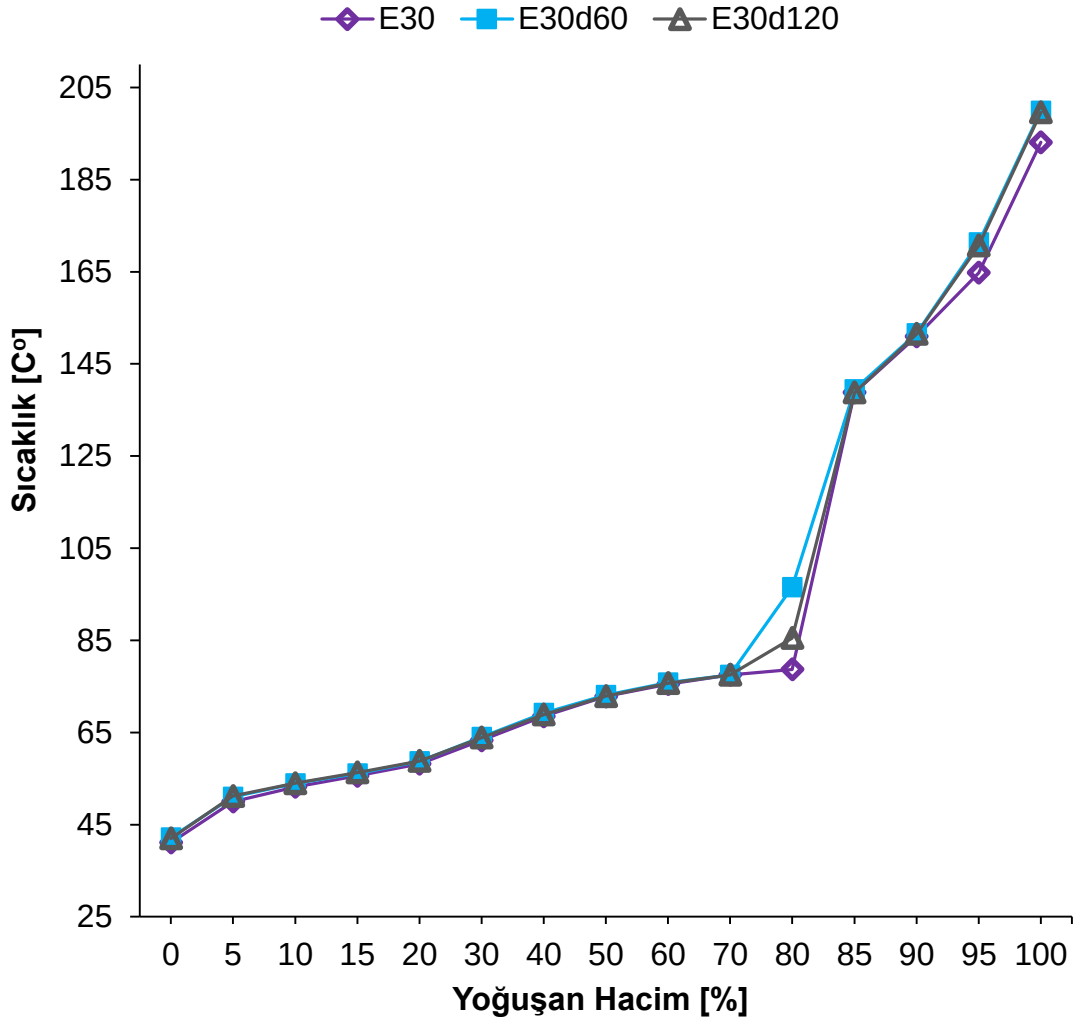
Şekil 4.3. Fotokatalitik etki ile M15 yakıtı distilasyon eğrisinde oluşan değişim

E15 yakıtı için en yüksek değişim %70'lik yoğuşma hacminde 60 dk için 39.9°C olarak belirlenmiştir. Çalışma boyunca elde edilen en yüksek değişim bu noktadadır. Bu yüzden fotokatalitik etkiyi artırmak amacı ile kullanılacak en etkili katkının etanol olduğuna karar verilmiştir. E15 yakıtının 120 dk fotokatalize maruz bırakılması durumu için etki tekrar azalmaktadır. E15 yakıtı için değişimleri gösteren grafik Şekil 4.4'te verilmiştir.



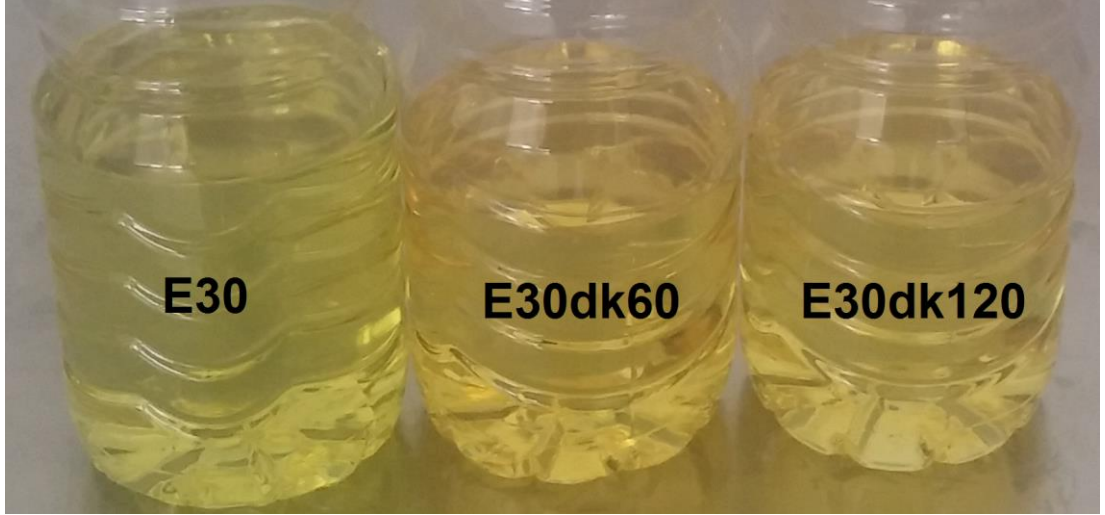
Şekil 4.4. Fotokatalitik etki ile E15 yakıtı distilasyon eğrisinde oluşan değişim

Yakıt içerisindeki etanol katkısı %30'a çıkarıldığında E15 yakıtına göre etkiler azalmıştır. Bu yüzden doğru katkı miktarının %15 olduğuna karar verilmiştir. E30 yakıtı kullanıldığında maksimum değişim yine 60 dk için olmuştur. Fotokatalitik ışınlama devam edildiğinde etkiler tekrar azalmaktadır. E30 yakıtına ait değişimler Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Fotokatalitik etki ile E30 yakıtı distilasyon eğrisinde oluşan değişim

Literatürde etanol ve metanol fotokatalitik etkiye maruz bırakıldığında CO_2 ve H_2 oluştuğu belirtilmektedir (Nomikos vd, 2014). Fakat bu çalışma süresince yapılan deneylerde gaz çıkışı, faz ayrışması, hacim değişimi gözlemlenmemiştir. FTIR analizinden elde edilen sonuçlar bu durumu destekler niteliktedir. Deneyler süresince etanol ve metanol katkılı yakıtlar için fotokatalitik etki sonucu yakıt renklerinde koyulaşma görülmüştür. E30 yakıtı için koyulaşma Şekil 4.6’da verilmiştir.

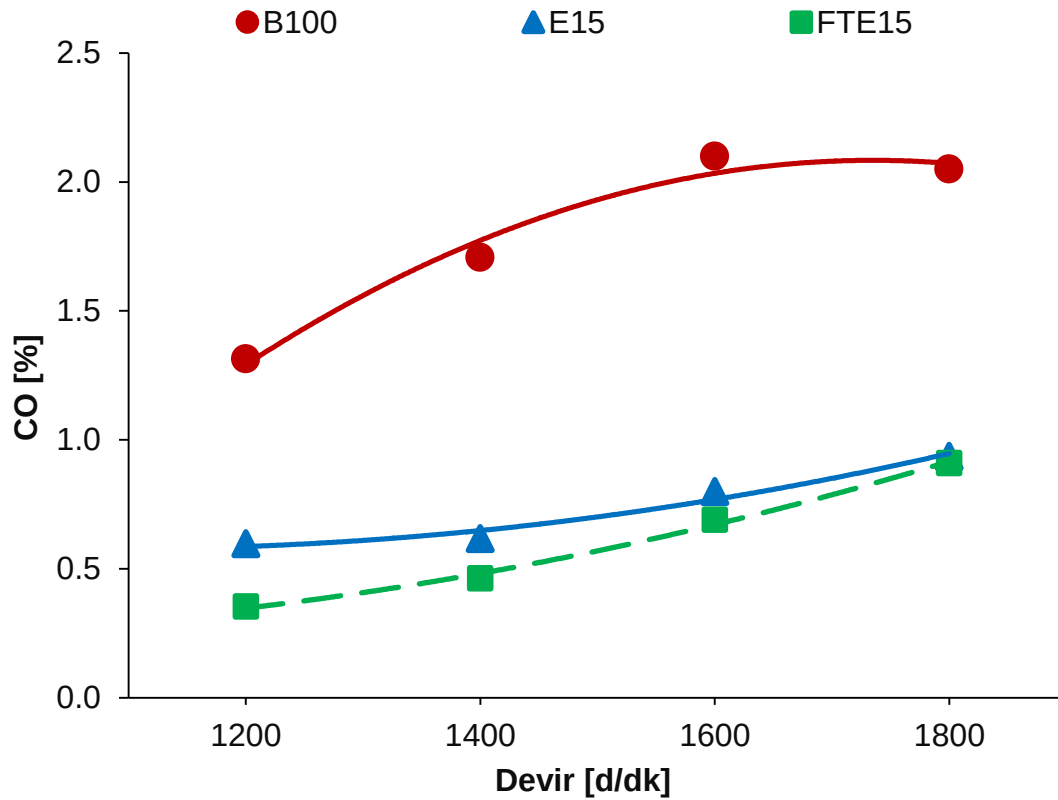


Şekil 4.6. Fotokatalitik etki ile E30 yakıtı renginde görülen koyulaşma

4.2. Fotokatalizin Emisyonlara ve Performansa Etkileri

E15 yakıtına 60 dakika fotokataliz uygulanmış; deney 100 mL için yapılabildiğinden 50 kez tekrarlanarak 5 litre yakıt elde edilmiştir. Daha sonra bu yakıt ayrı bir depo üzerinden motor ünitesine beslenmiş, emisyonlar ve performanstaki değişim incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ilerleyen bölümlerde grafikler halinde verilmiştir.

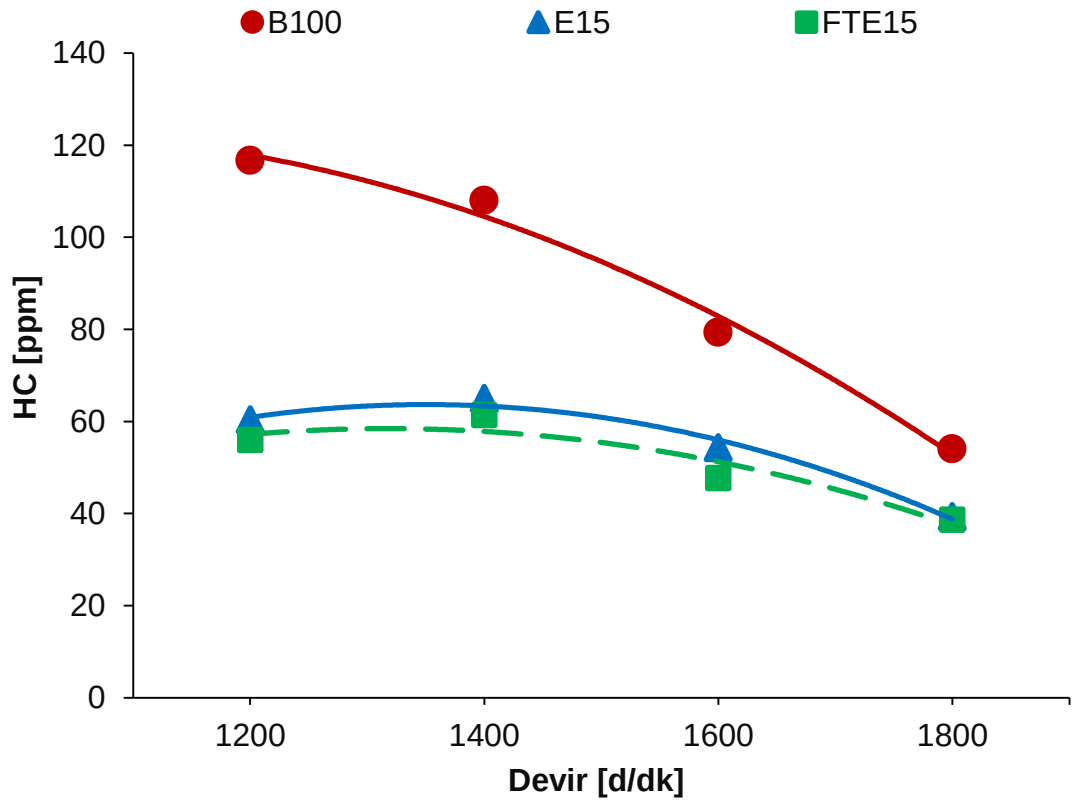
4.2.1. CO emisyonuna etkisi



Şekil 4.7. Fotokataliz işleminin CO emisyonuna etkileri

Etanolün içerdiği oksijen ve yüksek alev yayılma hızı yanmanın iyileşmesine yol açarak daha kararlı bir yanma sağlamaktadır. Bu durum CO emisyonunun CO₂'ye dönüşerek yüzdesinin azalmasını sağlar. Şekil 4.9'daki CO₂ grafiği bu görüşü desteklemektedir. Benzer durum HC emisyonları için Şekil 4.8'de de görülmektedir. E15 yakıtı kullanıldığında HC emisyonu %38.8 azalmış, fotokatalize maruz bırakılmış E15 yakıtı (FTE15) kullanılması durumunda ise %43.1 azalmıştır. CO emisyonu için azalma miktarı E15 yakıtı kullanılması durumunda ortalama %58.9 olurken FTE15 kullanılması durumunda ise %66.3 olmuştur. Bu durum yanmanın iyileştiğine dair fikir vermektedir. FTE15 yakıtı E15 yakıtı ile karşılaştırıldığında ise azalma %18.1 olmuştur.

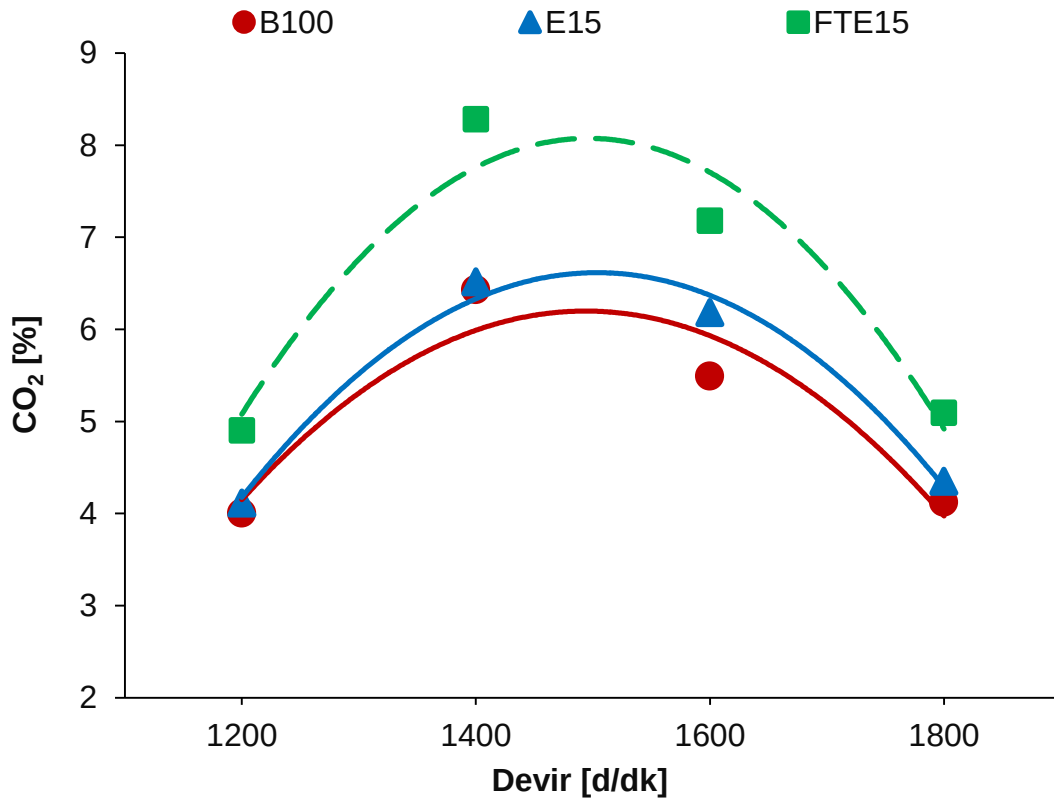
4.2.2.HC emisyonuna etkisi



Şekil 4.8. Fotokataliz işleminin HC emisyonuna etkileri

Etanolün yanmayı zenginleştiren yapısı yanmamış hidrokarbonların miktarının azalmasını sağlamaktadır. Fotokatalizin kullanılması ise bu etkiyi daha da artırmaktadır. HC miktarındaki azalma E15 yakıtı için ortalama %38.8 olurken FTE15 kullanılması durumunda %43.1 olmuştur. FTE15 yakıtı E15 yakıtı ile karşılaştırıldığında ise azalma %7 olmuştur. Bu durum çığ yakıt salınımının da azaldığını göstermektedir. Ayrıca yanmanın iyileştiğinin bir belirtisidir.

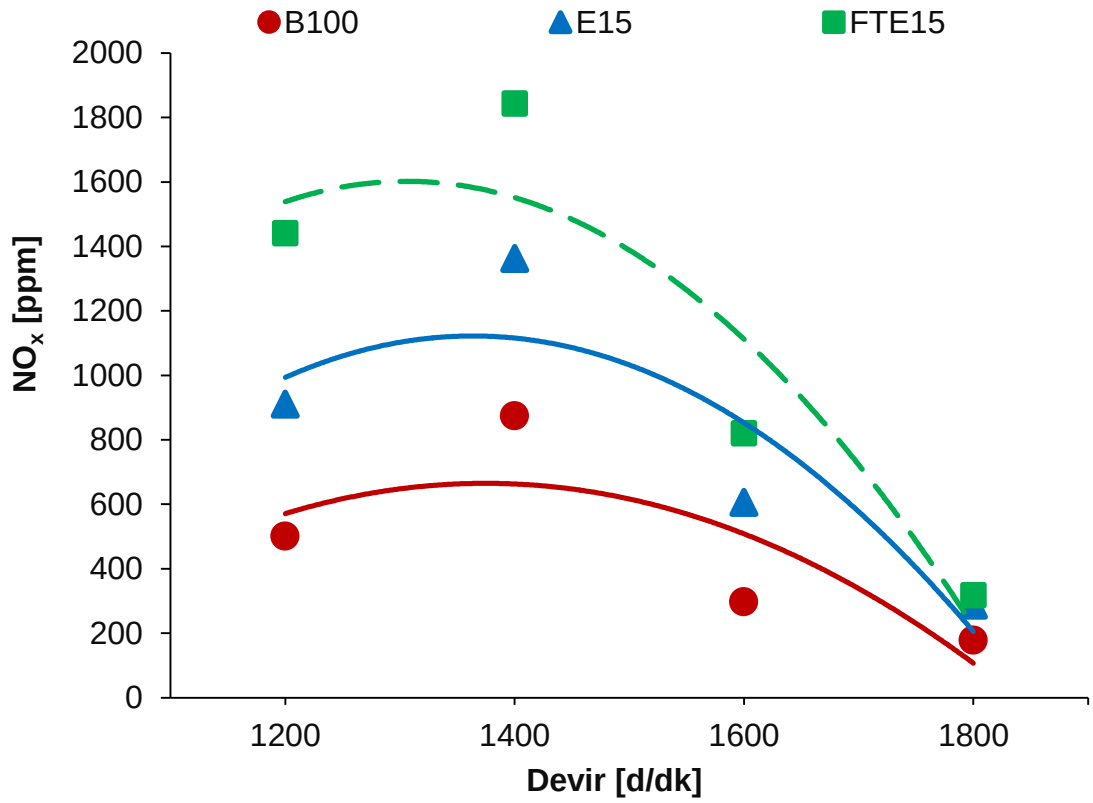
4.2.3. CO₂ emisyonuna etkisi



Şekil 4.9. Fotokataliz işleminin CO₂ emisyonuna etkileri

Oksijen içeriğine sahip etanol ile sağlanan daha kararlı yanma CO'dan CO₂'ye dönüşümü artırarak CO₂ emisyonları yüzdesini artırmıştır. Bu artış E15 yakıtı kullanılması durumunda ortalama %5.6'da kalırken yakıtın fotokatalize maruz bırakılması durumunda %27 düzeyine çıkmaktadır. FTE15 yakıtı E15 yakıtı ile karşılaştırıldığında ise artma %20.3 olmuştur. Bu durum CO₂ emisyonu yönünden kötü olsa da yanmanın iyileştiğine dair fikir vermektedir.

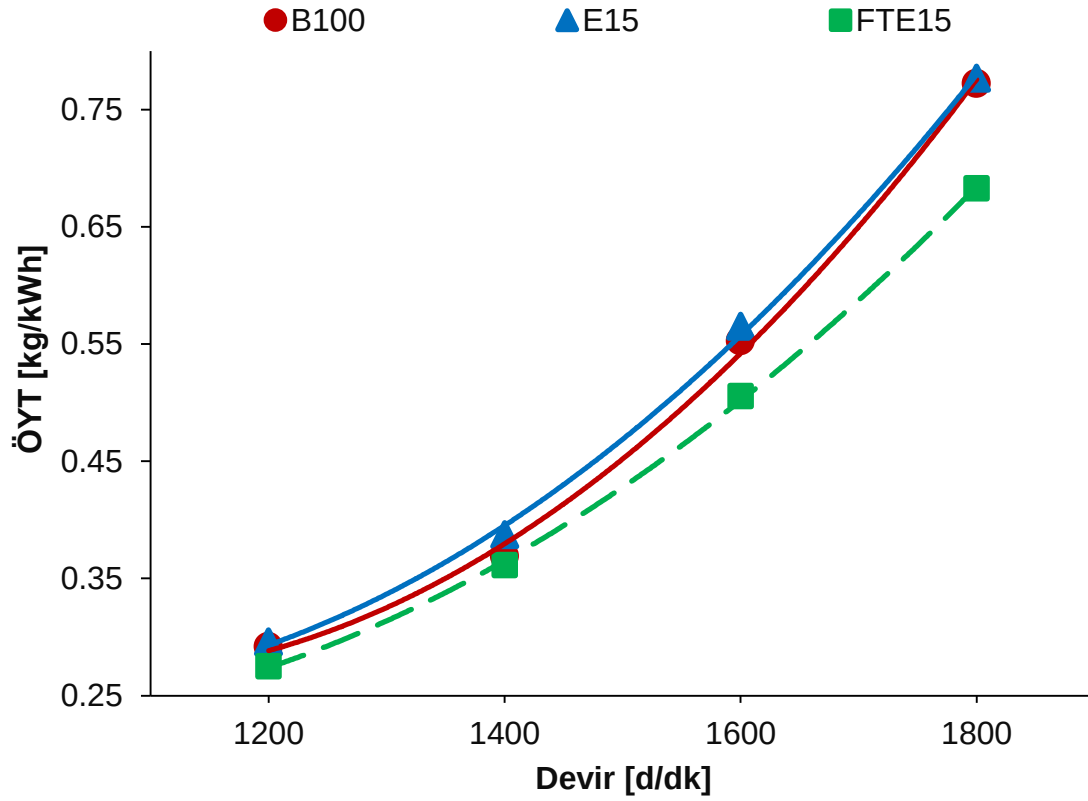
4.2.4. NO_x emisyonuna etkisi



Şekil 4.10. Fotokataliz işleminin NO_x emisyonuna etkileri

Grafikten görüldüğü üzere E15 yakıtı kullanımı NO_x emisyonlarını artırırken yakıtın fotokatalize maruz bırakılması bu artışı daha da tetiklemektedir. E15 yakıtı kullanımı durumunda ortalama artış %71.2 olurken FTE15 yakıtı için artış miktarı %139.1 olmuştur. FTE15 yakıtı E15 yakıtı ile karşılaştırıldığında ise artma %39.7 olmuştur. Bu durum FTE15 yakıtı kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklıklarının arttığına dair fikir vermekte ve ısı veriminin iyileştiğini göstermektedir.

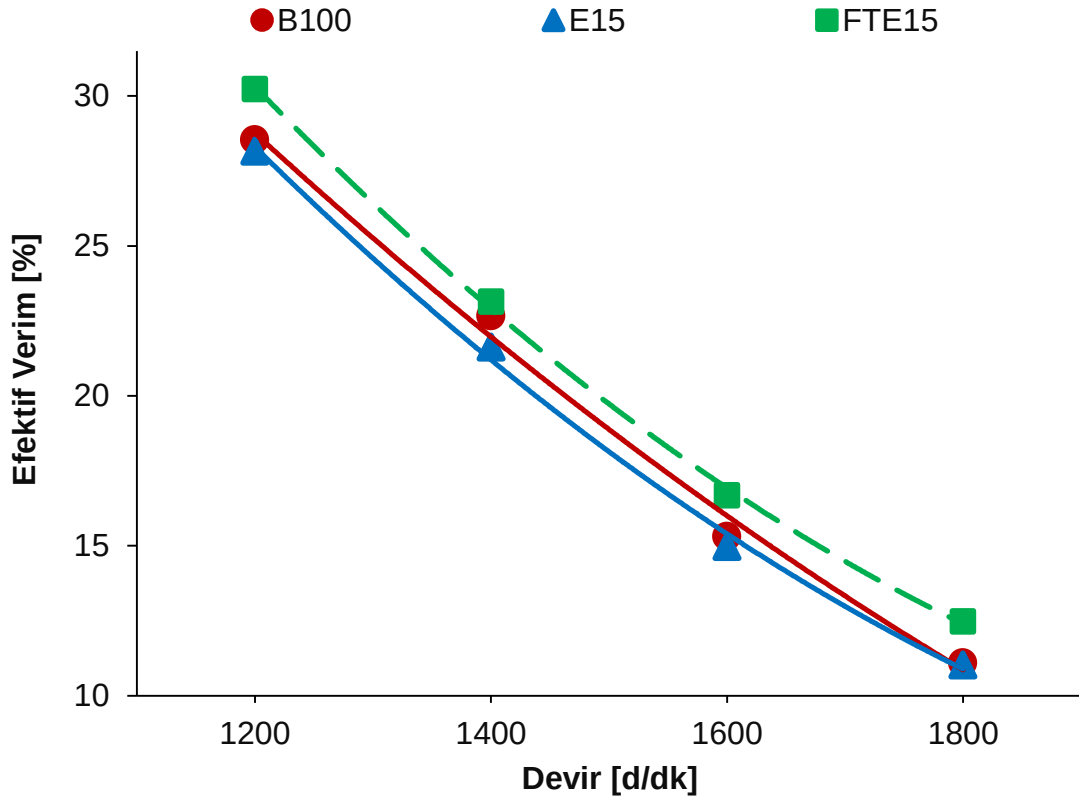
4.2.5. Özgöl yakıt tüketimine etkisi



Şekil 4.11. Fotokataliz işleminin ÖYT'ye etkileri

E15 yakıtı kullanımı ÖYT değerlerinde artışa yol açmıştır. Literatürde de benzer durumlar gözlemlenmiştir (Yüksel ve Yüksel, 2004). Bu durum etanolün ısı değeri düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yanma süreci iyileşmesine rağmen birim güç için tüketilen yakıt miktarı artmaktadır. Fakat bu negatif etki FTE15 kullanımı ile ortadan kalkmıştır. E15 kullanımı ile ÖYT tüketimi ortalama %2 artarken FTE15 kullanımı ile %8.1 azalmıştır. FTE15 yakıtı E15 yakıtı ile karşılaştırıldığında ise azalma ortalama %9.9 olmuştur. Bu durum yakıtın fotokatalize maruz bırakılmasının yanmayı etkin bir biçimde iyileştirerek ısı verimi artırdığını göstermektedir.

4.2.6. Efektif verime etkisi



Şekil 4.12. Fotokataliz işleminin efektif verime etkileri

Benzin içerisinde etanol karıştırılması efektif verimde düşüşe yol açmaktadır. Fakat karışımın fotokatalize maruz bırakılması durumunda bu negatif etki pozitif dönüşmektedir. E15 yakıtı kullanılması durumunda efektif verim %2.4 azalırken FTE15 kullanılması durumunda %6.5 artmaktadır. FTE15 yakıtı E15 yakıtı ile karşılaştırıldığında ise artma %9.1 olmuştur.

Elde edilen tüm sonuçlar ve grafikler göz önüne alındığında fotokataliz işlemi yakıtın yanma özelliklerini küçük ölçüde de olsa iyileştirmekte; yanma sürecini zenginleştirmektedir. Bu durum verimde artışa yakıt tüketiminde ise azalmaya yol açarken NO_x emisyonlarında artışa yol açmaktadır. NO_x artışına neden olan bu kötü etki ikincil bir yöntemin (EGR, nemlendirme, Adblue...) yardımı ile giderilebilir. Yapılan çalışmada yakıt eldesi için yapılan her deneyde 100 mL yakıt fotokapsül içerisinde fotokatalize maruz bırakılmasından dolayı çok az yakıt elde edilebilmiş (toplam 50 adet deney ile 5 lt yakıt); fotokatalize maruz bırakılmış yakıt eldesi çok zor olduğundan deneyler kısıtlı şartlarda yapılabilmektedir. UV ışığın ısıtma etkisi ve fotokapsül üzerinde bulunan elektrik sistemindeki kıvılcım oluşma ihtimali, ayrıca

herhangi bir benzin sızıntısında buharlaşma olasılığı, deney başına kullanılabilen benzin miktarını sınırlamıştır. Herhangi bir patlama veya alev alma durumunda kontrol altına alınabilmesini sağlamak amacı ile yakıt hacmi olabildiğince düşük tutulmuştur. İlerleyen aşamalarda daha iyi ve daha güvenli bir fotokapsül tasarlanması durumunda daha çok yakıt elde edilerek ikincil yöntemler araştırılabilir ve hem yanma sürecinin iyileşmesi hem de NO_x emisyonlarının kontrolü sağlanabilir.

4.3. Nemlendirmenin Emisyonlara ve Performansa Etkileri

Nemlendirme içten yanmalı motorlarda genellikle NO_x emisyonlarının kontrolü için başvurulan yöntemlerin başında gelmektedir. Suyun yanma ortamına gönderilmesi, farklı yöntemler ile olmaktadır. Yakıt ve suyun karıştırıldığı emülsiyon yöntemi en bilinen yöntemdir. Hem etkinliği fazla hem de uygulama maliyeti düşüktür. Bir başka yöntem yanma havasına su karıştırılmasıdır. Burada karıştırma işlemi suyun emme manifolduna püskürtülmesi, silindir içerisine direkt püskürtülmesi, emme havasına buhar püskürtülmesi şeklinde olabilir. Bu yöntemlerin dezavantajları motor parçalarındaki korozyonu artırmalarıdır. Emülsiyon yöntemine göre daha fazla maliyet gerektirirler.

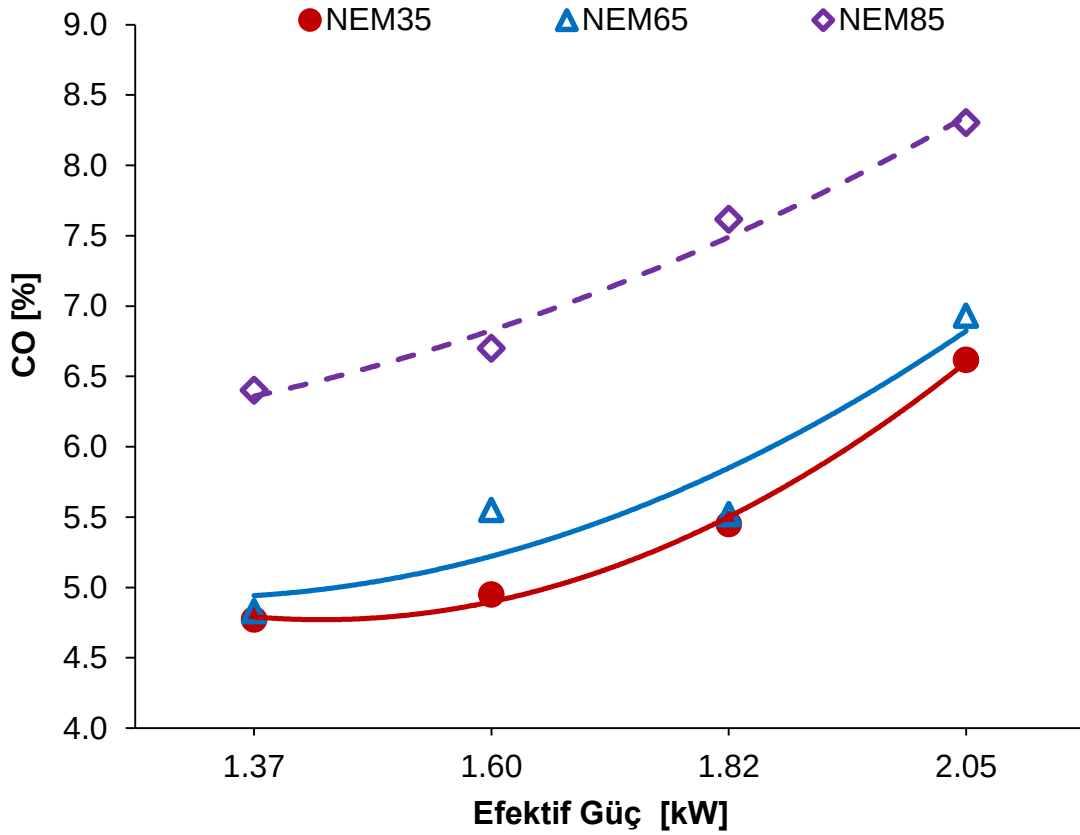
Literatürde nemlendirme yöntemi incelendiğinde genellikle CO ve HC emisyonlarını kötüleştirdiği görülür. NO_x emisyonları ise çoğu çalışmada iyileşmektedir (Benini vd, 2009). Motor performansının ise bazı çalışmalarda iyileştiği (Chintala ve Subramanian, 2016) bazı çalışmalarda kötüleştiği belirtilmektedir (Gonca ve Sahin, 2017). Çoğu çalışmada ÖYT'nin arttığı görülse de azımsanmayacak düzeydeki bir çok çalışmada ise ÖYT'nin iyileştiği vurgulanmaktadır. Bu iyileşmeler genellikle volümetrik verimin artışı, mikro patlama teorisine bağlı olarak yakıt ile havanın daha iyi karışması ve temas yüzeyinin artışına bağlanmaktadır. Mikro patlama teorisi ilk olarak Ivanov, (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Teoriye göre yanma odası içerisindeki asılı su parçacıkları, yanma anında kızgın buhar fazına ani geçiş yaparak küçük patlamalar oluşturur. Bu patlamalar daha iyi atomize edilmiş yakıtın daha fazla parçalanmasına ve böylece emme havası ile temas eden daha fazla yüzey alanı oluşmasına yol açar. Ayrıca patlama etkisi ile oluşan karışma hareketi emme havası ve yakıtın daha iyi karışmasını sağlayarak daha homojen bir yanma ortamı sağlar. Bu durum yanmayı geliştirerek çiğ yakıt atımını azaltır. Dolayısıyla yanma verimi artar. Bu etki yakıt su emülsiyonu ile yapılan çalışmalarda daha etkin bir şekilde görülür.

Sheng vd, (1995) emülsiyon yakıtın mikro-patlama davranışlarını, alev özelliklerini ve alev açısını gözlemledikleri çalışmada destekleyen bulgular elde etmişlerdir. Ortamdaki su konsantrasyonunun yüzdesi, dağılan su parçacıklarının büyüklüğü (damlacık boyutu), ortam basıncı ve sıcaklık, patlama gücünü doğrudan etkileyen temel faktörlerdir. Karışımındaki su yüzdesi arttıkça mikro patlama olasılığı artarken, belli değerden fazlası ise motor performansında kötüleşmelere yol açar. Bu durum suyun buharlaşma gizli ısısına kaybolan ısıнын artması ve yakıtın hava ile olan temas yüzeyinin azalmasından kaynaklanır. Oluşan bu olumsuz etkiler mikro patlama ile oluşan iyi etkilerden daha baskın hale gelmektedir. Fu vd, (2002) dağılan su parçacıklarında patlama için kritik damlacık çapının 4.5 ve 4.7 μm olduğunu belirtmişlerdir. Sheng vd, (1995) ortam basıncındaki artışın mikro patlama direncini; daha yoğun gaz ortamında daha kısa sürede nüfuz etmesine bağlı olarak azalttığını gözlemlemiştir.

Abu-Zaid, (2004a) ve Tsukahara vd, (1989) yaptıkları araştırmalarda ÖYT 'de düşüş belirlemişler ve elde edilen sonucu aşağıdaki sebeplere bağlamışlardır. Su konsantrasyonunda artış ile mikro-patlama davranışının yoğunluğunun artması, gelişmiş hava girişi ile önceden karıştırılmış yanma ve daha fazla yanma ürünü belirttikleri sebepler arasındadır.

Park vd, (2004) yaptıkları çalışmada dizel bir motorda %25'ten daha yüksek yüklerde su ile emülsife yakıt kullanılması durumunda ÖYT'de iyileşmeler gözlemlemişler, özellikle yüksek yüklerde bu etkinin bariz düzeyde arttığını belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları ise mikro patlama teorisine bağlamışlardır.

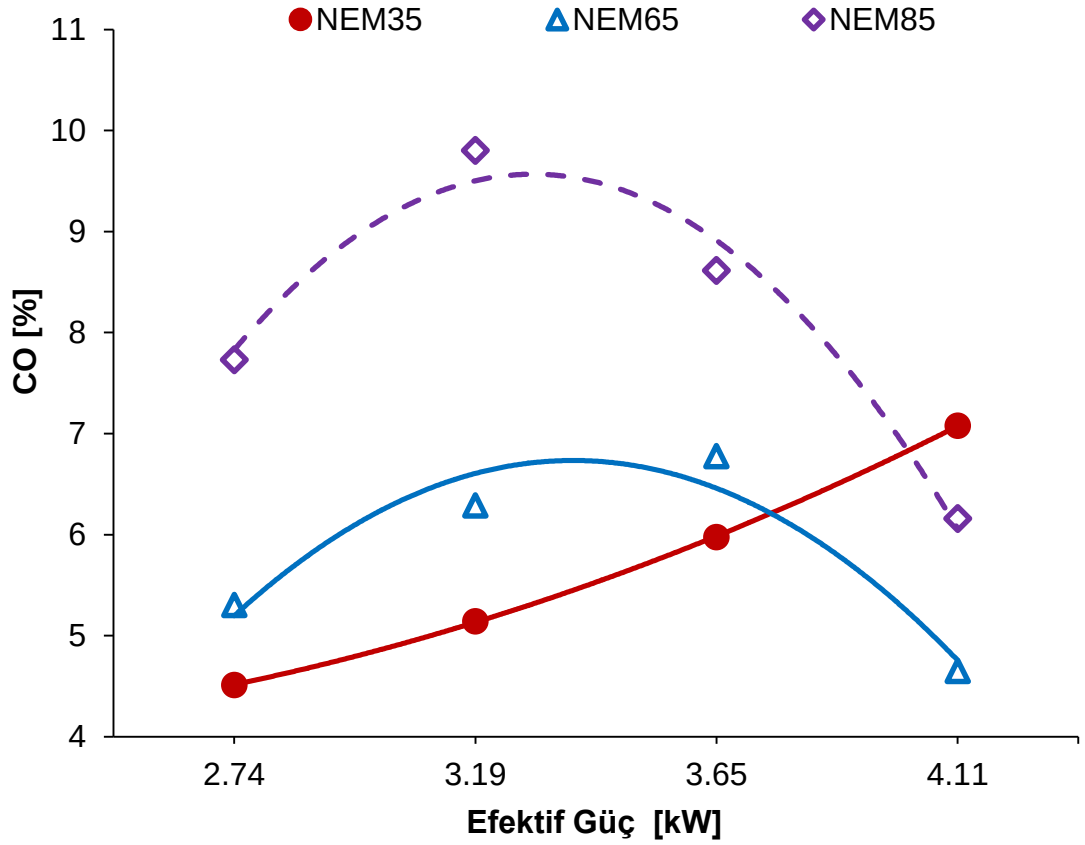
4.3.1. CO emisyonuna etkisi



Şekil 4.13. Yarım yük için standart oksijen (%21) durumunda nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri

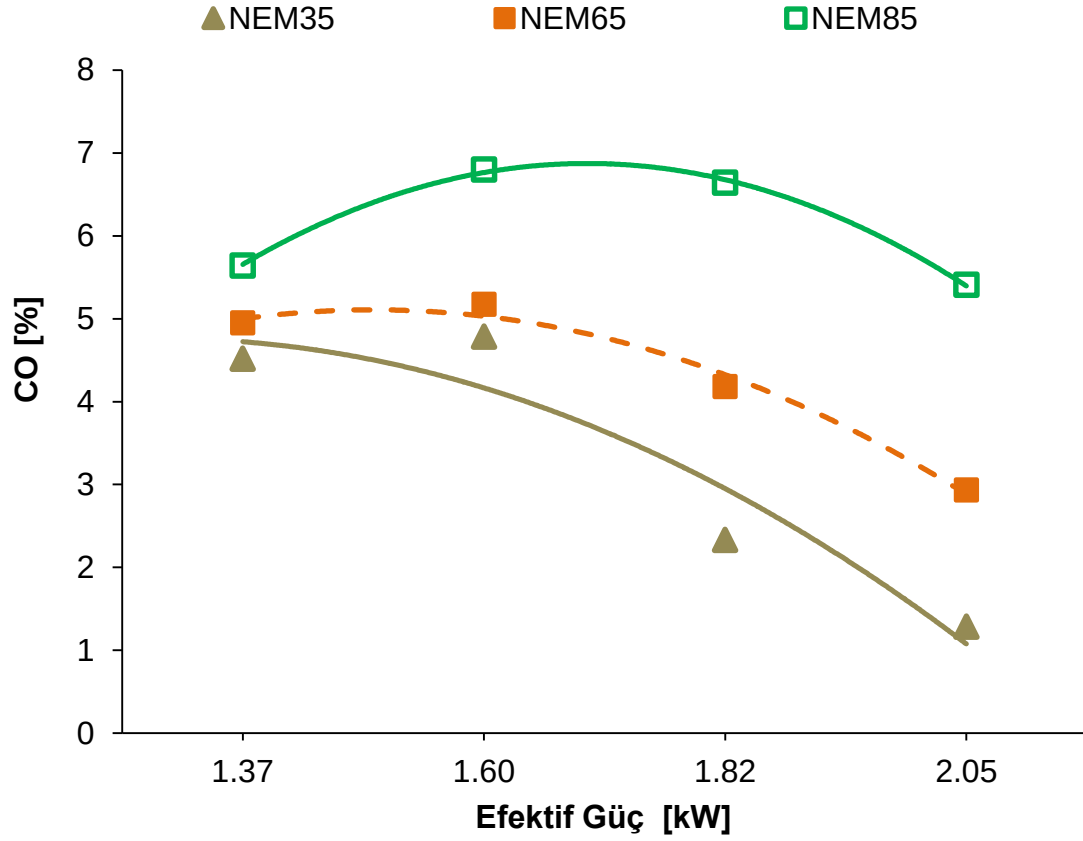
Yarım yük ve %21 oksijen koşulları için bağıl nem oranı %35'ten %65'e çıkarıldığında CO emisyonu ortalama %6.5 artarken nem oranı %85'e çıkarılması durumunda %34.1 oranında artmıştır. Uygulanan sabit yükte devir artışı gücü artırmakta; yani yatay eksenindeki güç artışı dolaylı olarak devir artışını göstermektedir. Her bir devir değerine karşılık gelen güç değerleri Çizelge 3.6'da deneysel metodoloji kısmında verilmiştir.

Devir sayısı arttıkça yanma için gereken sürenin giderek daha yetersiz hale gelmesinden dolayı CO emisyonu artış eğilimi göstermektedir. Nemlendirme ile içeri gönderilen bağıl nemi yükseltilmiş hava yanmayı kötüleştirmekte ve yanma sıcaklıklarını düşürmektedir. Bu durum CO emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Mikro patlama etkileri kısmi yükte görülmemektedir.



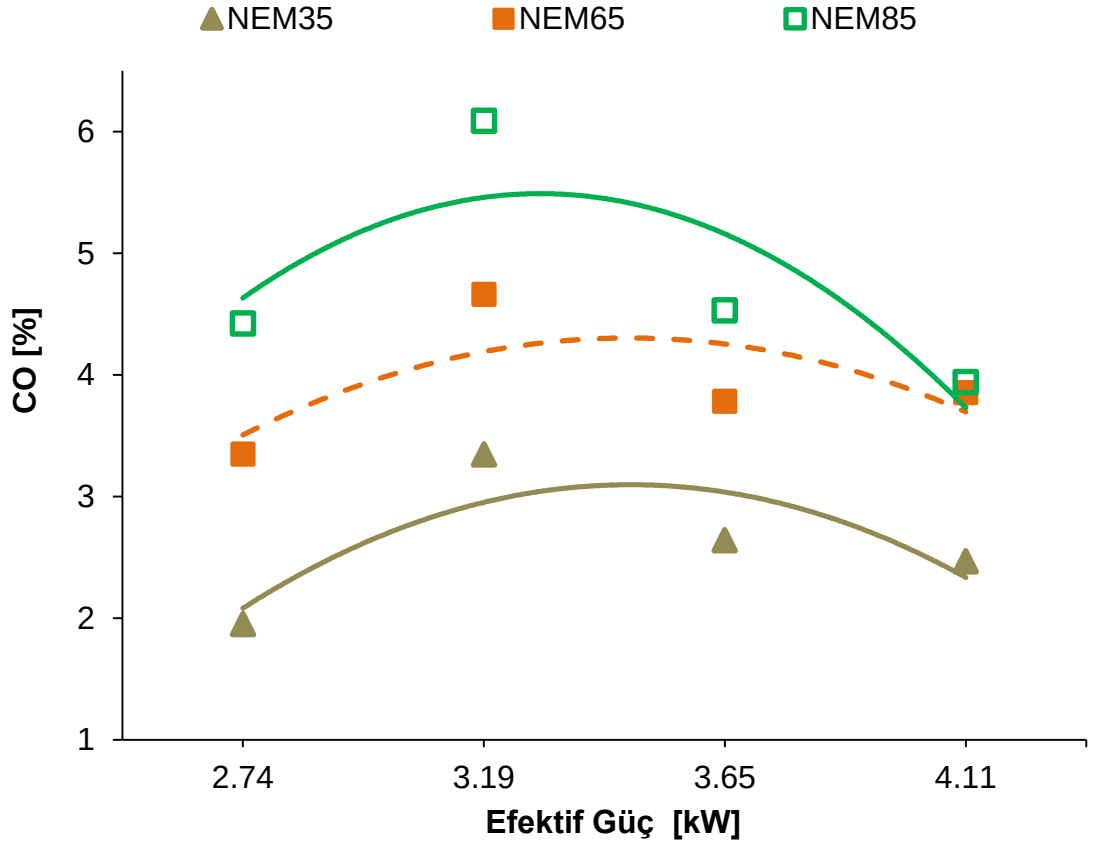
Şekil 4.14. Tam yük için standart oksijen (%21) durumunda nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri

Tam yük durumunda artan sıcaklıklarla birlikte mikro patlama etkisi artmış, artan nem oranı yüksek güçlerde (eşlenik olarak devirlerde) beklenenin aksine CO yüzdesini azaltmıştır. Standart nem (%35) şartı için güç (eşlenik olarak devir) arttıkça CO emisyonu; yanma için yeterli zamanın olmayışından dolayı artmaktadır. Fakat bu trend nem oranı arttıkça orta güçlerden (orta devir-1500 d/dk) sonra tersine dönmektedir. Buradaki en büyük etken güç (eşlenik olarak devir) arttıkça artan ısı yığılmaya bağlı olarak motor içi sıcaklıkların artması ve bu durumun mikro patlama mekanizmasını güçlendirmesidir. Fakat genel itibari ile bakıldığında artan bağıl nem CO emisyonunu artırmıştır. Bağıl nemin %65'e çıkarılması CO emisyonlarını ortalama %1.4 arttırırken, %85'e çıkarılması %42.3 artırmıştır. Burada CO emisyonunun artması nemli havanın silindir içi sıcaklığı düşürmesine bağlanabilir. Düşük sıcaklıklarda CO'nun CO₂'ye dönüşüm hızı yavaşlar ve CO emisyonu artar.



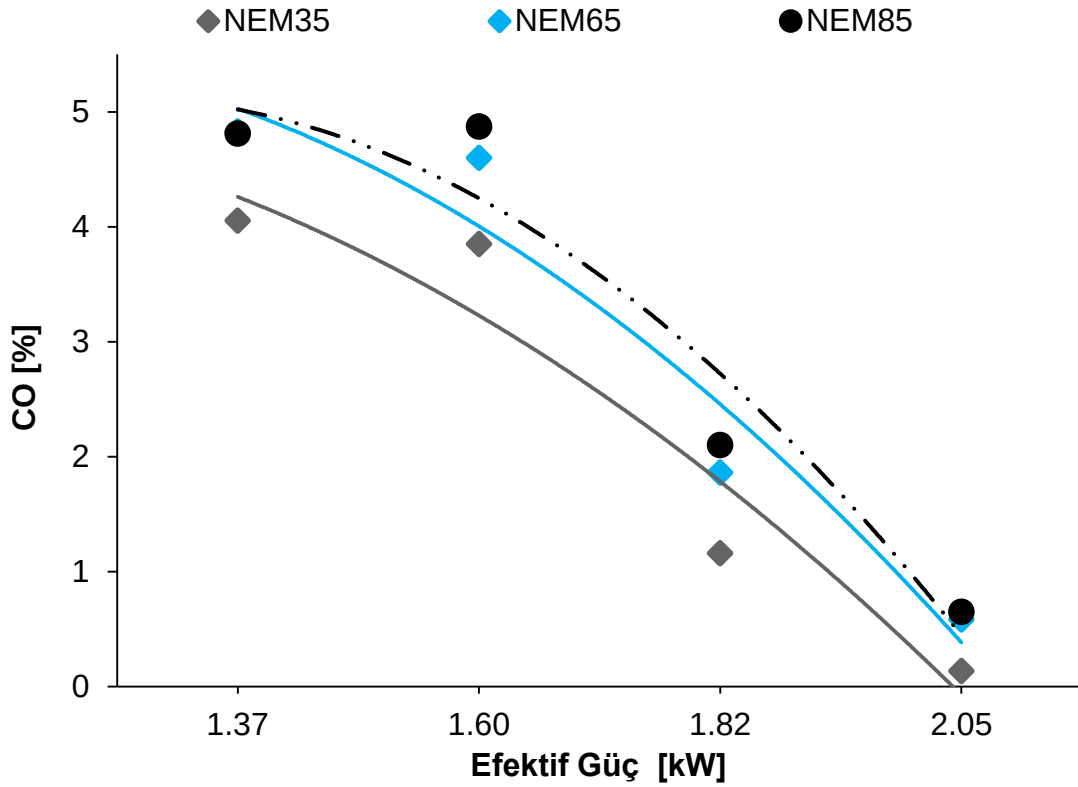
Şekil 4.15. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri

Yarım yük ve %23 oksijen koşulları için bağıl nem oranı %35'ten %65'e çıkarıldığında CO emisyonu ortalama %33.5 artarken nem oranı %85'e çıkarılması durumunda %89.6 oranında artmıştır. Nemlendirme ile yanma odasına gönderilen bağıl nemi yükseltilmiş hava yanmayı kötüleştirmekte ve yanma sıcaklıklarını düşürmektedir. Bu durum CO emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Mikro patlama etkileri yarım yükte görülmemektedir. Ancak oksijen oranı yüksek olduğu için %21 oksijen oranına göre tüm şartlarda daha az CO emisyonu oluşmuştur.



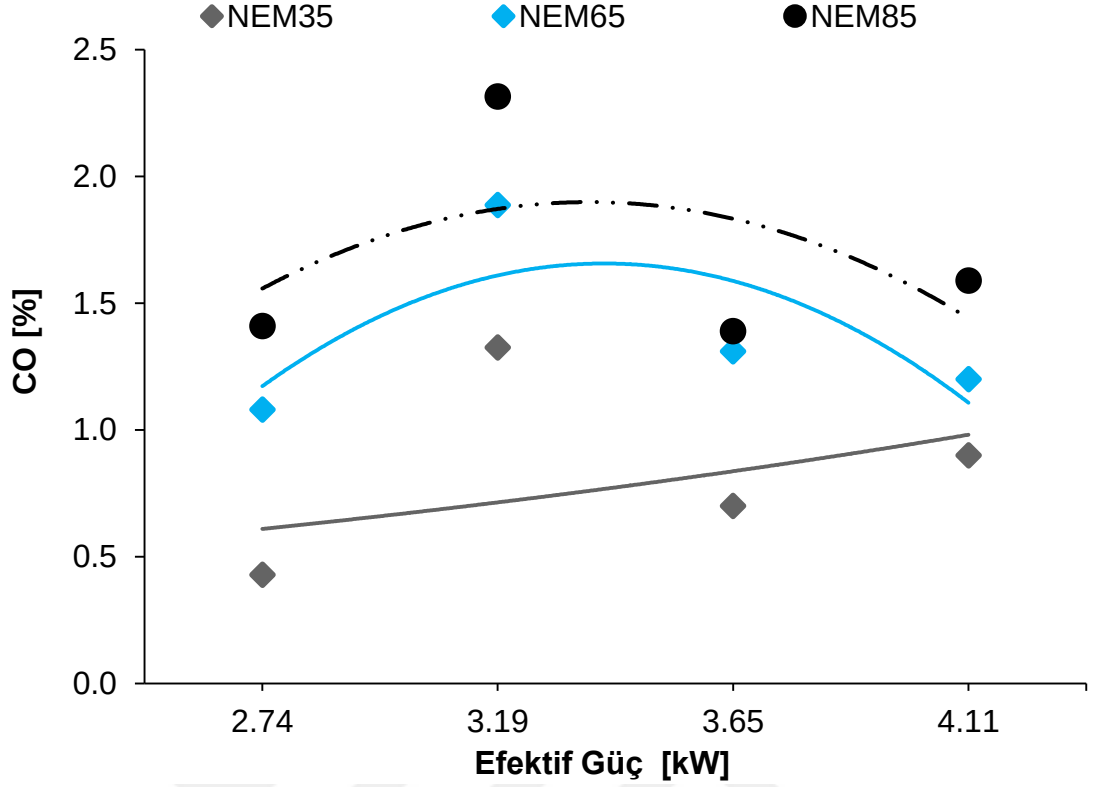
Şekil 4.16. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri

%23 oksijen şartı için standart nem koşulu %21 oksijen şartına göre ters bir eğilim sergilemektedir. Bu durum oksijenin etkisinin güç (eşlenik olarak devir) arttıkça arttığını göstermektedir. Tam yük durumunda artan sıcaklıklarla birlikte mikro patlama etkisi artmış, artan nem oranı yüksek güçlerde (eşlenik olarak devirlerde) beklenenin aksine CO yüzdesini azaltmıştır. Bu durum %85 nem oranı için 1800 d/dk'da bariz şekilde görülmektedir. Genel itibari ile bakıldığında artan bağıl nem CO emisyonunu artırmıştır. Bağıl nemin %65'e çıkarılması CO emisyonlarını ortalama %50.4 arttırırken, %85'e çıkarılması %82.4 artırmıştır. Ancak oksijenin yanmayı iyileştirme etkisi nedeniyle standart oksijen oranına göre daha az CO emisyonu ölçülmüştür.



Şekil 4.17. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri

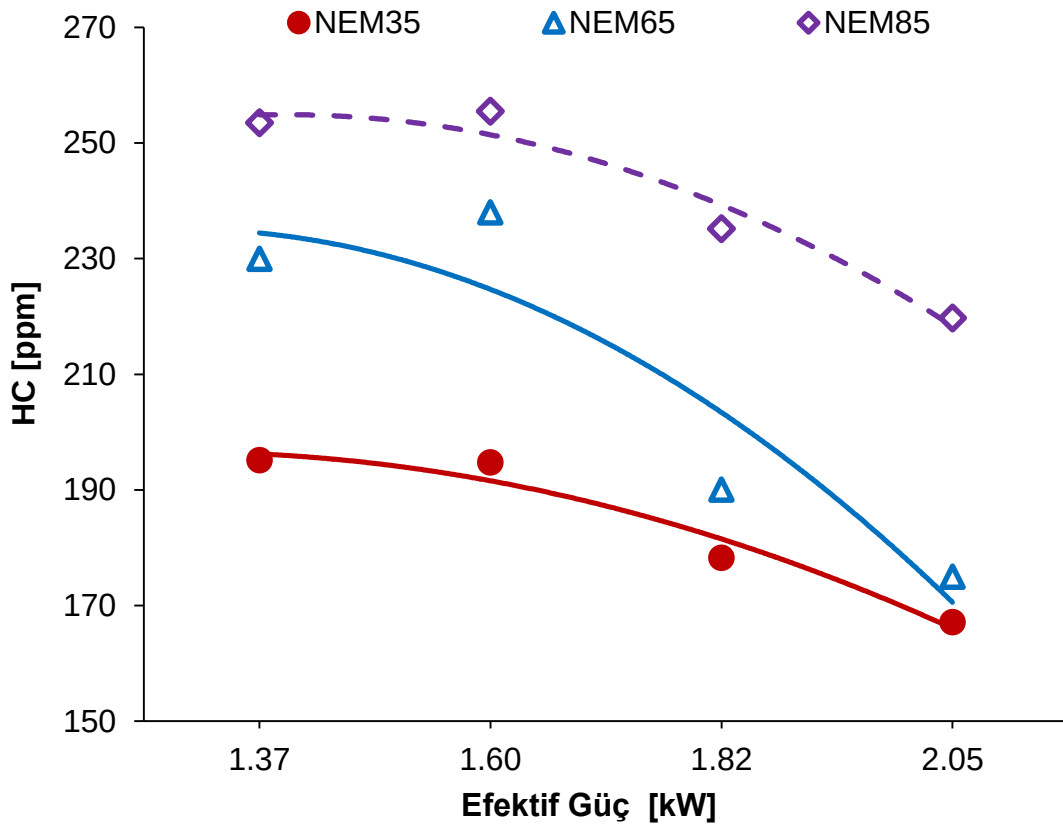
Grafik dikkatle incelenerek önceki grafiklerle karşılaştırıldığında oksijen oranının artışının nemin artışı ile ortaya çıkan etkileri bastırdığı gözlemlenmektedir. %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması CO emisyonlarını ortalama %29.1 arttırırken, %85'e çıkarılması %35.2 arttırmıştır. Sadece nemlendirme olması durumunda bağıl nemin %85'e çıkarılması CO emisyonunu 4-6 kat arttırırken burada oksijenin etkisi ile sadece 1.2 kat artmıştır. Yüksek güçlerde gaz keleşliği açıklığının artması silindire alınan dolgu miktarının artmasına ve buna bağlı olarak silindir içi sıcaklığının yükselmesine neden olur. Bu durum oksitlenme hızını arttırarak CO emisyonlarında keskin bir düşüşün meydana gelmesine yol açmıştır.



Şekil 4.18. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin CO emisyonuna etkileri

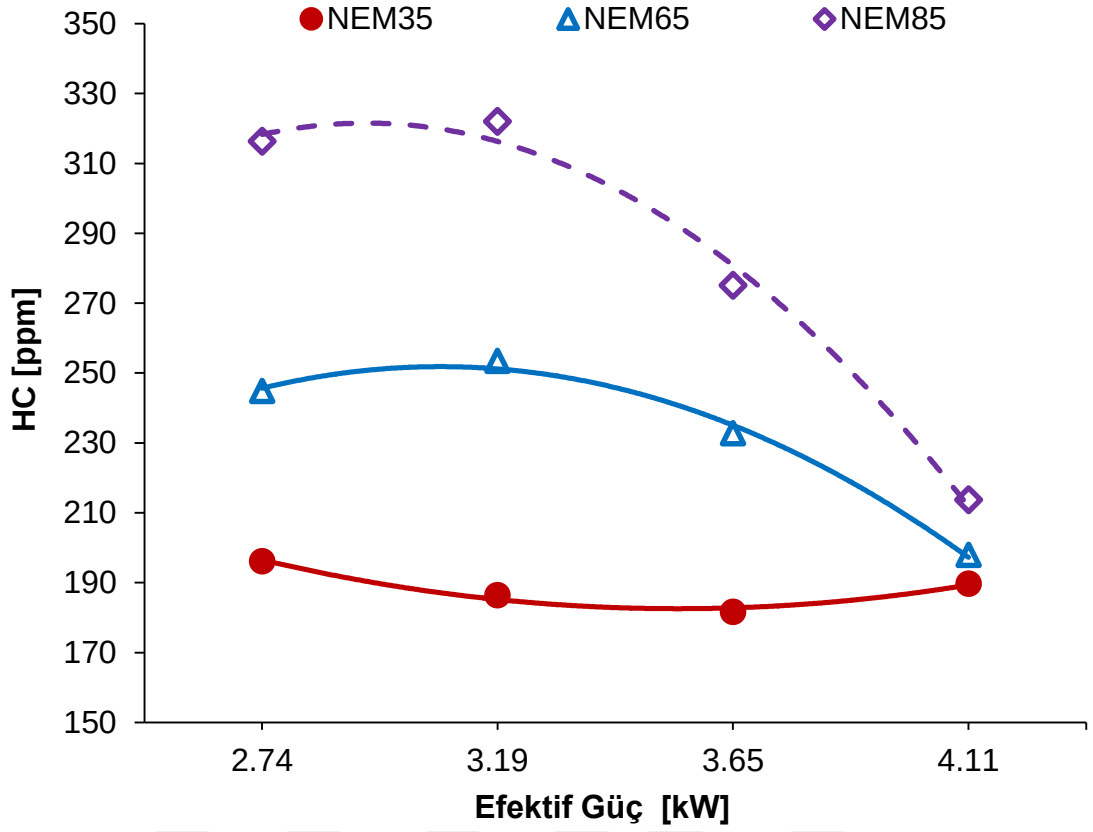
Tam yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması CO emisyonlarını ortalama %63.3 artırırken, %85'e çıkarılması %99.9 artırmıştır. Yüksek güçlerde (eşlenik olarak devirlerde) silindire alınan dolgu miktarının artması yanma sıcaklıklarını arttırarak CO emisyonu oluşumunu azaltmıştır.

4.3.2. HC emisyonuna etkisi



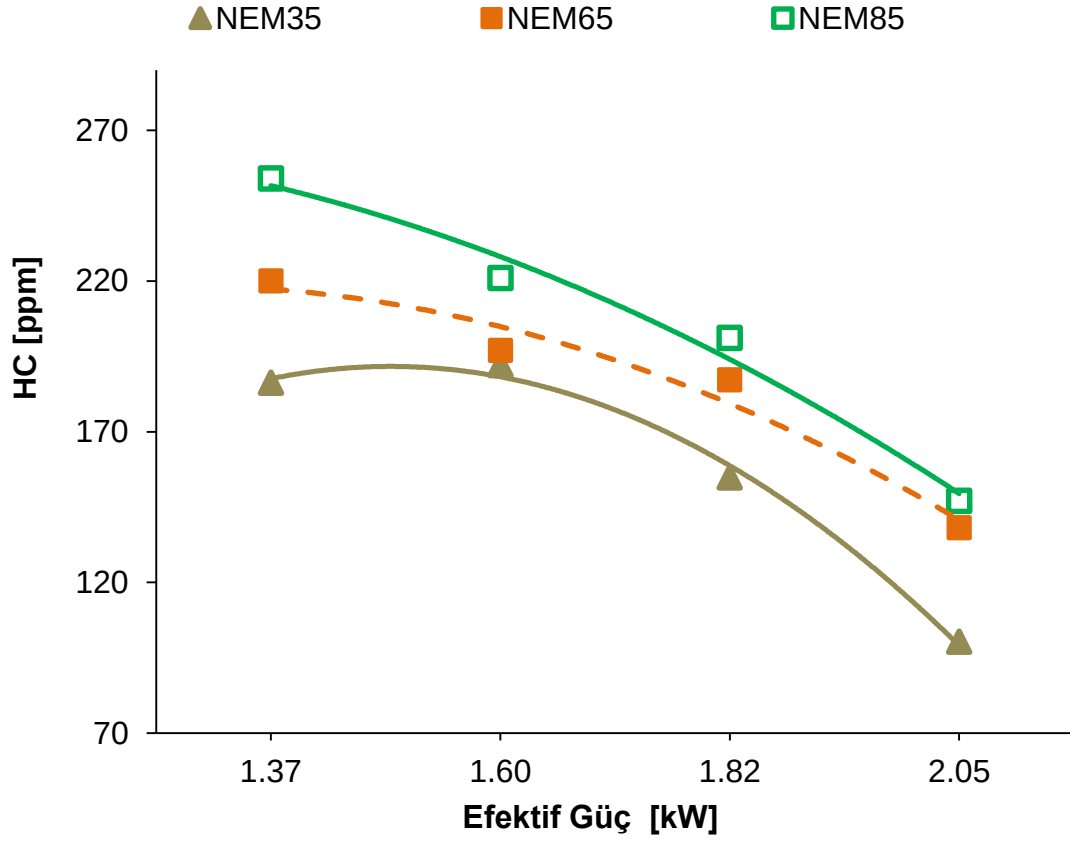
Şekil 4.19. Yarım yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri

Yarım yükte %21 oksijen şartı için bağıl nemin %35'ten %65'e çıkarılması HC emisyonlarını ortalama %13.3 arttırırken, %85'e çıkarılması %31.1 arttırmıştır. HC emisyonlarının artmasında adyabatik nemlendirme nedeniyle yanma sıcaklığının düşmesi etkili olmuştur.



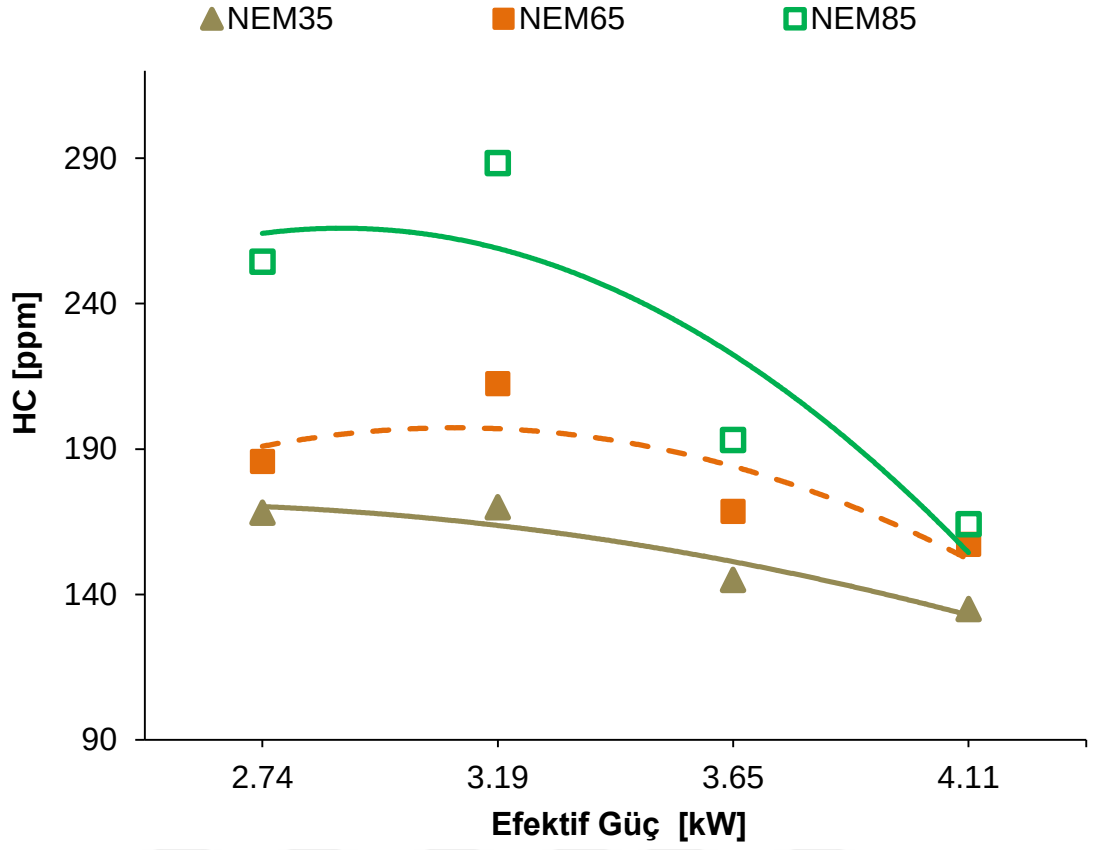
Şekil 4.20. Tam yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri

Tam yükte %21 oksijen şartı için bağıl nemin %35'ten %65'e çıkarılması HC emisyonlarını ortalama %23.2 artırırken, %85'e çıkarılması %49.5 artırmıştır. Tam yükte silindire alınan yakıt hava miktarı kısmi yüklere göre daha fazladır. Bu şartlarda nemlendirme yapılması, yakıtın buharlaşıp hava ile iyi karışmasına engel olur. Homojen olmayan karışımın HC emisyonlarının artmasına neden olduğu söylenebilir.



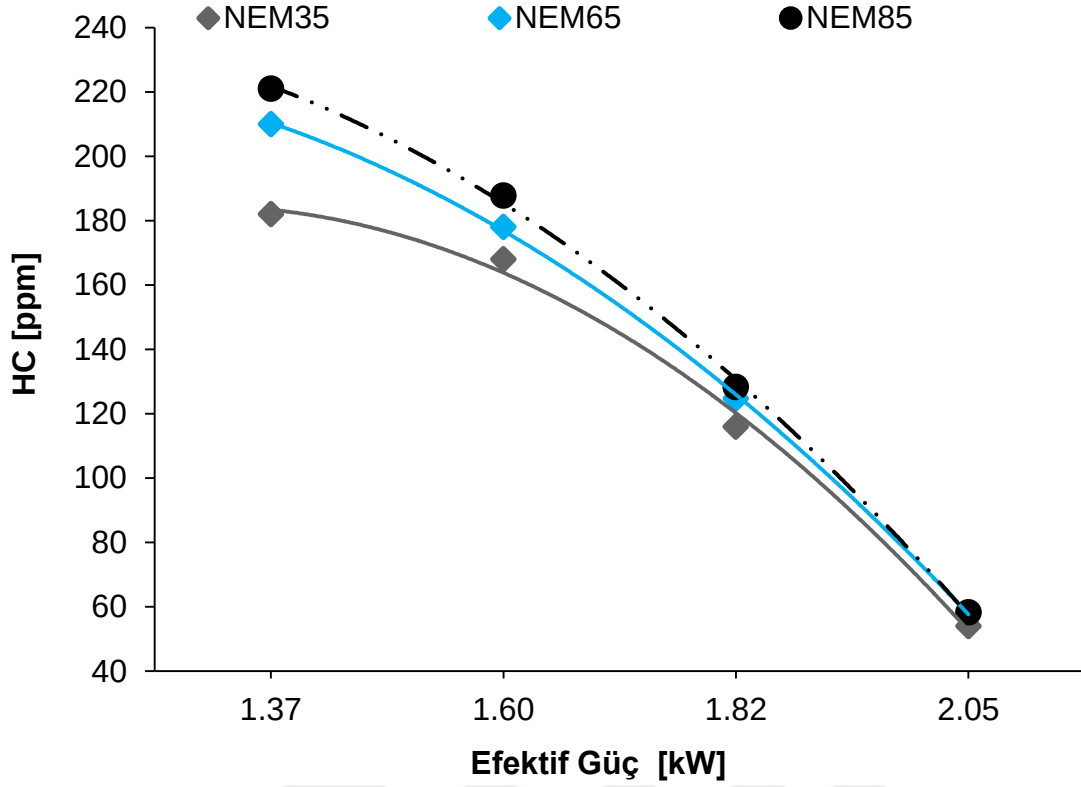
Şekil 4.21. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri

Yarım yükte %23 oksijen şartı için bağıl nemin %35'ten %65'e çıkarılması HC emisyonlarını ortalama %17.2 artırırken, %85'e çıkarılması %29.9 artırmıştır. Heterojen karışımın oluşturduğu olumsuz etkiler oksijen oranının artması ile kısmen hafifletilmiş ve standart oksijen oranına göre HC emisyonları azalmıştır.



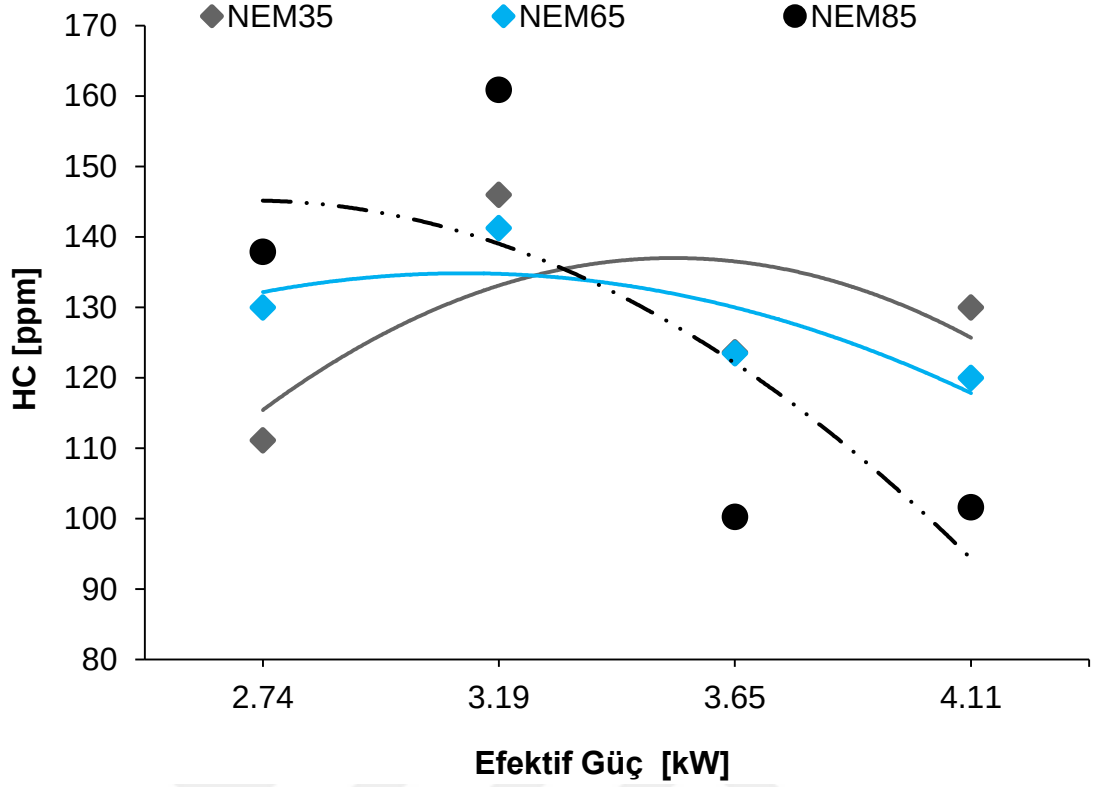
Şekil 4.22. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri

Tam yükte %23 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması HC emisyonlarını ortalama %17.1 artırırken, %85'e çıkarılması %45.6 artırmıştır. Tam yükte de yarım yük durumuna benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.23. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri

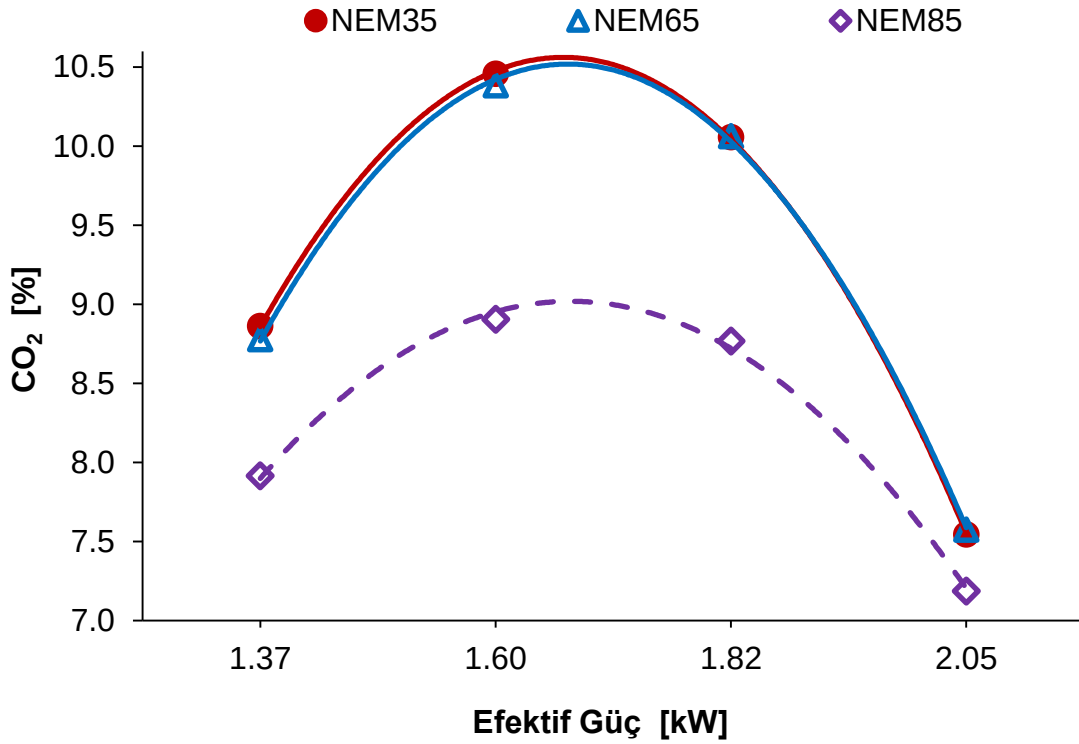
Yarım yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması HC emisyonlarını ortalama %9.8 artırırken, %85'e çıkarılması %14.5 artırmıştır. Ancak diğer oksijen oranları ile karşılaştırıldığında, %25 oksijen oranında motor gücü arttıkça HC emisyonlarında hızlı bir düşüş meydana gelmektedir. Bu değişim CO emisyonlarında da görülmüştür. Yüksek oksijen oranı yanmayı iyileştirerek kısmi yanma ürünlerinin oluşumunu azaltmıştır.



Şekil 4.24. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin HC emisyonuna etkileri

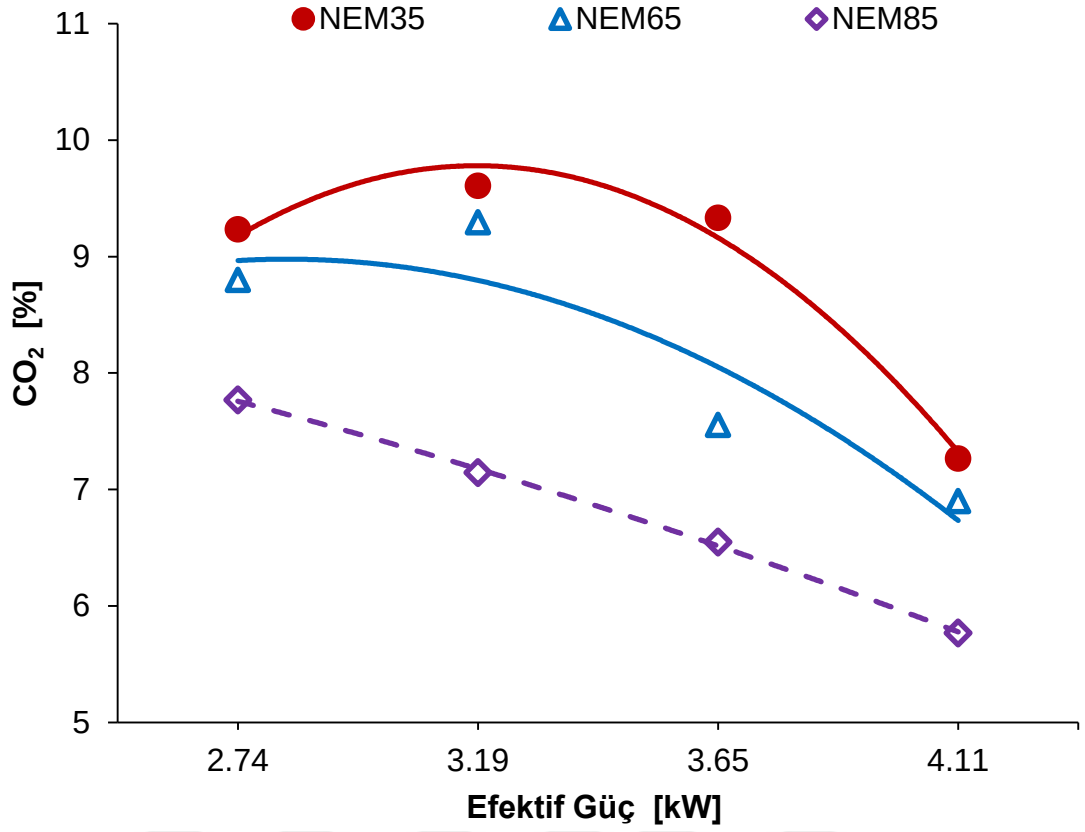
Tam yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması HC emisyonlarını ortalama %0.8 arttırırken, %85'e çıkarılması %2 azaltmıştır. Adyabatik nemlendirmenin HC emisyonları üzerinde oluşturduğu olumsuz etki %25 oksijen oranında daha azdır. HC emisyonu için %25 oksijen şartında düşük güçlerde (eşlenik olarak devirlerde) nemlendirme ile artış görülürken yüksek güçlerde ise azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni artan sıcaklıklarla mikro patlamanın etkisinin artması yakıt hava karışımının daha homojen hale gelerek yanmayı iyileştirmesidir.

4.3.3. CO₂ emisyonuna etkisi



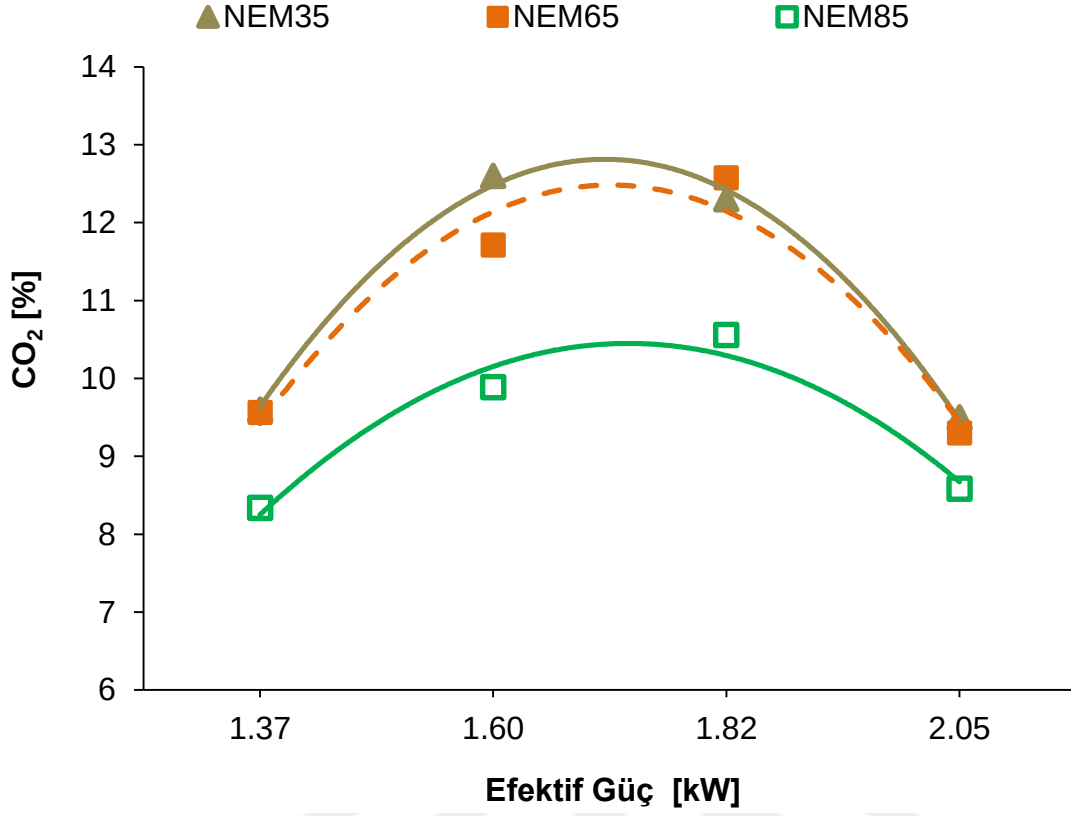
Şekil 4.25. Yarım yük için standart oksijen durumunda(%21) nemlendirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

Yarım yükte %21 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması CO₂ emisyonlarını neredeyse değiştirmezken %85'e çıkarılması %11.2 azaltmıştır. CO₂ emisyonu tam yanma ürünüdür ve bu emisyonun artması yanma veriminin arttığı bir göstergesidir. Her ne kadar CO₂ emisyonu sera etkisine yol açan gazların başında gelse de yanma verimi için bu emisyonun yüksek olması istenir (Çakmak ve Bilgin, 2017). Ancak yüksek nem oranlarında çevrim sıcaklıklarının düşmesi oksitlenme hızının azalmasına ve buna bağlı olarak kısmi yanmış ürünlerin (CO ve HC) artmasına, CO₂ emisyonunun ise düşmesine neden olmuştur.



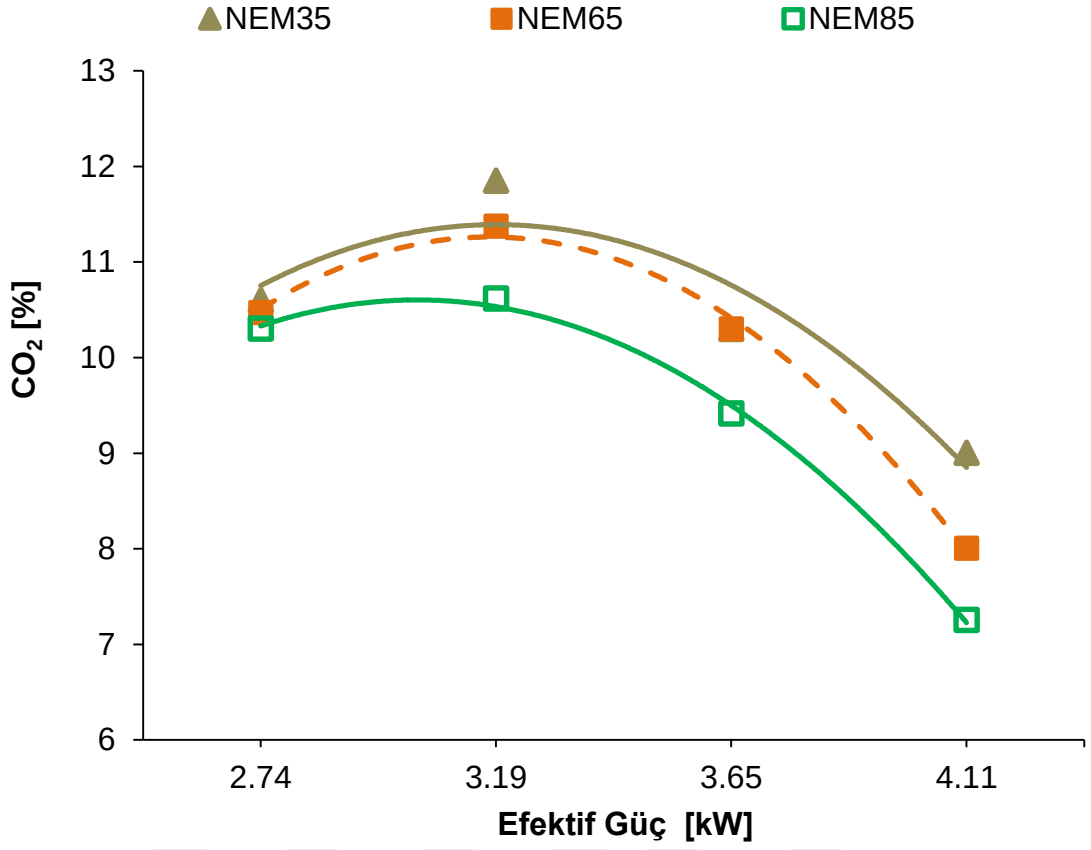
Şekil 4.26. Tam yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

Tam yükte %21 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması CO₂ emisyonlarını ortalama %8.2 azaltırken, %85'e çıkarılması %23.2 azaltmıştır. Tam yükte CO₂ emisyonlarının değişim karakteristiği kısmi yüke göre farklılık sergilemiştir. Kısmi yükte CO₂ emisyonları orta güçlerde (eşlenik olarak orta devir sayılarında) maksimum olurken düşük ve yüksek güçlerde azalma eğilimi göstermiştir. Kısmi yükte, düşük motor devirlerinde yanma sıcaklığının düşük ve silindir içi hava hareketlerinin yavaş olması yanmayı kötüleştirerek CO₂ emisyonlarının azalmasına neden olmuştur. Yüksek devirlerde ise yanma için gerekli zamanın azalması yine CO₂ emisyonlarının azalmasına neden olmuştur.



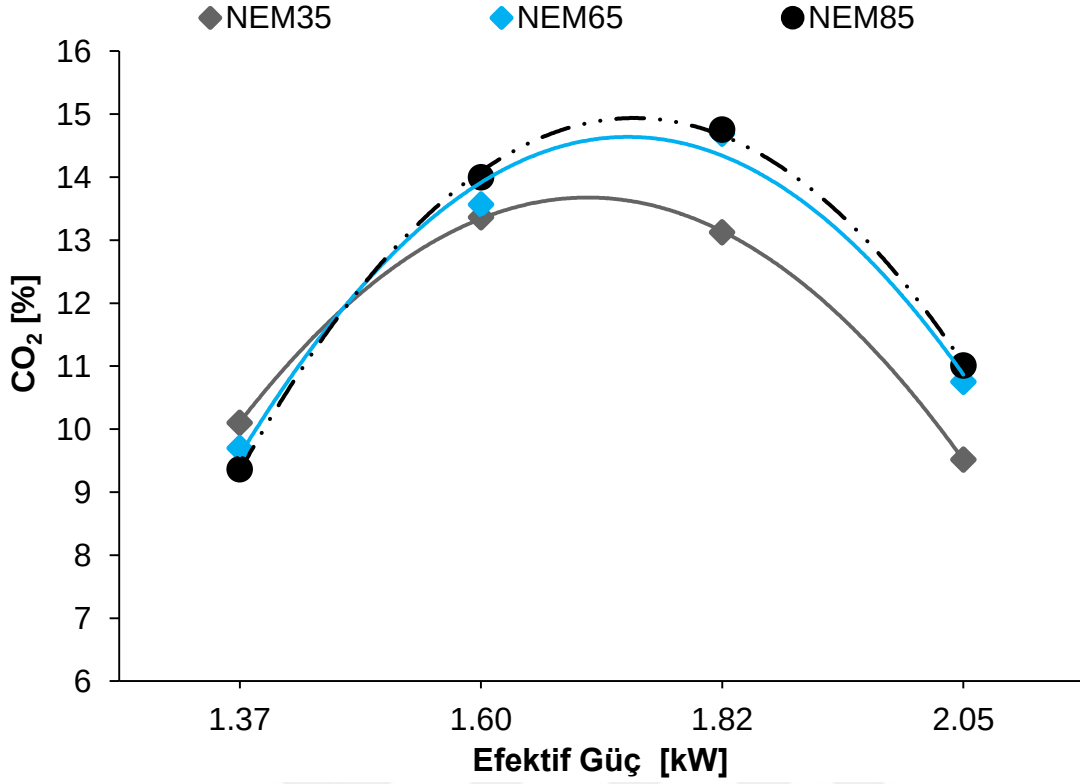
Şekil 4.27. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

Yarım yükte %23 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması CO₂ emisyonlarını ortalama %1.9 azaltırken, %85'e çıkarılması %15.1 azaltmıştır. Ancak elde edilen bu değişimler %21 oksijen şartına göre çok farklılık sergilememiştir.



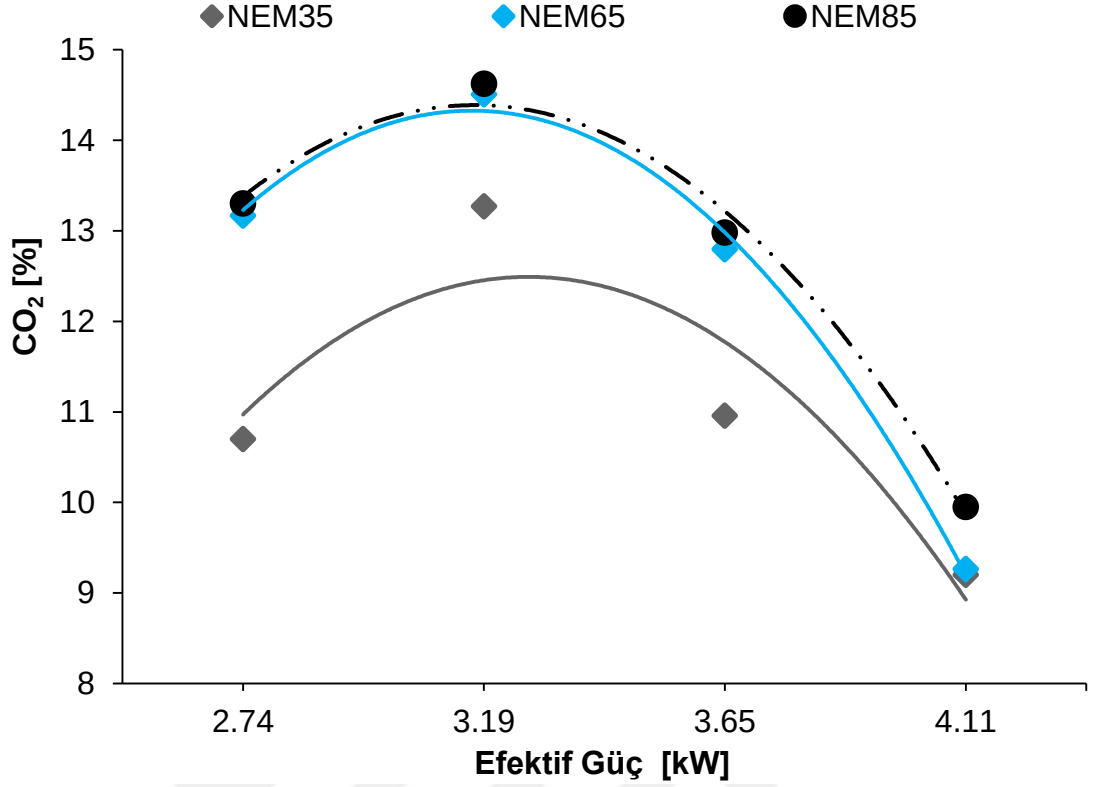
Şekil 4.28. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

Tam yükte %23 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması CO₂ emisyonlarını ortalama %3.8 azaltırken, %85'e çıkarılması %10 azaltmıştır. Hava içerisine karıştırılan ekstra nem yanmayı yavaşlatarak yanma verimini düşürmekte bu durum CO₂ emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.29. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

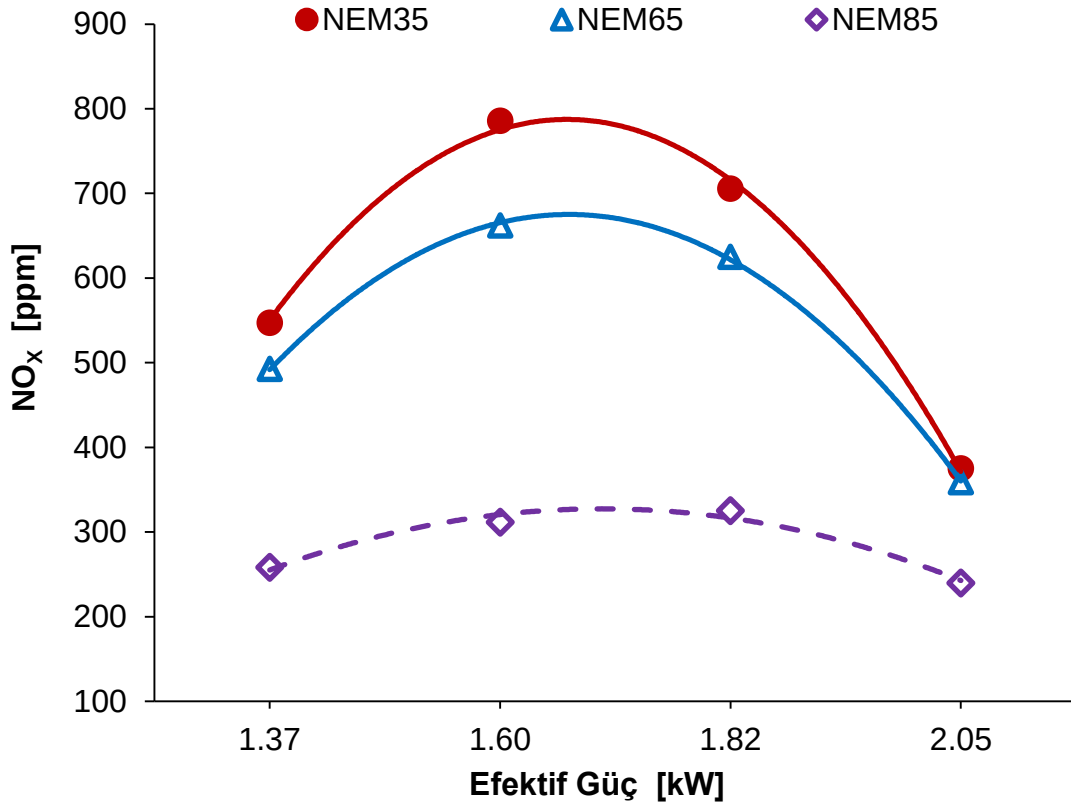
Yarım yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması CO₂ emisyonlarını ortalama %5.6 artırırken, %85'e çıkarılması %6.6 artırmıştır. Burada yüksek oksijen konsantrasyonunun nemin oluşturduğu olumsuz etkileri hafifleterek yanmayı iyileştirdiği görülmektedir. Düşük güçlerde (eşlenik olarak devirlerde) nemlendirme yanmayı kötüleştirirken yüksek güçlerde iyileştirmekte ve CO₂ emisyonu artmaktadır.



Şekil 4.30. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

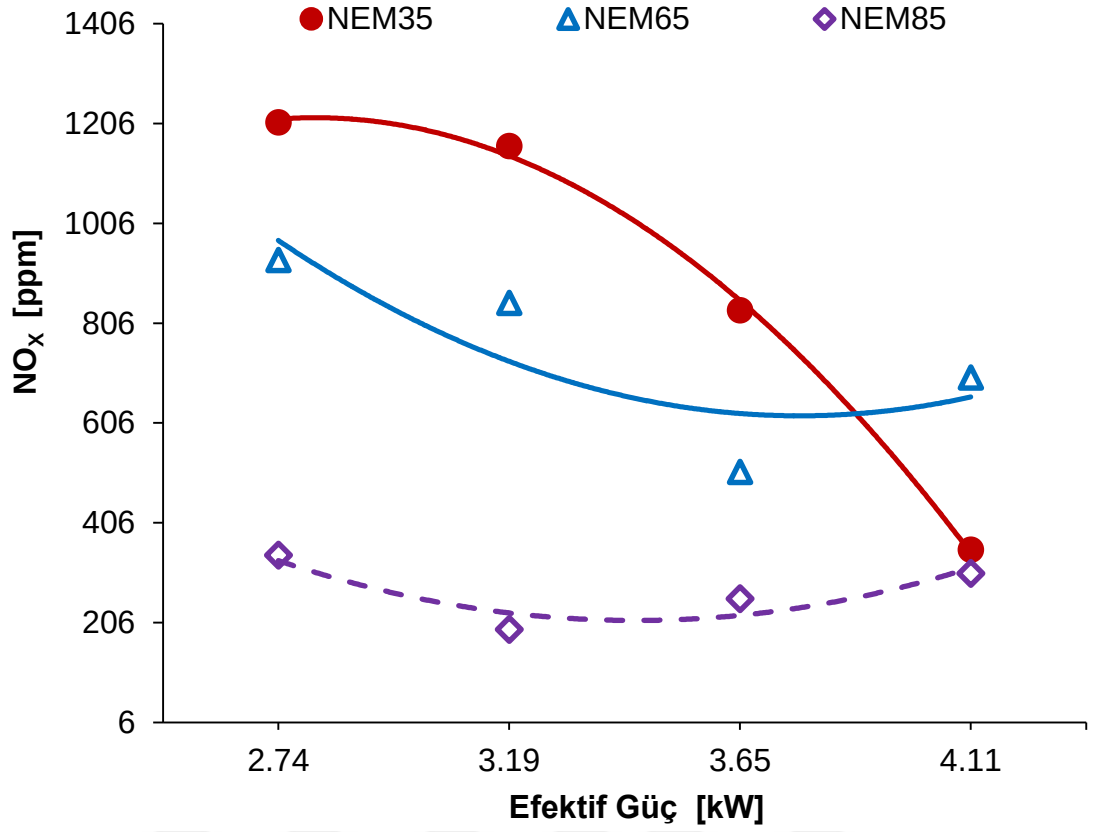
Tam yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması CO₂ emisyonlarını ortalama %12.7 artırırken, %85'e çıkarılması %15.2 artırmıştır. Adyabatik nemlendirme ile emme havası sıcaklığının düşmesi silindire alınan dolgu yoğunluğunun artmasına neden olmuştur. Yüksek nem oranlarında silindire alınan dolgu miktarının fazla olması, yüksek oksijen konsantrasyonu ile birleştiğinde yanma verimini arttırarak daha fazla CO₂ emisyonu üretilmesine yol açmıştır.

4.3.4. NO_x emisyonuna etkisi



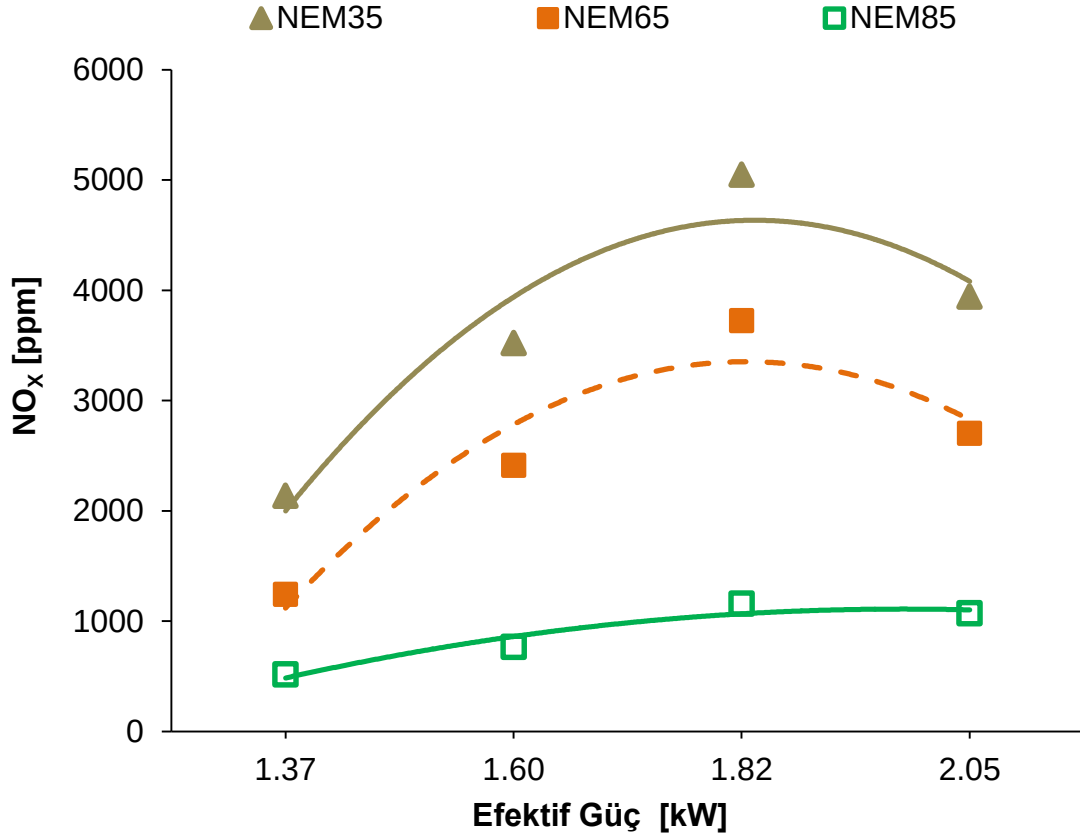
Şekil 4.31. Yarım yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin NO_x emisyonuna etkileri

Yarım yükte %21 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması NO_x emisyonlarını ortalama %11.4 azaltırken, %85'e çıkarılması %53 azaltmıştır. İçten yanmalı motorlarda NO_x emisyonları oluşumuna etki eden birçok parametre olmasına rağmen NO_x emisyonu oluşumu en çok yanma sıcaklığı, oksijen konsantrasyonu ve yanma süresinden etkilenir (Pulkrabek, 2013). Adyabatik nemlendirme ile daha düşük sıcaklıktaki dolgunun silindire alınması yanma sıcaklığının düşmesine ve sonuçta NO_x emisyonlarının ciddi oranlarda azalmasına yol açmıştır.



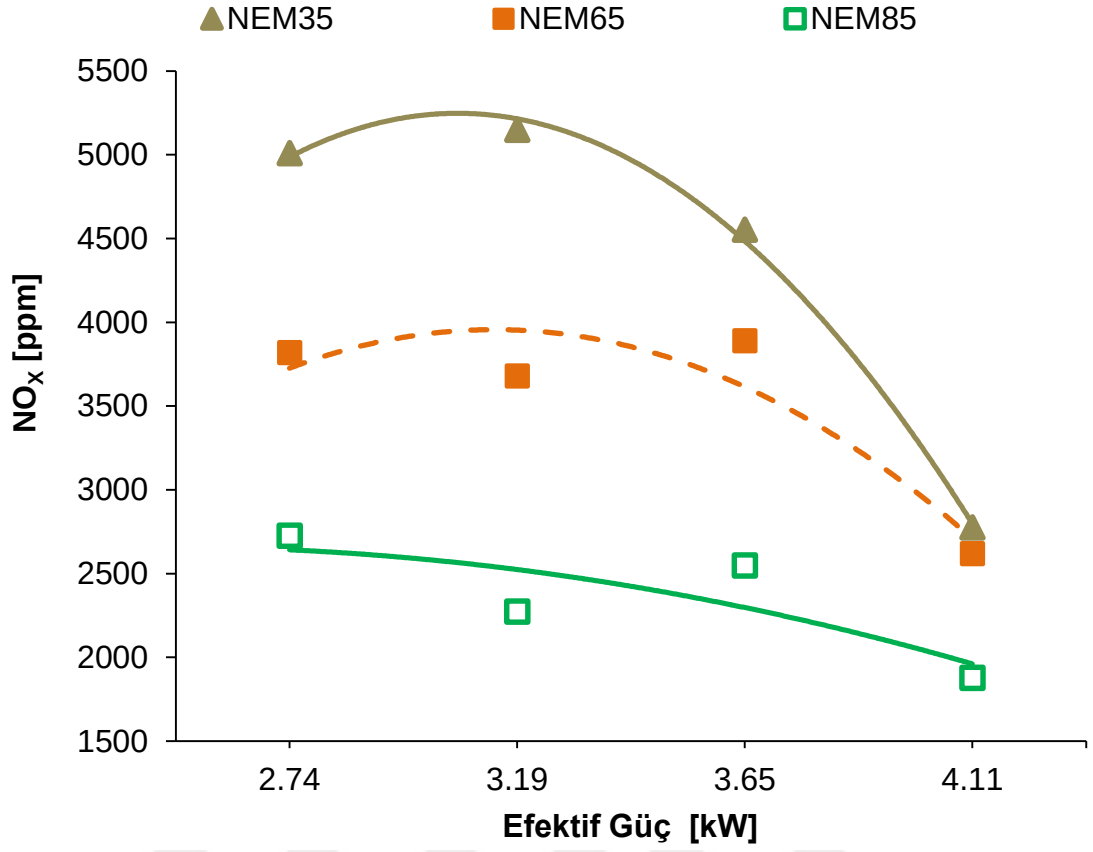
Şekil 4.32. Tam yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin NO_x emisyonuna etkileri

Tam yükte %21 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması NO_x emisyonlarını ortalama %16 azaltırken, %85'e çıkarılması %69.3 azaltmıştır. %65 ve %85 nem şartlarında, NO_x emisyonlarındaki değişim %35 neme göre farklıdır. %35 nem şartında motor gücü (eşlenik olarak devir sayısı) arttıkça yanma için geçen süre azalmakta ve buna bağlı olarak NO_x emisyonlarında düşüş meydana gelmektedir. Yüksek nem oranlarında ve yüksek güçlerde silindire alınan dolgu miktarının artması NO_x emisyonlarının hafif de olsa artmasına neden olmuştur.



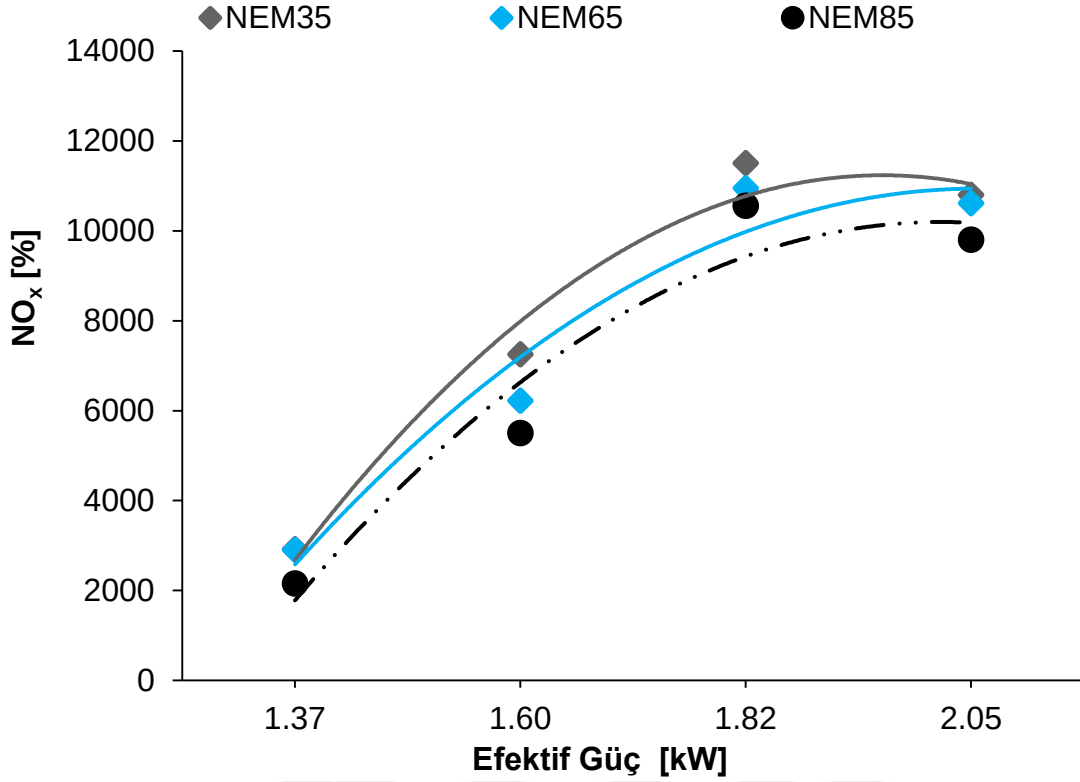
Şekil 4.33. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin NO_x emisyonuna etkileri

Yarım yükte %23 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması NO_x emisyonlarını ortalama %31.2 azaltırken, %85'e çıkarılması %76 azaltmıştır. Nemlendirmenin NO_x emisyonlarını azaltıcı bir etkisi varken oksijen zenginleştirmenin ise arttırıcı bir etkisi vardır. Bu nedenle oksijen konsantrasyonunun arttırılması NO_x emisyonlarını ciddi oranda arttırmıştır. Ancak nemlendirme ile bu artış sınırlandırılmıştır.



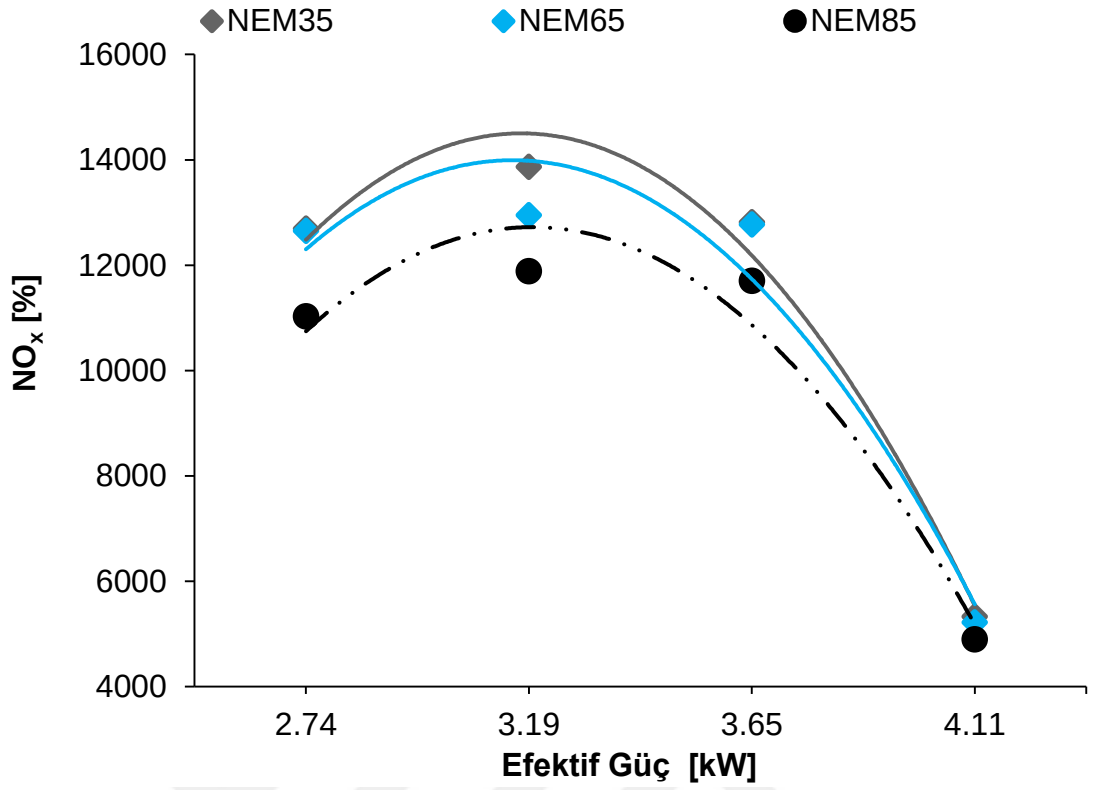
Şekil 4.34. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin NO_x emisyonuna etkileri

Tam yükte %23 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması NO_x emisyonlarını ortalama %19.9 azaltırken, %85'e çıkarılması %46.1 azaltmıştır. Oksijen zenginleştirme ile nemlendirmenin NO_x emisyonları üzerindeki zıt etkileri burada da görülmektedir.



Şekil 4.35. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin NO_x emisyonuna etkileri

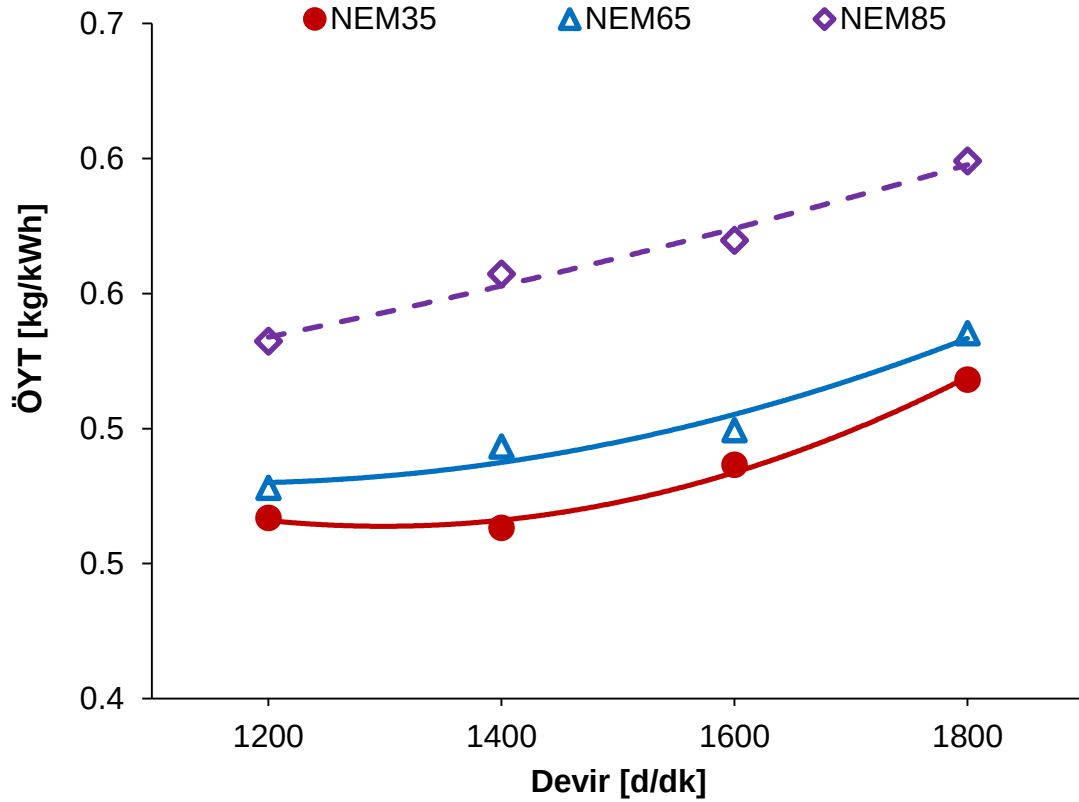
Yarım yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması NO_x emisyonlarını ortalama %5.5 azaltırken, %85'e çıkarılması %13.7 azaltmıştır. %25 oksijen oranında nemlendirmenin NO_x emisyonları üzerindeki azaltıcı etkisi diğer oksijen oranlarına göre daha az olduğu görülmektedir. Dolayısıyla NO_x emisyonlarını azaltmak için adyabatik nemlendirmenin düşük oksijen konsantrasyonlarında daha etkin olacağı açıktır.



Şekil 4.36. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin NO_x emisyonuna etkileri

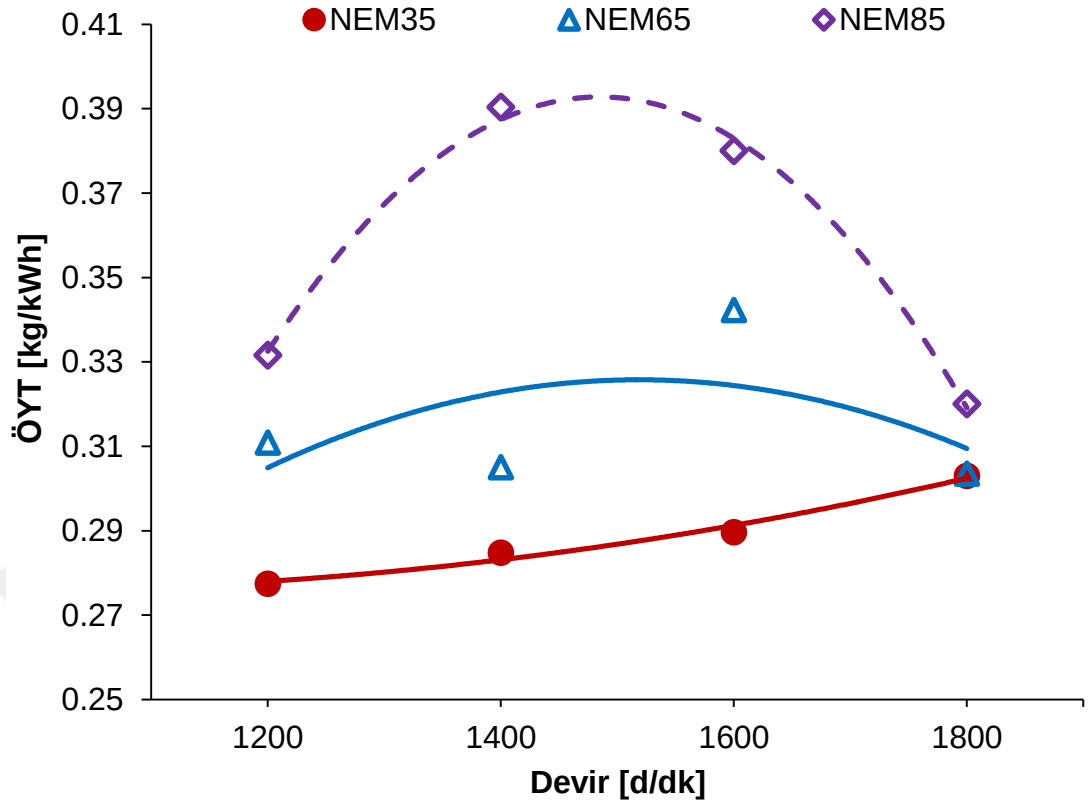
Tam yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması NO_x emisyonlarını ortalama %2.5 azaltırken, %85'e çıkarılması %11.6 azaltmıştır. Tam yükte silindire alınan dolgunun yüksek oksijen varlığında yanması, yanma sıcaklıklarının artmasına ve daha fazla NO_x emisyonu oluşumuna neden olmuştur. Bu nedenle en yüksek NO_x emisyonları, tüm nem oranlarında %25 oksijen konsantrasyonu için ölçülmüştür.

4.3.5. Özgöl yakıt tüketimine etkisi



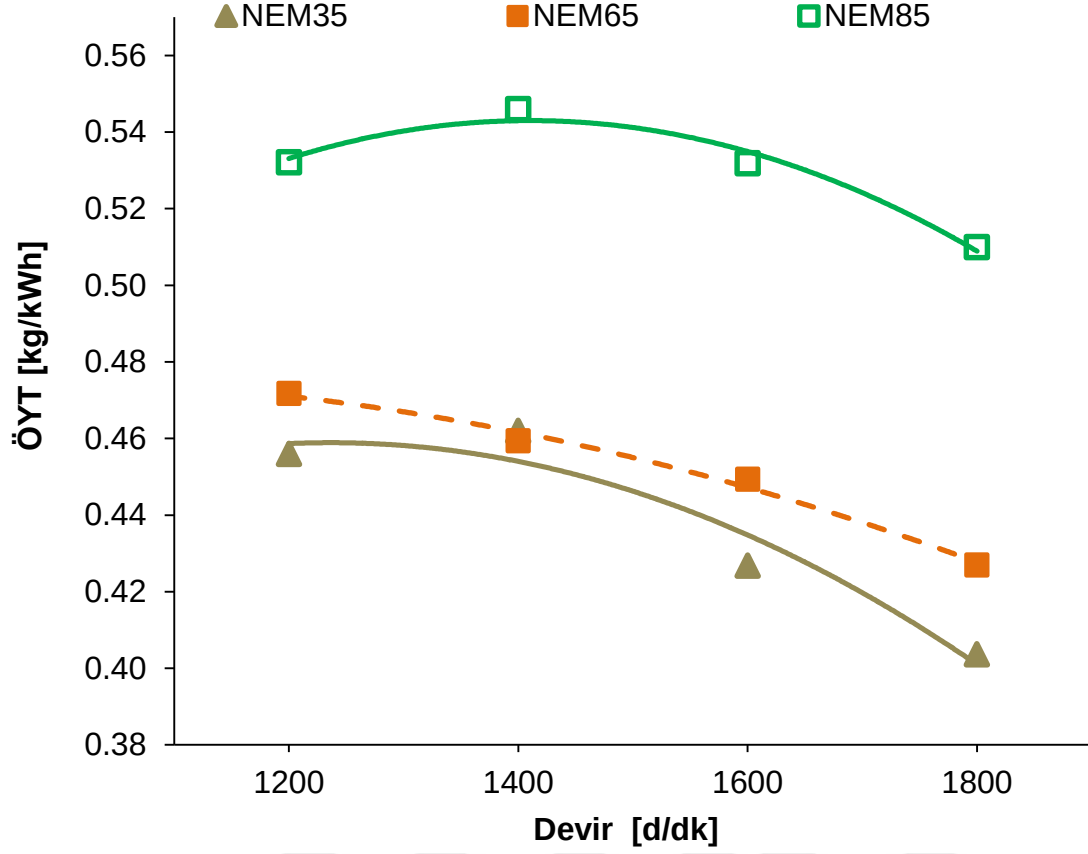
Şekil 4.37. Yarım yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi

Yarım yükte %21 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %3.7 artırırken, %85'e çıkarılması %17.2 artırmıştır. Nemlendirme ile yanma veriminin düşmesi motor performansını olumsuz etkilemektedir. Çünkü nemlendirme durumunda düşük sıcaklıklar nedeni ile silindire alınan yakıt-hava karışımı tam olarak yanamamaktadır. Bu durumda yakıt enerjisinin daha az kısmı efektif işe dönüştürülmektedir. Nemlendirme durumunda CO ve HC emisyonlarının artması bu olguyu destekler niteliktedir.



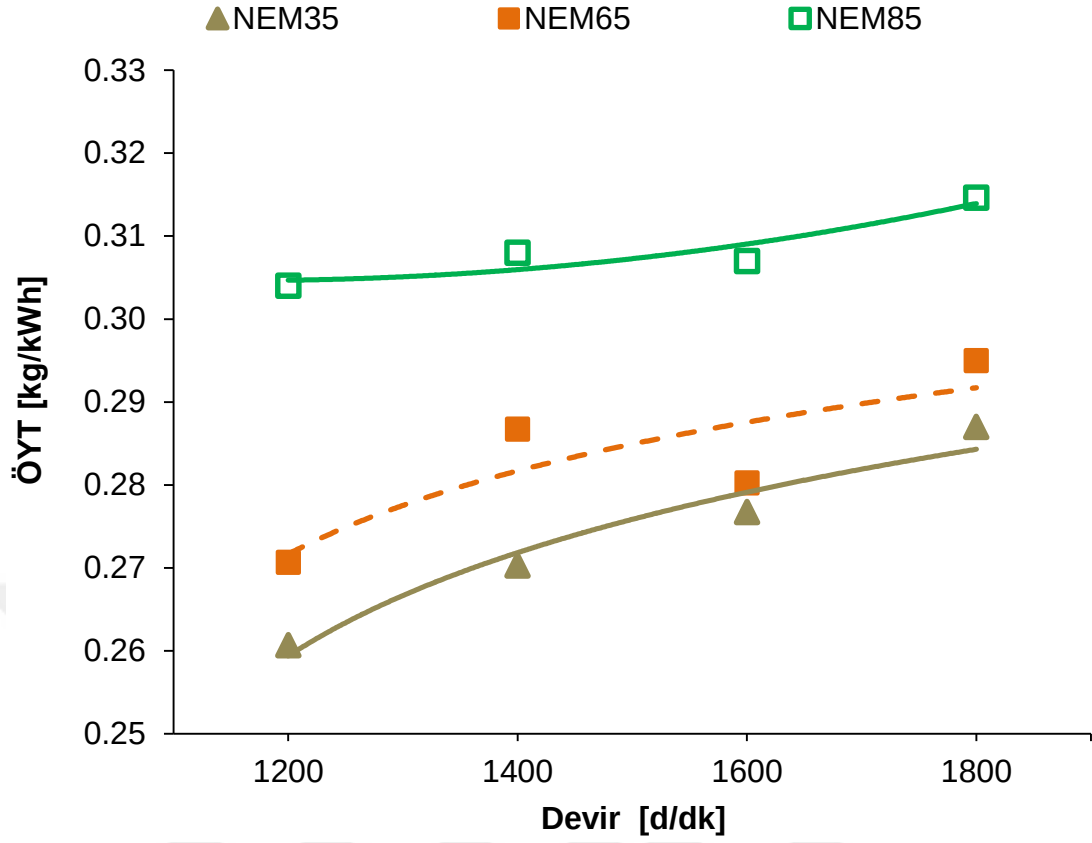
Şekil 4.38. Tam yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi

Tam yükte %21 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %9.3 artırırken, %85'e çıkarılması %23.1 artırmıştır. Tam yükte nemlendirme ile ÖYT'de meydana gelen artış kısmi yükteki artışa göre daha fazladır. Kısmi yükte nemlendirme ile dolgu yoğunluğunun artması hacimsel verimi iyileştirerek ÖYT'de ki artış daha az olmaktadır. Tam yükte gaz keleşliği tam açıklıkta olduğundan hacimsel verim kısmi yüke göre yüksektir fakat silindire gönderilen su miktarının yüksek olması silindir içindeki enerji dönüşümünü olumsuz etkilemiştir.



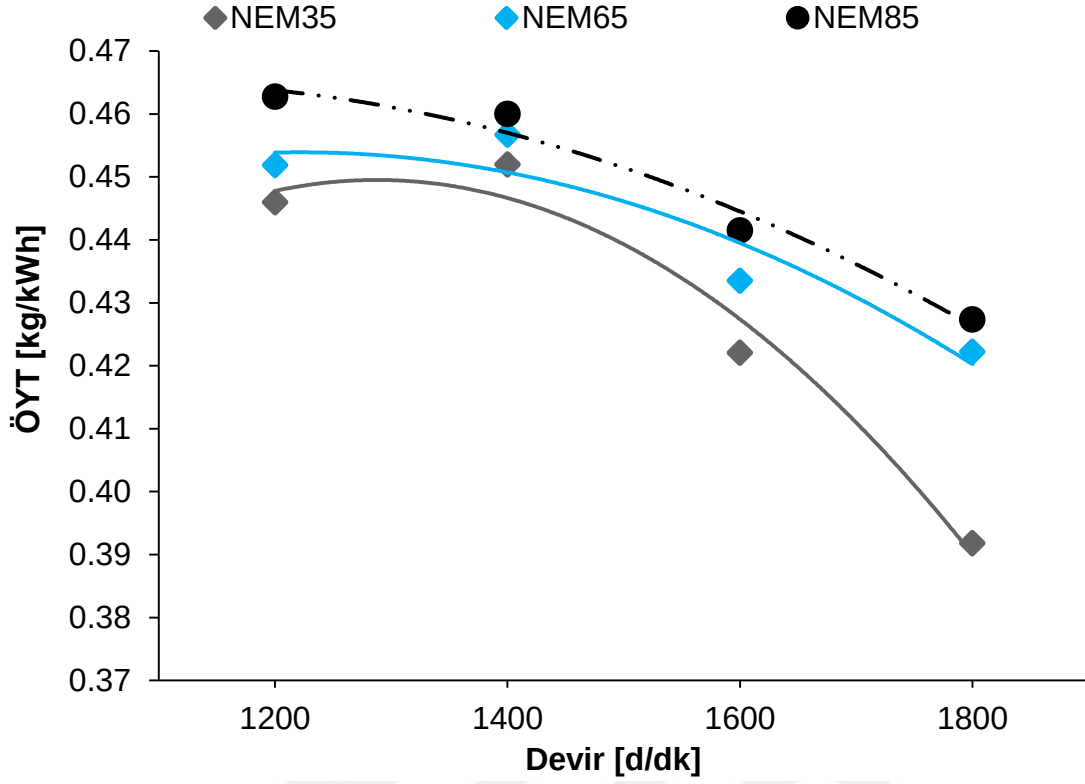
Şekil 4.39. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi

Yarım yükte %23 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %3.4 arttırırken, %85'e çıkarılması %21.2 arttırmıştır. Oksijenin yanmayı iyileştirici etkisi sayesinde aynı nemlendirme şartlarında %21 oksijen oranına göre ÖYT düşmüştür.



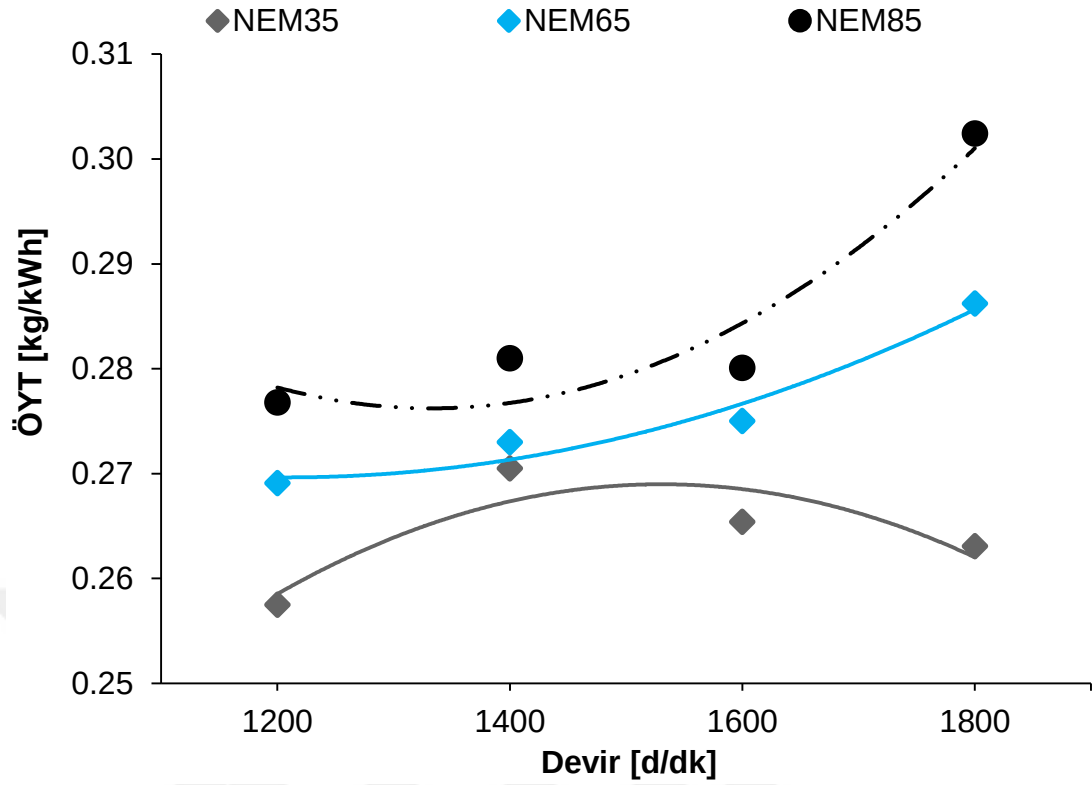
Şekil 4.40. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi

Tam yükte %23 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %3.5 artırırken, %85'e çıkarılması %12.7 artırmıştır. Nemlendirmenin ÖYT üzerinde oluşturduğu olumsuz etki %25 oksijen oranında daha fazla azaltılmıştır.



Şekil 4.41. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi

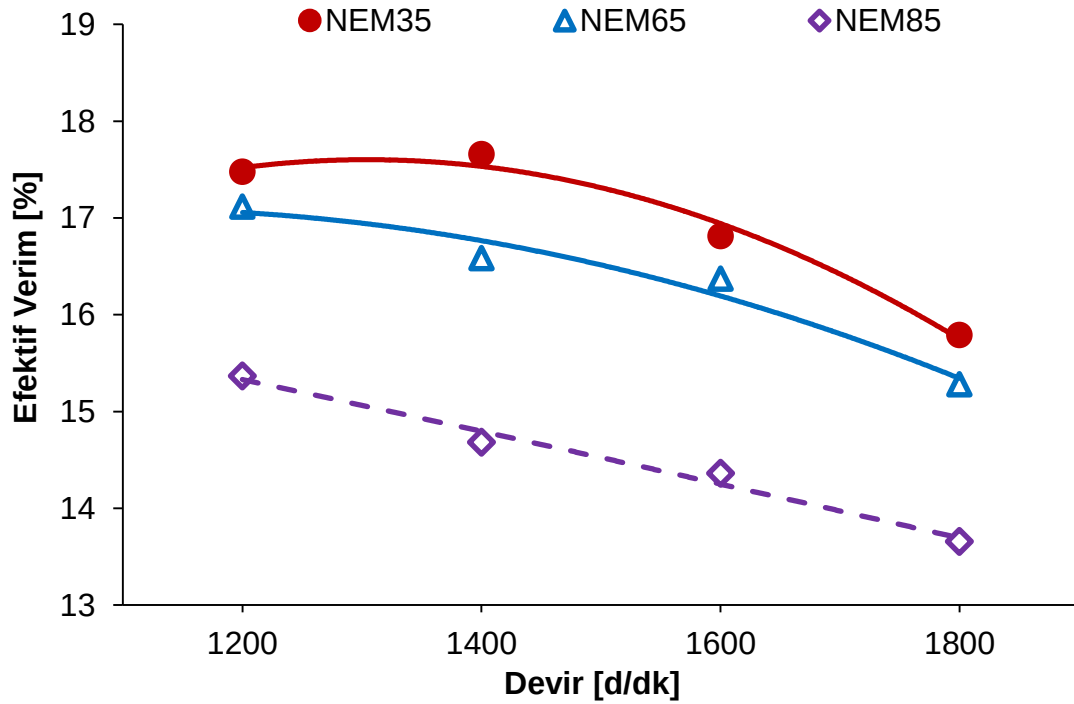
Yarım yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %3.1 artırırken, %85'e çıkarılması %4.7 artırmıştır. Nemlendirme etkisi ile kötüleşen yanma ÖYT'nin artmasına neden olmaktadır. Fakat bu artış %25 oksijen şartı için diğer şartlara göre daha azdır.



Şekil 4.42. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin ÖYT'ye etkisi

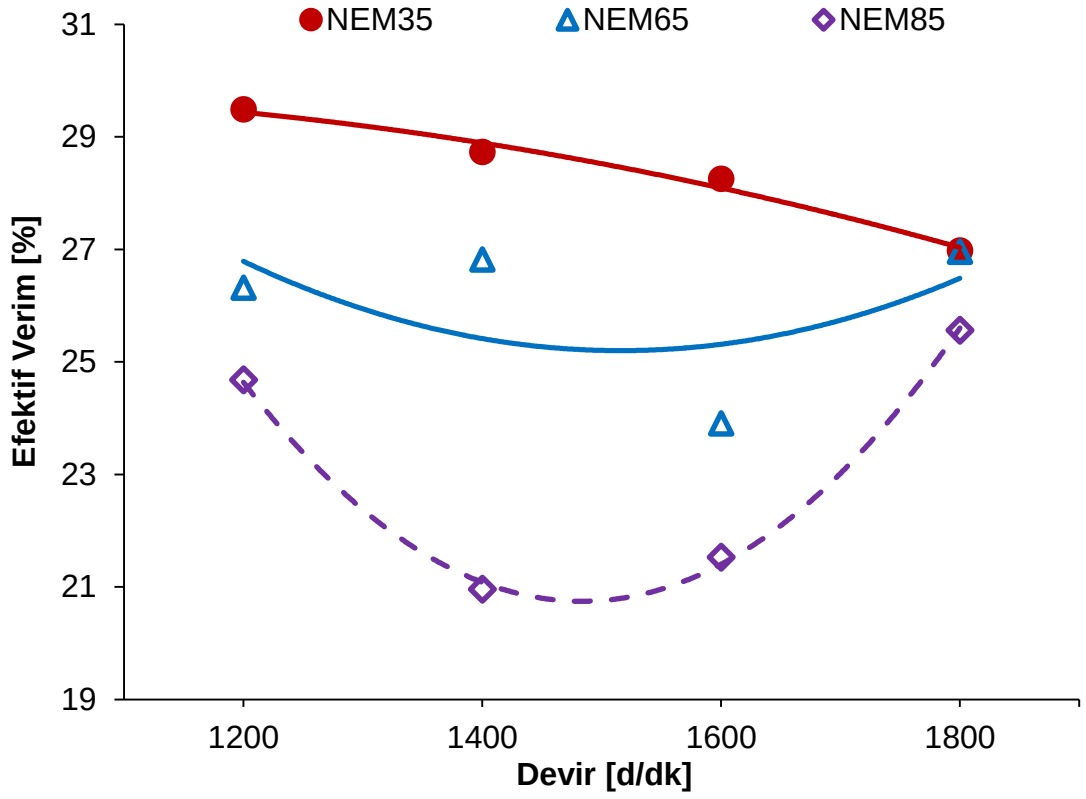
Tam yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %4.4 artırırken, %85'e çıkarılması %7.9 artırmıştır. Tam yükte de yarım yüke benzer sonuçlar elde edilmiştir.

4.3.6. Efektif verime etkisi



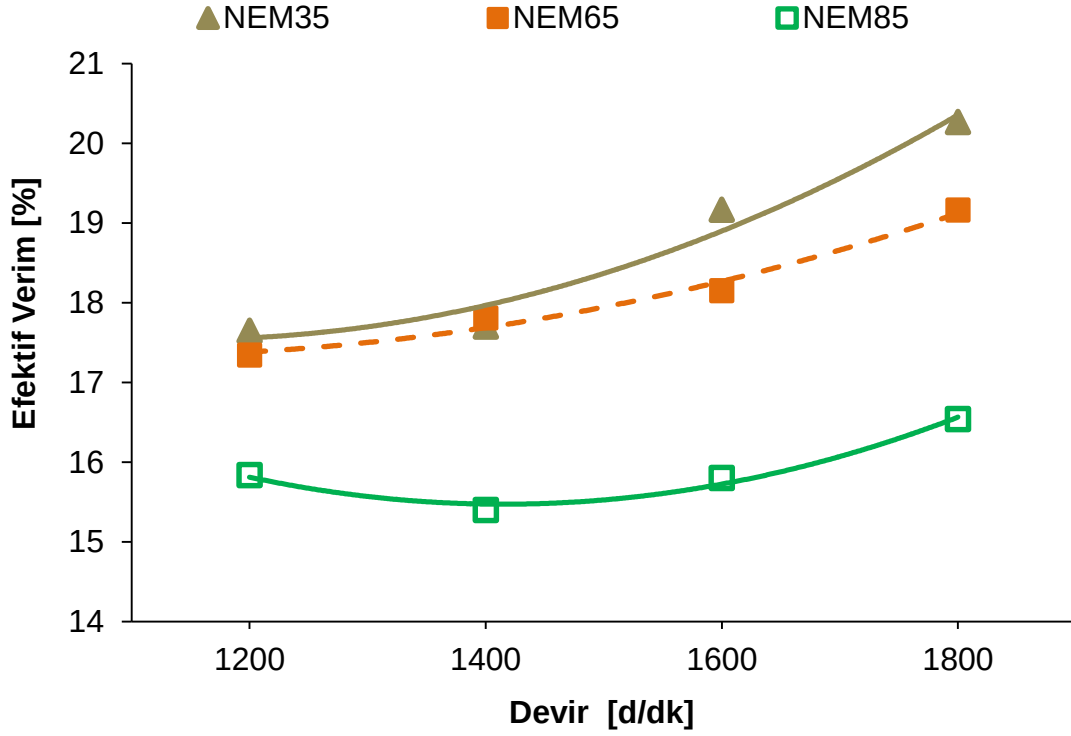
Şekil 4.43. Yarım yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin efektif verime etkisi

Yarım yükte %21 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması efektif verimi ortalama %3.5 azaltırken, %85'e çıkarılması %14.3 azaltmıştır. Nemlendirme durumunda yanma sıcaklıklarının düşmesi motorun efektif verimini düşürmüştür. Efektif verimin düşmesinde yanmanın kötüleşmesinin etkili olduğu söylenebilir. Nemlendirme durumunda CO ve HC emisyonlarının artması bu durumu destekler niteliktedir. Çünkü CO ve HC emisyonları yakıtın kullanılmayan enerjisidir.



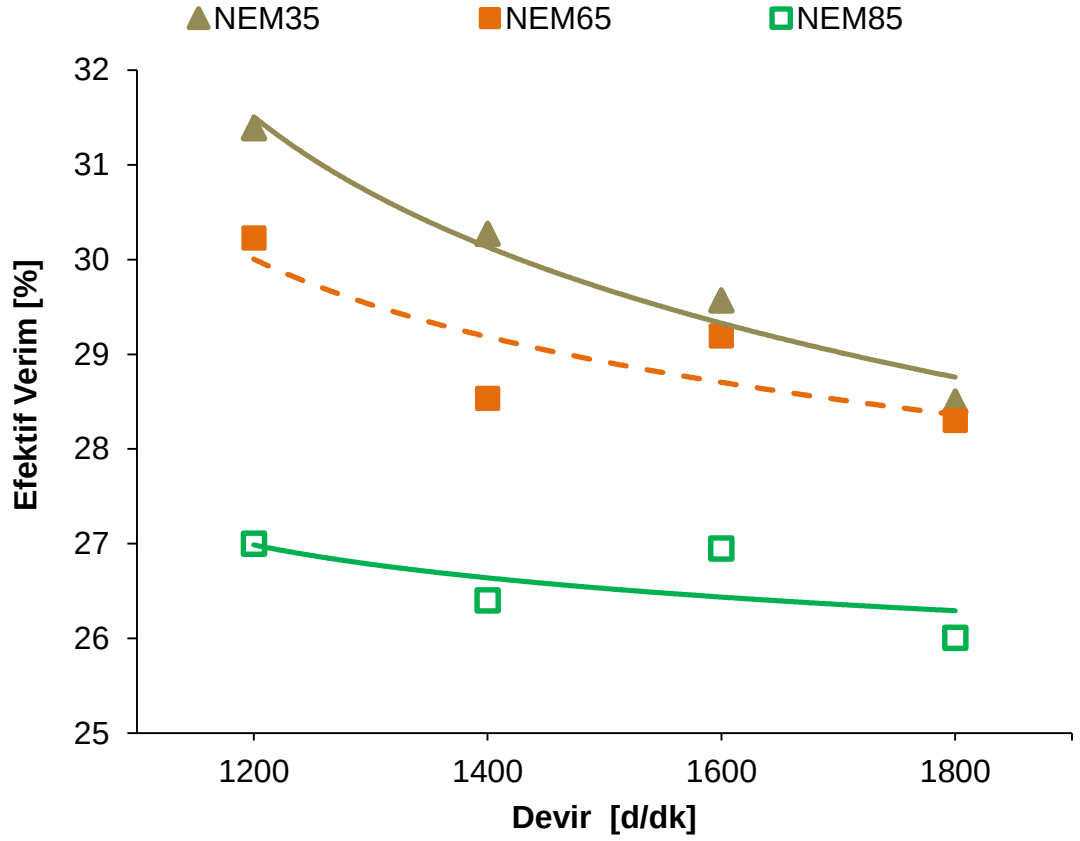
Şekil 4.44. Tam yük için standart oksijen durumunda (%21) nemlendirmenin efektif verime etkisi

Tam yükte %21 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması efektif verimi ortalama %8.3 azaltırken, %85'e çıkarılması %18.3 azaltmıştır. Nemlendirme ile tam yükte efektif verim kısmi yüke göre daha fazla azalmıştır. Silindire gönderilen nemli hava yanma hızının düşmesine neden olur. Bu durumda, yanma zamanında tamamlanamaz ve genişleme strokuna doğru kayar. Yanmanın genişleme strokuna doğru kayması elde edilecek mekanik işin azalmasına yol açar ve sonuçta motorun efektif verimi düşer.



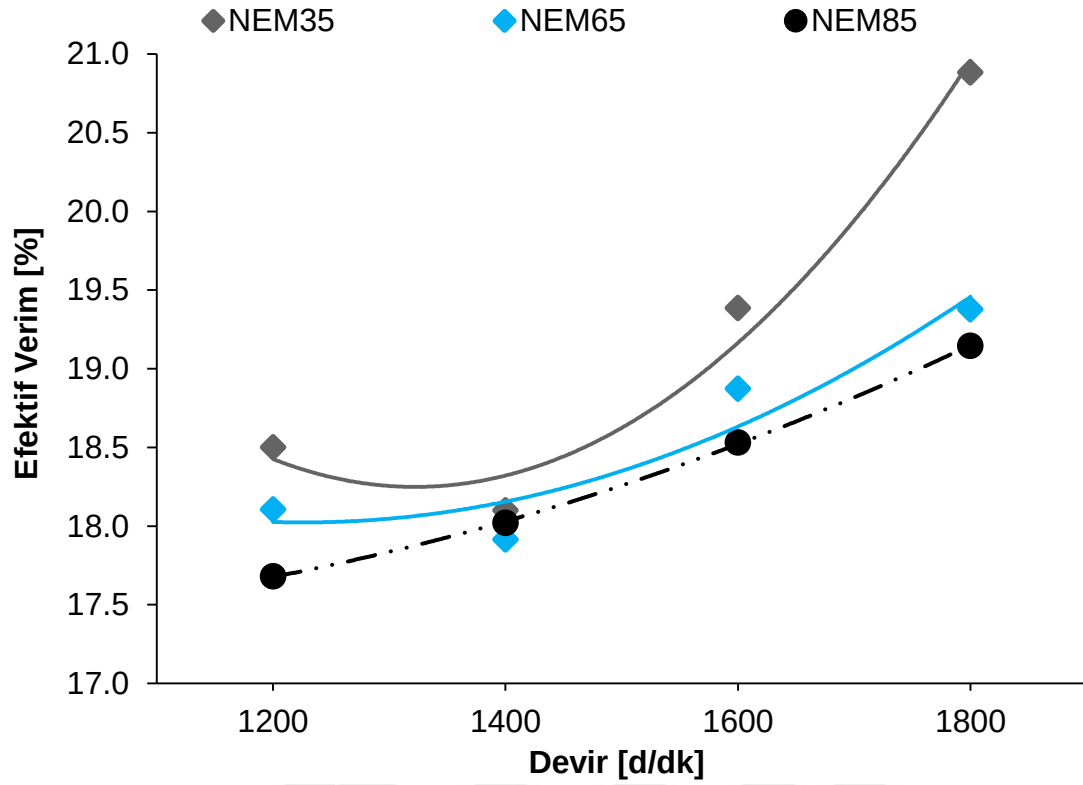
Şekil 4.45. Yarım yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin efektif verime etkisi

Yarım yükte %23 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması efektif verimi ortalama %3.1 azaltırken, %85'e çıkarılması %15 azaltmıştır. Efektif verimdeki değişimler %21 oksijen oranına göre çok farklılık göstermemiştir. Buradan aynı nem şartlarında oksijen oranının %21'den %23'e çıkartılması efektif verim üzerinde kayda değer bir olumlu etkisinin olmadığı görülmektedir. Ancak Şekil 4.47'de görüldüğü gibi tam yükte oksijenin yanma üzerindeki olumlu etkisi artarak efektif verimin daha az düşmesini sağlamıştır.



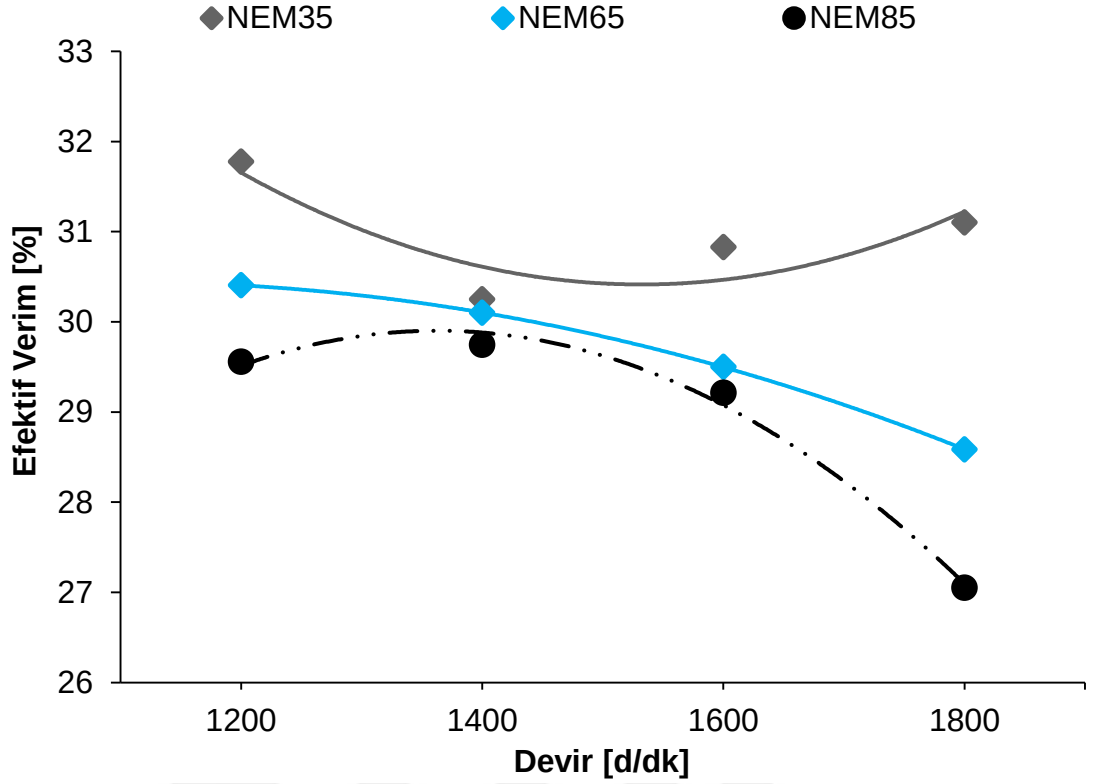
Şekil 4.46. Tam yük için %23 oksijen şartında nemlendirmenin efektif verime etkisi

Tam yükte %23 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması efektif verimi ortalama %2.9 azaltırken, %85'e çıkarılması %11.2 azaltmıştır. Bağıl nemin %85'e çıkarılması ile elde edilen etki %65'e çıkarılması ile elde edilen etkiye göre çok daha fazladır.



Şekil 4.47. Yarım yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin efektif verime etkisi

Yarım yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması efektif verimi ortalama %3.4 azaltırken, %85'e çıkarılması %4.5 azaltmıştır. Yüksek oksijen konsantrasyonuna rağmen nemlendirme motorun efektif verimini düşürmüştür.



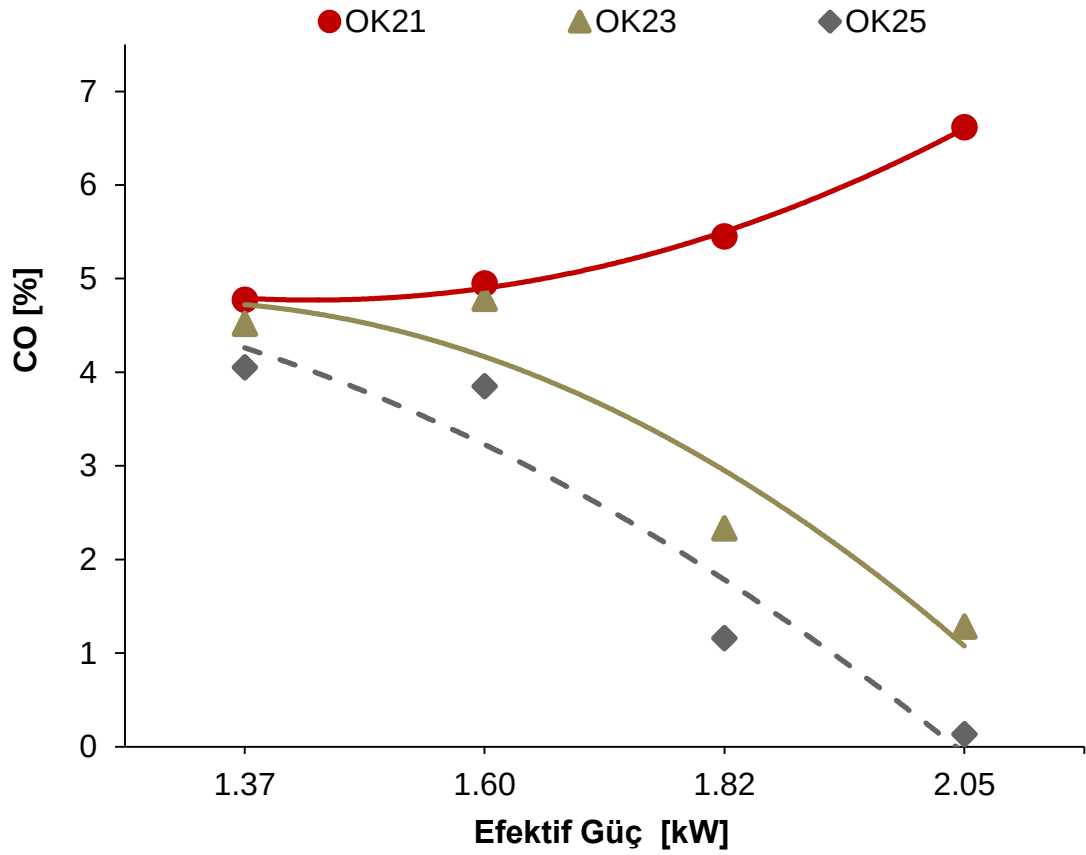
Şekil 4.48. Tam yük için %25 oksijen şartında nemlendirmenin efektif verime etkisi

Tam yükte %25 oksijen şartı için bağıl nemin %65'e çıkarılması efektif verimi ortalama %4.3 azaltırken, %85'e çıkarılması %6.8 azaltmıştır. Tam yükte yanma odasına alınan dolgu miktarı kısmi yüke göre daha fazladır. Nemlendirme ile sıcaklıkların düşmesi bu dolgu miktarının zamanında yanmasına engel olur. Bu nedenle tüm oksijen oranlarında nemlendirme ile motorun efektif verimi tam yükte daha fazla azalmıştır. Tam yükte motorun efektif verimini arttırmak için ateşleme avansı artırılabilir.

4.4. Oksijen Zenginleştirmenin Emisyonlara ve Performansa Etkileri

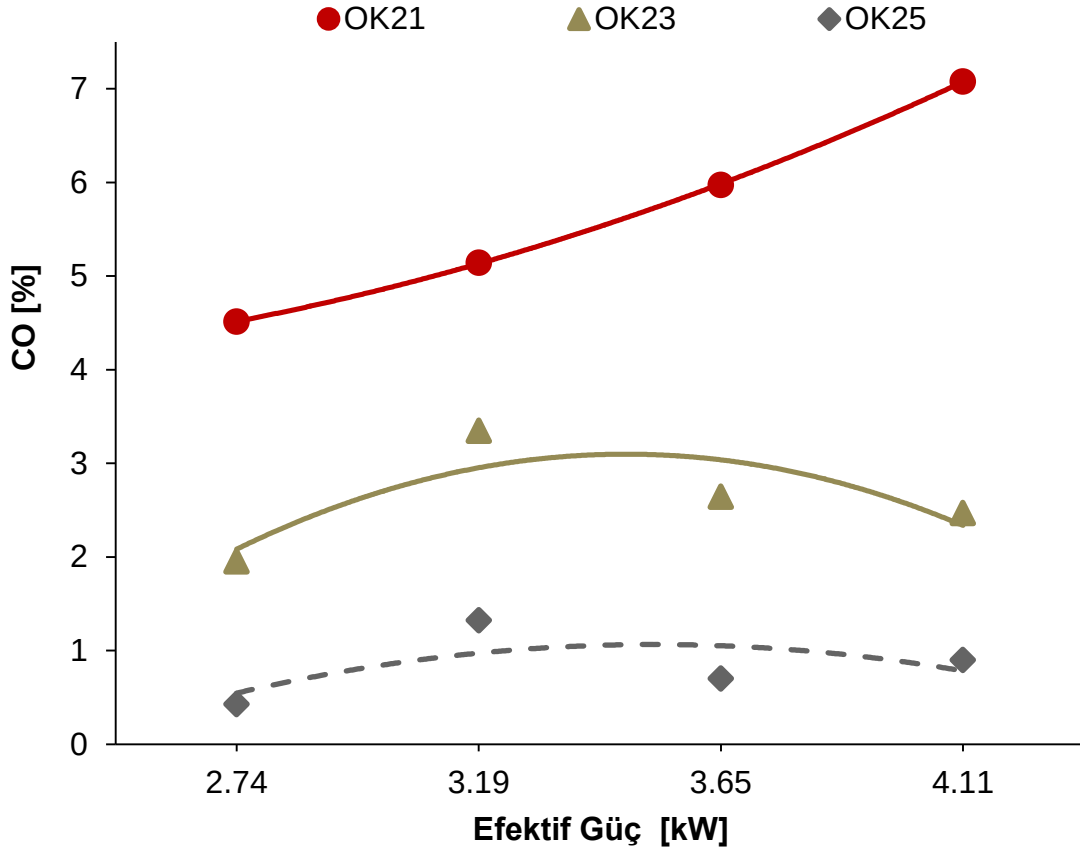
Yanma ortamı içerisindeki oksijen varlığı ve yüzdesi yanmanın temel gidişhatını belirlemekle beraber oksijen varlığının yakıtta veya havada olması çok farklı sonuçlara yol açmaktadır. Yakıtta bulunan oksijen genellikle daha temiz emisyonlarla birlikte düşük bir yanma elde edilirken; elde edilen ısı miktarı daha düşüktür. Fakat dolgu havası içerisinde bulunan oksijen varlığının artışı NO_x emisyonlarında çok yüksek düzeyde değişimlere yol açmaktadır. Daha nceki çalışmalarda benzer durumlar mevcuttur (Song vd, 2004). Örneğin yapılan bu çalışmada tam yükte standart bağıl nem şartında dolgu havasının oksijen yüzdesinin 21’den 25’e çıkarılması NO_x emisyonlarını 12.5 katına çıkarmıştır. Bu yüzde 4’lk değişim NO_x emisyonlarında yaklaşık %1160’lık bir değişime sebep olmuştur. Bu oran havanın tamamı yönünden bakıldığında %4’e tekabül etse de sadece oksijen düşünüldüğünde %19’a karşılık gelmektedir. Duruma bu şekilde bakıldığında yanmadaki etkinin fazla olması daha kabul edilebilirdir. Oksijen yüzdesindeki artış tüm şartlarda CO ve HC emisyonlarının azalmasına, NO_x emisyonlarının artmasına, YT’nin azalması ve efektif verimin artmasına neden olmaktadır. Benzer sonuçlar literatürde de mevcuttur (Dinesha vd, 2014).

4.4.1. CO emisyonuna etkisi



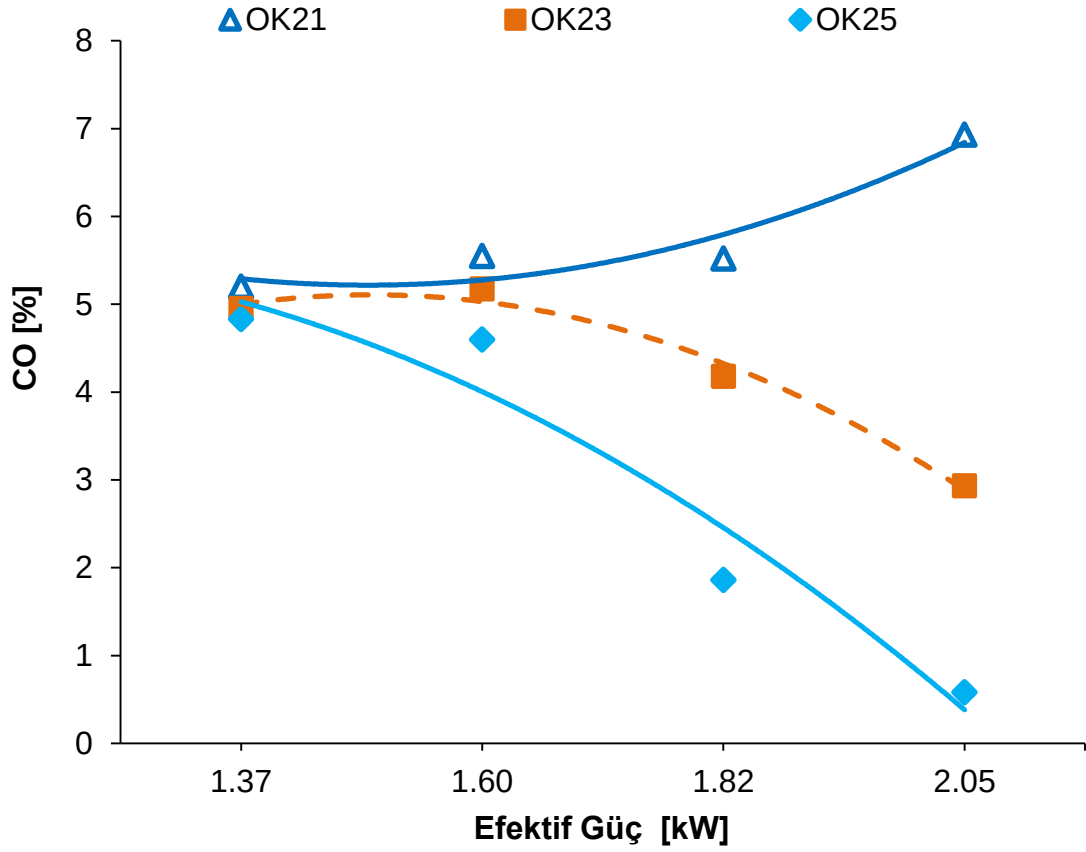
Şekil 4.49. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri

Yarım yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO emisyonunu ortalama %40.7 azaltırken, %25'e çıkarılması %57.8 azaltmıştır. Yanma odasındaki oksijen konsantrasyonunun artırılması yanmayı iyileştirmiş ve CO emisyonlarının azalmasını sağlamıştır. %21 oksijen şartında motor gücü ve devri arttıkça CO emisyonu artmaktadır. Bu durum güç (eşlenik olarak devir) arttıkça yanma için gereken zamanın giderek daha yetersiz hale gelmesinden kaynaklanmaktadır. Fakat oksijen oranının %23 ve 25'e çıkartılması durumunda ise yanma için yeterli oksijen sağlanmakta, yanma hızı artmakta; devirle birlikte artan silindir içi sıcaklıklar CO emisyonlarının güç (eşlenik olarak devir) arttıkça azalmasına neden olmaktadır.



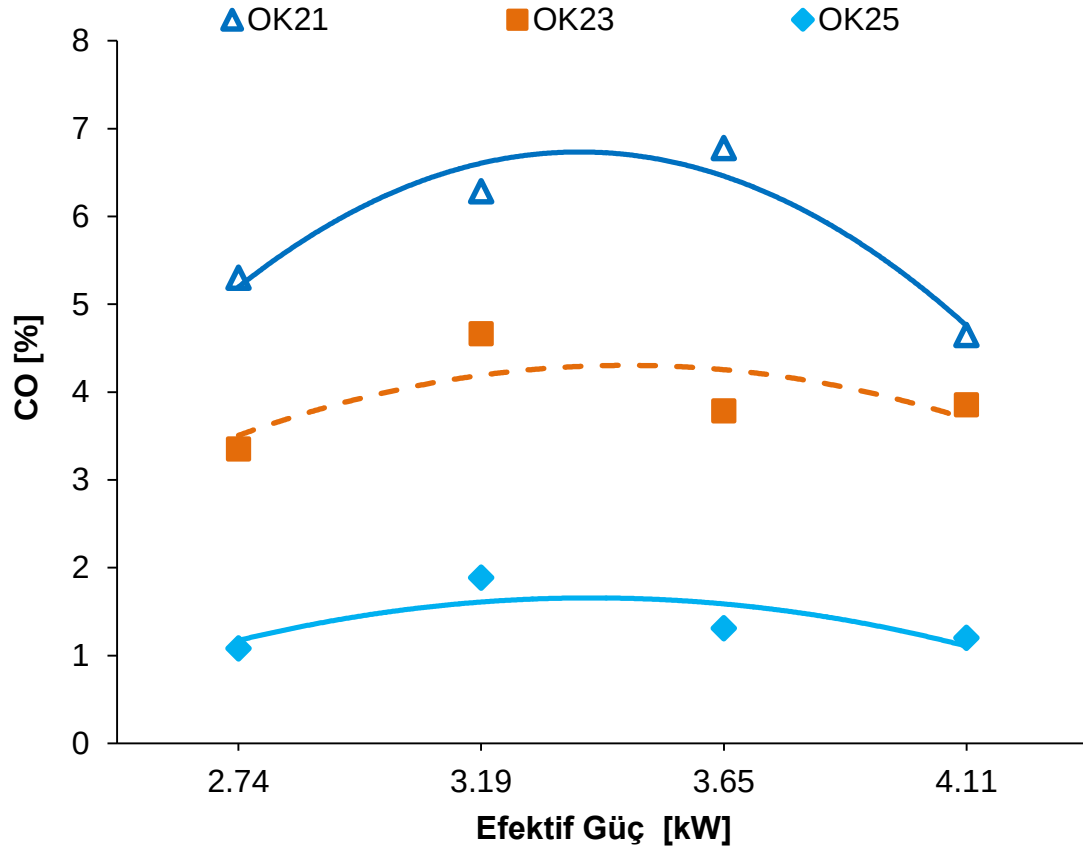
Şekil 4.50. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri

Tam yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO emisyonunu ortalama %54.2 azaltırken, %25'e çıkarılması %85.2 azaltmıştır. Standart hava için motor gücü ve devri arttıkça CO emisyonu artmaktadır. Bu durum güç (eşlenik olarak devir) arttıkça yanma için gereken zamanın giderek daha yetersiz hale gelmesinden kaynaklanmaktadır. Tam yük için değerler yarım yük ile karşılaştırıldığında standart hava için CO emisyonunda fazla değişim olmazken oksijence zenginleştirilmiş hava için yarı yarıya azalmaktadır. Yük arttıkça artan silindir içi sıcaklıklar yanmanın daha iyi gerçekleşmesine CO-CO₂ dönüşümünün artmasına neden olmaktadır. Ayrıca tam yükte gaz keleşği tam açıklıkta olduğu için motorun hacimsel verimi yüksektir. Dolayısıyla silindire daha fazla dolgu alınır ve yanma iyileşerek CO emisyonu azalır.



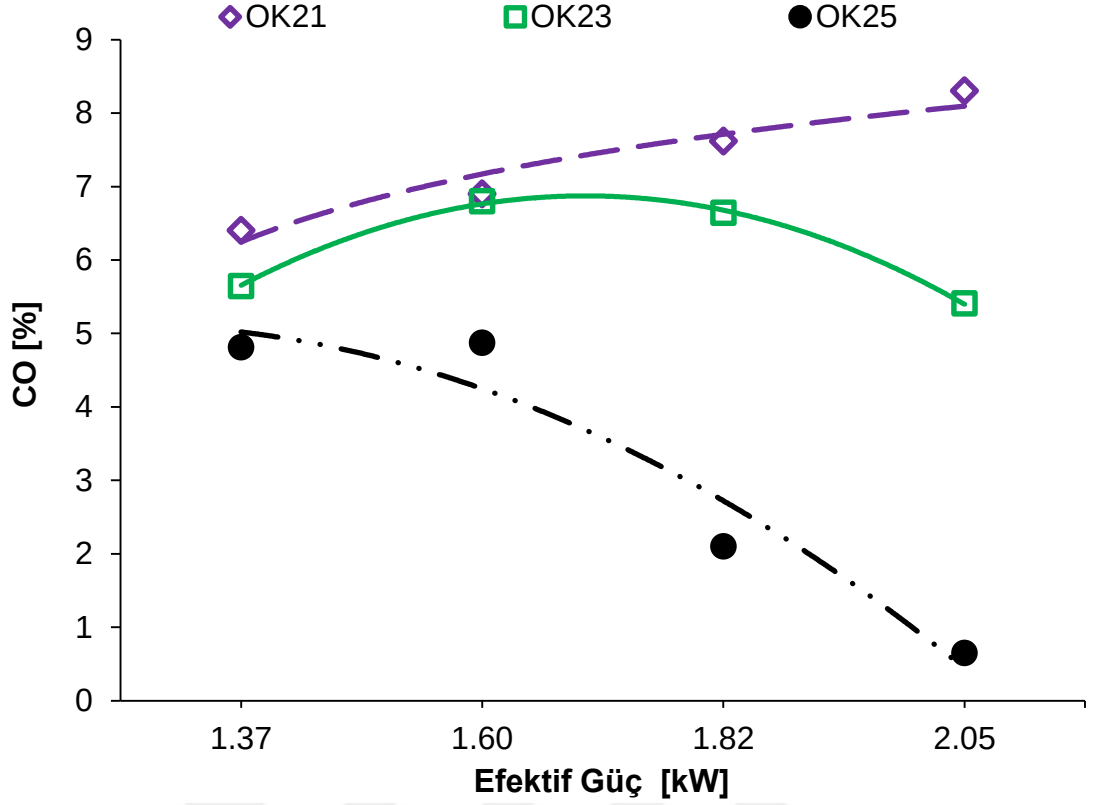
Şekil 4.51. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri

Yarım yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO emisyonunu ortalama %25.7 azaltırken, %25'e çıkarılması %48.8 azaltmıştır. Nemlendirme yapılması durumunda yanmanın kötüleştiği ve bu nedenle yanmamış ve yarı yanmış ürünlerin arttığı bilinmektedir. Ancak nemlendirme ile birlikte oksijen zenginleştirme yapıldığında nemlendirmenin yanma üzerinde oluşturduğu olumsuz etki oksijen zenginleştirme ile azaltılmaktadır. Bu nedenle %65 nem şartında oksijen zenginleştirme yapılması durumunda CO emisyonları azalmıştır. Ancak bu azalma %35 nem durumuna göre azdır. Ortamdaki fazla oksijen yanma zamanının yetersizliğinden meydana gelen standart hava eğrisindeki etkiyi ortadan kaldırmaktadır.



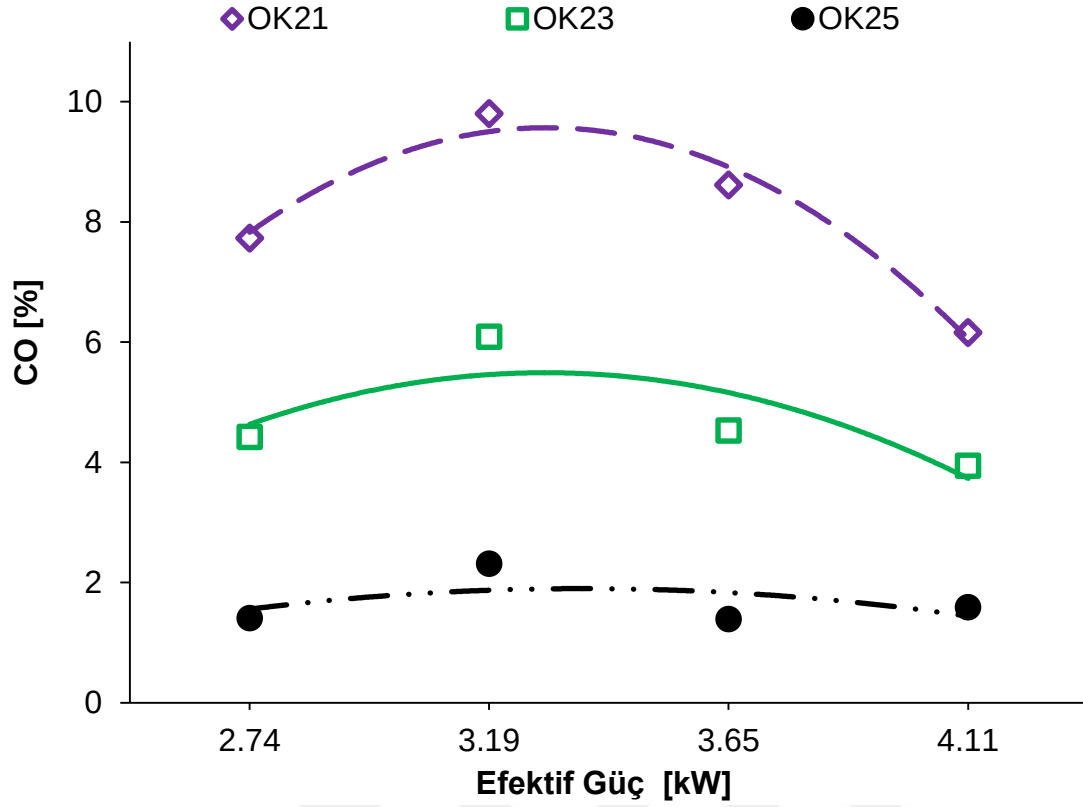
Şekil 4.52. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri

Tam yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO emisyonunu ortalama %32 azaltırken, %25'e çıkarılması %76.2 azaltmıştır. Tam yükte motorun hacimsel verimi arttığı ve silindir içi sıcaklıklar arttığı için CO emisyonları kısmi yüke göre azalmıştır.



Şekil 4.53. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri

Yarım yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO emisyonunu ortalama %16.2 azaltırken, %25'e çıkarılması %57.5 azaltmıştır. %85 nem şartında yanma sıcaklığının daha fazla düşmesi CO emisyonlarını arttırmıştır. Bu şartlarda oksijen oranının artırılması halinde CO emisyonlarında azalma meydana gelmektedir, ancak bu azalma diğer nem durumlarına göre daha azdır. Standart hava için CO emisyonu güçle (eşlenik olarak devirle) artmaktadır fakat oksijence zengin havada bu etki tersine dönmektedir. Ortamdaki fazla oksijen yanma zamanının yetersizliğinden meydana gelen etkiyi ortadan kaldırmaktadır.

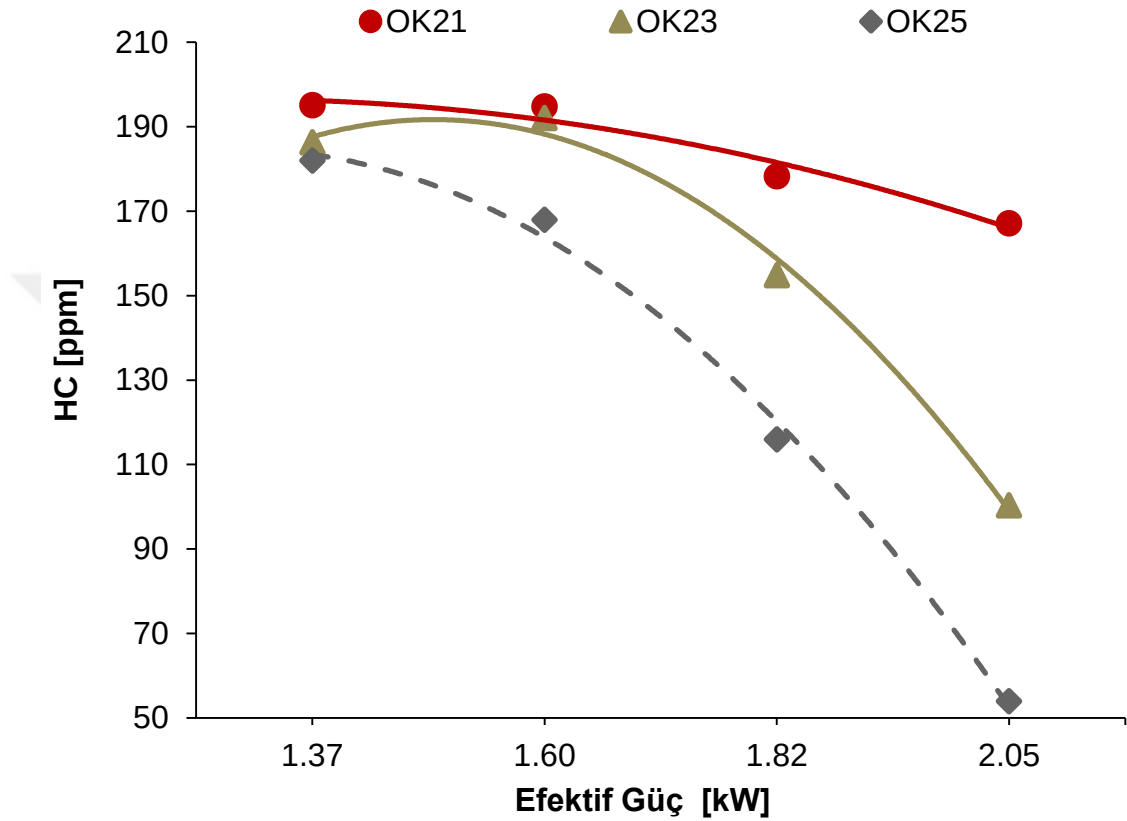


Şekil 4.54. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO emisyonuna etkileri

Tam yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO emisyonunu ortalama %41.2 azaltırken, %25'e çıkarılması %79.2 azaltmıştır. Yüksek nem oranlarında bile oksijen oranının %23'e çıkartılması CO emisyonlarını önemli oranda azaltmıştır.

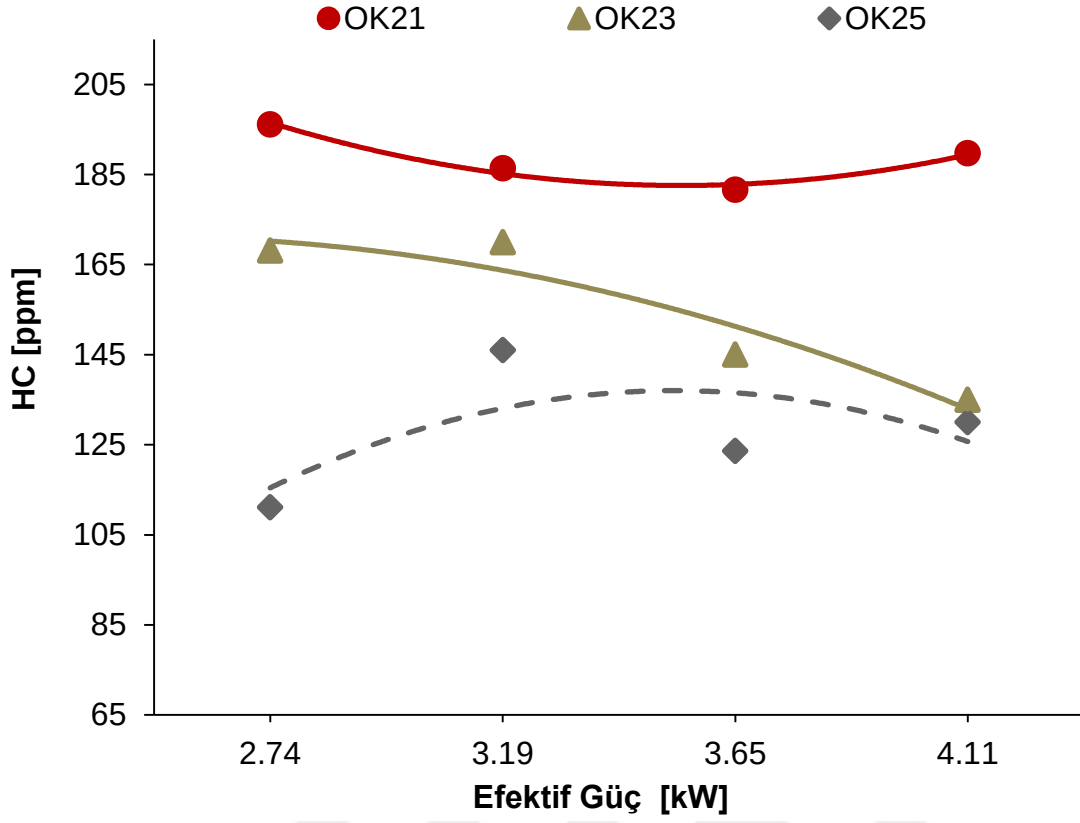
4.4.2. HC emisyonuna etkisi

İçten yanmalı motorlarda HC emisyonları, yakıt özellikleri, hava-yakıt oranı, yanma odası geometrisi, motor hızı ve yükü gibi parametrelerden daha çok etkilenir (Pulkrabek, 2013). HC emisyonlarının artması yanma odası şartlarının heterojen olmasından büyük ölçüde etkilenir.



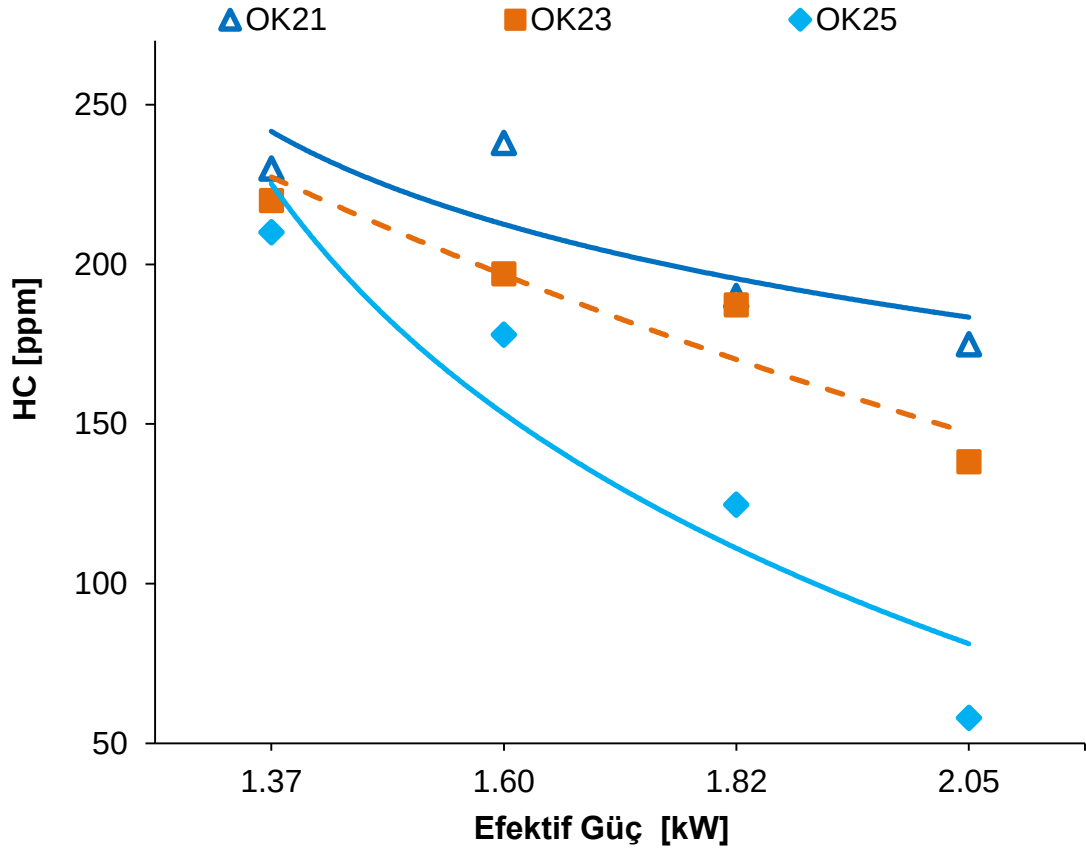
Şekil 4.55. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri

Yarım yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması HC emisyonunu ortalama %13.8 azaltırken, %25'e çıkarılması %29.3 azaltmıştır. Oksijen oranının arttırılması, yakıtın oksitlenmesini hızlandırarak HC emisyonlarının azalmasını sağlamıştır. Şekilde görüldüğü gibi yüksek motor güçlerinde HC emisyonları hızlı bir şekilde azalmıştır. Yarım yükte motor gücünün (devir sayısının) arttırılması silindir içindeki hava hareketlerinin artmasına ve bunun sonucunda daha iyi bir hava-yakıt karışımının elde edilmesinde etkili olduğu söylenebilir. Daha homojen bir hava-yakıt karışımı HC emisyonlarının azalmasını sağlamıştır.



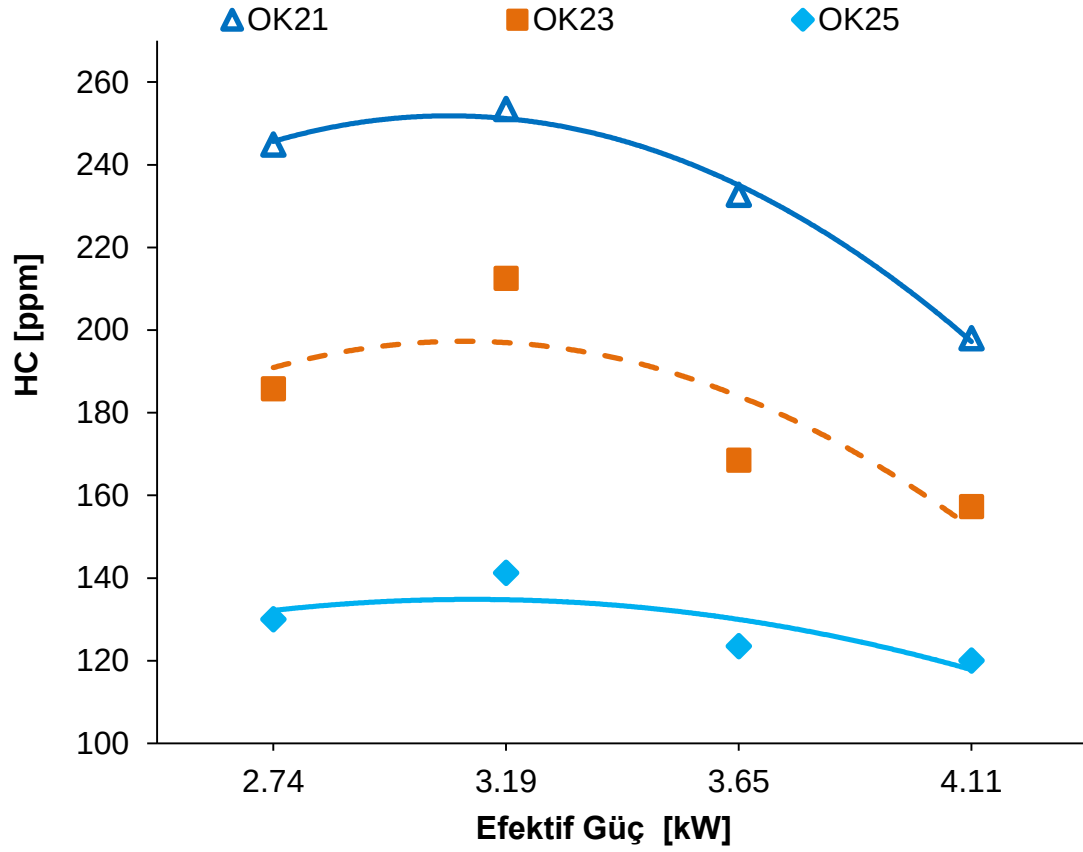
Şekil 4.56. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri

Tam yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması HC emisyonunu ortalama %18 azaltırken, %25'e çıkarılması %32.3 azaltmıştır. Tam yükte silindire alına dolgu miktarının fazla olması nedeniyle HC emisyonlarında kısmi yüke göre daha az düşme meydana gelmiştir.



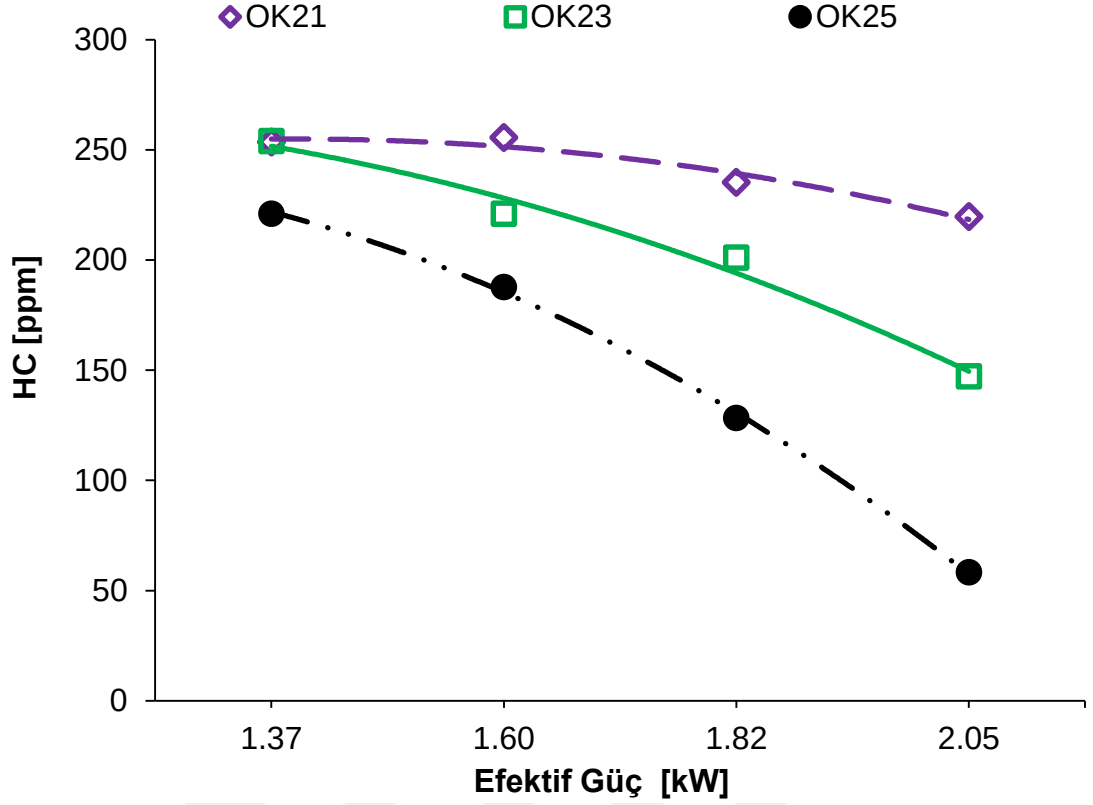
Şekil 4.57. Yarım yük için % 65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri

Yarım yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması HC emisyonunu ortalama %10.9 azaltırken, %25'e çıkarılması %31.5 azaltmıştır. Bu nem şartı için HC emisyonlarında meydana gelen azalma %35 nem durumuna göre daha fazla olduğu görülmektedir. Nemlendirme durumunda dolgu sıcaklığının düşmesi silindire alınan dolgu yoğunluğunu artmasını sağlar. Bu nedenle %65 nem şartında oksijen zenginleştirme yapılması halinde HC emisyonları daha fazla azalmıştır. Ayrıca nemli havadaki su zerrecikleri yanma ortamındaki ısı etkisiyle genişerek aniden patlar ve hava ile yakıtın daha iyi karışmasını sağlar. Bu etki HC emisyonlarını azaltır. Mikro patlama etkisi yüksek sıcaklıklarda daha etkili olduğu için devirle artan silindir içi sıcaklıklar HC emisyonunu azaltmaktadır.



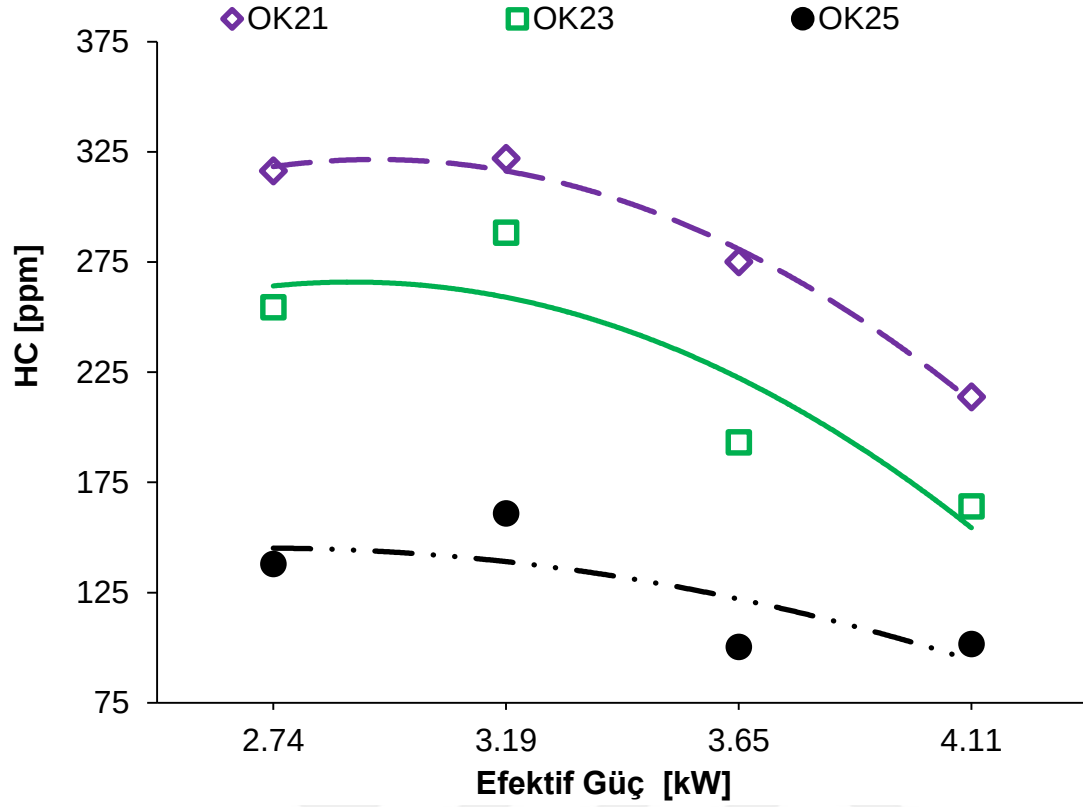
Şekil 4.58. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri

Tam yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması HC emisyonunu ortalama %22.1 azaltırken, %25'e çıkarılması %44.6 azaltmıştır. Tam yükte HC emisyonu azalma oranı yarım yüke göre daha fazla olmuştur.



Şekil 4.59. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri

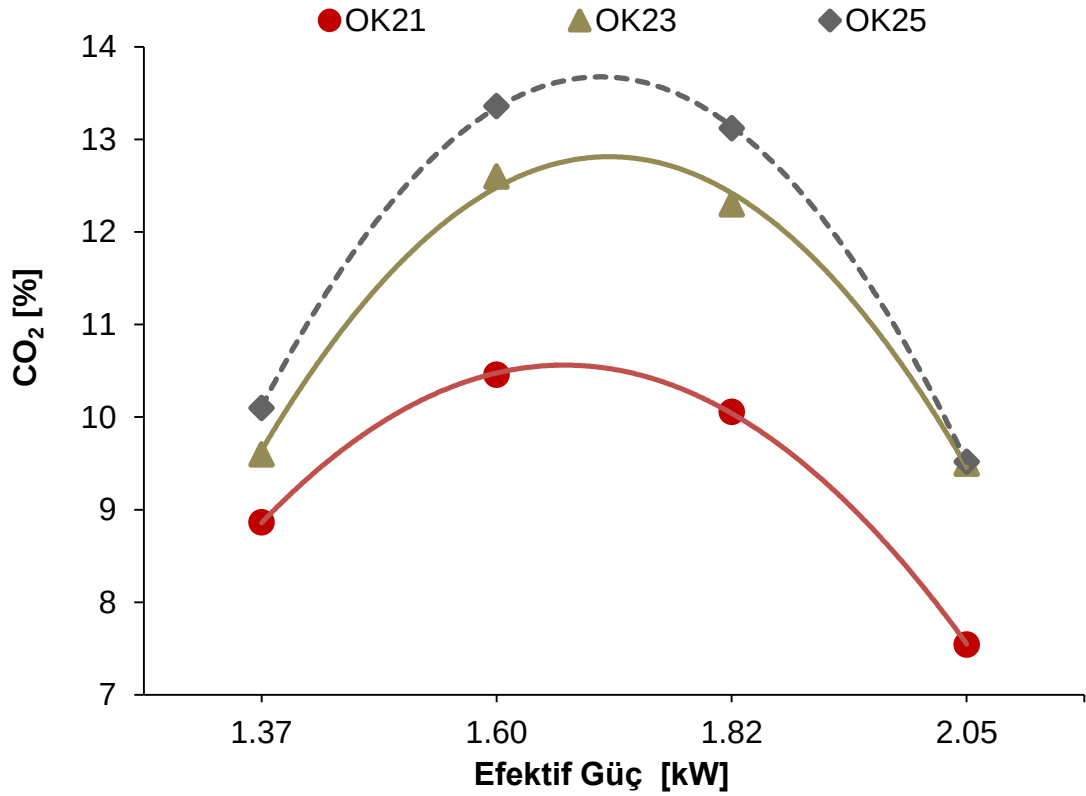
Yarım yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması HC emisyonunu ortalama %14.6 azaltırken, %25'e çıkarılması %38.2 azaltmıştır. HC emisyonlarında meydana gelen azalma yarım yük ve %65 bağıl nem durumundan daha fazladır. Oksijen oranının artırılması ile HC emisyonlarının azalması beklenen durumdur. Ancak yüksek nem oranlarında bile HC emisyonlarının artan güç (eşlenik olarak devir) ile azalması mikro patlama teorisine dayandırılabilir.



Şekil 4.60. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin HC emisyonuna etkileri

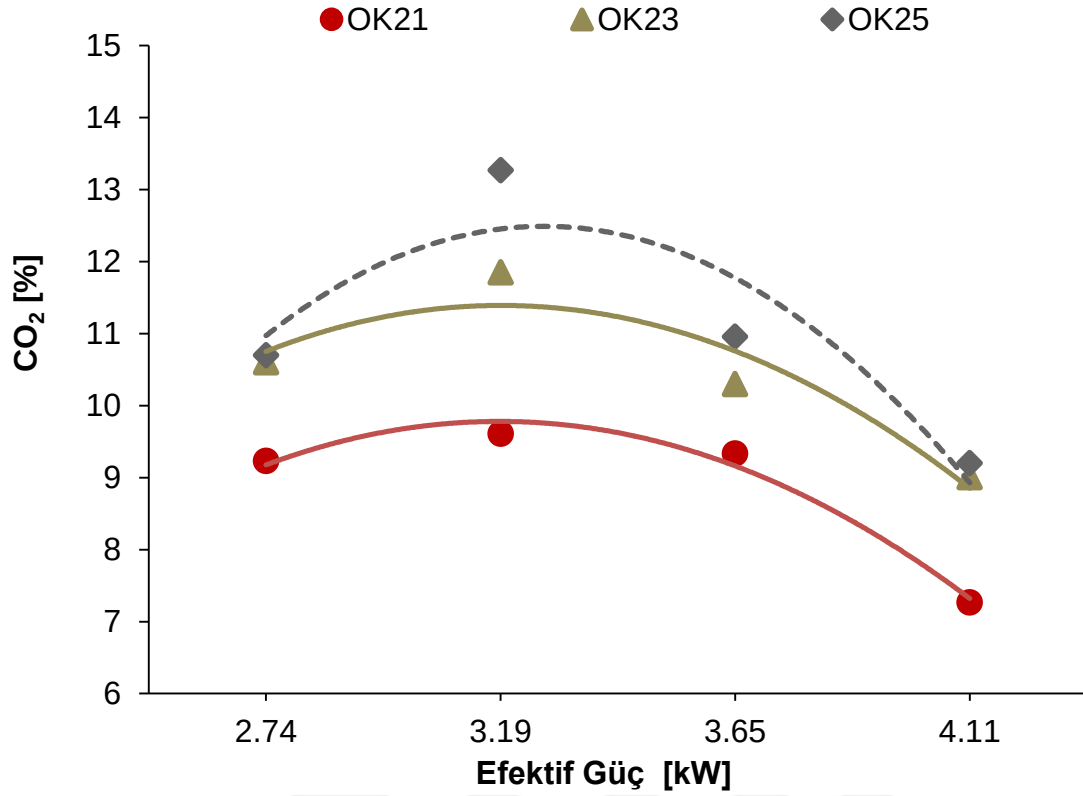
Tam yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması HC emisyonunu ortalama %20.2 azaltırken, %25'e çıkarılması %55.6 azaltmıştır. %25 oksijen oranı için belirgin bir düşüş olmuştur.

4.4.3. CO₂ emisyonuna etkisi



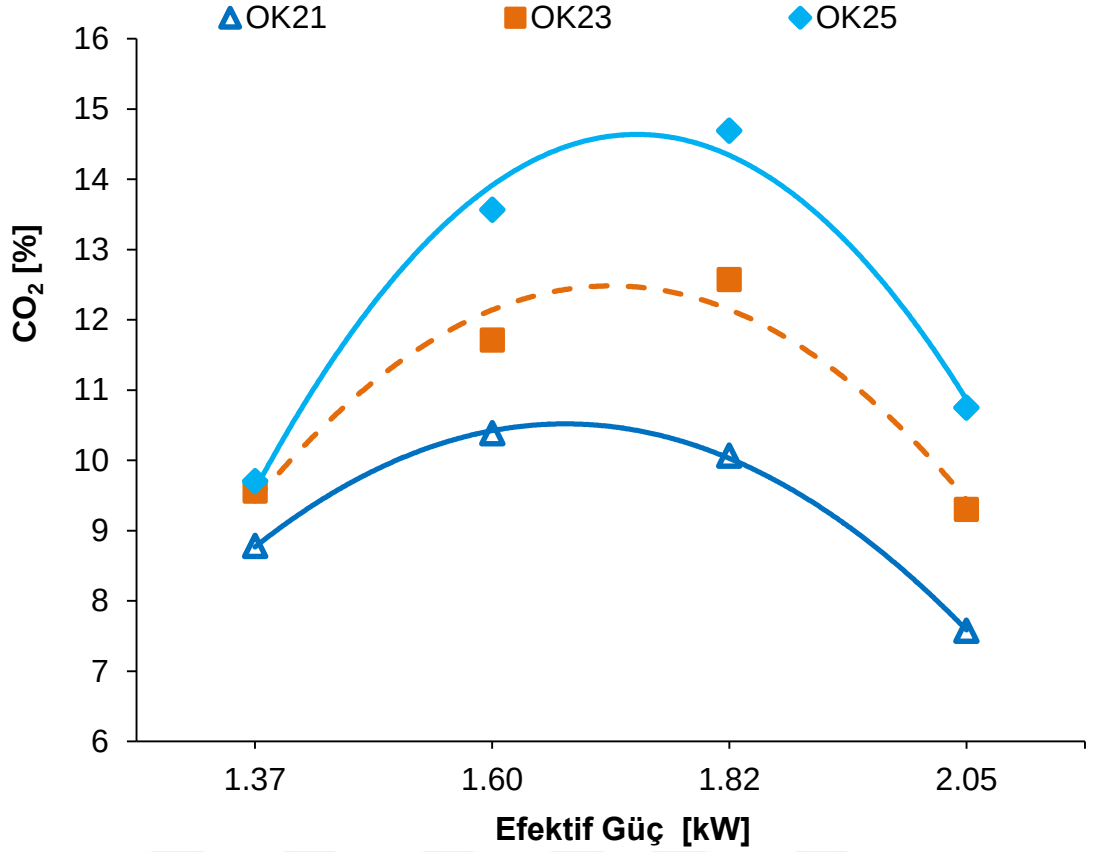
Şekil 4.61. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

Yarım yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO₂ emisyonunu ortalama %19.2 arttırırken, %25'e çıkarılması %24.8 arttırmıştır. Burada görüldüğü gibi silindir içindeki oksijen konsantrasyonunun arttırılması ile yanma iyileşmekte ve CO₂ emisyonları artmaktadır. CO₂ emisyonları orta motor güçlerinde en yüksek olması, yanmanın bu güçlerde daha iyi gerçekleştiğinin bir ifadesidir.



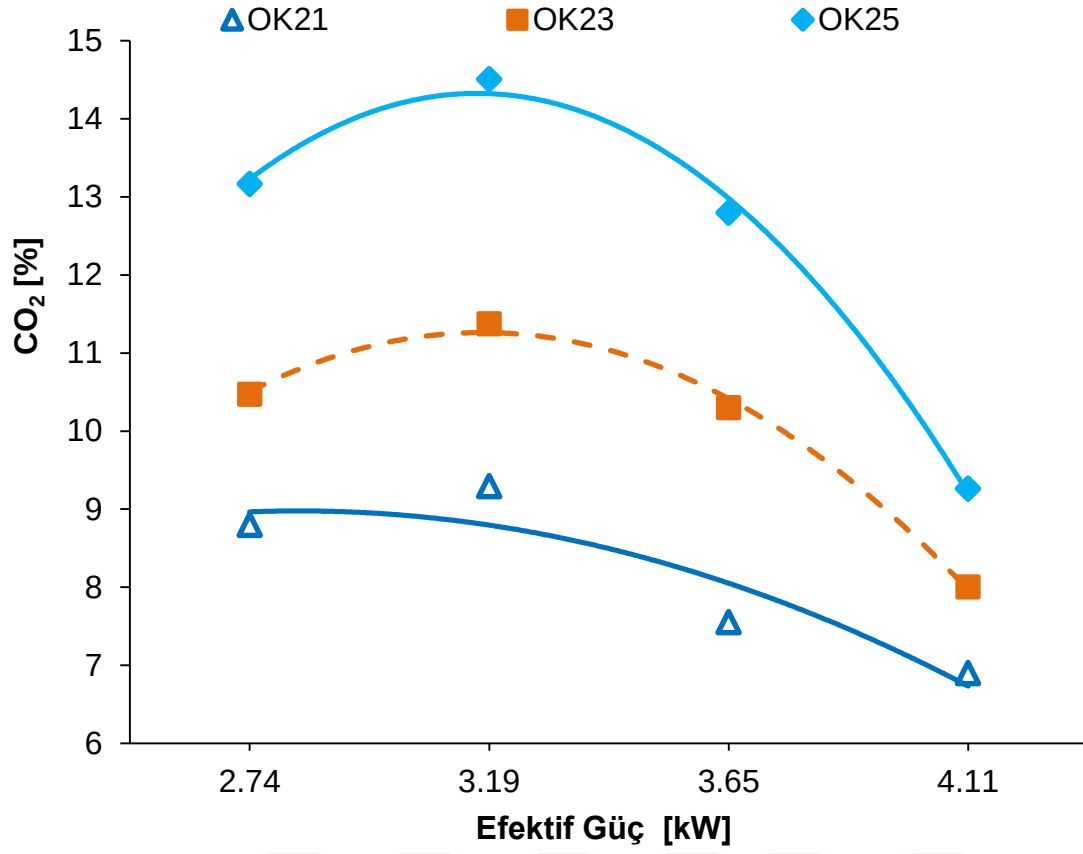
Şekil 4.62. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

Tam yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO₂ emisyonunu ortalama %17.8 arttırırken, %25'e çıkarılması %24.5 arttırmıştır. CO₂ emisyonu yarım yükte devirden daha fazla etkilenirken tam yükte daha az etkilenmiştir.



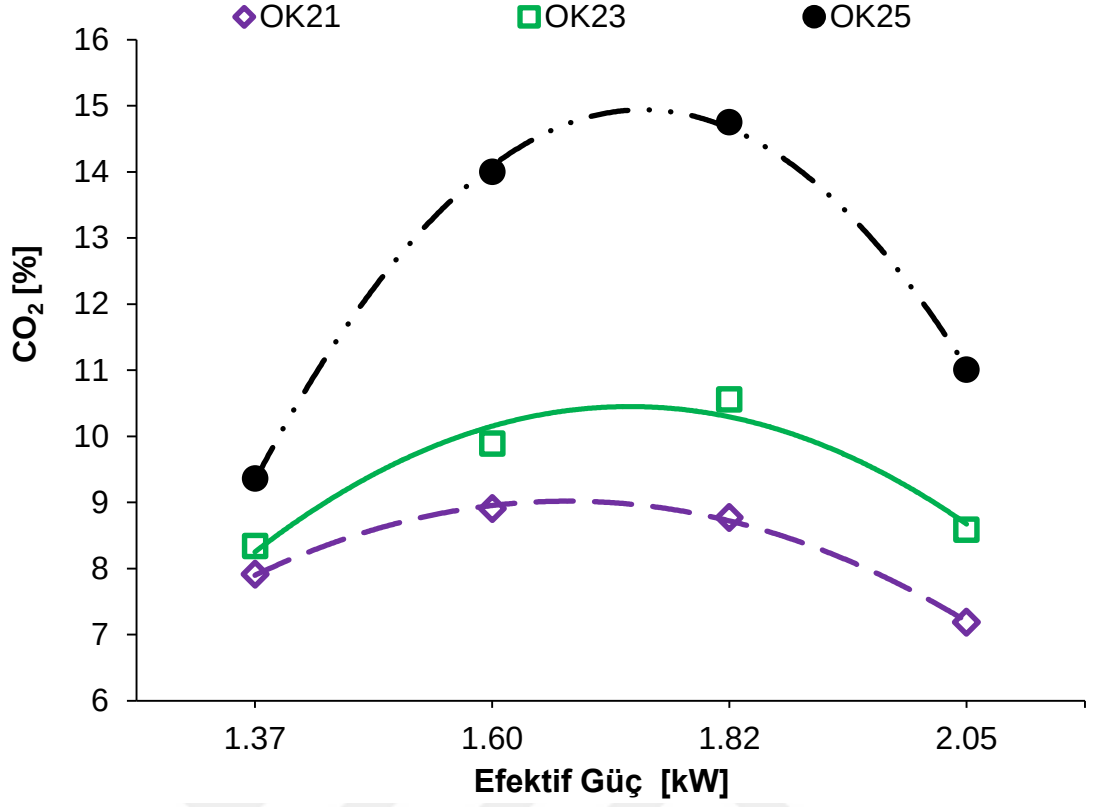
Şekil 4.63. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

Yarım yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO₂ emisyonunu ortalama %17.2 arttırırken, %25'e çıkarılması %32.3 arttırmıştır. %65 nem oranı için oksijen zenginleştirmenin yapılması yanmayı daha fazla iyileştirerek CO₂ emisyonlarını arttırmıştır. Burada nemlendirmenin etkisi iki şekilde olabilir. Birincisi dolgu sıcaklığının düşmesi ile daha yoğun dolgunun silindire alınması, ikincisi ise mikro patlama sayesinde hava-yakıt karışımının daha homojen bir hale gelmesidir. Her iki durumda da yanma iyileşir ve CO₂ emisyonu artar. Ya da oksijen zenginleştirme yönteminin etkileri nemlendirme etkilerine göre daha baskındır. Bu durum çalışma geneline bakıldığında net bir biçimde görülmektedir.



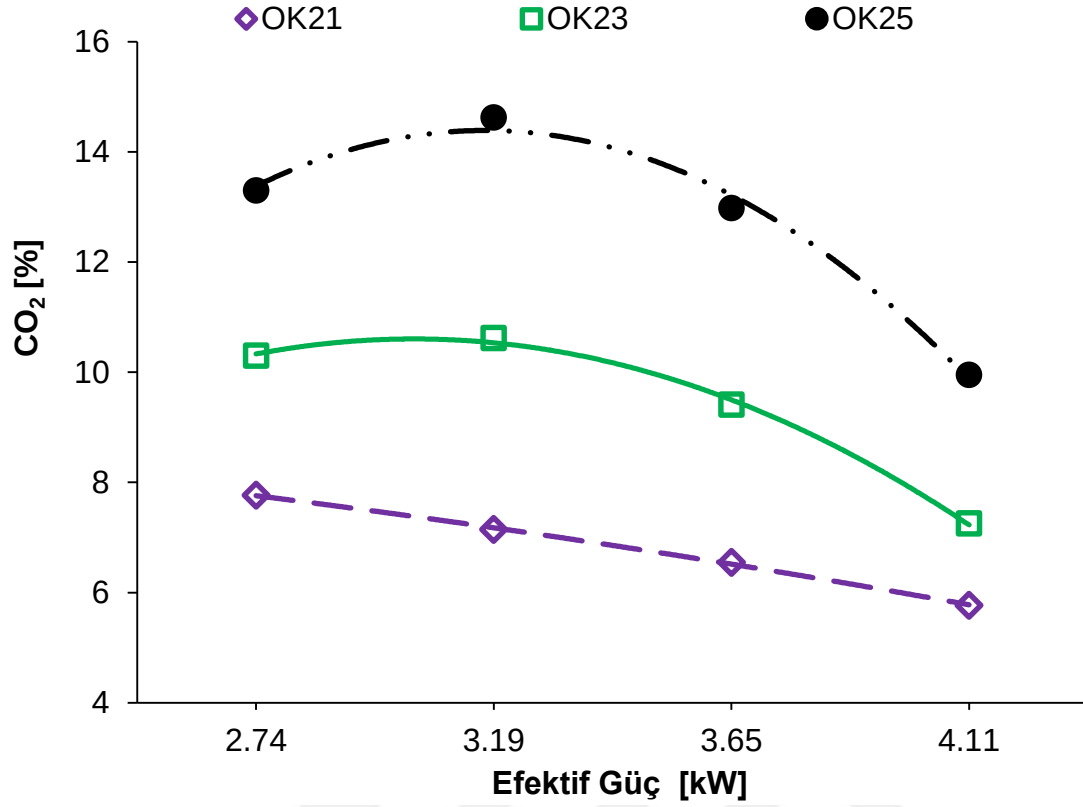
Şekil 4.64. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

Tam yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO₂ emisyonunu ortalama %23.4 artırırken, %25'e çıkarılması %52.8 artırmıştır. Tam yükte de yarım yüke benzer davranışlar elde edilmiştir.



Şekil 4.65. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

Yarım yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO₂ emisyonunu ortalama %14 arttırırken, %25'e çıkarılması %49.9 arttırmıştır. Oksijen oranının %25'e çıkarılması emisyonları belirgin derecede arttırmıştır.

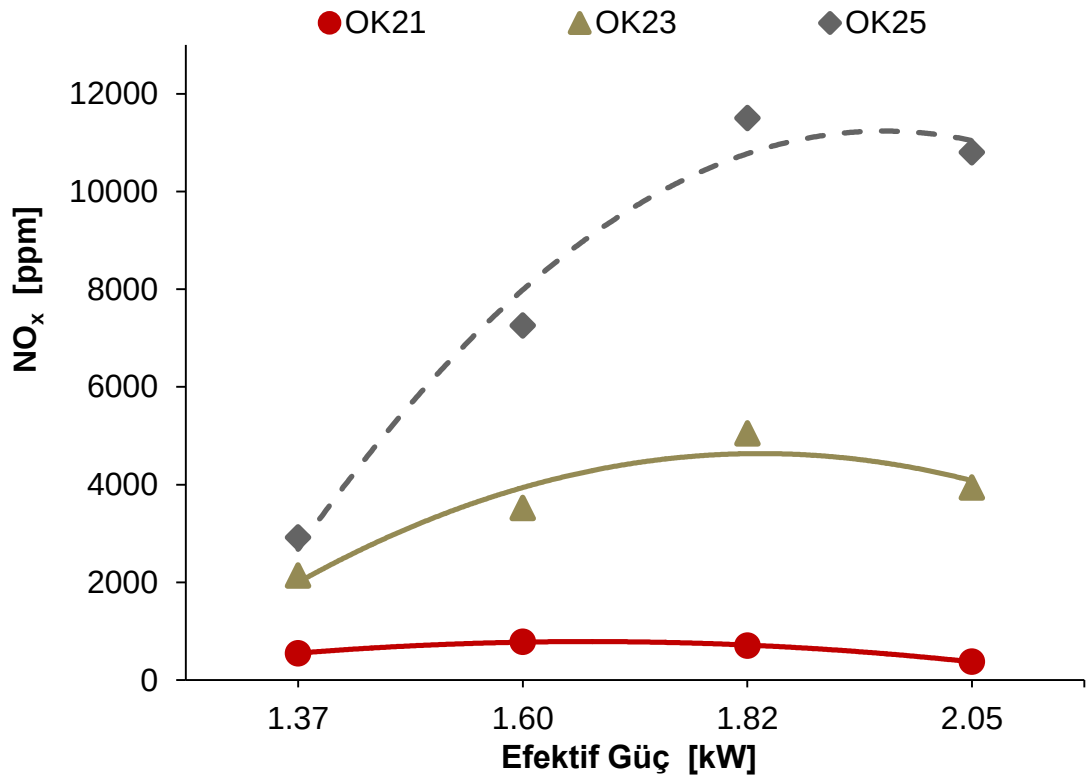


Şekil 4.66. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin CO₂ emisyonuna etkileri

Tam yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması CO₂ emisyonunu ortalama %38.1 arttırırken, %25'e çıkarılması %86.8 artırmıştır. Tam yükte artış miktarı yarım yüke göre çok daha fazladır.

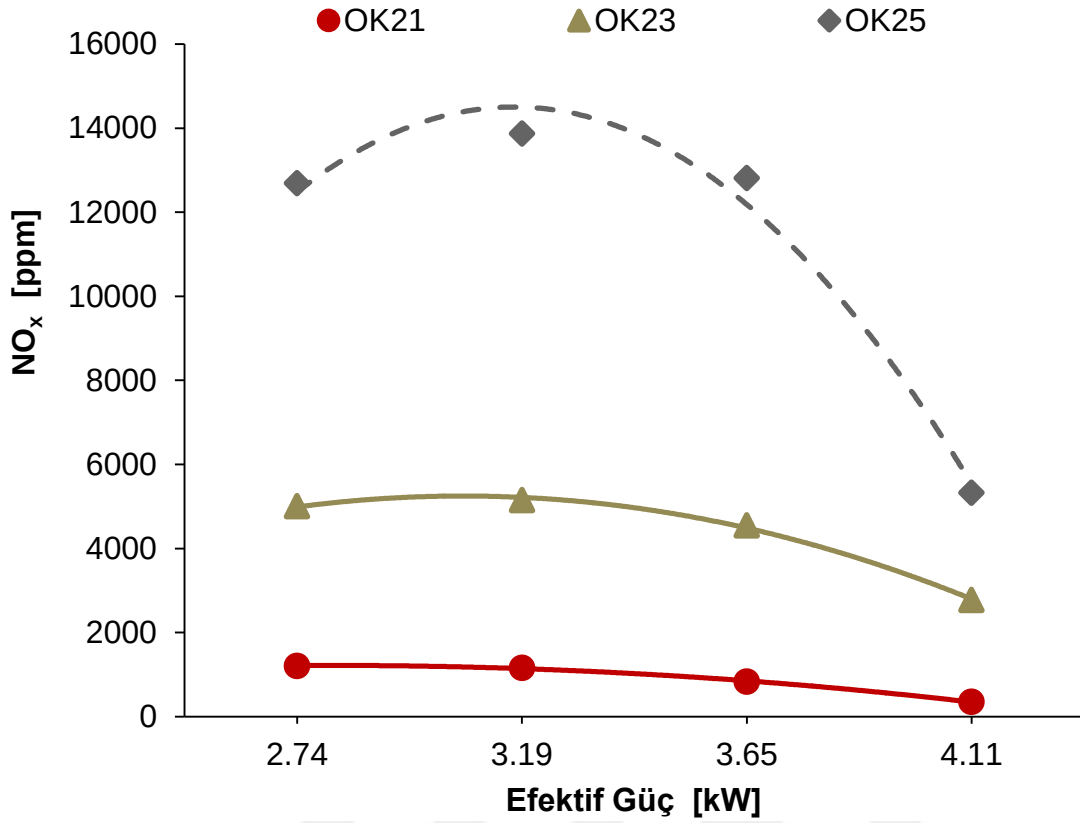
4.4.4. NO_x emisyonuna etkisi

İçten yanmalı motorlarda NO_x emisyonu en çok yanma sıcaklığı, oksijen konsantrasyonu ve yanma süresinden etkilenir. Yanma sıcaklığı arttıkça atmosferik nitrojen parçalanarak tek atomlu hale gelir. Bu halde kararsız olan nitrojen atomu ortamdaki oksijenle reaksiyona girerek değişik formlarda azot-oksijen bileşiminde oluşan emisyonlar meydana gelir. Bu emisyonların tamamı NO_x ile ifade edilir.



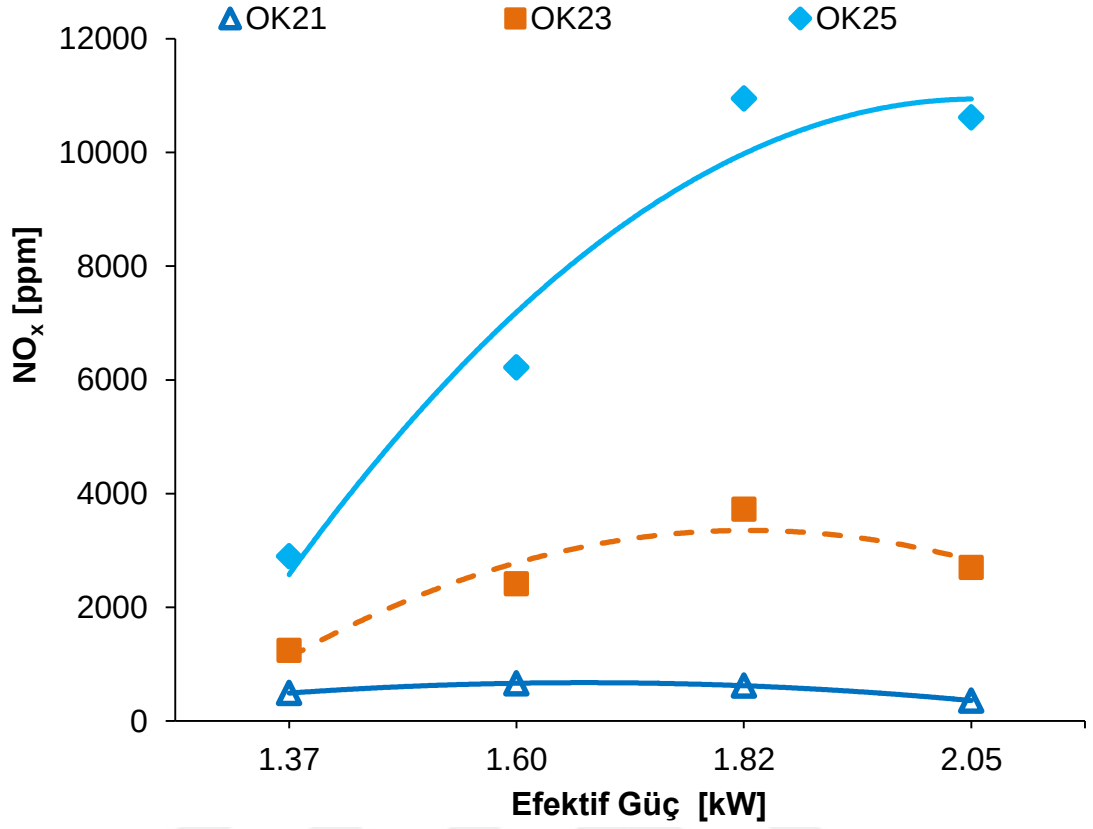
Şekil 4.67. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin NO_x emisyonuna etkileri

Yarım yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması NO_x emisyonunu ortalama %507.3 artırırken, %25'e çıkarılması %1245.9 artırmıştır. Oksijen zenginleştirmenin yapılması yanmayı iyileştirdiği ve bu nedenle HC, CO emisyonlarını azaltarak CO₂ emisyonlarını artırdığı belirlenmiştir. Ancak oksijen zenginleştirmenin en önemli dezavantajı NO_x emisyonlarını dramatik şekilde arttırmasıdır. Standart nem için artış miktarı çok fazladır. Bu yüzden artışı kontrol altına almak amacı ile bu çalışmada nemlendirme uygulanmıştır.



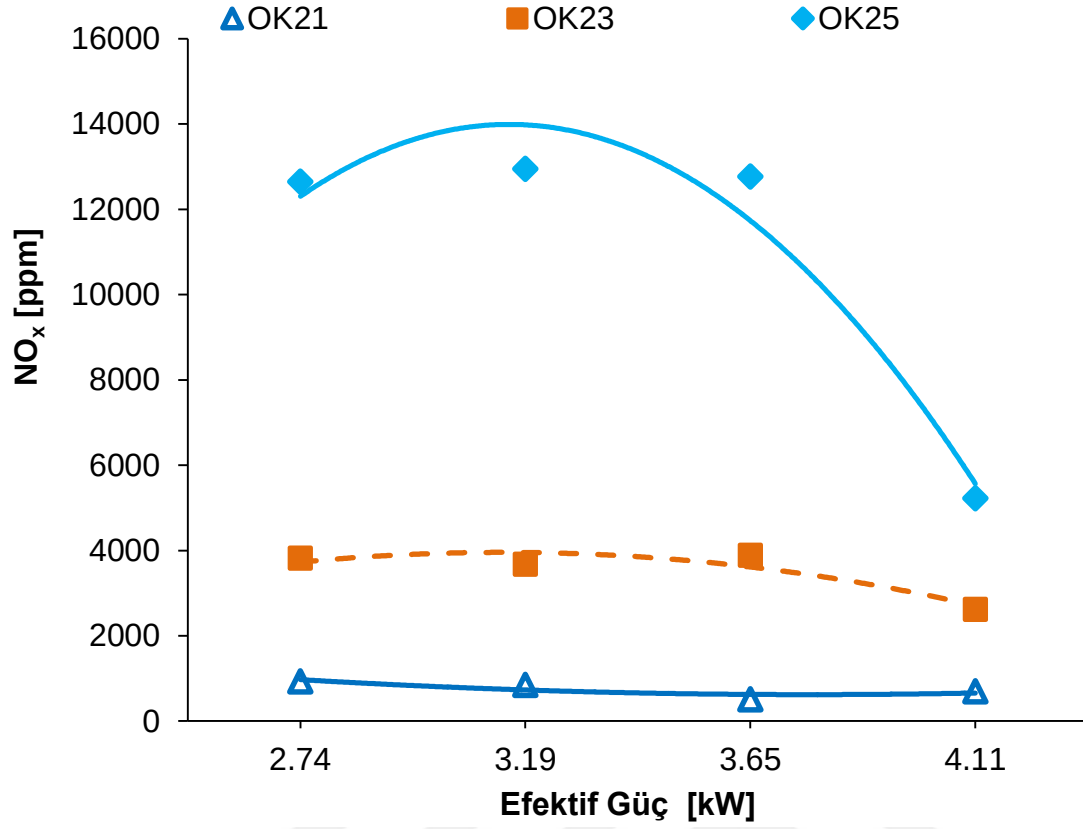
Şekil 4.68. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin NO_x emisyonuna etkileri

Tam yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması NO_x emisyonunu ortalama %392.1 artırırken, %25'e çıkarılması %1158.3 artırmıştır. Tam yükte silindire alınan dolgu miktarının fazla olması yanma sıcaklıklarının artmasına neden olmuştur. Bu şartlarda oksijen oranının artırılması NO_x emisyonlarını kısmi yüke göre çok daha fazla arttırmıştır. %25 oksijen oranı için artış belirgin derecede fazladır.



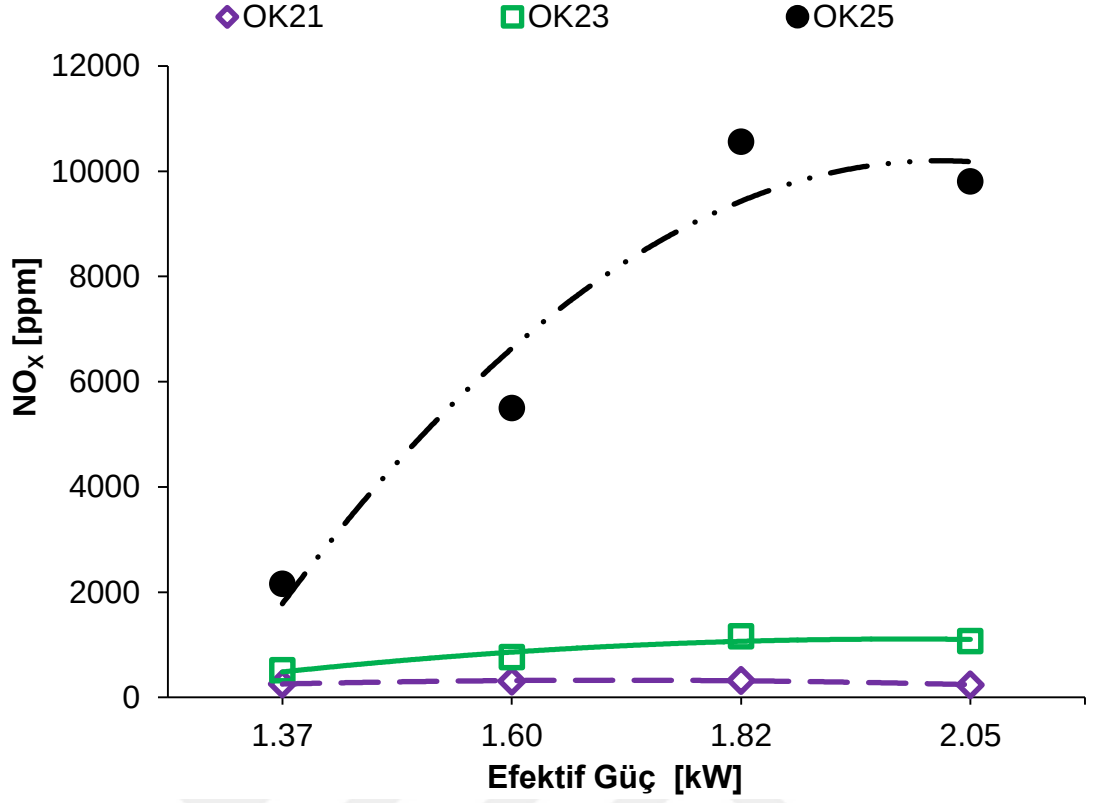
Şekil 4.69. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin NO_x emisyonuna etkileri

Yarım yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması NO_x emisyonunu ortalama %371.4 artırırken, %25'e çıkarılması %1334.9 artırmıştır. Grafikten görüldüğü üzere yüksek oksijen oranlarında nem oranının %35'den %65'e çıkartılması NO_x emisyonlarında kayda değer bir azalma meydana getirmediği görülmektedir. Fakat %23 oksijen oranında yarı yarıya etkili olmuştur.



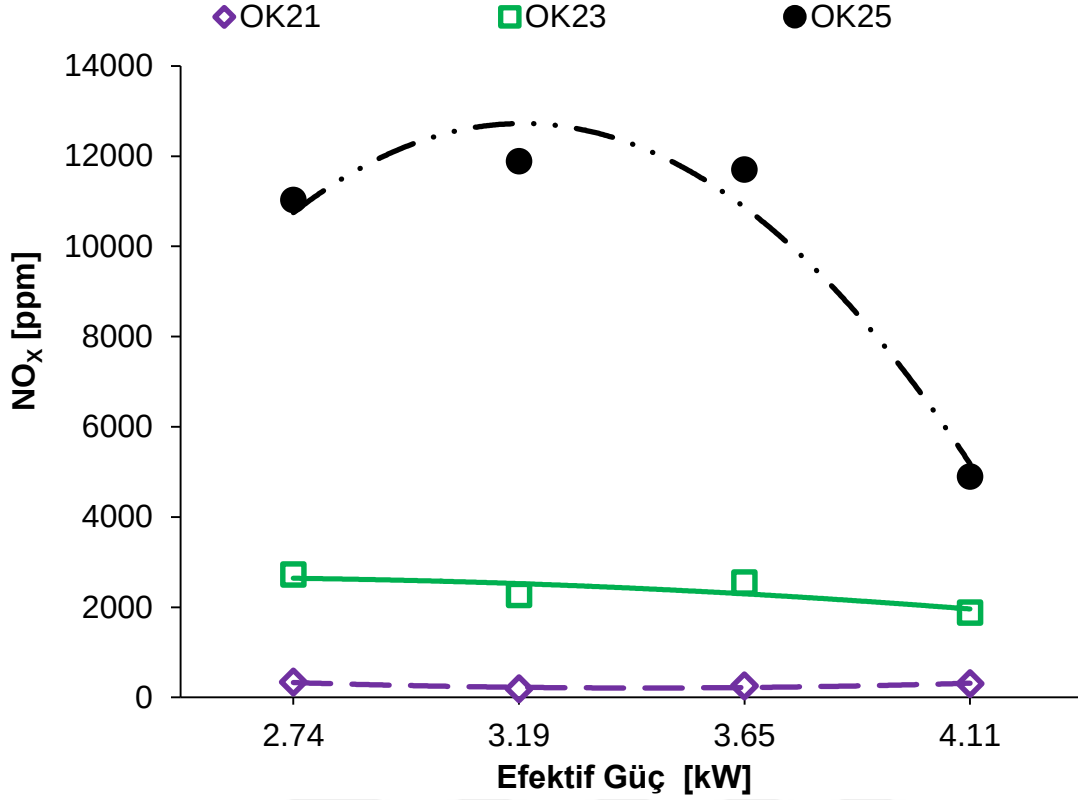
Şekil 4.70. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin NO_x emisyonuna etkileri

Tam yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması NO_x emisyonunu ortalama %369.3 artırırken, %25'e çıkarılması %1360.6 artırmıştır. Yine buradan oksijenin NO_x emisyonlarını artırıcı etkisinin, adyabatik nemlendirmenin NO_x emisyonlarını azaltıcı etkisinden daha baskın geldiği görülmektedir. %25 oksijen oranı için bariz bir artış söz konusudur.



Şekil 4.71. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin NO_x emisyonuna etkileri

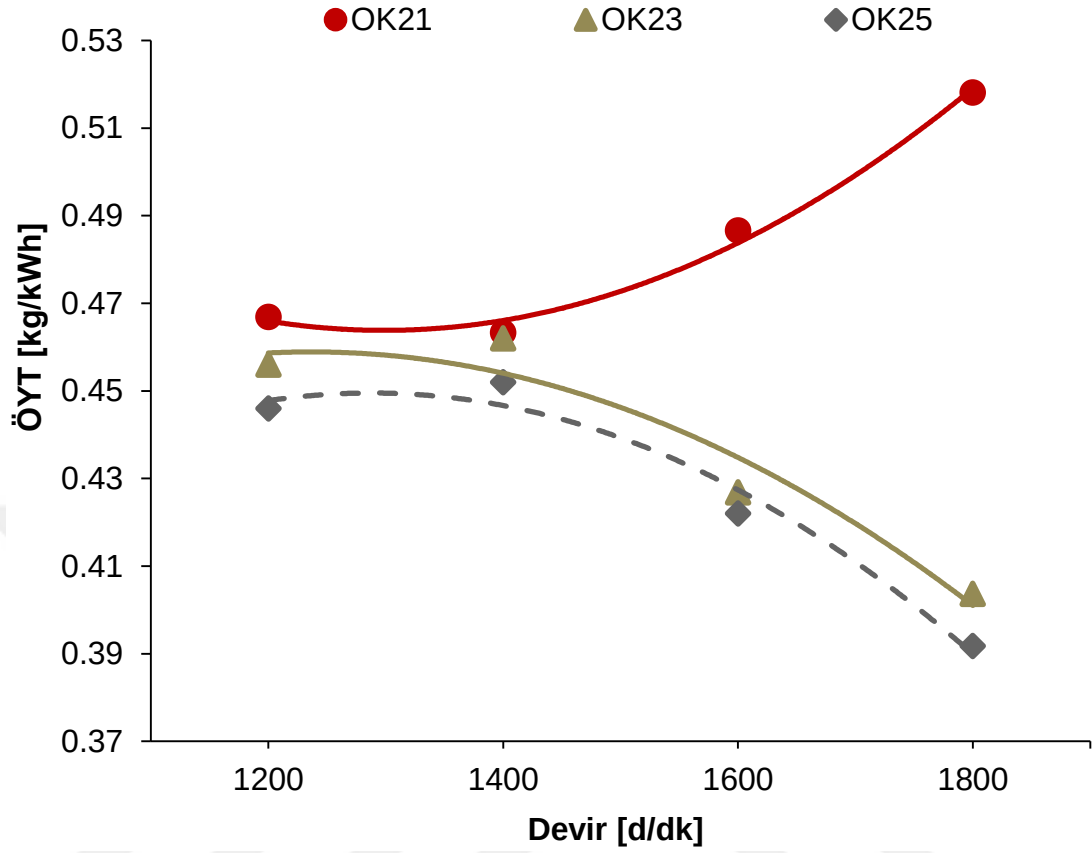
Yarım yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması NO_x emisyonunu ortalama %209.8 arttırırken, %25'e çıkarılması %2368.8 arttırmıştır. %85 nem oranında bile %25 oksijen konsantrasyonu NO_x emisyonlarını ciddi oranda arttırmıştır. Ancak diğer nem oranları ile karşılaştırıldığında %23 oksijen oranı için en düşük NO_x değerleri %85 nem şartında elde edilmiştir.



Şekil 4.72. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin NO_x emisyonuna etkileri

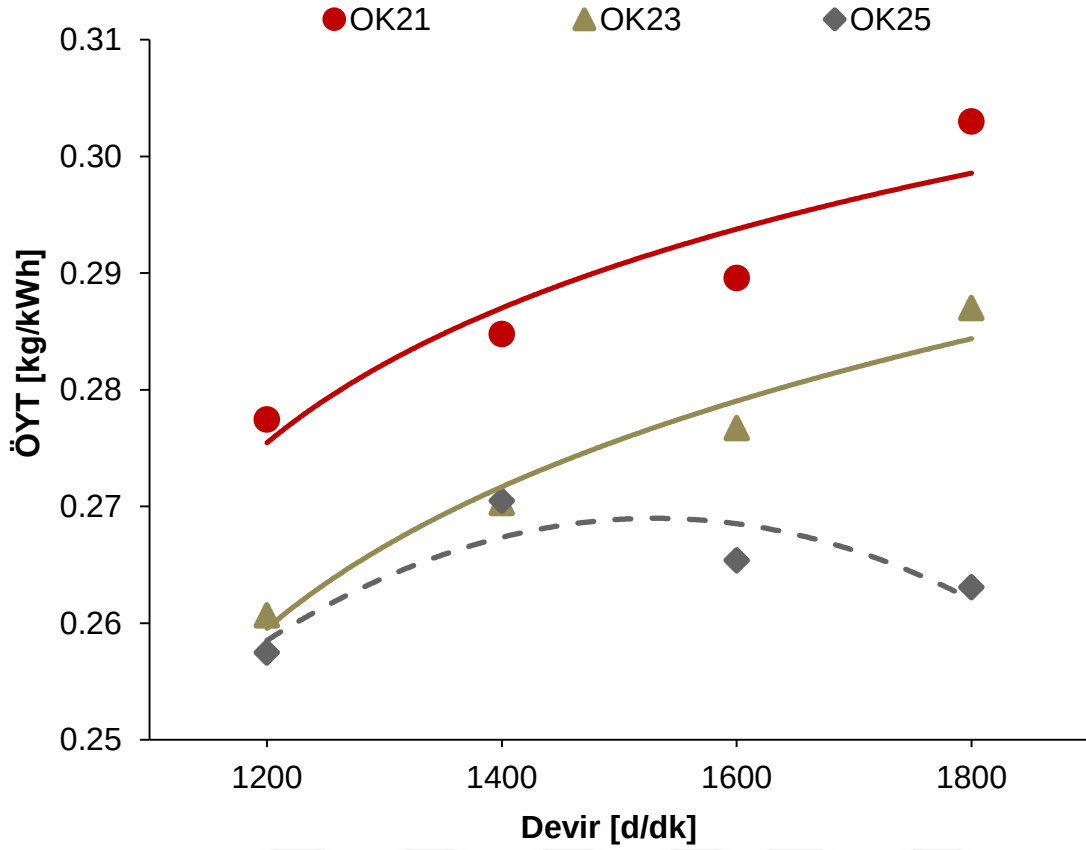
Tam yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması NO_x emisyonunu ortalama %762.9 artırırken, %25'e çıkarılması %3518.3 artırmıştır. Tam yükte de %25 oksijen oranı, en yüksek nem oranında bile NO_x emisyonlarını dramatik bir biçimde artırmıştır. Her ne kadar en düşük HC ve CO emisyonları ile en yüksek CO_2 emisyonları %25 oksijen oranında elde edilse de NO_x emisyonları en yüksek değerleri almıştır. Bu nedenle tüm emisyonlar açısından bir değerlendirme yapıldığında %23 oksijen oranının daha iyi olduğu sonucuna ulaşılabilir.

4.4.5. Özgöl yakıt tüketimine etkisi



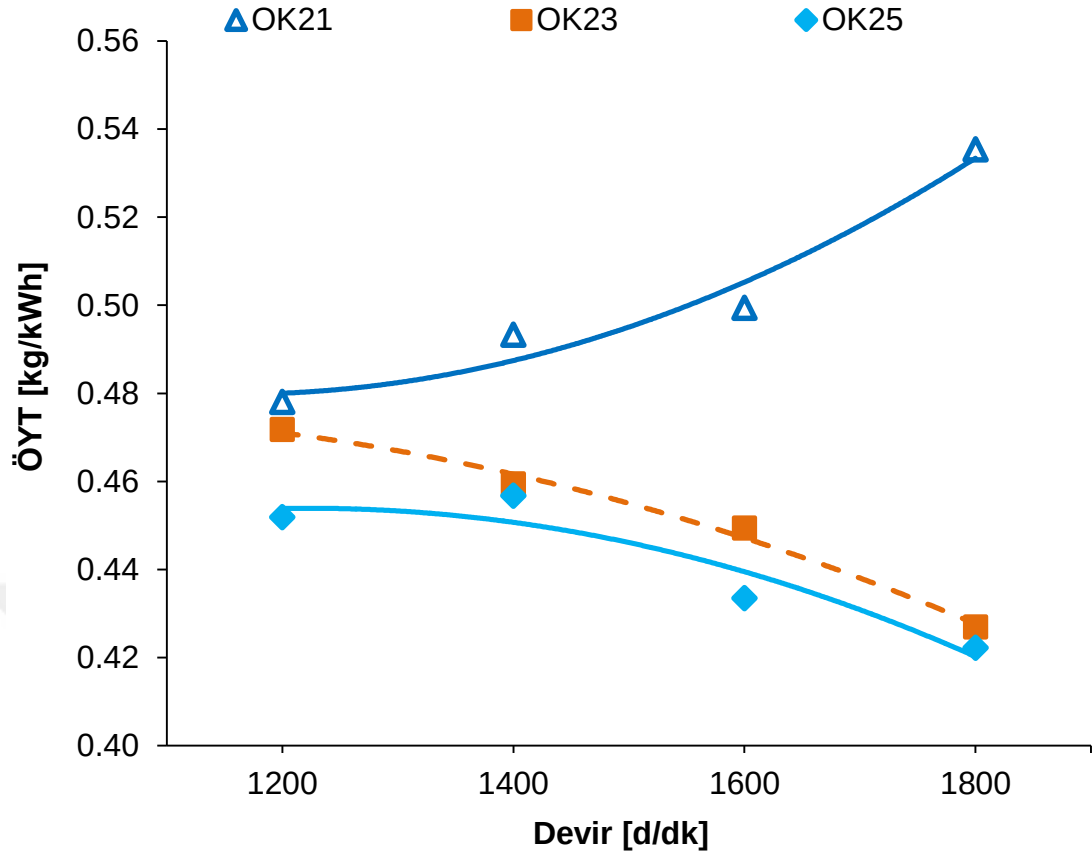
Şekil 4.73. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri

Yarım yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %9.6 azaltırken, %25'e çıkarılması %11.5 azaltmıştır. Yanma ortamında oksijen konsantrasyonunun artması yanmayı iyileştirerek motorun ÖYT'sinin azalmasını sağlar. Ayrıca yanmanın iyileşmesine bağlı olarak azalan CO ve HC emisyonları yakıt enerjisinin daha fazla kısmının işe dönüştürüldüğünü göstermekte ve bu nedenle motorun ÖYT'si azalmaktadır. Standart şartlarda artan devirle birlikte yanma süresi yetersizliği ÖYT'de artışa yol açarken; oksijeni zengin olması durumunda bu etki ortadan kalkmakta ve devir arttıkça ÖYT azalmaktadır.



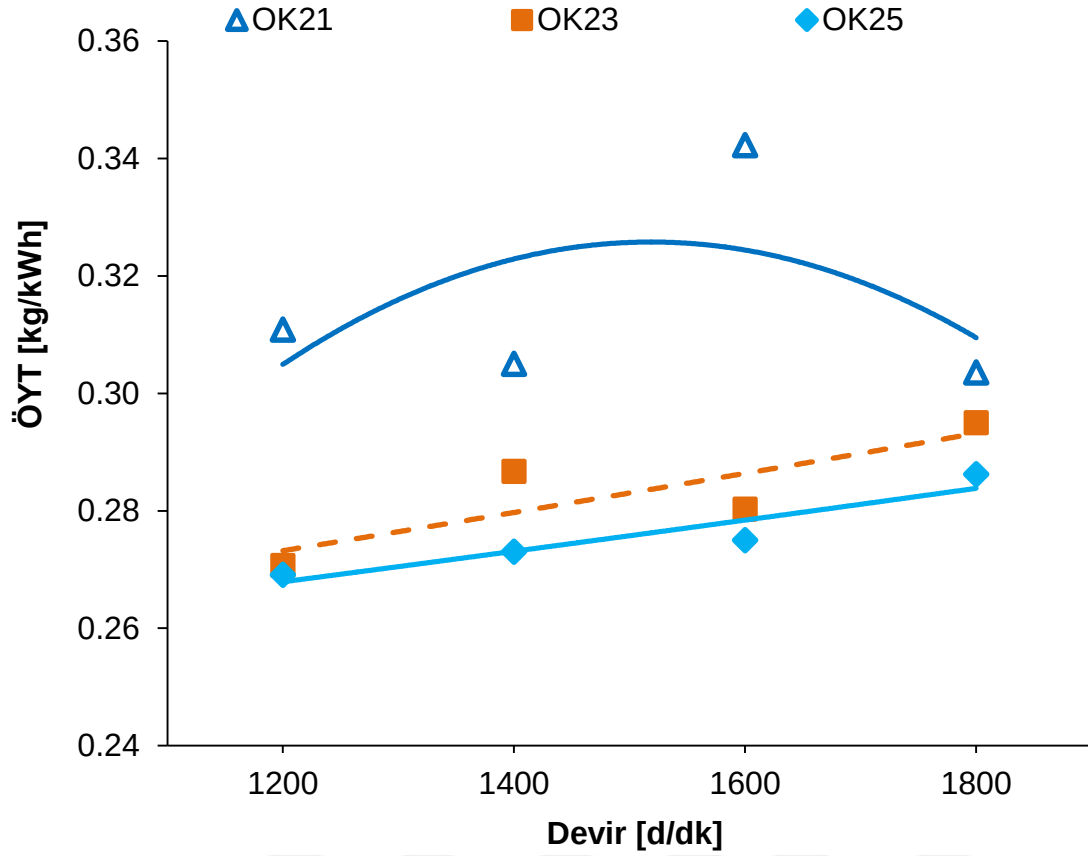
Şekil 4.74. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri

Tam yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %5.2 azaltırken, %25'e çıkarılması %8.5 azaltmıştır. Tam yükte aynı şartlarda kısmi yüke göre motorun ÖYT'si azalmıştır. Tam yükte ve maksimum devirde gaz keleşliği tam açık olduğundan kısılma kayıpları minimumdur. Bu durumda motorun ÖYT'si azalır. Yine yüksek oksijen oranlarında ÖYT'nin azaldığı görülmektedir. Fakat artan devirle birlikte yanma süresi yetersizliğinin ortaya çıkması ÖYT'yi artırmaktadır.



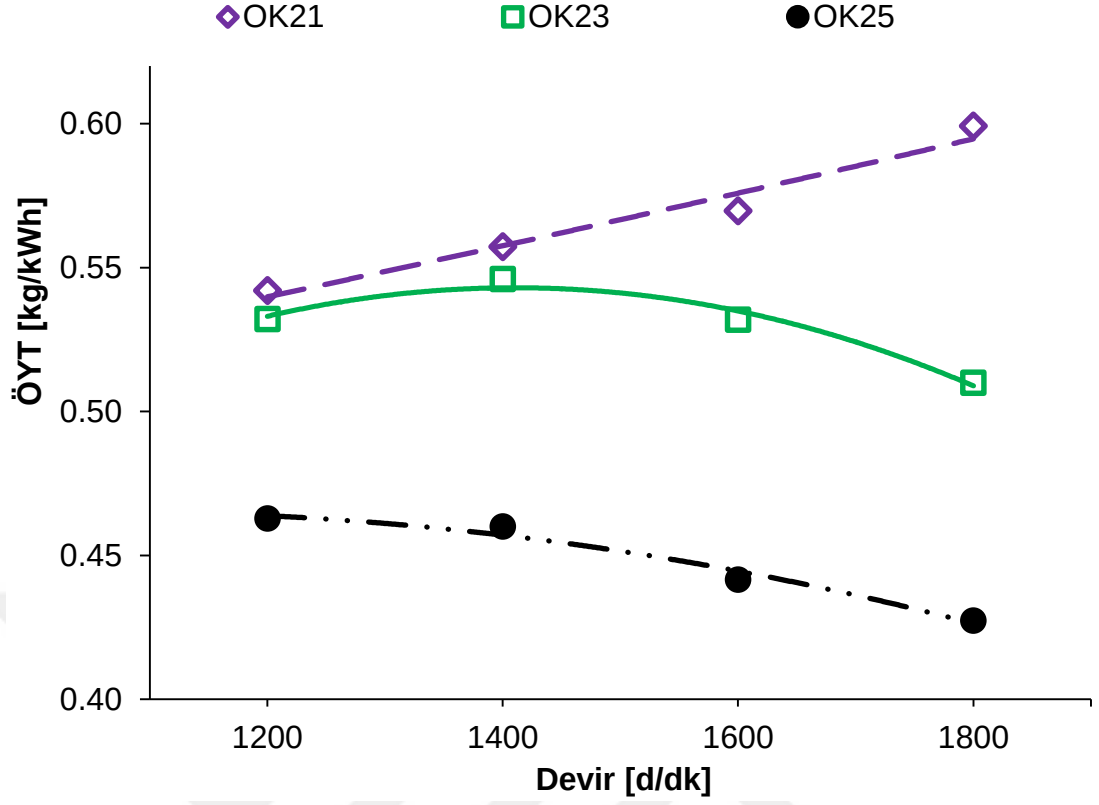
Şekil 4.75. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri

Yarım yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %9.9 azaltırken, %25'e çıkarılması %12.1 azaltmıştır. %35 nem oranı ile kıyaslandığında, %65 nem oranında nemlendirme etkisi ile motorun ÖYT'si artmıştır. Fakat sabit bağıl nem için oksijen oranı arttıkça ÖYT azalmaktadır. Bu durum oksijenin yanmayı iyileştirici etkisinden kaynaklanmaktadır. Standart oksijen şartı için artan devir ile ÖYT artmakta; fakat oksijen oranı arttıkça bu trend değişmekte ve ÖYT azalmaktadır.



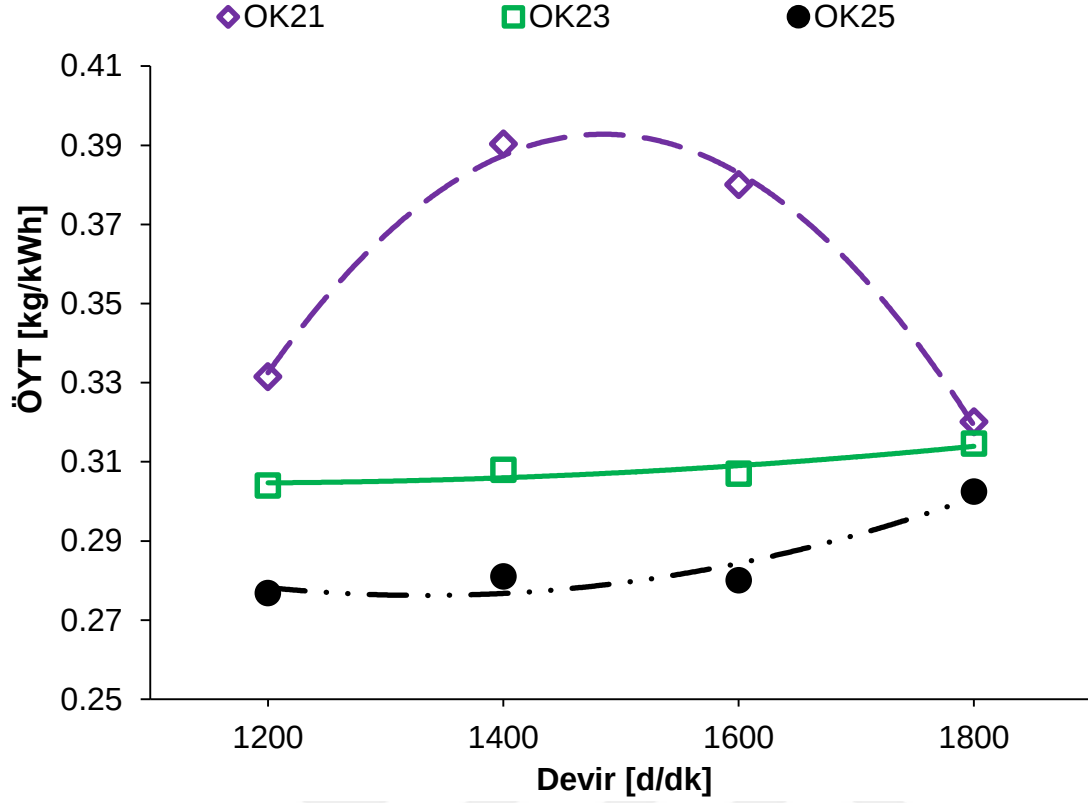
Şekil 4.76. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri

Tam yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %10.2 azaltırken, %25'e çıkarılması %12.6 azaltmıştır. Yarım yükte kıyaslandığında tam yükte ÖYT neredeyse yarı yarıya azalmıştır.



Şekil 4.77. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri

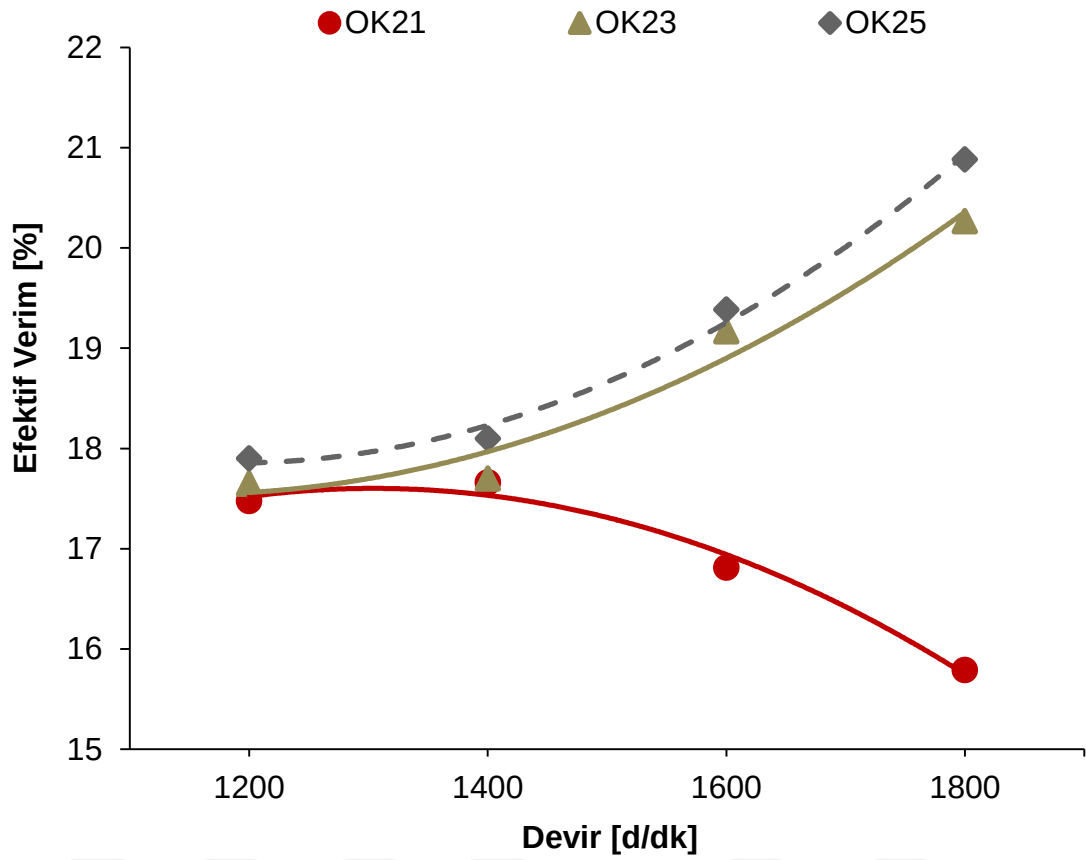
Yarım yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %6.5 azaltırken, %25'e çıkarılması %21 azaltmıştır. %85 nem şartı için oksijen oranının %25 olması halinde ÖYT minimum olmaktadır. %23 oksijen oranı için önemli bir değişiklik görülmemiştir.



Şekil 4.78. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin ÖYT'ye etkileri

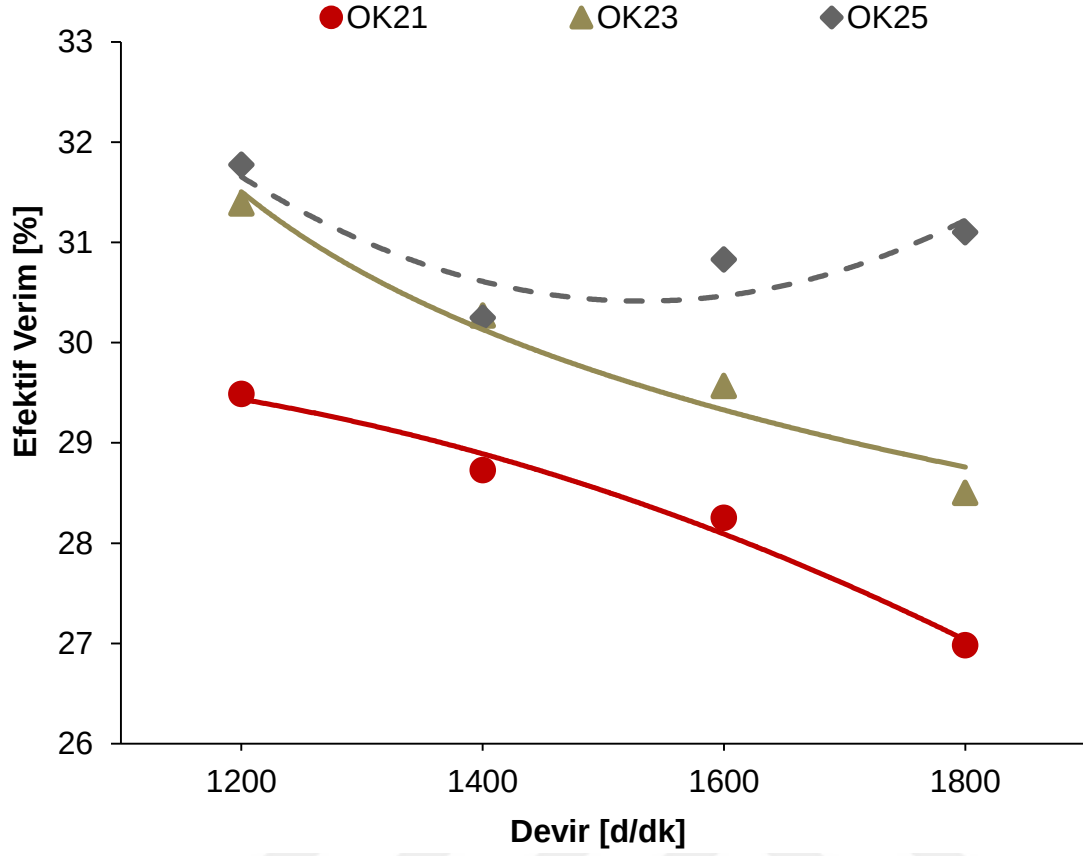
Tam yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması ÖYT'yi ortalama %13.2 azaltırken, %25'e çıkarılması %19.8 azaltmıştır. Yarım yük durumunda standart hava için ÖYT devirle birlikte artan bir davranış sergilemektedir. Tam yükte ise orta devirlere kadar artarken; yüksek devirlerde azalmaktadır. Tam yükte artan silindir içi sıcaklıklar yanmayı olumlu bir şekilde etkilemekte ve ÖYT'yi düşürmektedir.

4.4.6. Efektif verime etkisi



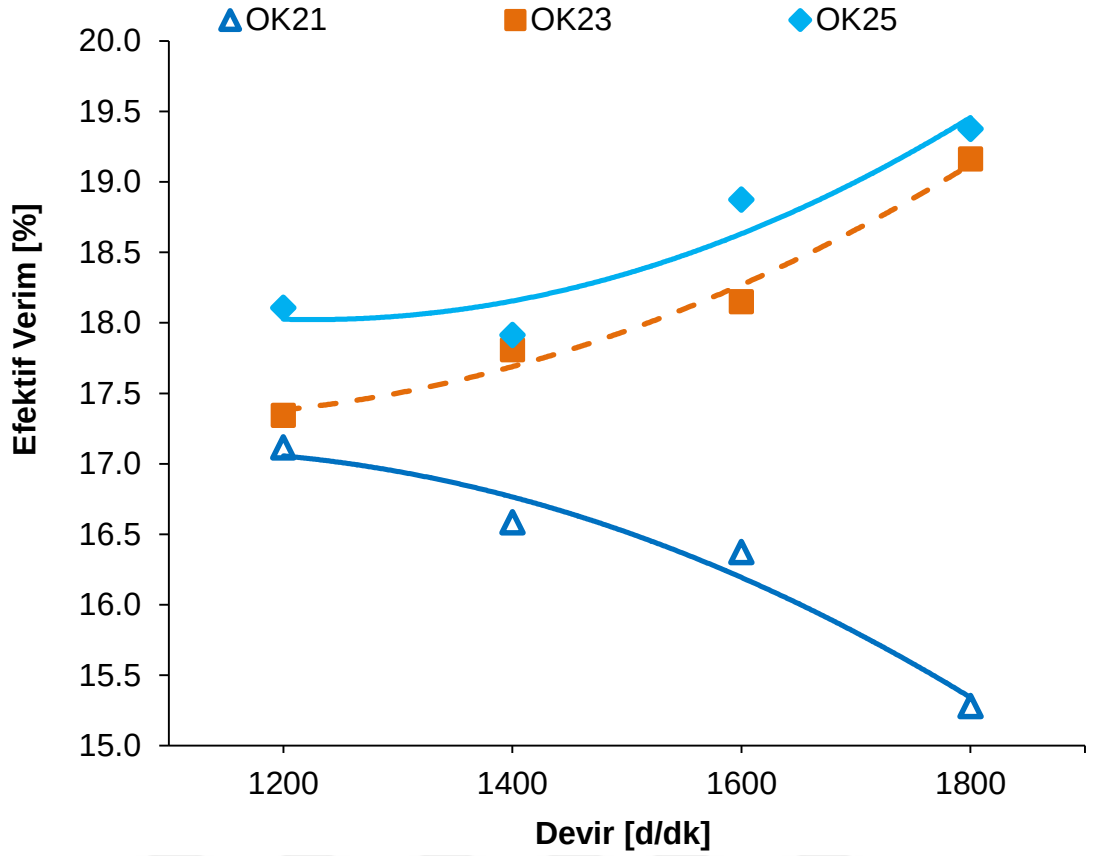
Şekil 4.79. Yarım yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri

Yarım yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması efektif verimi ortalama %10.4 arttırırken, %25'e çıkarılması %13.5 arttırmıştır. Efektif verimdeki bu artış oksijen zenginleştirme ile yanma veriminin artmasına bağlanabilir. Yanma ortamında oksijen konsantrasyonunun artması yanmayı ve efektif verimi artırmaktadır. Ayrıca yanmanın iyileşmesine bağlı olarak azalan CO ve HC emisyonları yakıt enerjisinin daha fazla kısmının işe dönüştürüldüğünü göstermekte ve bu nedenle motorun verimini artırmaktadır. Standart şartlarda artan devirle birlikte yanma süresi yetersizliği verimi azaltırken; oksijenin zengin olması durumunda bu etki ortadan kalkmakta ve devir arttıkça efektif verim de artmaktadır.



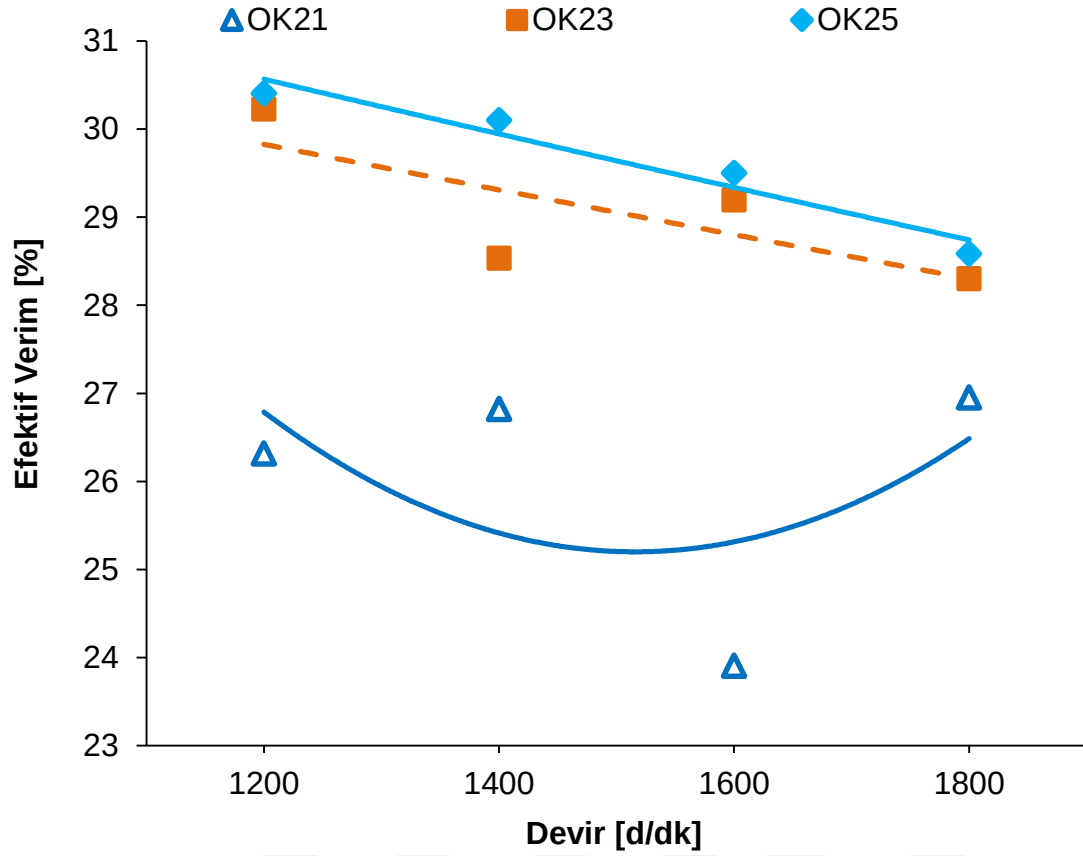
Şekil 4.80. Tam yük için standart nem (%35 bağıl nem) durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri

Tam yükte %35 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması efektif verimi ortalama %5.5 artırırken, %25'e çıkarılması %9.3 artırmıştır. Grafik genel olarak değerlendirildiğinde artan devirle birlikte motor efektif verimi yanma süresi yetersizliğine bağlı olarak azalmaktadır.



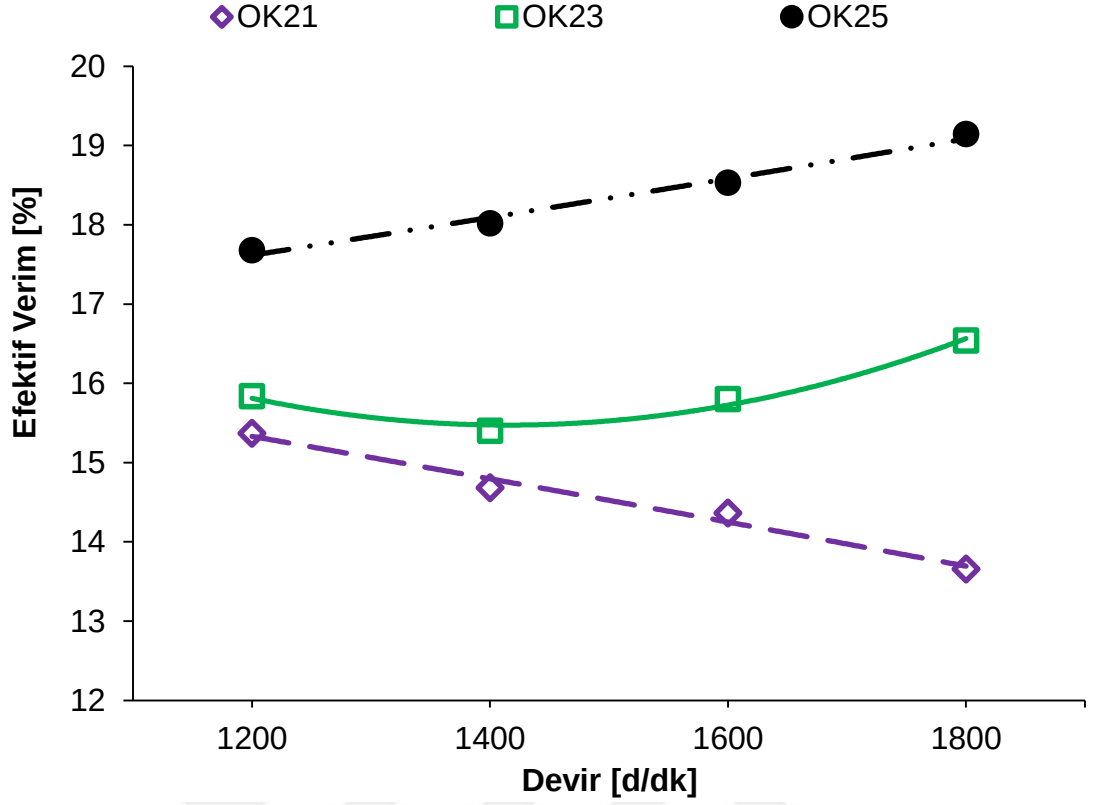
Şekil 4.81. Yarım yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri

Yarım yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması efektif verimi ortalama %10.9 artırırken, %25'e çıkarılması %13.6 artırmıştır. Oksijen zenginleştirme ile birlikte nem oranının %35'ten %65 çıkartılması efektif verimi önemli derecede etkilememiştir. Burada nemlendirmenin olumsuz etkisi ile oksijen zenginleştirmenin olumlu etkisinin bir denge oluşturduğu görülmektedir. Fakat sabit %65 bağıl nem için düşünüldüğünde oksijen zenginleştirme verimi artırmakta, yanmayı özellikle yüksek devirlerde iyileştirmektedir.



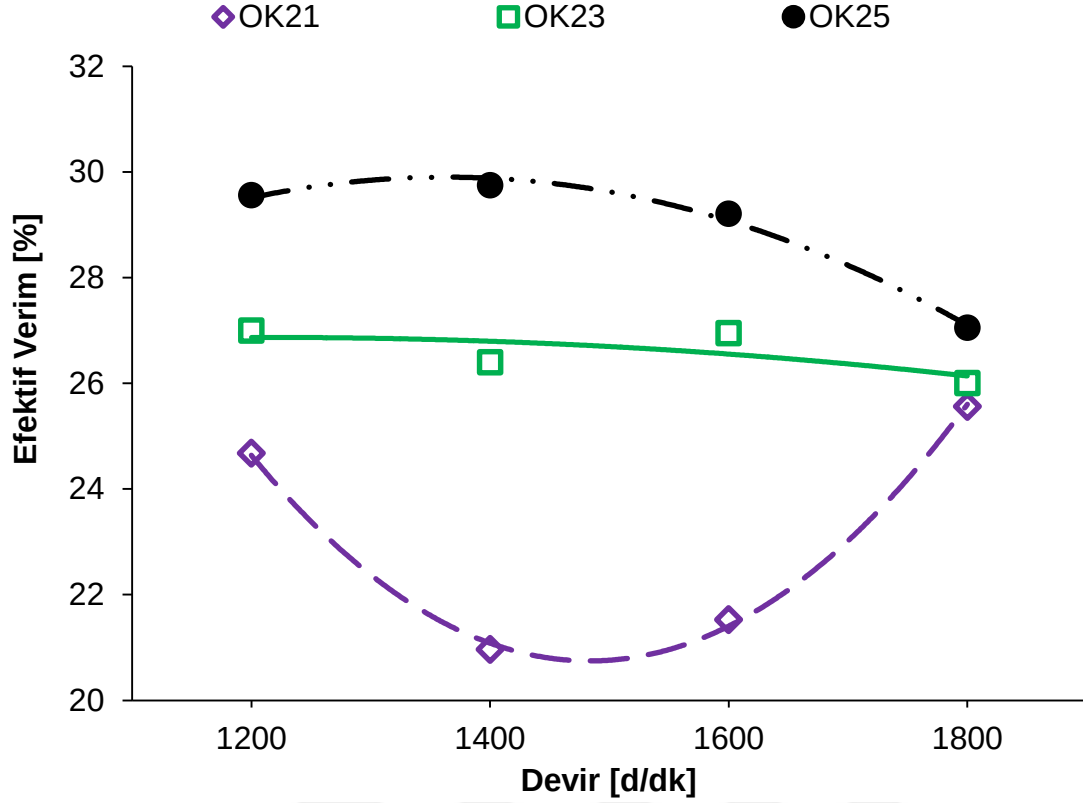
Şekil 4.82. Tam yük için %65 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri

Tam yükte %65 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması efektif verimi ortalama %11.8 artırırken, %25'e çıkarılması %14 artırmıştır. Yarım yükte kıyaslandığında tam yükte efektif verim yaklaşık 1.8 katına çıkmıştır.



Şekil 4.83. Yarım yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri

Yarım yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması efektif verimi ortalama %9.5 artırırken, %25'e çıkarılması %26.4 artırmıştır. %85 nem şartı için oksijen oranının %25 olması halinde efektif verim maksimum olmaktadır. Artış oranı %25 için %23'e göre çok daha fazladır. Bu durum oksijen oranı arttıkça nemlendirme yöntemine göre baskınlığının arttığını göstermektedir.



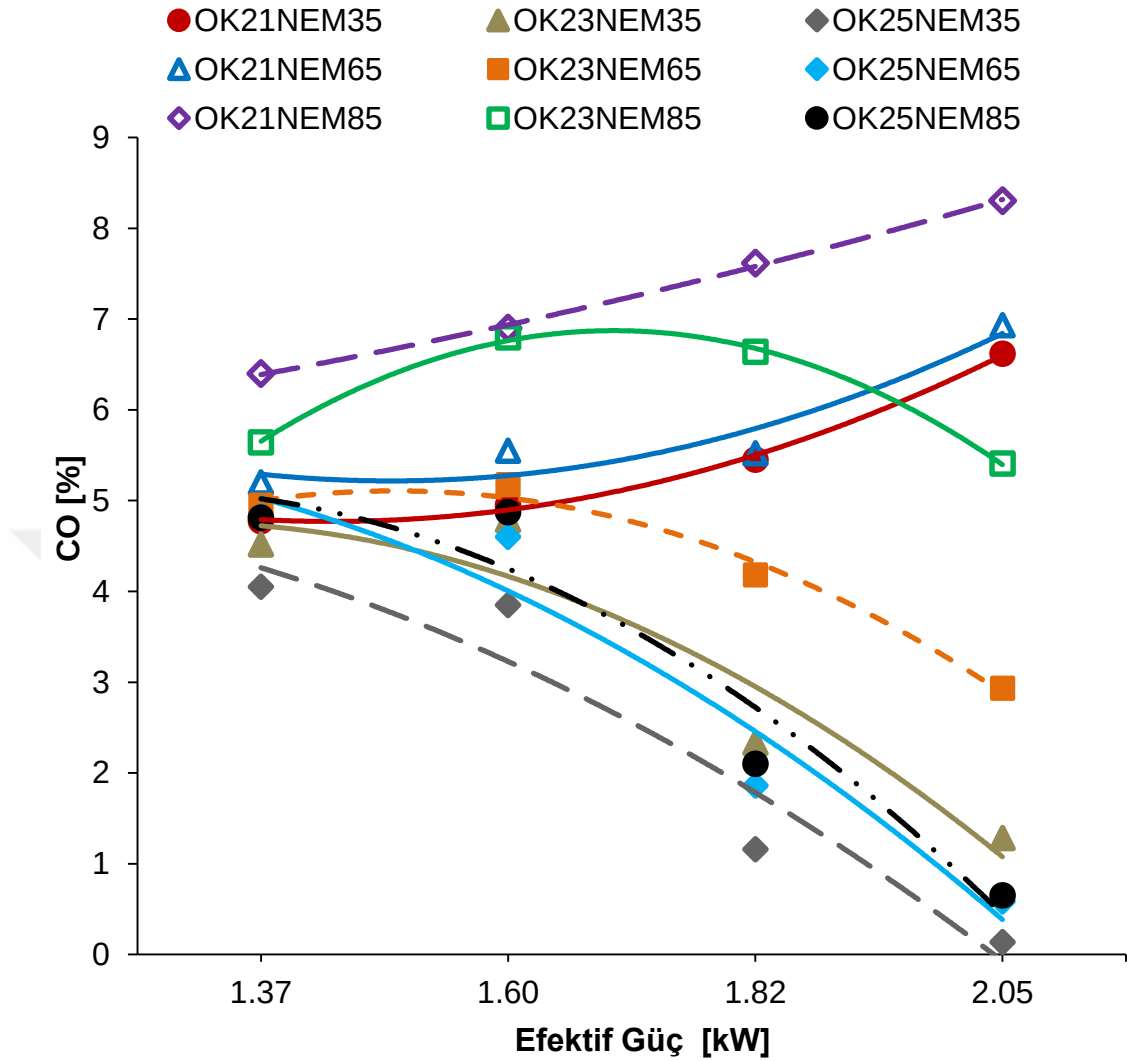
Şekil 4.84. Tam yük için %85 bağıl nem durumunda oksijen zenginleştirmenin efektif verime etkileri

Tam yükte %85 nem şartı için oksijen oranının %23'e çıkarılması efektif verimi ortalama %14.7 artırırken, %25'e çıkarılması %24.6 artırmıştır. Yarım yükle kıyaslandığında tam yükte efektif verim yaklaşık 1.5 katına çıkmıştır. Yarım yük durumunda standart hava için efektif verim devirle arttıkça azalan bir davranış sergilemektedir. Tam yükte ise orta devirlere kadar azalırken; yüksek devirlerde artmaktadır. Tam yükte artan silindir içi sıcaklıklar yanmayı olumlu bir şekilde etkilemekte ve efektif verimi yükseltmektedir.

4.5. Nemlendirme ve Oksijen Zenginleştirmenin Birlikte Kullanımı ile Elde Edilen Tüm Şartlar

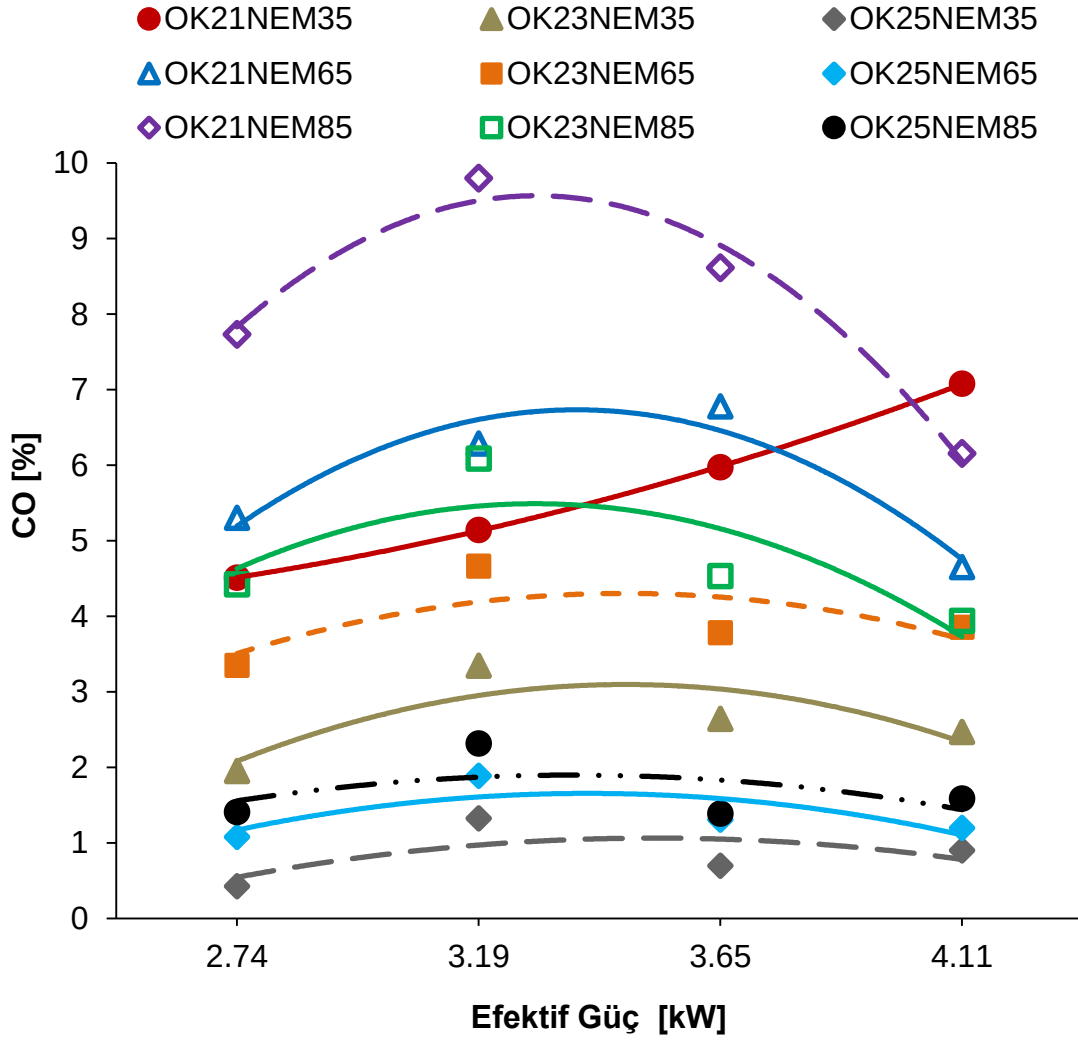
Bu çalışmada nemlendirmeden doğan CO ve HC emisyonlarındaki artış ile performanstaki kötüleşmenin önüne geçmek için emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ikincil bir yöntem olarak uygulanmıştır. Böylece emisyonların tümünün kontrolü performans kaybı yaşamadan sağlanmaya çalışılmıştır. İlerleyen kısımlarda her bir parametre ayrı ayrı incelenmiştir.

4.5.1. CO emisyonu için optimum şartlar



Şekil 4.85. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda CO emisyonunda tüm şartlar

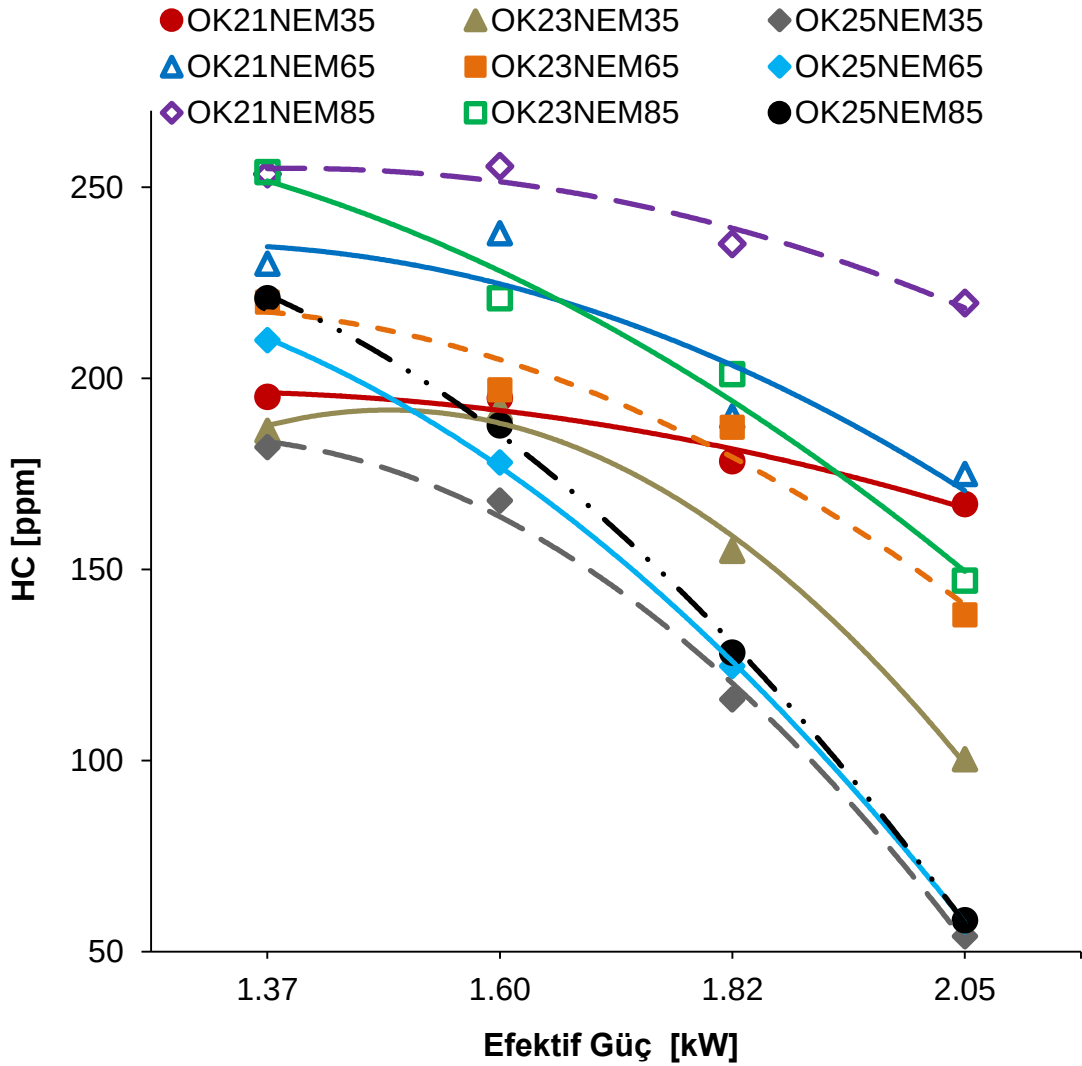
Yarım yük şartı için minimum CO emisyonu bağıl nemin %35, oksijenin ise %25 olduğu (OK25NEM35) durumda elde edilmiştir. Maksimum CO emisyonu ise bağıl nemin %85 oksijenin %21 olduğu (OK21NEM85) durumda elde edilmiştir. Grafik dikkatle incelendiğinde nemlendirme yönteminin baskın olduğu şartlarda CO emisyonu güçle (eşlenik olarak devirle) birlikte artan bir davranış sergilerken oksijen zenginleştirmenin baskın olduğu şartlarda güçle azalan bir trend sergilemektedir. OK23NEM85 şartı için CO emisyonu çok fazla değişmemekle birlikte artan güçle (eşlenik olarak devirle) azalmakta ve tüm emisyonlar ile performans göz önüne alındığında optimum bir davranış sergilemektedir.



Şekil 4.86. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda CO emisyonunda tüm şartlar

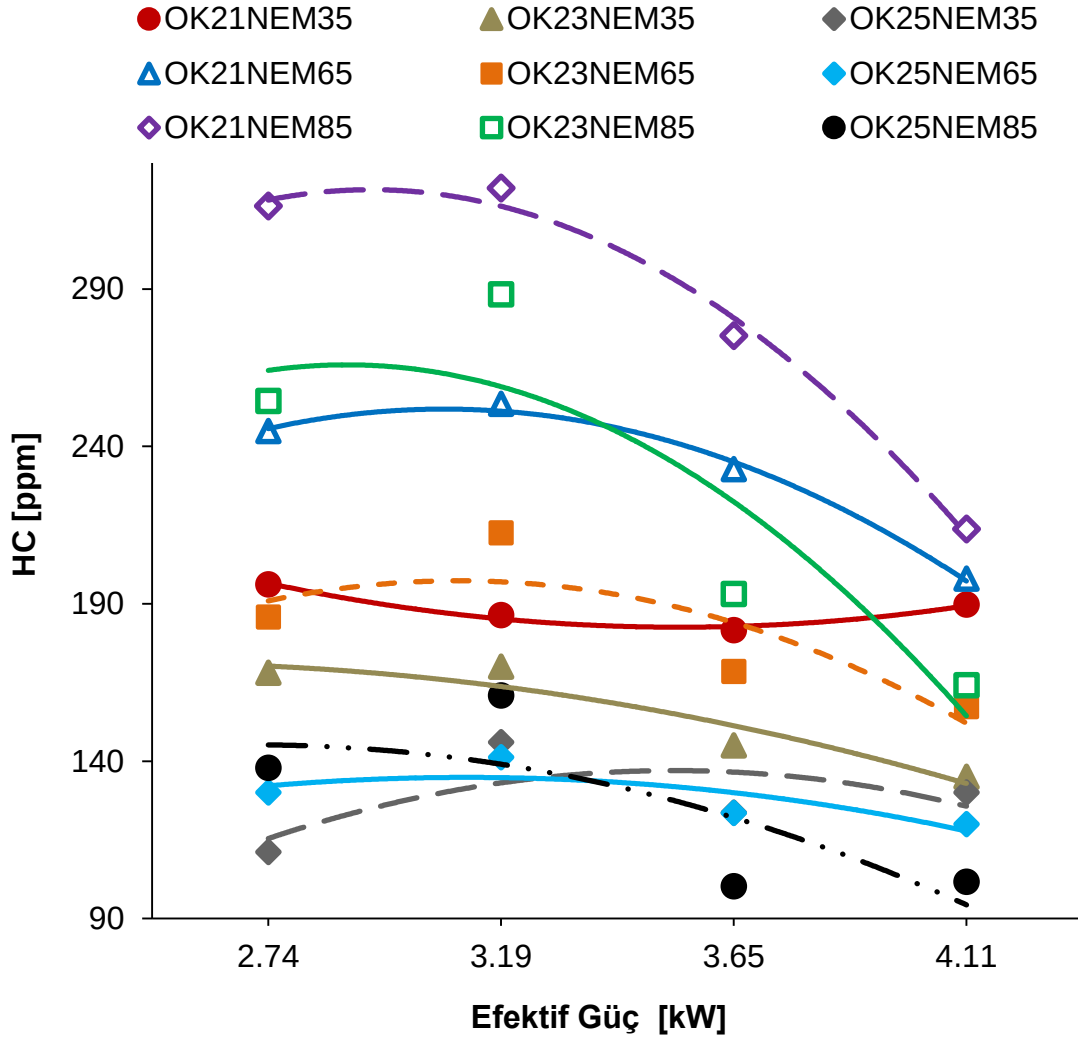
Tam yük şartı için minimum CO emisyonu OK25NEM35 şartı için elde edilmiştir. Maksimum CO emisyonu ise OK21NEM85 şartı için elde edilmiştir. Tam yük için yine yarı yükte benzer sonuçlar gözlemlenmektedir. Fakat nemlendirmenin baskın olduğu durumlar için tam yükte CO emisyonunda artan güçle (eşlenik olarak devirle) azalma gözlemlenmektedir.

4.5.2. HC emisyonu için optimum şartlar



Şekil 4.87. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda HC emisyonunda tüm şartlar

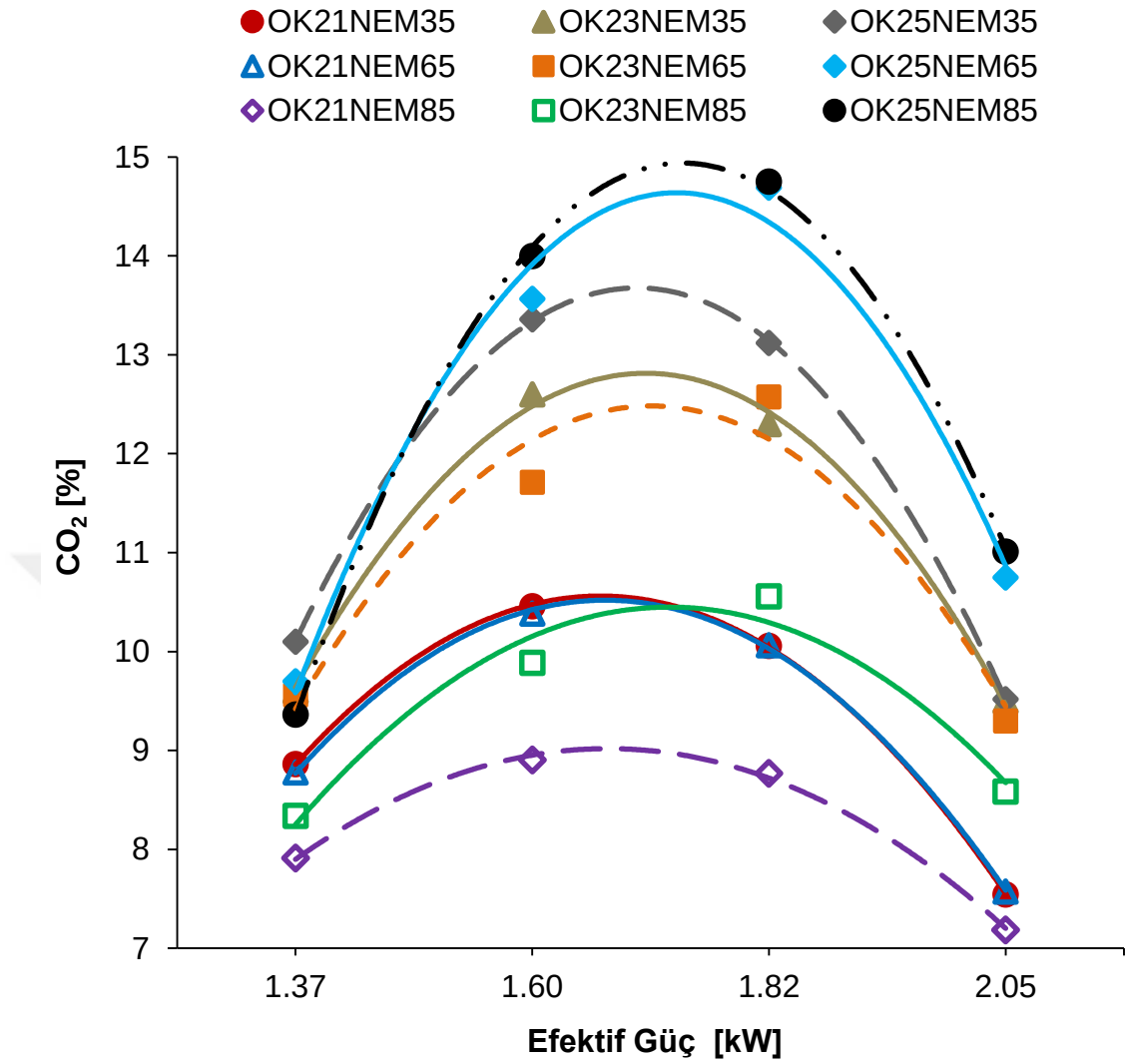
Tam yük şartı için minimum HC emisyonu OK25NEM35 şartı için elde edilmiştir. Maksimum HC emisyonu ise OK21NEM85 şartı için elde edilmiştir. HC emisyonu tüm şartlarda artan devir ve güç ile ters orantılı olarak azalmıştır. HC emisyonunun oluşumundaki en büyük etkenlerden biri heterojen yanma ortamıdır. Fakat artan güçle (eşlenik olarak devirle) hava akımı hızının artması silindire girişteki türbülansı artırarak karışımın homojenliğini artırır. Bu durum HC emisyonlarının doğrudan azalmasını sağlar.



Şekil 4.88. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda HC emisyonunda tüm şartlar

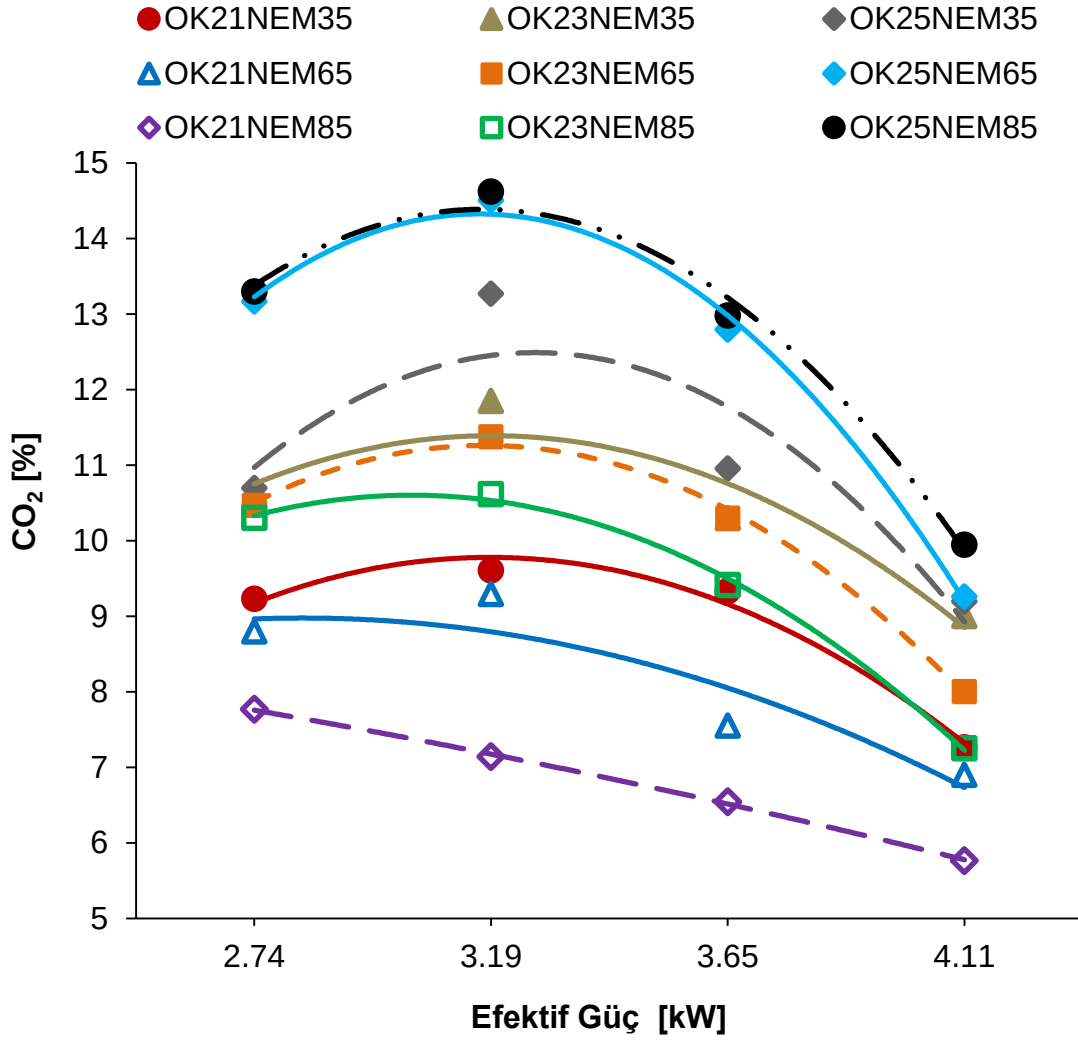
Tam yük şartı için minimum HC emisyonu düşük güçlerde OK25NEM35 şartı için elde edilirken yüksek güçlerde OK25NEM85 şartı için elde edilmiştir. Bu durum yüksek güçlerde (eşlenik olarak devirlerde) artan motor içi sıcaklıkların su damlacıklarına ait mikro patlamaları artırması sonucu yakıtın daha küçük parçacıklara ayrışması ve daha homojen karışması sonucu yanma sürecinin iyileşmesinden kaynaklanmaktadır. Maksimum HC emisyonu ise OK21NEM85 şartı için elde edilmiştir.

4.5.3. CO₂ emisyonu için optimum şartlar



Şekil 4.89. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda CO₂ emisyonunda tüm şartlar

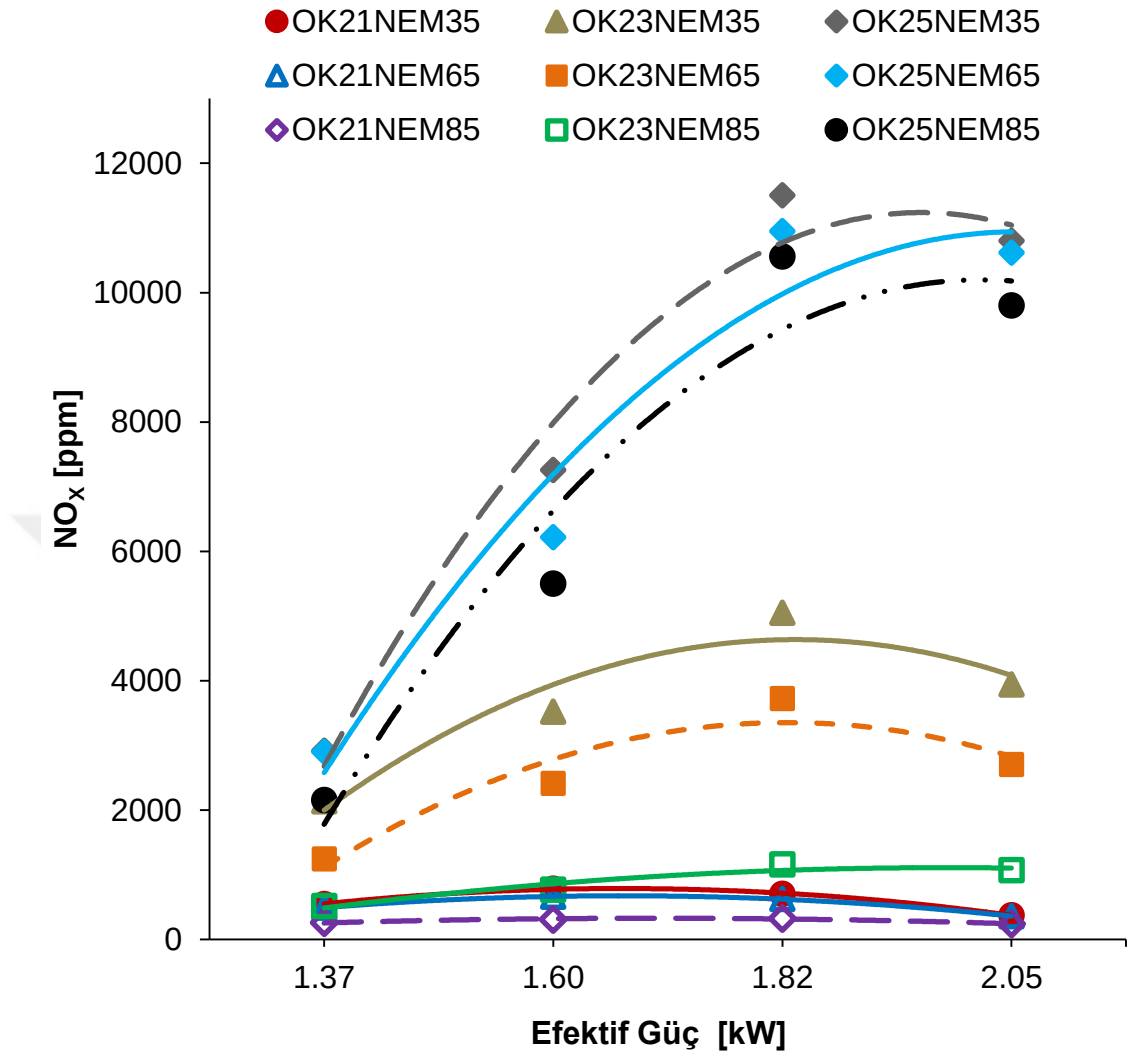
Yarım yük şartı için minimum CO₂ emisyonu OK21NEM85 şartı için elde edilmiştir. Maksimum CO₂ emisyonu ise düşük güçlerde (eşlenik olarak devirlerde) OK25NEM35 yüksek güçlerde ise OK25NEM85 şartı için elde edilmiştir. Bu durum yüksek sıcaklıklarda yoğun bağıl nemin yanmayı iyileştirmesinden kaynaklanmaktadır. Grafik tümüyle incelendiğinde CO₂ emisyonunun orta güçlerde artarken yüksek güçlerde azaldığı gözlemlenmektedir. Bu durum yarım yük için orta güçlerde (eşlenik olarak devirlerde) yanma şartlarının daha gelişmiş olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.90. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda CO₂ emisyonunda tüm şartlar

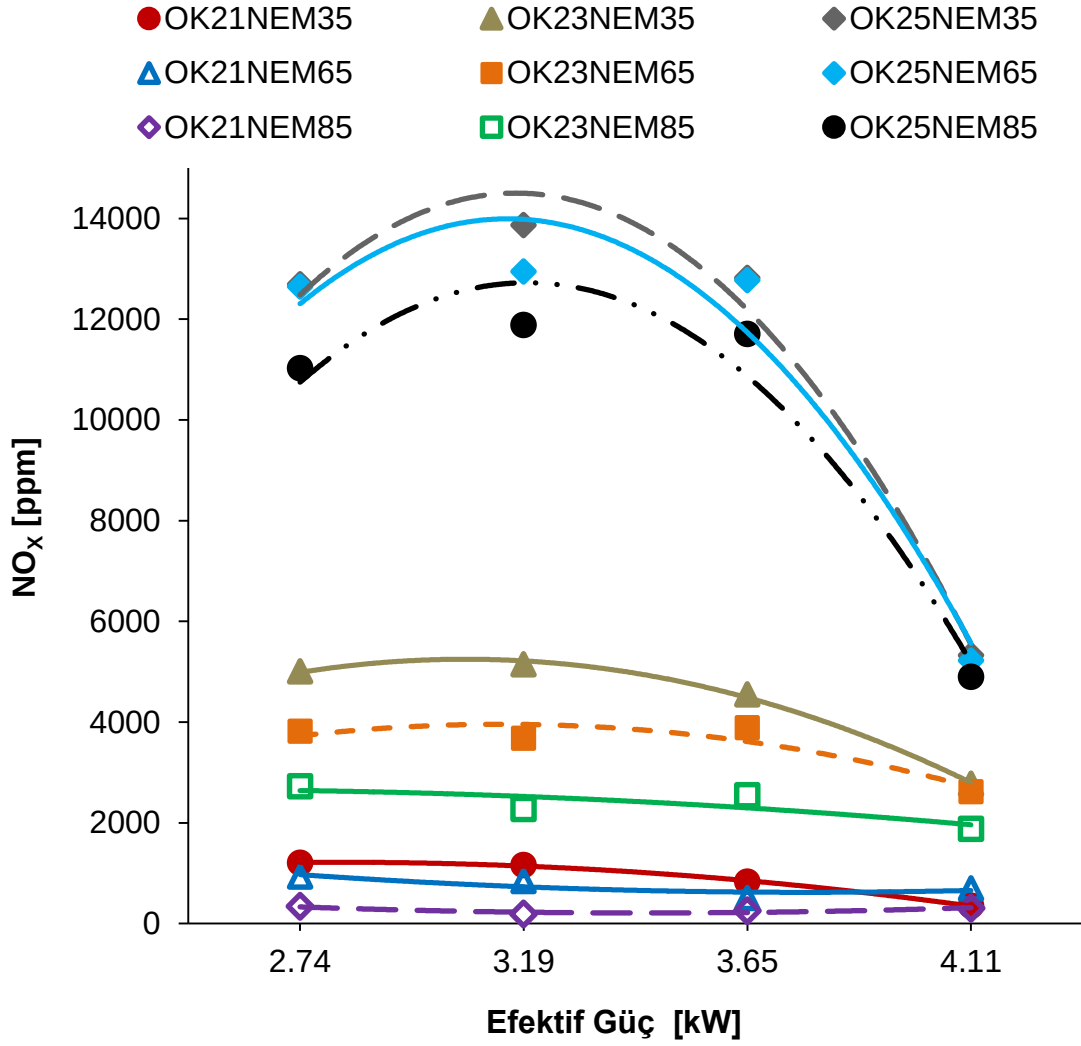
Tam yük şartı için minimum CO₂ emisyonu OK21NEM85 şartı için elde edilmiştir. Maksimum CO₂ emisyonu ise OK25NEM85 şartı için elde edilmiştir. Bu durum tam yükte motor sıcaklıklarının en yüksek seviyesine ulaşması sonucu mikro patlamaların artması; yanmanın daha kararlı hale gelmesinden kaynaklanmaktadır. Tam yük şartı için CO₂ emisyonu artan güç (eşlenik olarak devir) ile birlikte tüm şartlarda azalmaktadır.

4.5.4. NO_x emisyonu için optimum şartlar



Şekil 4.91. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda NO_x emisyonunda tüm şartlar

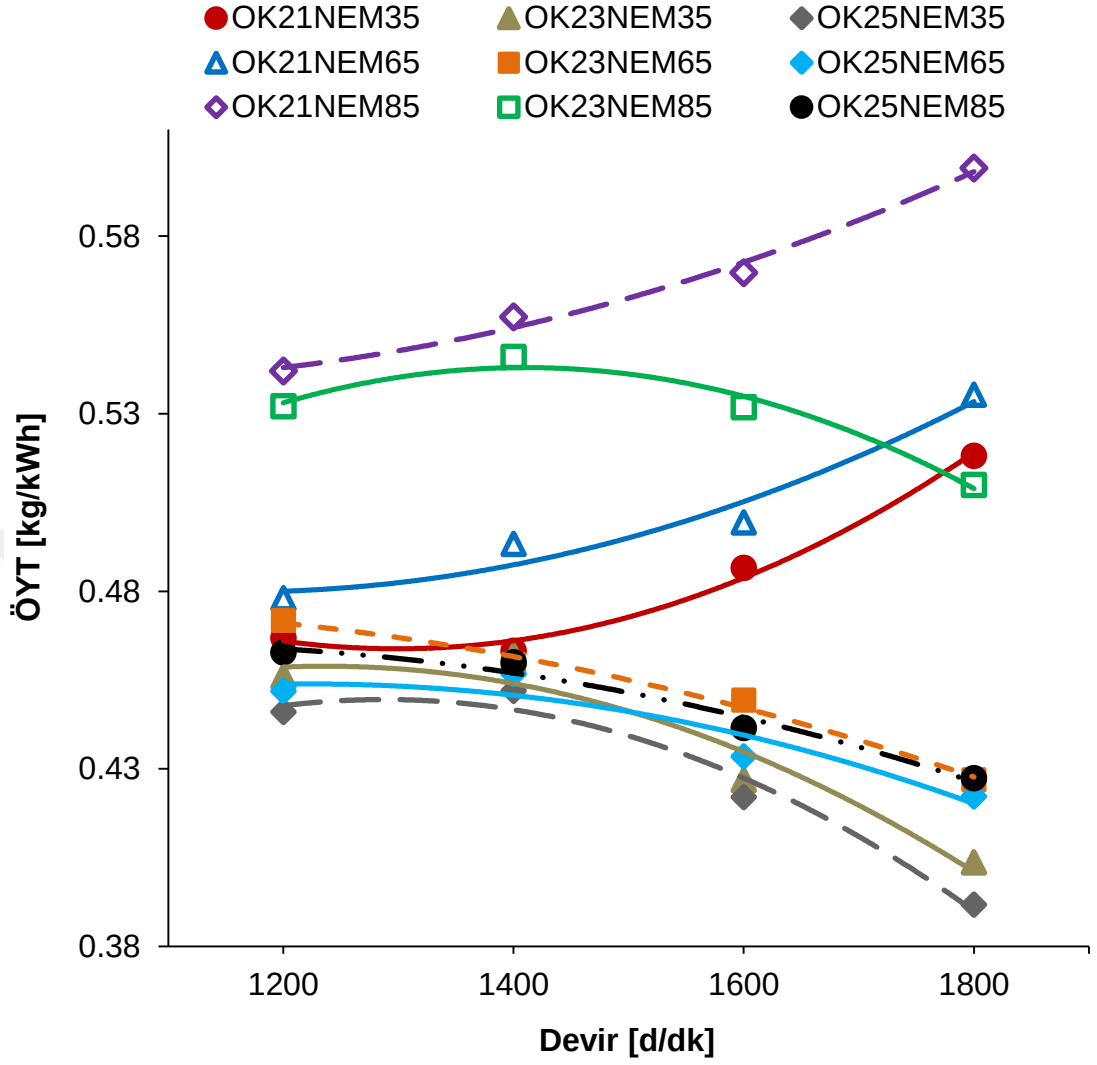
Yarım yük şartı için minimum NO_x emisyonu OK21NEM85 şartı için elde edilmiştir. Maksimum NO_x emisyonu ise OK25NEM35 şartı için elde edilmiştir. NO_x oluşum mekanizmaları ve etkinlik düzeyleri göz önüne alındığında en düşük silindir içi ve yanma sonu sıcaklıklarının OK21NEM85 şartında; en yüksek silindir içi ve yanma sonu sıcaklığın ise OK25NEM35 şartında olduğu söylenebilir. Tüm emisyon düzeyleri ve performans göz önüne alındığında OK23NEM85 şartının optimum şart olduğu söylenebilir. Dikkatli bakıldığında tüm şartlarda oksijen zenginleştirmenin nemlendirmeye göre çok daha baskın olduğu görülebilir.



Şekil 4.92. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda NO_x emisyonunda tüm şartlar

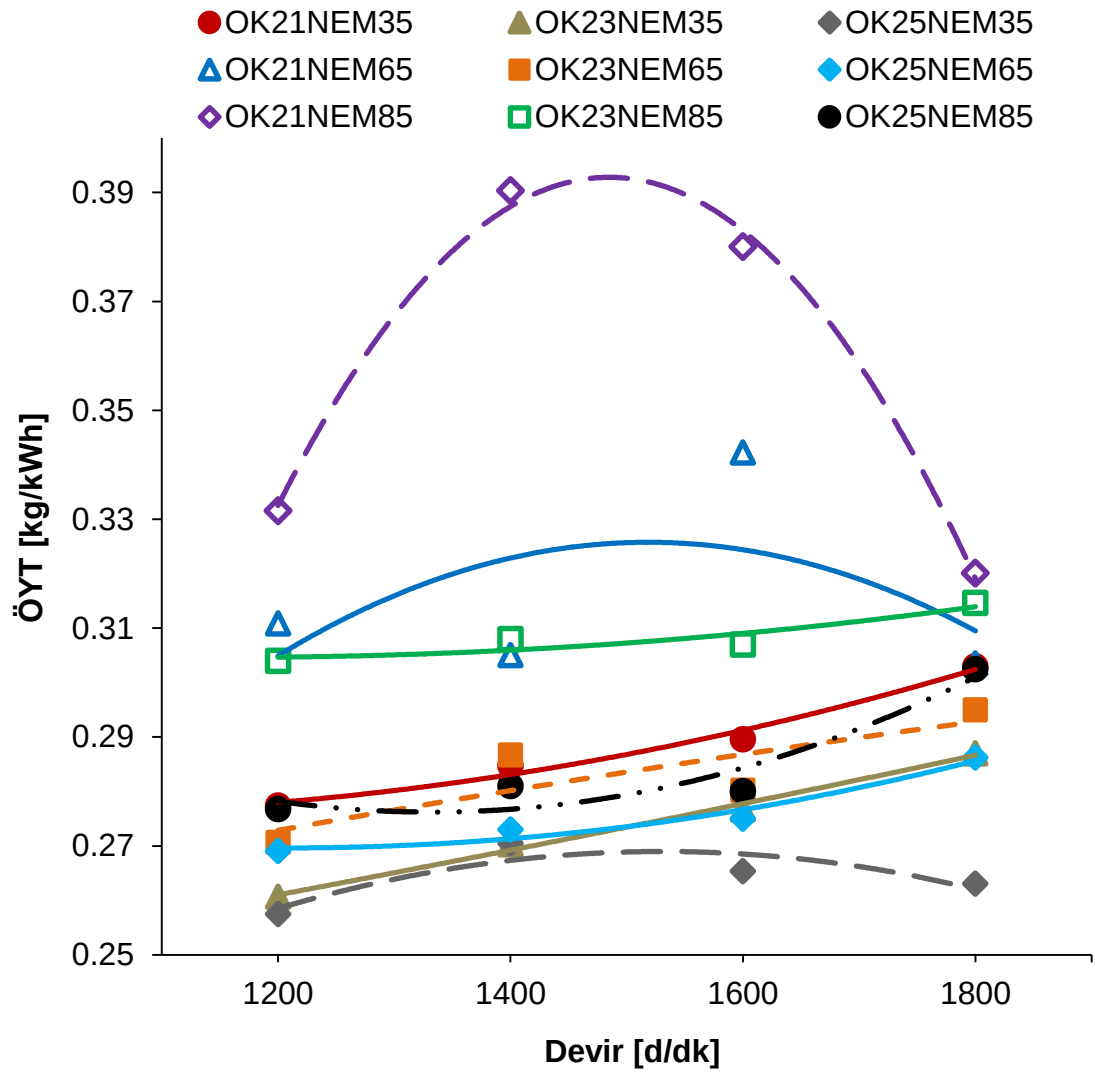
Tam yük için oksijenin %25 olduğu şartlarda NO_x emisyonu dramatik bir şekilde artmıştır. Bu durum artan oksijen oranı için nemin sıcaklık kontrolünün yetersiz kalmasından kaynaklanmaktadır. İlerleyen çalışmalarda hava içerisine karıştırılan suyun kütleli oranının artırılması oksijen zenginleştirme etkilerinin kontrolünde daha yararlı olacaktır.

4.5.5. Özgöl yakıt tüketimi yönünden optimum şartlar



Şekil 4.93. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda ÖYT’de tüm şartlar

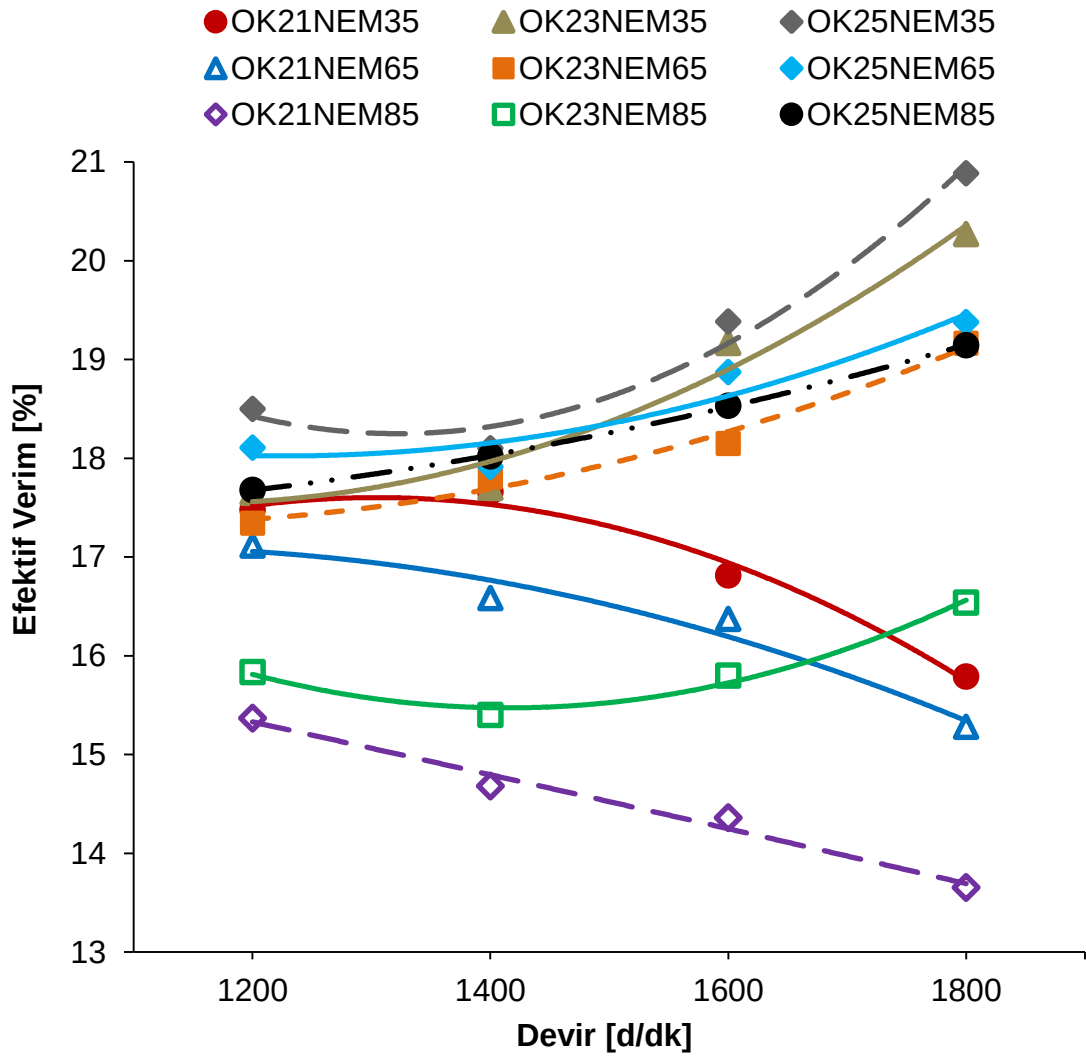
Yarım yük şartı için minimum ÖYT OK25NEM35 şartı için elde edilmiştir. Maksimum ÖYT ise OK21NEM85 şartı için elde edilmiştir. Standart oksijen şartları için eğriler devir ile artan bir ÖYT sergilerken oksijence zenginleştirilmiş şartlarda ise ÖYT devir ile azalan bir trend sergilemektedir. Fazlalık oksijen miktarı artan devirle birlikte daha etkin bir yanma sağlamaktadır.



Şekil 4.94. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda ÖYT’de tüm şartlar

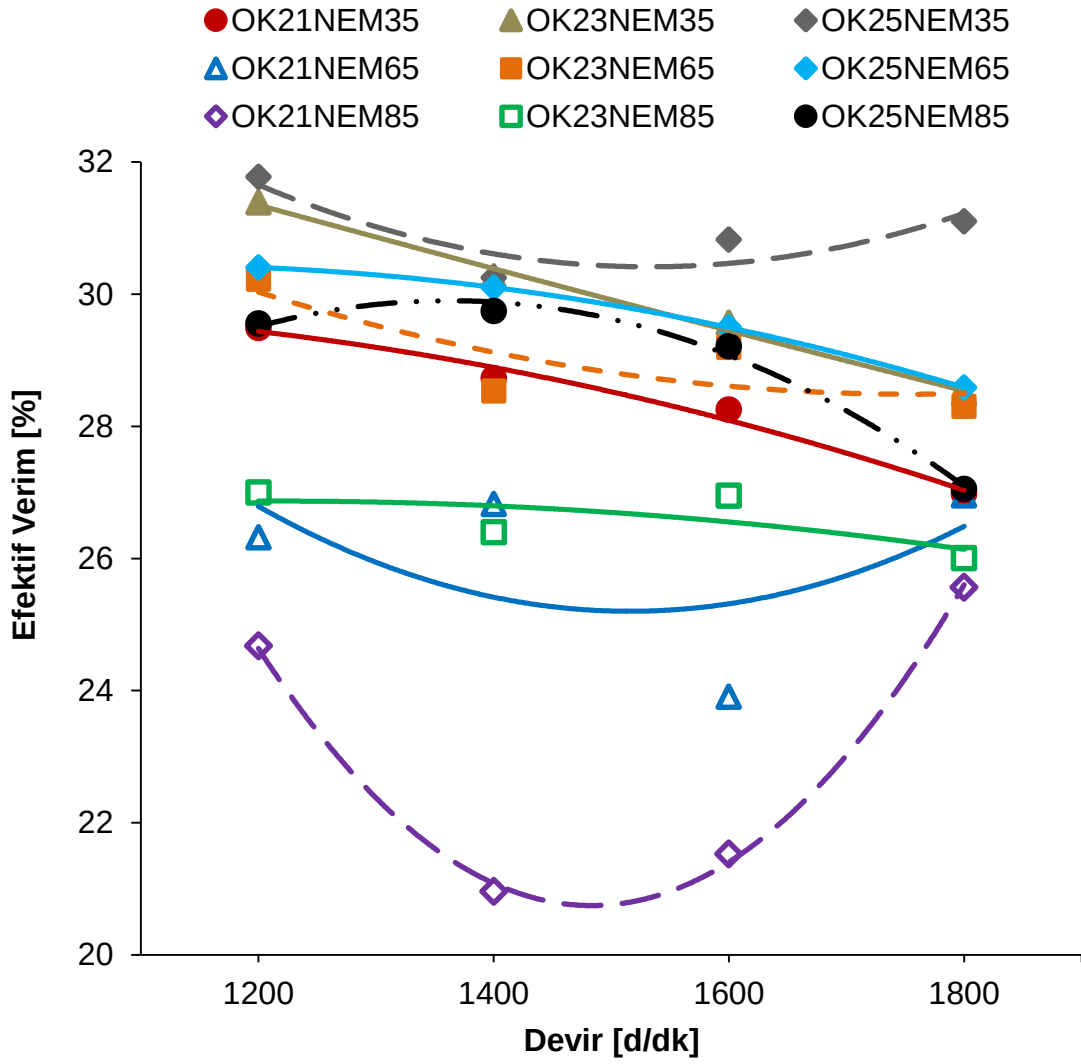
Tam yük şartı için minimum ÖYT OK25NEM35 şartı için elde edilmiştir. Maksimum ÖYT ise OK21NEM85 şartı için elde edilmiştir. Fazlalık oksijen miktarı artan devirle birlikte daha etkin bir yanma sağlamaktadır. OK21NEM85 şartı için orta devirlere kadar ÖYT keskin bir şekilde artarken yüksek devirlerde ise azalma göstermiştir. Bu durum suyun mikro patlama ile yanmayı daha verimli bir hale getirmesinden kaynaklanmaktadır.

4.5.6. Efektif verim yönünden optimum şartlar



Şekil 4.95. Yarım yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda efektif verimde tüm şartlar

Efektif verim grafikleri ÖYT grafiklerinin tersi bir davranış sergilemektedir. Yarım yükler için en yüksek efektif verim OK25NEM35 şartı için elde edilirken en düşük verim OK21NEM85 şartı için elde edilmektedir. Yarım yük için nemin baskın olduğu şartlar standart şartlara benzer bir davranış sergilerken oksijen zenginleştirmenin etkilerinin baskın olduğu şartlar tersi bir davranış göstermektedir.



Şekil 4.96. Tam yük için nemlendirme ve oksijen zenginleştirmenin bir arada kullanılması durumunda efektif verimde tüm şartlar

Tam yük şartı için maksimum efektif verim OK25NEM35 şartı için elde edilmiştir. Minimum efektif verim ise OK21NEM85 şartı için elde edilmiştir. Tam yükte nemin efektif verim üzerindeki etkisi kısmi yüke göre çok daha fazladır. Ayrıca yüksek oksijen miktarı artan devirle birlikte daha etkin bir yanma sağlamaktadır. OK21NEM85 şartı için orta güçlere kadar efektif verim keskin bir şekilde azalırken yüksek devirlerde ise artma göstermiştir. Bu durum suyun mikro patlama ile yanmayı daha homojen hale getirmesinden kaynaklanmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma sürecinde üç farklı yöntem incelenmiş olup; bu yöntemlerden nemlendirme ve oksijen zenginleştirme bir arada kullanılarak optimum noktalar araştırılmıştır. Fotokataliz yöntemi yakıt üretimindeki kısıtlılıklar sebebi ile bu yöntemler ile kombine edilememiştir. Araştırılan yöntemlerden elde edilen tüm sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Fotokataliz çalışması boyunca elde edilen sonuçlar 60 dk fotokatalitik etkinin daha iyi sonuçlar verdiğini UV ışınımının devam ettirilmesi durumunda etkilerin giderek azaldığını göstermektedir.
2. Etanol katkısı metanole göre daha yüksek değişimlere yol açmıştır. Tüm grafikler gözden geçirildiğinde fotokatalitik etki %60-80'lik yoğunlaşma hacmi aralığında buharlaşma sıcaklıklarını yükseltmektedir.
3. Emisyonlar ve performans göz önüne alındığında benzin üzerinde oluşturulan fotokatalitik etkinin yanmayı etkin bir biçimde geliştirdiği söylenebilir. Bu durum CO ve HC emisyonlarındaki azalma ve NO_x emisyonlarındaki artıştan belirgin bir biçimde görülmektedir.
4. E15 yakıtının fotokatalize maruz bırakılması ile elde edilen yakıtın (FTE15) kullanılması durumunda, E15 yakıtı kullanılması durumu ile karşılaştırılırsa; CO emisyonu %18.1, HC emisyonu %7, ÖYT %9.9 azalmış, CO₂ emisyonu %20.3, NO_x emisyonu %39.7, efektif verim %9.1 artmıştır.
5. E15 yakıtı kullanılması durumunda saf benzine göre ÖYT artmasına rağmen fotokatalitik etkiye maruz bırakılması durumunda saf benzinden daha düşük bir ÖYT elde edilmiştir. Bu durum etkin bir iyileşmeyi göz önüne koymaktadır.
6. Nemlendirme ve oksijen zenginleştirme üzerine yapılan çalışmada nemin etkisinin artan yük ve devir ile arttığı, yüksek oksijen oranlarında güç (eşlenik olarak devir) artışına rağmen yanma kararlılığının fazla etkilenmediği, yüksek oksijen şartlarında nem etkisinin zayıfladığı gözlemlenmiştir. Nemlendirme düşük güç (eşlenik olarak devir) ve yüklerde yanmayı kötüleştirirken yüksek güç ve yüklerde iyileştirmektedir. Benzer sonuçlar Park vd (2004) tarafından da gözlemlenmiştir.
7. Bu çalışmada yapılan emme havasının nemlendirilmesi işlemi ile kuru termometre sıcaklığında ortalama 4°C'lik bir düşüş sağlanmıştır.

8. Elde edilen sonuçlara göre nemlendirmenin sadece NO_x emisyonlarını azalttığı buna rağmen CO ve HC emisyonlarını artırdığı motor performansını ise kötüleştirdiği görülmüştür. Tam yük ve maksimum devir şartlarında ise bu durum mikro-patlama etkisi ile tersine dönmektedir. Benzer sonuçlar literatürde de mevcuttur(Fahd vd, 2013; Morsy, 2015; Subramanian, 2011).
9. Oksijen zenginleştirmenin motor performansını artırdığı, HC ve CO emisyonlarını azalttığı, CO₂ emisyonlarını artırırken; NO_x emisyonlarını dramatik düzeyde artırdığı belirlenmiştir. Performans değerlerinde ise iyileşmeler gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar geçmiş çalışmalarda da gözlemlenmiştir(Abdelaal vd, 2013; K. Ng ve Sekar, 1994).
10. Emisyonlar yönünden bakıldığında genel olarak OK23NEM85 şartının; performans yönünden bakıldığında ise OK25NEM35 şartının en optimum şart olduğu söylenebilir.

Elde edilen tüm sonuçlar irdelendiğinde ileriye dönük yapılabilecek iyileştirmeler ve tavsiyeler sıralanacak olursa;

1. Emisyonlar ve performans göz önüne alındığında benzin üzerinde oluşturulan fotokatalitik etkinin yanmayı etkin bir biçimde geliştirdiği söylenebilir. Bu durum CO ve HC emisyonlarındaki azalma ve NO_x emisyonlarındaki artıştan belirgin bir biçimde görülmektedir. İlerleyen çalışmalarda bu yöntem NO_x emisyonlarının kontrolü için ikincil bir yöntem eklenerek tüm emisyonlar için kontrol sağlanabilir. Benzin çözündürmesinden hiçbir şekilde etkilenmeyen bir fotokapsül tasarımı ise yakıt üretimi kısıtlılığının önünü açacaktır.
2. Şartlandırma odası olarak tamamen yalıtılmış bir kabin imal edilebilirse 10°C civarında bir düşüş sağlanabileceği öngörülmektedir. Bu durum ise volümetrik verimde etkin bir iyileşme sağlayacaktır. Ayrıca emme havasının sıcaklığının azalması yanma sonu sıcaklıklarını azaltarak NO_x emisyonunda da iyileşmelere yol açabilir.
3. Oksijen zenginleştirmenin NO_x emisyonlarını dramatik bir biçimde artırdığı gözlemlenmiştir. Bu etkiyi gidermek için yeterli suyun sağlanması amacıyla dolgu havasına karıştırılan su miktarının artırılması bir çözüm olarak düşünülebilir.
4. Genel olarak bakıldığında bağıl nem oranının %85'e çıkartılması; oksijen oranının %23'e çıkması ile meydana gelen NO_x emisyonlarını yarım yükte ancak dengeleyebilmekte tam yük için ise oksijen zenginleştirme yine de baskın

olmaktadır. Bu yüzden ilerleyen çalışmalarda oksijen zenginleştirme oranı azaltılmalı nemlendirme oranı ise artırılmalıdır.

5. İlerideki çalışmalarda deney kombinasyonları çoğaltılarak veya teorik olarak modelleme ve deneysel doğrulama yardımı ile daha optimum sonuçlar elde edilebilir.





6. KAYNAKLAR

- Abdelaal M M, Rabee B A ve Hegab A H (2013). Effect of adding oxygen to the intake air on a dual-fuel engine performance, emissions, and knock tendency. *Energy*, 61: 612-620. doi:10.1016/j.energy.2013.09.022
- Abu-Zaid M (2004a). An experimental study of the evaporation characteristics of emulsified liquid droplets [Article]. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 40(9): 737-741. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-4243170180&partnerID=40&md5=db59bd41f7caf70b30d31c316d699084>
- Abu-Zaid M (2004b). Performance of single cylinder, direct injection Diesel engine using water fuel emulsions. *Energy Conversion and Management*, 45(5): 697-705. doi:10.1016/S0196-8904(03)00179-1
- Acaroğlu M, Ünalı M ve Aydoğan H (2010). *Yakıtlar ve yanma*. Nobel,
- Akple M S, Low J, Qin Z, Wageh S, Al-Ghamdi A A, Yu J ve Liu S (2015). Nitrogen-doped TiO₂ microsheets with enhanced visible light photocatalytic activity for CO₂ reduction. *Chinese Journal of Catalysis*, 36(12): 2127-2134. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S1872-2067(15)60989-5
- Alahmer A, Yamin J, Sakhrieh A ve Hamdan M A (2010). Engine performance using emulsified diesel fuel. *Energy Conversion and Management*, 51(8): 1708-1713. doi:10.1016/j.enconman.2009.11.044
- Anonim (2008). *Türk standart TS EN 13016*. Retrieved from
- Anonim (2010, 17.2.2018). Retrieved from https://infrastructure.gov.au/roads/environment/files/Final_RIS_Euro_5_and_6_Light_Vehicle_Emissions_Review.pdf
- Anonim (2014). Retrieved from <http://www.ogsi.com>
- Anonim (2018). *Türkak Türk Akreditasyon Kurumu Total Oil Türkiye A.Ş. SADAŞ Samsun Dolum Tesisi Kurşunsuz Benzin 95 Analiz Raporu*. Retrieved from
- Arabaci E ve Icingur Y (2016). Thermodynamic investigation of experimental performance parameters of a water injection with exhaust heat recovery six-stroke engine. *Journal of the Energy Institute*, 89(4): 569-577. doi:10.1016/j.joei.2015.06.006
- Asal S, Saif M, Hafez H, Mozia S, Heciak A, Moszyński D ve Abdel-Mottaleb M S A (2011). Photocatalytic generation of useful hydrocarbons and hydrogen from acetic acid in the presence of lanthanide modified TiO₂. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(11): 6529-6537. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.02.066
- Assanis D N, Baker D, Sekar R R, Siambekos C T, Cole R L ve Marciniak T J (1990). Simulation studies of diesel engine performance with oxygen enriched air and water emulsified fuels, Energy Sources Technology Conference and exhibition.
- Bao T-t, Zhou B, Deng J ve Wu Z-j (2014). Research on the physical property of diesel-gasoline blend fuel. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 19(6): 721-727. doi:10.1007/s12204-014-1574-7
- Baskar P ve Kumar A S (2017). Experimental investigation on performance characteristics of a diesel engine using diesel-water emulsion with oxygen

- enriched air. *Alexandria Engineering Journal*, 56(1): 137-146. doi:10.1016/j.aej.2016.09.014
- Baskar P ve Senthilkumar A (2016). Effects of oxygen enriched combustion on pollution and performance characteristics of a diesel engine. *Engineering Science and Technology-an International Journal-Jestech*, 19(1): 438-443. doi:10.1016/j.jestech.2015.08.011
- Benini E, Pandolfo S ve Zoppellari S (2009). Reduction of NO emissions in a turbojet combustor by direct water/steam injection: Numerical and experimental assessment. *Applied Thermal Engineering*, 29(17–18): 3506-3510. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.06.004
- Brijesh P ve Sreedhara S (2013). Exhaust Emissions and Its Control Methods in Compression Ignition Engines: A Review. *International Journal of Automotive Technology*, 14(2): 195-206. doi:10.1007/s12239-013-0022-2
- Bussi J, Ohanian M, Vazquez M ve Dalchiele E A (2002). Photocatalytic removal of Hg from solid wastes of chlor-alkali plant. *Journal of Environmental Engineering-Asce*, 128(8): 733-739. doi:10.1061/(Asce)0733-9372(2002)128:8(733)
- Byun H, Hong B ve Lee B (2006). The effect of oxygen enriched air obtained by gas separation membranes from the emission gas of diesel engines. *Desalination*, 193(1-3): 73-81. doi:10.1016/j.desa1.2005.06.056
- Cacua K, Amell A ve Cadavid F (2012). Effects of oxygen enriched air on the operation and performance of a diesel-biogas dual fuel engine. *Biomass, Bioenergy*, 45: 159-167. doi:10.1016/j.biombioe.2012.06.003
- Cardona C A ve Amell A A (2013). Laminar burning velocity and interchangeability analysis of biogas/C₃H₈/H₂ with normal and oxygen-enriched air. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(19): 7994-8001. doi:10.1016/j.ijhydene.2013.04.094
- Carp O, Huisman C L ve Reller A (2004). Photoinduced reactivity of titanium dioxide. *Progress in Solid State Chemistry*, 32(1-2): 33-177. doi:10.1016/j.progsolidstchem.2004.08.001
- Caton J A (2005). The Effects of Oxygen Enrichment of Combustion Air for Spark-Ignition Engines Using a Thermodynamic Cycle Simulation. (41847): 135-147. doi:10.1115/ICES2005-1006
- Cesur İ, Parlak A, Ayhan V, Boru B ve Gonca G (2013). The effects of electronic controlled steam injection on spark ignition engine. *Applied Thermal Engineering*, 55(1–2): 61-68. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.02.020
- Chintala V ve Subramanian K A (2016). Experimental investigation of hydrogen energy share improvement in a compression ignition engine using water injection and compression ratio reduction. *Energy Conversion and Management*, 108: 106-119. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.069
- Civiš S, Ferus M, Knížek A, Kubelík P, Kavan L ve Zúkalová M (2016). Photocatalytic transformation of CO₂ to CH₄ and CO on acidic surface of TiO₂ anatase. *Optical Materials*, 56: 80-83. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.optmat.2015.11.015
- Costa A, Chiarello G L, Selli E ve Guarino M (2012). Effects of TiO₂ based photocatalytic paint on concentrations and emissions of pollutants and on animal performance in a swine weaning unit. *Journal of Environmental Management*, 96(1): 86-90.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.08.025>

- Çakmak A ve Bilgin A (2017). Performance and Emissions of a Single Cylinder CI Engine Running on Corn Oil Methyl Ester-Diesel Blends. *Journal of Clean Energy Technologies*, 5(4)
- D'Auria M, Emanuele L, Racioppi R ve Velluzzi V (2009). Photochemical degradation of crude oil: Comparison between direct irradiation, photocatalysis, and photocatalysis on zeolite. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1): 32-38. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.111>
- Dey G R, Belapurkar A D ve Kishore K (2004). Photo-catalytic reduction of carbon dioxide to methane using TiO₂ as suspension in water. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 163(3): 503-508. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotochem.2004.01.022>
- Dinesha P, Nayak V ve Mohanan P (2014). Effect of oxygen enrichment on the performance, combustion, and emission of single cylinder stationary CI engine fueled with cardanol diesel blends. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(7): 2919-2924. doi:10.1007/s12206-014-0644-y
- Einaga H, Futamura S ve Ibusuki T (2002). Heterogeneous photocatalytic oxidation of benzene, toluene, cyclohexene and cyclohexane in humidified air: comparison of decomposition behavior on photoirradiated TiO₂ catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 38(3): 215-225. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0926-3373\(02\)00056-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-3373(02)00056-5)
- Fahd M E A, Yang W M, Lee P S, Chou S K ve Yap C R (2013). Experimental investigation of the performance and emission characteristics of direct injection diesel engine by water emulsion diesel under varying engine load condition. *Applied Energy*, 102: 1042-1049. doi:10.1016/j.apenergy.2012.06.041
- Fu W B, Hou L Y, Wang L ve Ma F H (2002). A unified model for the micro-explosion of emulsified droplets of oil and water. *Fuel Processing Technology*, 79(2): 107-119. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(02\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(02)00106-6)
- Gonca G (2014). Investigation of the effects of steam injection on performance and NO emissions of a diesel engine running with ethanol–diesel blend. *Energy Conversion and Management*, 77: 450-457. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.09.031>
- Gonca G (2015). Investigation of the influences of steam injection on the equilibrium combustion products and thermodynamic properties of bio fuels (biodiesels and alcohols). *Fuel*, 144: 244-258. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.12.032>
- Gonca G ve Sahin B (2017). Effect of turbo charging and steam injection methods on the performance of a Miller cycle diesel engine (MCDE). *Applied Thermal Engineering*, 118: 138-146. doi:10.1016/j.applthermaleng.2017.02.039
- Gonca G, Sahin B, Parlak A, Ust Y, Ayhan V, Cesur İ ve Boru B (2014). The effects of steam injection on the performance and emission parameters of a Miller cycle diesel engine. *Energy*, 78: 266-275. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.002>
- Guarino M, Costa A ve Porro M (2008). Photocatalytic TiO₂ coating—to reduce ammonia and greenhouse gases concentration and emission from animal husbandries. *Bioresource Technology*, 99(7): 2650-2658. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.025>
- Gupta S ve Tripathi M (2011). A review of TiO₂ nanoparticles. *Chinese Science Bulletin*, 56(16): 1639-1657. doi:10.1007/s11434-011-4476-1

- He Z, Tang J, Shen J, Chen J ve Song S (2016). Enhancement of photocatalytic reduction of CO₂ to CH₄ over TiO₂ nanosheets by modifying with sulfuric acid. *Applied Surface Science*, 364: 416-427.
doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.12.163
- Hu Y, Tsai H L ve Huang C L (2003). Phase transformation of precipitated TiO₂ nanoparticles. *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 344(1-2): 209-214.
doi: 10.1016/S0921-5093(02)00408-2
- Ivanov V M (1965). Experimental investigation of the combustion process of natural and emulsified liquid fuels. In Nefedov P I (Ed.). [Washington, D.C. :]: National Aeronautics and Space Administration.
- K. Ng H ve Sekar R (1994). *Potential benefits of oxygen-enriched intake air in a vehicle powered by a spark-ignition engine*,
- Karagoz Y, Yuksek L, Sandalci T ve Dalkilic A S (2015). An experimental investigation on the performance characteristics of a hydroxygen enriched gasoline engine with water injection. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(1): 692-702. doi:10.1016/j.ijhydene.2014.11.013
- Kočí K, Obalová L, Matějová L, Plachá D, Lacný Z, Jirkovský J ve Šolcová O (2009). Effect of TiO₂ particle size on the photocatalytic reduction of CO₂. *Applied Catalysis B: Environmental*, 89(3-4): 494-502.
doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2009.01.010
- Kökkülünk G, Gonca G, Ayhan V, Cesur İ ve Parlak A (2013). Theoretical and experimental investigation of diesel engine with steam injection system on performance and emission parameters. *Applied Thermal Engineering*, 54(1): 161-170. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.01.034
- Kökkülünk G, Parlak A, Ayhan V, Cesur İ, Gonca G ve Boru B (2014). Theoretical and experimental investigation of steam injected diesel engine with EGR. *Energy*, 74: 331-339. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.091
- Lasek J, Yu Y-H ve Wu J C S (2013). Removal of NO_x by photocatalytic processes. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 14: 29-52. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2012.08.002
- Li H, Biller P, Hadavi S A, Andrews G E, Przybyla G ve Lea-Langton A (2013). Assessing combustion and emission performance of direct use of SVO in a diesel engine by oxygen enrichment of intake air method. *Biomass, Bioenergy*, 51: 43-52. doi:10.1016/j.biombioe.2012.12.039
- Liang Y C, Shu G Q, Wei H Q ve Zhang W (2013). Effect of oxygen enriched combustion and water-diesel emulsion on the performance and emissions of turbocharged diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 73: 69-77. doi:10.1016/j.enconman.2013.04.023
- Lin C Y ve Chen L W (2006). Engine performance and emission characteristics of three-phase diesel emulsions prepared by an ultrasonic emulsification method. *Fuel*, 85(5-6): 593-600. doi:10.1016/j.fuel.2005.09.007
- Lin C Y ve Wang K H (2004). Diesel engine performance and emission characteristics using three-phase emulsions as fuel. *Fuel*, 83(4-5): 537-545. doi:10.1016/j.fuel.2003.08.012
- Maiboom A ve Tauzia X (2011). NO_x and PM emissions reduction on an automotive HSDI Diesel engine with water-in-diesel emulsion and EGR: An experimental study. *Fuel*, 90(11): 3179-3192. doi:10.1016/j.fuel.2011.06.014
- Mello J P ve Mellor A M (1999). *NO_x Emissions from Direct Injection Diesel Engines with Water/Steam Dilution*,

- Morsy M H (2015). Assessment of a direct injection diesel engine fumigated with ethanol/water mixtures. *Energy Conversion and Management*, 94: 406-414. doi:10.1016/j.enconman.2015.01.086
- Murayama T, Tsukahara M, Morishima Y ve Miyamoto N (1978). *Experimental reduction of NO/sub x/, smoke, and BSFC in a diesel engine using uniquely produced water (0--80%) to fuel emulsion*,
- Murthy Y V V S, Sastry G R K ve Satyanaryana M R S (2011). Experimental Investigation of Performance and Emissions on Low Speed Diesel Engine with Dual Injection of Solar Generated Steam and Pongamia Methyl Ester. *Indian Journal of Science and Technology; Volume 4, Issue 1, January 2011*. Retrieved from <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/29928>
- Nguyen L D K, Sung N W, Lee S S ve Kim H S (2011). Effects of split injection, oxygen enriched air and heavy EGR on soot emissions in a diesel engine. *International Journal of Automotive Technology*, 12(3): 339-350. doi:10.1007/s12239-011-0040-x
- Nomikos G N, Panagiotopoulou P, Kondarides D I ve Verykios X E (2014). Kinetic and mechanistic study of the photocatalytic reforming of methanol over Pt/TiO₂ catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 146: 249-257. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.03.018>
- Ola O, Mercedes Maroto-Valer M ve Mackintosh S (2013). Turning CO₂ into Valuable Chemicals. *Energy Procedia*, 37: 6704-6709. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.603>
- Owen K, Coley T, Weaver C S ve Owen K (1995). *Automotive fuels reference book* (2nd). Society of Automotive Engineers, xii, 963 p., Warrendale, PA.
- Ozcan H ve Soylemez M S (2005). Experimental investigation of the effects of water addition on the exhaust emissions of a naturally aspirated, liquefied-petroleum-gas-fueled engine. *Energy, Fuels*, 19(4): 1468-1472. doi:10.1021/ef049850g
- Park K, Kwak I ve Oh S (2004). The effect of water emulsified fuel on a motorway-bus diesel engine. *Ksme International Journal*, 18(11): 2049-2057. doi:Doi 10.1007/Bf02990447
- Parlak A, Ayhan V, Cesur İ ve Kökkülünk G (2013). Investigation of the effects of steam injection on performance and emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester. *Fuel Processing Technology*, 116: 101-109. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.05.006>
- Patnaik P P, Acharya S K, Padhi D ve Mohanty U K (2016). Experimental investigation on CI engine performance using steam injection and ferric chloride as catalyst. *Engineering Science and Technology-an International Journal-Jestech*, 19(4): 2073-2080. doi:10.1016/j.jestch.2016.07.006
- Perez P L ve Boehman A L (2010). Performance of a single-cylinder diesel engine using oxygen-enriched intake air at simulated high-altitude conditions. *Aerospace Science and Technology*, 14(2): 83-94. doi:10.1016/j.ast.2009.08.001
- Piumetti M, Fino D ve Russo N (2014). Photocatalytic Reduction of CO₂ into Fuels: A Short Review. *Journal of Advanced Catalysis Science and Technology*, 1(2): 16-25. Retrieved from <http://porto.polito.it/2577764/>
- Pleskov Y V (1999). A. Fujishima, K. Hashimoto, and T. Watanabe, TiO₂ photocatalysis: Fundamentals and applications, Tokyo: Bks, Inc., 1999. *Russian Journal of Electrochemistry*, 35(10): 1137-1138. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000083503800018

- Poola R B ve Sekar R (2003). Reduction of NO_x and particulate emissions by using oxygen-enriched combustion air in a locomotive diesel engine. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power-Transactions of the Asme*, 125(2): 524-533. doi:10.1115/1.1563236
- Porpatham E, Ramesh A ve Nagalingam B (2018). Experimental studies on the effects of enhancing the concentration of oxygen in the inducted charge of a biogas fuelled spark ignition engine. *Energy*, 142: 303-312. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.025
- Preethi L K, Antony R P, Mathews T, Loo S C J, Wong L H, Dash S ve Tyagi A K (2016). Nitrogen doped anatase-rutile heterostructured nanotubes for enhanced photocatalytic hydrogen production: Promising structure for sustainable fuel production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(14): 5865-5877. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.02.125
- Pulkrabek W W (2004). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine* (2nd). Pearson Prentice Hall, xxiii, 478 p., Upper Saddle River, N.J.
- Pulkrabek W W (2013). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine: Pearson New International Edition*. Pearson Higher Ed,
- Rajkumar K ve Govindarajan P (2010). Experimental Investigation of Oxygen Enriched Air Intake on Combustion Parameters of a Single Cylinder Diesel Engine. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(8): 3621-3627
- Rani S, Bao N ve Roy S C (2014). Solar Spectrum Photocatalytic Conversion of CO₂ and Water Vapor Into Hydrocarbons Using TiO₂ Nanoparticle Membranes. *Applied Surface Science*, 289: 203-208. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.10.135
- Sekar R, Marr W W, Schaus J E, Cole R L ve Marciniak T J (1990). *Diesel Engine Experiments With Oxygen Enrichment, Water Addition And Lower-Grade Fuel*, 320-325,
- Sekar R R, Marr W W, Assanis D N, Cole R L, Marciniak T J ve Schaus J E (1991). Oxygen-Enriched Diesel Engine Performance: A Comparison of Analytical and Experimental Results. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 113(3): 365-369. doi:10.1115/1.2906239
- Selim M Y E ve Elfeky S M S (2001). Effects of diesel/water emulsion on heat flow and thermal loading in a precombustion chamber diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 21(15): 1565-1582. doi:Doi 10.1016/S1359-4311(01)00019-9
- Selim M Y E ve Ghannam M T (2010). Combustion Study of Stabilized Water-in-Diesel Fuel Emulsion. *Energy Sources Part a-Recovery Utilization and Environmental Effects*, 32(3): 256-274. doi:10.1080/15567030802467621
- Seong H J ve Boehman A L (2011). Impact of Intake Oxygen Enrichment on Oxidative Reactivity and Properties of Diesel Soot. *Energy, Fuels*, 25(2): 602-616. doi:10.1021/ef101108j
- Shameer P M ve Ramesh K (2017). FTIR assessment and investigation of synthetic antioxidant on the fuel stability of Calophyllum inophyllum biodiesel. *Fuel*, 209: 411-416. doi:10.1016/j.fuel.2017.08.006
- Shanmughasundaram P, Gopinath V ve Suresh P (2017). Performance and emission characteristics of a diesel engine runs with corn oil biodiesel blends and air pre-heater. *Mechanika*, 23(3): 462-468. doi:10.5755/j01.mech.23.3.14853
- Sheng H-z, Chen L ve Wu C-k (1995). *The Droplet Group Micro-Explosions in W/O Diesel Fuel Emulsion Sprays*

- Smith A R ve Klosek J (2001). A review of air separation technologies and their integration with energy conversion processes. *Fuel Processing Technology*, 70(2): 115-134. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(01\)00131-X](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(01)00131-X)
- Song J, Zello V, Boehman A L ve Waller F J (2004). Comparison of the impact of intake oxygen enrichment and fuel oxygenation on diesel combustion and emissions, *Energy and Fuels*, 18(5): 1282-1290. doi:10.1021/ef034103p
- Subramanian K A (2011). A comparison of water-diesel emulsion and timed injection of water into the intake manifold of a diesel engine for simultaneous control of NO and smoke emissions. *Energy Conversion and Management*, 52(2): 849-857. doi:10.1016/j.enconman.2010.08.010
- Szacilowski K, Macyk W, Drzewiecka-Matuszek A, Brindell M ve Stochel G (2005). Bioinorganic photochemistry: Frontiers and mechanisms. *Chemical Reviews*, 105(6): 2647-2694. doi:10.1021/cr030707e
- Şam E D, Ürgen M ve Tepehan F Z (2007). TiO₂ Fotokatalistleri. *İTÜdergisi/mühendislik*, 6(5-6): 81-92
- Taghavifar H, Anvari S ve Parvishi A (2017). Benchmarking of water injection in a hydrogen-fueled diesel engine to reduce emissions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(16): 11962-11975. doi:10.1016/j.ijhydene.2017.02.138
- Tahir M, Tahir B, Amin N A S ve Muhammad A (2016). Photocatalytic CO₂ methanation over NiO/In₂O₃ promoted TiO₂ nanocatalysts using H₂O and/or H₂ reductants. *Energy Conversion and Management*, 119: 368-378. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.057>
- Tsukahara M, Yoshimoto Y ve Murayama T (1989). *Influence of emulsified fuel properties on the reduction of BSFC in a diesel engine* (0148-7191). Retrieved from
- Usubharatana P, McMartin D, Veawab A ve Tontiwachwuthikul P (2006). Photocatalytic Process for CO₂ Emission Reduction from Industrial Flue Gas Streams. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45(8): 2558-2568. doi:10.1021/ie0505763
- Vellaiyan S ve Amirthagadeswaran K S (2016). The role of water-in-diesel emulsion and its additives on diesel engine performance and emission levels: A retrospective review. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3): 2463-2472. doi:10.1016/j.aej.2016.07.021
- Wang X-T, Zhong S-H ve Xiao X-F (2005). Photo-catalysis of ethane and carbon dioxide to produce hydrocarbon oxygenates over ZnO-TiO₂/SiO₂ catalyst. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 229(1-2): 87-93. doi:<http://doi.org/10.1016/j.molcata.2004.11.005>
- Wang Z G, Zhou S, Feng Y M ve Zhu Y Q (2017). Investigation of Egr with Egb (Exhaust Gas Bypass) on Low Speed Marine Diesel Engine Performance and Emission Characteristics. *Proceedings of the Asme 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 2017, Vol 7b*. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000417225300005
- Wei M R, Sa N T, Turkson R F, Liu J P ve Guo G L (2017). Water injection for higher engine performance and lower emissions. *Journal of the Energy Institute*, 90(2): 285-299. doi:10.1016/j.joei.2015.12.003
- Wu J C S (2009). Photocatalytic Reduction of Greenhouse Gas CO₂ to Fuel. *Catalysis Surveys from Asia*, 13(1 (Mar 2009)): 30-40
- Wu Z J, Yu X, Fu L Z, Deng J, Hu Z J ve Li L G (2014). A high efficiency oxyfuel internal combustion engine cycle with water direct injection for waste heat recovery. *Energy*, 70: 110-120. doi:10.1016/j.energy.2014.03.095

- Yamashita H, Fujii Y, Ichihashi Y, Zhang S G, Ikeue K, Park D R, . . . Anpo M (1998). Selective formation of CH₃OH in the photocatalytic reduction of CO₂ with H₂O on titanium oxides highly dispersed within zeolites and mesoporous molecular sieves. *Catalysis Today*, 45(1–4): 221-227.
doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0920-5861(98)00219-3
- Yüksel F ve Yüksel B (2004). The use of ethanol–gasoline blend as a fuel in an SI engine. *Renewable Energy*, 29(7): 1181-1191.
doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.11.012
- Zannis T C, Pariotis E G, Hountalas D T, Rakopoulos D C ve Leventis Y A (2007). Theoretical study of DI diesel engine performance and pollutant emissions using comparable air-side and fuel-side oxygen addition. *Energy Conversion and Management*, 48(11): 2962-2970. doi:10.1016/j.enconman.2007.07.007
- Zhang Q, Li Y, Ackerman E A, Gajdardziska-Josifovska M ve Li H (2011). Visible light responsive iodine-doped TiO₂ for photocatalytic reduction of CO₂ to fuels. *Applied Catalysis A: General*, 400(1–2): 195-202.
doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2011.04.032
- Zhang W, Chen Z H, Li W D, Shu G Q, Xu B ve Shen Y G (2013a). Influence of EGR and oxygen-enriched air on diesel engine NO-Smoke emission and combustion characteristic. *Applied Energy*, 107: 304-314.
doi:10.1016/j.apenergy.2013.02.024
- Zhang W, Chen Z H, Shen Y G, Shu G Q, Chen G S, Xu B A ve Zhao W (2013b). Influence of water emulsified diesel & oxygen-enriched air on diesel engine NO-smoke emissions and combustion characteristics. *Energy*, 55: 369-377.
doi:10.1016/j.energy.2013.03.042
- Zhou J X, Cordier M, Mounaim-Rousselle C ve Foucher F (2011). Experimental estimate of the laminar burning velocity of iso-octane in oxygen-enriched and CO₂-diluted air. *Combustion and Flame*, 158(12): 2375-2383.
doi:10.1016/j.combustflame.2011.05.002

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Murat KAPUSUZ
Doğum Yeri : Bafra
Doğum Tarihi :01.08.1987
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Bafra Anadolu Lisesi (2005)
Lisans :Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine
Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans :Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina
Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurum ve Yıl

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı olarak 15.09.2010 -
03.02.2018 tarihleri arasında Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır.

Yayınlar

A) Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan bildiriler

- 1) Yazıcı, M., Kapusuz, M., Özcan, H., Burgaz, E., *Comparison of Thermal Stability with Dynamic Mechanical Properties and Crystallization Behaviour In Poly(Ethylene-Oxide)/Clay Nanocomposites by Artificial Neural Networks* 7. Türkiye Nanobilim ve Nanoteknoloji Konferansı (NANOTR VII-2011), İstanbul, 27 Haziran-1 Temmuz 2011.

B) Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

- 1) Kapusuz, M., Özcan, H., *Yapay Sinir Ağı Kullanarak Bir Dizel Motorda Püskürtme Açısının Motor Performans ve Egzoz Emisyonu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*, 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, (ULIBTK'11), Zonguldak 7-10 Eylül 2011.
- 2) Kapusuz, M., Yamin, J., A., Özcan, H., *Alkol-Benzin Karışımı ile Yakıtlandırılmış Kıvılcım Ateşlemeli Bir Motorda Yapay Sinir Ağı Yardımıyla Performans Analizi*, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu(ASYU'12), Trabzon, 3-4 Temmuz 2012

C) Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan bildiriler

- 1) Yazıcı, M., Kapusuz, M., Özcan, H., Burgaz, E., *Investigation of Dynamic, Mechanical and Thermal Properties of Poly(Ethylene-Oxide)/Clay Nanocomposites with Artificial Neural Networks*, Advances in Applied Physics and Materials Science (APMAS'11), Antalya, 12-15 Mayıs 2011

- 2) Kapusuz M., Özcan H., Gürbüz M., *Fotokatalizin Benzin Yakıtı Üzerine Etkilerinin Araştırılması*, 1. International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC'16), Adana, 26-28 October 2016
- 3) Kapusuz M., Çakmak A., Özcan H., *Bir Otto Motorda Etanol Katkısının Performans ve Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi*, 2. International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET'17), Bayburt, 21-23 September 2017
- 4) Çakmak A., Kapusuz M., Ganiyev O., Özcan H., *Etil Asetatın Oksijenli Yakıt Katkısı Olarak Kullanımının İncelenmesi*, 9. International Automotive Technologies Congress (OTEKON 2018), Bursa, 7-8 May 2018
- 5) Kapusuz M., Çakmak A., Ganiyev O., Özcan H., *Benzine Etil Asetat İlavesinin Buji Ateşlemeli Motorda Enerji (Isı) Dengesine Etkisi*, I. International Technologies Sciences and Design Symposium (ITESTES 2018), Giresun, 27-28 June 2018 (kabul edildi)
- 6) Kapusuz M., Çakmak A., Özcan H., *Emissions Analysis of an SI Engine with Humidified Air Induction*, Conference on Climate and Environmental Technologies (CONNECT 2018) 16-19 May 2018, Riga, Latvia (kabul edildi-basımda)

D) SCI indeksli dergilerde basılan makaleler

- 1) Burgaz, E., Yazıcı, M., Kapusuz, M., Çalışır, S., H., Özcan H., *Prediction of Thermal Stability, Crystallinity and Thermomechanical Properties of Poly(Ethylene Oxide)/Clay Nanocomposites with Artificial Neural Networks*, Thermochimica Acta, 575 (2014) 159–166
- 2) Kapusuz, M., Yamin, J., A., Özcan, H., *Research of Performance on a Spark Ignition Engine Fueled by Alcohol-gasoline Blends Using Artificial Neural Networks*, Applied Thermal Engineering, 91 (2015) 525-534

E) ESCI indeksli dergilerde basılan makaleler

- 1) Çakmak A., Kapusuz M., Ganiyev O., Özcan H., *Effects of Methyl Acetate as Oxygenated Fuel Blending on SI Engine Performance and Emissions*, Journal of Climate and Environmental Technologies, (hakem değerlendirmesinde)

PROJELER:

1. “İçten Yanmalı Motorların Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi ve Optimizasyonu”, Proje yürütücüsü: Doç. Dr. Hakan ÖZCAN, Araştırmacı: Arş. Gör. Murat KAPUSUZ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (YL), BAP 1904 kodlu Yüksek Lisans Tezleri Destekleme Programı Projeleri, 01/09/2011.

2. “Egzoz Emisyonlarının Azaltılması için Silindir Öncesi Yöntemlerin Araştırılması ve Optimizasyonu”, Proje danışmanı: Doç. Dr. Hakan ÖZCAN, Araştırmacı: Arş. Gör. Murat KAPUSUZ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı(DR), 1901 Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Destekleme Programı Projesi 31/08/2015.

