



**DİZEL YAKITI İÇERİSİNE CeO₂ NANO
PARÇACIK İLAVESİNİN MOTOR
PERFORMANSI VE EMİSYONLARINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Abdullah Burak ARSLAN

2022

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet ÇELİK**

**DİZEL YAKITI İÇERİSİNE CeO₂ NANO PARÇACIK İLAVESİNİN MOTOR
PERFORMANSI VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Abdullah Burak ARSLAN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet ÇELİK**

KARABÜK

Ocak 2022

Abdullah Burak ARSLAN tarafından hazırlanan “DİZEL YAKITI İÇERİSİNE CeO₂ NANO PARÇACIK İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet ÇELİK

.....

Tez Danışmanı Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Samet USLU (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mehmet ÇELİK (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÜNALDI (SÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Abdullah Burak ARSLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL YAKITI İÇERİSİNE CeO₂ NANO PARÇACIK İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Abdullah Burak ARSLAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet ÇELİK

Ocak 2022, 70 sayfa

Son zamanlarda emisyonlara gelen zorunlu sınırlamalar, üreticileri alternatif yakıtlara yöneltmektedir. Özellikle dizel motorlarda emisyon değerlerini azaltmak için katkı maddelerine yönelim artmaktadır. İçerisinde oksijen bulunduran katkılar yanmada iyileşme sağlayarak emisyonları azaltmaktadır. Elde edilen iyileşme bazı durumlarda özgül yakıt tüketimini de azaltmaktadır. Bu deneysel çalışma dizel yakıtı içerisinde seryum oksit (CeO₂) nano parçacık 25ppm, 50ppm, 75ppm ve 100ppm miktarlarında ilave edilerek, tam yükte ve 7 farklı motor devirlerinde (1600 – 1800 – 2000 – 2200 – 2400 – 2600 – 2800 dev/dak) yapılmıştır ve incelenmiştir. CeO₂ nano parçacığının katkı olarak kullanımı yakıt karışımının alt ısı değerini arttırmış olup viskoziteyi azaltmıştır. Motor momentinde D0 yakıtına göre DCe100 yakıtında %8,99 artış elde edilmiştir.

Alt ısı değerinin artışı özgül yakıt tüketimini olumlu etkilemiştir. DCe100 yakıtında %6,10 azalarak en düşük özgül yakıt tüketimi elde edilmiştir. CeO₂ nano parçacığının kullanımını termik verimde artışa neden olmuştur. CeO₂ miktarı arttıkça termik verimin arttığı gözlemlenmiştir. DCe100 yakıtında D0 yakıtına göre %5,44 artarak en yüksek termik verim elde edilmiştir. Emisyonlarda ise CeO₂ miktarının artışı ile birlikte karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve is emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. CO emisyonları DCe100 yakıtında %18,27 azalmakta, HC emisyonları DCe100 yakıtında %30,12 azalmakta ve is emisyonlarında yine DCe100 yakıtında %21,63 azalarak en düşük değerler elde edilmiştir. Azot oksit (NO_x) emisyonlarında ise artan CeO₂ miktarı ve silindir içi sıcaklıkla beraber artış elde edilmiştir. DCe100 yakıtında en yüksek NO_x değeri D0 yakıtına göre %6,65 artarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Nano parçacık, motor performansı, emisyonlar, yanma, yakıt katkıları

Bilim Kodu : 93003

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CeO₂ NANOPARTICLE ADDITION IN DIESEL FUEL ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Abdullah Burak ARSLAN

Karabuk University

The Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

January 2022, 70 pages

Recently, mandatory limitations on emissions push manufacturers towards alternative fuels. Especially in diesel engines, the tendency to additives is increasing in order to reduce emissions values. Additives that contain oxygen provide improvement in combustion and reduce emissions. The improvement which is achieved also reduces the specific fuel consumption in some cases. This experimental study was done and investigated at full engine load and 7 different engine speeds (1600 – 1800 – 2000 – 2200 – 2400 – 2600 – 2800) by adding CeO₂ nanoparticles in amount of 25ppm, 50ppm, 75ppm and 100ppm into diesel fuel. The using of CeO₂ as an additive increased the lower calorific value of the fuel mixture and decreased the viscosity. In engine torque an increase of 8,99% was obtained with DCe100 fuel compared to D0 fuel. The increasing in lower calorific value had a positive effect on the specific fuel

consumption. The lowest specific fuel consumption was obtained with a decrease of 6,10% with DCe100 fuel. The using of CeO₂ nano particles caused an increase in thermal efficiency. It was observed that the thermal efficiency increased as the amount of CeO₂ increased. The highest thermal efficiency was obtained with DC100 fuel by increasing 5,44% compared to D0 fuel. In emissions, with the increase in amount of CeO₂, there was a decrease in CO, HC and soot emissions. CO emissions decreased by 18,27% with DCe100 fuel, HC emissions decreased by 30,12% with DCe100 fuel and the lowest values were obtained with 21,63% reduction in soot emissions with DCe100 fuel. On the other hand, NO_x emissions increased with increasing CeO₂ amount and in cylinder temperature. The highest NO_x value was obtained with DCe100 fuel with an increase of 6,65% compared to D0 fuel.

Keywords : Nanoparticles, engine performance, emissions, combustion, fuel additives

Science Code : 93003

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin ve tez çalışmam boyunca bana değerli vaktini ayıran, bilgisini paylaşan ve her türlü yardımı sağlayan tez danışmanım değerli Doç. Dr. Mehmet ÇELİK hocama teşekkür eder ve saygılarımı sunarım.

Hayatım boyunca maddi, manevi desteğini ve güvenini esirgemeyen aileme ve benim üzerimde emeği geçen herkese bütün içtenliğimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLERİN DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
BÖLÜM 3	10
DİZEL MOTORLARDA YANMA İŞLEMİ ve EMİSYONLAR	10
3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA İŞLEMİ.....	10
3.1.1. Tutuşma Gecikmesi	11
3.1.2. Kontrolsüz Yanma	12
3.1.3. Kontrollü Yanma	12
3.1.4. Art Yanma.....	13
3.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLAR.....	13
3.2.1. Azot Oksit (NO _x) Emisyonları.....	15
3.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonları	17
3.2.3. Karbon monoksit (CO) Emisyonları.....	18
3.2.4. İs ve Partikül Madde Emisyonları	18

3.2.5. Kükürt (SO _x) Emisyonları	19
BÖLÜM 4	20
DİZEL YAKITININ ÖZELLİKLERİ.....	20
4.1. SETAN SAYISI	21
4.2. VİSKOZİTE	22
4.3. YOĞUNLUK	23
4.4. PARLAMA NOKTASI.....	23
4.5. KENDİLİĞİNDEN TUTUŞMA	24
4.6. BULUTLANMA NOKTASI	24
4.7. AKMA NOKTASI	24
4.8. BAKIR ŞERİT KOROZYON TESİRİ.....	24
4.9. ANİLİN NOKTASI.....	25
4.10. ÖZGÜL AĞIRLIK ve A.P.I. GRAVİTESİ.....	25
4.11. DİZEL İNDEKSİ	25
4.12. ISIL DEĞER	26
BÖLÜM 5	27
DİZEL YAKIT KATKI MADDELERİ.....	27
5.1. METANOL	28
5.2. ETANOL	28
5.3. DİETİL ETER	29
5.4. BİYODİZEL.....	30
5.5. NANO PARÇACIKLI KATKILAR	31
BÖLÜM 6	33
MATERYAL ve METOT	33
6.1. DENEY DÜZENEGİ ve DONANIMLARI.....	33
6.2. METOT	36
6.2.1. CeO ₂ katkı maddesi	38
6.3. DENEY ÖLÇÜM VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	41

Sayfa

BÖLÜM 7	43
DENEYİN SONUÇLARI ve TARTIŞMA	43
7.1 MOTOR PERFORMANS SONUÇLARI	43
7.1.1. Motor Momenti	43
7.1.2. Motor Gücü	44
7.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi	45
7.1.4. Termik Verim	48
7.1.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı	50
7.2. EGZOZ EMİSYONU SONUÇLARI	51
7.2.1. CO Emisyonları	51
7.2.2. HC Emisyonları	53
7.2.3. NO _x Emisyonları	55
7.2.4. İş Emisyonu	56
BÖLÜM 8	59
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİLLERİN DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Dizel motorlar için ısı yayılım eğrisi	11
Şekil 3.2. Markaların CO ₂ emisyon ilerlemeleri	14
Şekil 3.3. Dizel emisyon konsantrasyonları	15
Şekil 6.1. Deney motoru görseli	33
Şekil 6.2. Bosch BEA 350 egzoz emisyonu ölçüm cihazı	35
Şekil 6.3. Bosch BEA 070 is emisyonu ölçüm cihazı	36
Şekil 6.4. Hassas terazi	36
Şekil 6.5. Deney yakıtlarının ultrasonic karıştırıcıda karıştırılması	37
Şekil 6.6. Deney sisteminin şematik görünümü	38
Şekil 6.7. Yakıt karışımının atomizasyonu ve çoklu patlamalar	39
Şekil 6.8. CeO ₂ nano parçacıklarının ısıyı emişi	39
Şekil 6.9. CeO ₂ nano parçacıklarının elektron mikroskobu görüntüsü	40
Şekil 6.10. CeO ₂ nano parçacıklarının fiziksel görünümü	40
Şekil 7.1. Motor momentinin motor devrine göre değişimi	44
Şekil 7.2. Motor momentinin CeO ₂ miktarına göre değişimi	44
Şekil 7.3. Gücün motor devrine göre değişimi	46
Şekil 7.4. Gücün CeO ₂ miktarına göre değişimi	47
Şekil 7.5. Özgül yakıt tüketiminin motor devrine göre değişimi	47
Şekil 7.6. Özgül yakıt tüketiminin CeO ₂ miktarına göre değişimi	48
Şekil 7.7. Termik verimin motor devrine göre değişimi	49
Şekil 7.8. Termik verimin CeO ₂ miktarına göre değişimi	49
Şekil 7.9. Egzoz gazı sıcaklığının motor devrine göre değişimi	50
Şekil 7.10. Egzoz gazı sıcaklığının CeO ₂ miktarına göre değişimi	51
Şekil 7.11. CO emisyonunun motor devrine göre değişimi	52
Şekil 7.12. CO emisyonunun CeO ₂ miktarına göre değişimi	53
Şekil 7.13. HC emisyonunun motor devrine göre değişimi	54

Sayfa

Şekil 7.14. HC emisyonunun CeO ₂ miktarına göre değişimi.....	54
Şekil 7.15. NO _x emisyonunun motor devrine göre değişimi.	55
Şekil 7.16. NO _x emisyonunun CeO ₂ miktarına göre değişimi.	56
Şekil 7.17. İs emisyonunun motor devrine göre değişimi.....	57
Şekil 7.18. İs emisyonunun CeO ₂ miktarına göre değişimi.	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. AB binek otomobilleri için emisyon standartları (M1).....	15
Çizelge 2.1. Dizel yakıtının dünya standartlarında özellikleri.....	20
Çizelge 2.2. Dizel yakıtının Türkiye standartlarında özellikleri.....	21
Çizelge 5.1. Dizel yakıtı ve diğer katkıların ana özellikleri.....	31
Çizelge 6.1. Deney motorunun teknik özellikleri.	34
Çizelge 6.2. Bosch BEA 350 teknik özellikleri.	35
Çizelge 6.3. Bosch BEA 070 teknik özellikleri.	35
Çizelge 6.4. Seryum Oksit nano parçacığı özellikleri.....	40
Çizelge 6.5. Deney yakıtlarının isimlendirilmesi.....	41
Çizelge 6.6. Deney yakıtlarının özellikleri.	41

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
HC	: Hidrokarbon
SO _x	: Kükürt oksitler
NO _x	: Azot oksitler
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
TiO ₂	: Titanyum oksit
CuO	: Bakır (II) oksit
SiO ₂	: Silikon dioksit
CeO ₂	: Seryum oksit
MnO	: Manganez (II) oksit
C ₁₆ H ₃₄	: Heksadekan
φ	: Eş değrlilik oranı
η	: Verim
b _e	: Özgöl yakıt tüketimi
B	: Saatlik yakıt tüketimi
P _e	: Efektif motor gücü
H _u	: Alt ısıl değr
M _d	: Motor momenti
n	: Devir

KISALTMALAR

D0	: Saf dizel yakıtı
DCe25	: 25 ppm CeO ₂ içeren dizel yakıtı
DCe50	: 50 ppm CeO ₂ içeren dizel yakıtı
DCe75	: 75 ppm CeO ₂ içeren dizel yakıtı
DCe100	: 100 ppm CeO ₂ içeren dizel yakıtı
PM	: Partikül madde
UV	: Ultraviyole ışın
AÖN	: Alt ölü nokta
ÜÖN	: Üst ölü nokta
API	: Amerikan Petrol Enstitüsü (American Petroleum Institute)
Dİ	: Dizel indeksi
Ni:	: Nikel
Cr	: Krom
H ₂	: Hidrojen
C	: Karbon
O ₂	: Oksijen molekülü
N ₂	: Azot molekülü
HMN	: Heptamethylnonane
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskobu (Transmission Electron Microscopy)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde kullanılan enerji ihtiyacı petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil kökenli ve hidrojen, güneş, rüzgâr, biokütle gibi yenilenebilir iki ana kaynaktan karşılanmaktadır. Bu ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı fosil kökenli yakıtlardan elde edilmektedir. Fakat sanayileşmenin ve nüfusun artmasına bağlı olarak enerji kullanımının artması sonucu bu yakıtlar tükenmeye başlamakta ve ileride enerji ihtiyacını karşılayamaz duruma gelmesi beklenmektedir [1].

Endüstride, taşımacılıkta ve tarım sektöründe yaygın olarak kullanılan dizel motorları, yüksek verim ve güvenilirlik açısından en çok tercih edilen motorlardır. Taşımacılık sektörü ve endüstrinin hızla gelişmesi, taşıt sayılarının sürekli artması, petrol bazlı yakıtlara olan talebi arttırmaktadır. Petrol bazlı yakıtlar ise limiti olan kaynaklardan elde edilmektedir. Bu sınırlı kaynaklar dünyanın bazı bölgelerinde çok fazla orandadır. Bu kaynaklara sahip olmayan ülkeler petrolü ithal etmektedir, bu da beraberinde bazı ülkelerde döviz krizi yaşanmasına neden olmaktadır [2].

Petrol bazlı yakıtların tüketimi sonucunda bazı zararlı emisyonlar ortaya çıkmaktadır. Bu oluşan emisyonlar insan solunum sistemine, sinir sistemine, deri hastalıklarına sebep olan CO₂, CO, is, HC, SO_x ve NO_x moleküllerini içermektedir. Bu emisyonlar ayrıca bitki örtüsüne, hayvanlara ve çevreye de zarar vermektedir [3].

Dizel motorlar benzin motorlarına göre daha fazla verim ve moment sağladığından ve CO, HC emisyonlarının miktarı daha düşük olduğu için yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu motorlarda emisyonları azaltmak ve yakıt tasarrufu sağlamak için değişiklikler uygulanmaktadır. Yakıtların içeriğini değiştirmek ve özelliklerini iyileştirmek bunlardan biridir. Oksijen içerikli katkıları kullanarak motorda değişikliğe gidilmeden, en ekonomik yoldan motor performansında artış ve emisyonlarda azalış elde etmek mümkündür. Bazı oksijen içeren sıvı yakıt katkıları (biyodizel), doğrudan yakıtla

karıştırılarak setan sayısı iyileştirilip, kirletici emisyonların azalması sağlanmıştır [4]. Fakat bu beraberinde viskozite ve enjeksiyon problemlerini getirmiştir. Bu gibi problemlerin giderilmesi için yakıt katkısının başka işlemlerden geçmesi gerekmektedir [2].

Son yıllarda nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte farklı yerlerde kullanılmaya başlanan nano parçacıklar, içten yanmalı motorlarda katalitik aktiviteyi, tutuşma gecikmesini kısaltması ve yakıt damlacıklarının buharlaşma oranını geliştirmekte olduğundan dikkat çekmektedir [5].

Otomotiv alanında bu nano parçacıkların kullanımı yakıt tüketimine ve egzoz emisyonlarına sağladığı katkının yanında maliyeti de düşürmeye elverişlidir. Dizel yakıt katkısı olarak kullanılan nano parçacıkların setan sayısının yükselmesine, yanma oranını ve ısı transferinin artmasına ayrıca karbon monoksit (CO) emisyonlarının düşmesine yardımcı olmaktadır [5-6].

Nano teknoloji, otomotiv alanına yenilikçi ürünler ve uygulama alanlarına yeni kapılar açmaktadır. Bu teknoloji, maddelerin atomik düzeyde manipülasyonu ile benzersiz özellikler sergileyen yeni ürünler ve yapılar geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca atomik ya da moleküler düzeyde kimyasal, fiziksel ve biyolojik sistemlerin mikron boyutta üretilmesi, uygulanması ve ortaya çıkan ürünlerin büyük sistemlere entegre edilmesine elverişlidir [7].

Alüminyum oksit (Al_2O_3), titanyum dioksit (TiO_2), bakır oksit (CuO), silikon oksit (SiO_2) gibi nano parçacıklar yaygın olarak çalışmalarda kullanılmış, performans karakteristikleri ve emisyonlar üzerindeki olumlu etkileri gözlemlenmiştir. Bu katkılar yanmayan yakıt parçacıkları ile alev arasındaki ısı transferini geliştirmektedir. Bunun yanında dizel motorlarda emisyonu azaltmakta ve yakıt tüketimini düşürmektedir [8].

Seryum oksit (CeO_2) nano parçacıkları, yüksek termal kararlılığı, UV ışınlarını emici, elektriksel iletkenliği, yüksek sertliği, spesifik kimyasal reaktivitesi, yüksek oksijen tutma ve taşıma kapasitesi gibi benzersiz özelliklerine sahiptir. Bu özellikleri ile uygulama alanları cam parlatma, otomotiv, metaller için korozyon engelleyici, ışığa

karşı hassas olan materyal koruyucu katkısı, oksidasyon katalizörü, solar paneller gibi çok geniş kullanım alanına sahiptir. Bunun yanında düşük üretme maliyetine sahiptir [9-10].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Dizel motorlarında yakıt katkısı olarak çoğunlukla alkol bazlı sıvı yakıtlar ya da biyodizel kullanılmaktadır. Nano parçacıklar yakıt katkısı olarak son yıllarda yeni yeni denenmeye başlanmıştır.

Silambarasan ve Senthil çalışmalarında %80'i dizel ve %20 metil ester (B20) olan karışıma, 100 ppm çinko oksit katkı maddesini kullanarak yapılan deneylerde termik verimin %2,79 arttığını gözlemlemiştir. Bunun nedeninin ise nano parçacıklar eklendikten sonra hava/yakıt reaksiyonunun artması olarak belirtilmiştir. Karbon monoksit emisyonunda 100 ppm çinko oksit kullanarak tam yükte %14,75 azalma gözlemlemiştir. NO_x emisyonlarında ise yine 100 ppm çinko oksit kullanarak %3,82 azalma gözlemlemiştir [2].

Hossein ve ark. seryum oksit nano parçacık katkısını 10, 20 ve 40 ppm oranlarında dizel yakıtı içerisine karıştırarak 1300-1900 dev/dak hız aralığında deneyler yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda özgül yakıt tüketiminde 1500 dev/dak ve 20 ppm oranında en düşük seviye olan 0,27 kg/kWh olmuştur. Egzoz emisyonların da ise en düşük HC emisyonu 40 ppm oranında elde edilmiştir. NO_x emisyonlarında ise katkı oranı arttıkça düşüş meydana gelirken 20 ppm katkı oranından sonra düşüş azalmıştır [5].

Chaichan ve ark. 1500 dev/dak motor hızında %1, %3, %5, %7 ve %10 alüminyum oksit (Al₂O₃) nano parçacık katkı ilavesi oranları ile 0-100 kN/m² arası motor gücünde deneyler yapılmıştır. Özgül yakıt tüketiminde %10 ilave oranında en düşük değeri elde etmişlerdir. Yine %10 nano parçacık katkı oranında, termik verimde %5,51 artış olmuştur. Egzoz emisyonlarında ise 90 kN/m² motor gücünde en düşük HC emisyonu elde edilmiştir. NO_x emisyonunda ise yine %10 nano parçacık katkı oranında, en düşük emisyon oranını gözlemlemiştir [11].

Chen ve ark. yaptıkları çalışmada, alüminyum oksit (Al_2O_3) nano parçacık katkı maddesini 25mg, 50mg, 100mg oranlarında dizel yakıt ile karıştırarak, sabit 1800 dev/dak hızda ve %0, %25, %50 ve %75 motor yüklerinde NO_x emisyonlarında sırasıyla %82,6 - %50,8 - %64,5 ve %79,4 oranlarını gözlemlenmiştir. Bu yükselmenin nedeni olarak ise hızlı yanma işleminin yanma sıcaklığını arttırması ve dolayısıyla NO_x oluşumunu tetiklemesi olarak belirtilmiştir. Fakat HC emisyonlarında ise 25mg alüminyum oksit ve %50 motor yükünde 17,6 ppm 50mg alüminyum oksitte ise 17,8 ppm azalma elde edilmiştir. En düşük HC emisyonu oranını ise 1800 dev/dak ve %75 yükte 100mg silisyum dioksit (SiO_2) kullanarak elde etmişlerdir. Bunun sebebinin SiO_2 karışımının sahip olduğu kısa tutuşma gecikmesi, yanmayı hızlandırarak iyileştirmektedir ve bu HC emisyonlarında azalma meydana getirmektedir [12].

D'silva ve ark. 1500 dev/dak sabit hızdaki ve sıkıştırma oranı 17,5/1 olan motorda dizel yakıtı içerisine TiO_2 nano parçacık yakıt katkısı katılarak 3kg, 6kg, 9kg ve 12kg yüklerde çalıştırmışlar. Yakıtta nano parçacık katkısı karıştırdıklarında parlama noktasında %41,17 ve viskozitede %6,17 artış olduğunu gözlemlenmişlerdir. Termik verimde 12kg yükte %0,9 artış elde edilmiştir. Bunun nedeni silindir içerisinde nano parçacıkların sağlamış olduğu daha homojen bir hava/yakıt karışımı olduğu belirtilmiştir. Özgül yakıt tüketimi sonuçları ise yine 12kg yükte %21,28 azalış elde edilmiştir. Nano parçacıkların sağladığı daha iyi hava/yakıt karışımı yanmayı iyileştirir ve aynı gücü üretmek için motor daha az yakıtı ihtiyaç duyduğundan özgül yakıt tüketiminin azalmasına sebep olduğu belirtilmiştir. NO_x emisyonunda tam yükte %32,2 yükselme gözlemlenmiştir. TiO_2 yanma ısısını yükseltmesi sonucu NO_x emisyonlarının arttığı söylenmiştir. HC emisyonlarında tam yükte %18,36 düşüş elde etmişlerdir. TiO_2 nano parçacıklarının bir oksijen kaynağı gibi davranıp yanma sonucunu iyileştirdiği gözlemlenmiştir. CO emisyonlarında ise yine tam yükte %25 azalma elde etmişlerdir. Yine TiO_2 nano parçacıklarının sağladığı oksijen katkısı sayesinde olabileceğini belirtmişlerdir [13].

Lenin ve ark. hava soğutmalı tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda 100 mg/L CuO ve 100 mg/L MnO nano parçacıklarını katkı olarak kullanmışlardır. Bu

motor 17,5/1 sıkıştırma oranı, 4,4 kW güce ve 1500 dev/dak hıza sahiptir. Yapılan çalışmada tam yükte termik verimde en yüksek oran %4 ile MnO nano parçacık katkısında elde edilmiştir. MnO katkısının tutuşma gecikmesini kısaltarak yanmanın verimini arttırdığı söylenmiştir. CuO katkısında ise termik verim düşmüştür. HC emisyonunda görülen en düşük değer %25 yükte MnO katkısı ile yapılan testtir. Tam yükte ise yine MnO katkısı ile %1 düşüş elde edilmiştir. CO emisyonunda tam yükte MnO katkısından %37 düşüş elde edilmiş. Metal oksit katkılarının katalitik oksidasyon görevi görmesi sonucu düşüş yaşandığı söylenmiştir. NO_x emisyonunda tam yükte MnO katkısında %4 düşüş elde edilmiş. Katılan katkının setan sayısını %1-1,2 oranında değiştirmesi sonucu bu düşüşün elde edildiği söylenmiştir. İkinci sırada ise CuO katkısı gelmektedir [14].

Selvan ve ark. 25ppm seryum oksit nano parçacık katkısını ve %10 biyodizel %20 etanol katkılarını 3,7 kW gücünde 1500 dev/dak hızında 0,1-0,6 MPa fren efektif basıncı aralığında, su soğutmalı bir dizel motorunda kullanmışlardır. Özgül yakıt tüketiminde en düşük miktarı seryum oksit ve dizel karışımında 0,3586 kg/kWh ile 0,44 MPa'da elde etmişlerdir. Nedeni ise seryum oksitin sağladığı daha iyi yanma olduğu söylenmiştir. Termik verimde en yüksek değer %25,66 ile 0,44 MPa'da saf dizel yakıtında elde edilmiş. Aynı basınçta biyodizel ve etanol karışımında ise %23,63 termik verim elde edilmiştir. Seryum oksit karışımı ise bu ikisinin arasında kalmıştır. CO emisyonunda seryum oksit eklenmesi dizele göre azalma sağlamış fakat en düşük oran biyodizel etanol karışımında elde edilmiş. HC emisyonlarında seryum oksitin sağladığı oksijen katkısı ve bunun sonucunda yanmanın daha iyi bir şekilde tamamlanması HC emisyonlarında düşüşe neden olmaktadır. En düşük miktar seryum oksit katkısı ile 0,44 MPa'da 97ppm olarak ölçülmüştür. NO_x emisyonunda en düşük miktar 0,44 MPa'da 250ppm ile dizelde elde edilmiş. Nano parçacık katkı maddesi ilavesi, yanma sıcaklığını arttırdığı için NO_x emisyonlarında bir miktar yükselmeye sebep olduğu söylenmiştir [15].

Sajeevan ve Sajith, 5ppm, 15ppm, 25ppm, 35ppm ve 40ppm CeO₂ nano parçacık katkısını dizel yakıtında ve 4 zamanlı su soğutmalı 1500 dev/dak hızında bir motorda kullanmışlardır. CeO₂ konsantrasyonunun artırıldığında alevlenme noktasında artış

elde etmişlerdir. Kinematik viskozite nano parçacık katkısının eklenmesi ile arttığı gözlemlenmiş ve nedeninin yakıtta eklendiğinde sıvı katmanları arasında direnci arttırması ile viskozitenin de artması olarak açıklanmıştır. Termik verimde yakıtta 35ppm CeO₂ eklenmesi ile %6 oranında arttığı belirtilmiştir. Katkı oranının 35ppm'den daha fazla kullanıldığında verimlilik düşmeye başlamış. HC emisyonlarında CeO₂ konsantrasyonu arttırıldıkça düşüş elde edilmiş. CeO₂'nin sağladığı oksijen desteği sayesinde yanmada iyileşme sağlamış. NO_x emisyonlarında ise en yüksek düşüş oranı %30 olarak elde edilmiştir. 5ppm'den 35ppm'e doğru CeO₂ konsantrasyonu arttıkça düşüş oranı da artmıştır [16].

Aalam deneylerinde tek silindirli, hava soğutmalı, 1500 dev/dak sabit hızdaki standart olarak 300 bar püskürtme basıncı olan bir dizel motorda, 25ppm ve 50ppm miktarlarında CeO₂ nano parçacığını katkısını kullanmış. Termik verimde dizele kıyasla karışımın daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemiştir. 50ppm ve tam yükte %25,9 ile en yüksek termik verim elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketiminde 25ppm ve dizel yakıtının neredeyse aynı olduğunu fakat katkı oranı 50ppm olduğunda özgül yakıt tüketimi %9 düşmüştür. NO_x emisyonlarında katkının eklenmesi artışa neden olmuş. Saf dizelden 850ppm NO_x çıkarken, 50ppm CeO₂'de 948ppm 25ppm'de ise 880ppm NO_x emisyonu gözlemlenmiştir. İş emisyonunda tam yükte ve 50ppm CeO₂ oranında yaklaşık %36 düşüş elde edilmiş. CO emisyonunda ise tam yükte en düşük oranı yine 50ppm CeO₂ ile %26 oranında elde etmiştir [17].

Dinesha ve ark. %20 biyodizel ve %80 dizel karışımına 10nm, 30nm, 80nm boyutunda CeO₂ nano parçacıkları kullanmışlar. Silindir içi basınçta en yüksek değeri 30nm ile elde etmişlerdir. Parçacıkların boyutu arttıkça yüzey-hacim oranının düştüğünü ve bu yüzden ısı transferinin azaldığını gözlemlemiştir. Kümülatif ısı yayılımında en yüksek yayılımı 30nm'de elde etmişlerdir. Özgül yakıt tüketiminde, karıştırılan nano parçacıklar yanmayı iyileştirerek tutuşma gecikmesini azalttığı belirtilmiştir. Böylece özgül yakıt tüketiminde azalma elde etmişlerdir. En iyi oran yine 30nm yaklaşık olarak %75 motor yükünde elde etmişlerdir. HC emisyonlarında 30nm nano parçacıklar karışıma eklendiğinde %35 azalma olmuştur. CO emisyonlarında ise CeO₂ karışıma eklendiğinde katalizör görevi görüp karbon aktivitesindeki sıcaklığı azalttığı

gözlemlenmişlerdir. Bu sayede CO oksidasyonu sıcaklık düştüğünde CO₂'ye dönüşmüştür. NO_x emisyonları CeO₂ eklenmesi ile motor performansında bir azalma olmadan düşüş göstermiştir. Karışıma CeO₂ eklenmesi reaksiyon esnasında hava/yakıt karışımının sıcaklığını azaltmış ve emisyon oluşumunu engellemiştir. En iyi katkı oranı yine 30nm karıştırılması ile elde edilmiştir. 10nm ve 80nm ile kıyaslandığında %7 daha fazla azalma yakalanmıştır [18].

Bafghi ve ark. dizel ve dizel biyodizel karışımlarına CeO₂ ekleyerek yaptıkları deneylerde nano parçacık konsantrasyonunu arttırdıkça alevlenme noktasının arttığını gözlemlenmişlerdir. %5 biyodizel, %95 dizel ve 5ppm CeO₂ karışımında en düşük alevlenme noktasını elde etmişlerdir. En yüksek ise %100 dizel yakıtında elde edilmiştir. Karışımın viskozitesi CeO₂ miktarının artışıyla birlikte azalmış. Motor gücünde en yüksek değer 2400 dev/dak hızlarında %5 biyodizel, %95 dizel ve 25ppm CeO₂ ile elde edilmiştir. Moment değerleri yine %5 biyodizel, %95 dizel ve 25ppm CeO₂ karışımında elde edilmiş en düşük değer ise dizelde görülmüştür. Özgül yakıt tüketiminin ise %20 biyodizel %80 dizel ve 5ppm karışımında gözlemlenmiştir. Saatlik yakıt tüketiminde ise 2000 dev/dak ve 2400 dev/dak arası fazla iken 2400 dev/dak' dan 2600 dev/dak hıza doğru düşüş elde edilmiştir [19].

Patil ve ark. biyodizel ve dizel karışımına CeO₂ nano parçacığı ilave ederek, tek silindri 1500 dev/dak sabit hızda ve su soğutmalı motor kullanmışlardır. %10 pamuk tohumu yağı ve %90 dizel olan karışıma 50ppm CeO₂ eklenmesi alevlenme noktasını yükseltmiş yine aynı şekilde kinematik viskozite de yükselmeye neden olmuştur. Maksimum motor gücü %10 biyodizel %90 dizel ve 50ppm CeO₂ karışımında elde edilmiştir. Nano parçacıklar sağladığı oksijen sayesinde yanmayı iyileştirmiş ve güçte yükselme sağlamış. Termik verimde yine en yüksek değer 50ppm parçacık karışıma eklendiğinde tutuşma gecikmesini azaltmış, ısı değeri ve alev sıcaklığını iyileştirmiş ve yanma daha iyi hale gelmiş böylece en yüksek termik verim elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketiminde sadece biyodizel eklendiğinde yükselme olmuş ancak 50ppm CeO₂ eklenmesi yüzey-hacim oranını geliştirmiş ve böylece özgül yakıt tüketiminde azalma elde edilmiştir. NO_x emisyonlarında karışıma 50ppm CeO₂ eklenmesi ile yüksek oranda düşüş elde edilmiştir. Yanmada iyileşme sağlamış ve bu nedenle silindir

duvarında karbon birikintisini önlemiş, ısı transfer oranını yükseltmiş ve bu NO_x emisyonunda azalma sağlamıştır. CO emisyonlarında karışıma 50ppm nano parçacık eklenmesi oksijen içeriğini arttırmış olduğundan CO emisyonlarını düşürmüştür. Ancak en düşük değer %20 biyodizel, %80 dizel ve 50ppm CeO_2 karışımında elde edilmiştir. HC emisyonlarında ise sadece biyodizel kullanılması HC emisyonunda yükselmeye neden olurken 50ppm CeO_2 eklenmesi ile azalma elde edilmiştir. Karışıma nano parçacık eklenmesi yanma için gerekli olan yüzey alanını arttırmış ve yanma iyileşmiş böylece emisyonda azalma meydana gelmiştir [20].

Bu çalışmada; her geçen gün artan taşıt sayısına bağlı egzoz emisyonlarının ve yakıt tüketiminin azaltılması için dizel yakıt özelliklerini iyileştirmek amacıyla CeO_2 nano parçacık katkı maddesi dizel yakıt içerisine ilave edilmiştir. Nano parçacığın fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde motorda herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmadan motor parametrelerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 3

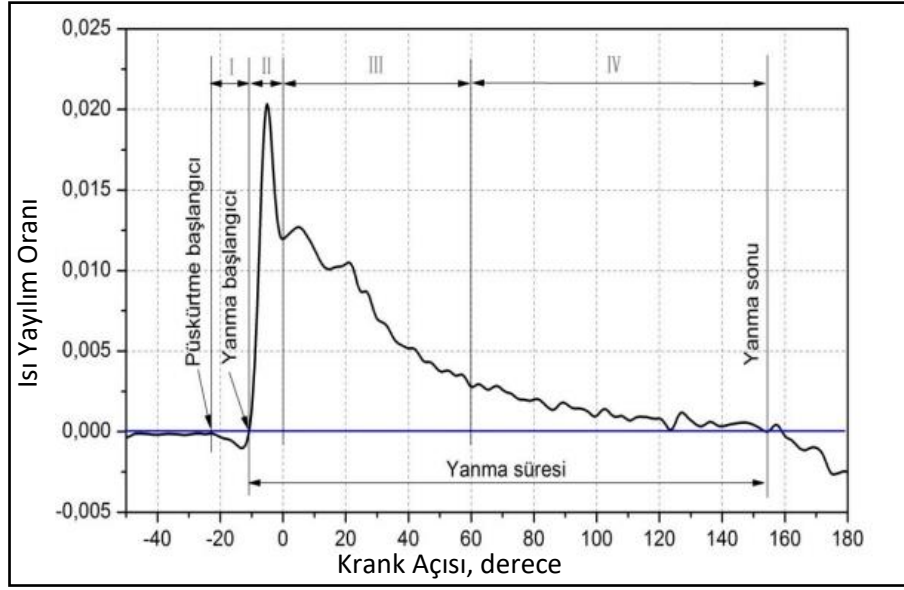
DİZEL MOTORLARDA YANMA İŞLEMİ ve EMİSYONLAR

3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA İŞLEMİ

Dizel motorlardaki yanma işlemi, silindir içine alınan havanın üzerine sıkıştırma işleminin bitimine yakın yakıtın püskürtülmesi ile başlar. Yakıt damlacıklar halinde atomize olur ve buharlaşarak silindir içindeki sıcak hava ile karışır. Sıkıştırma işleminin bitiminde sıcaklık yakıtın tutuşma sıcaklığına ulaşarak önceden karışmış olan yakıt ve havanın bir miktarının tutuşmasına neden olur. Ardından yanmaya katılmayan hava/yakıt karışımı da kontrollü bir şekilde yanmaya katılarak yanma sona erer. Yanan yakıt, ısı enerjisi üretir ve bu enerji kinetik enerji olarak kullanılır geriye kalan yanmış ürünler ise egzoz supabından dışarı atılır [21,22]. Dizel motorlarda yanma işleminin eğrisi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Dizel motorda yanma dört evrede gerçekleşmektedir:

- Tutuşma Gecikmesi
- Kontrolsüz Yanma
- Kontrollü Yanma
- Art Yanma



Şekil 3.1. Dizel motorlar için ısı yayılım eğrisi [23].

3.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Silindir içine yakıtın püskürtülmeye başlandığı an ile yanmanın başladığı an arasındaki geçen süredir. Silindir içerisindeki sıkıştırılmış havaya püskürtülen yakıtın buharlaşma safhası (fiziksel tutuşma gecikmesi) ve ardından tutuşmaya başlama anına kadar (kimyasal tutuşma gecikmesi) olan ön iki reaksiyon adımı vardır [23,24].

Yakıt damlacıklarının buharlaşması belli bir süre almaktadır. Püskürtmenin hemen ardından damlacıkların etrafında bir buhar tabakası oluşmakta ve bu tabaka içinde yanma başlamaktadır. Silindir içindeki havanın oksijen konsantrasyonu buhar fazındaki yakıtın reaksiyon hızını etkilemektedir. Dolayısıyla buharlaşma hızı reaksiyon hızı ile doğru orantılıdır [24].

Tutuşma gecikmesi safhasını etkileyen en önemli faktörler sıcaklık, basınç ve yakıt özellikleridir. Basıncın yükselmesi ve sıcaklığın artması tutuşma gecikmesini kısaltmaktadır. Setan sayısı tutuşma gecikmesini etkileyen önemli yakıt özelliklerindedir. Yakıtın yanma kabiliyeti olarak adlandırılan setan sayısının düşük olması tutuşma gecikmesini uzatacaktır. Tutuşma gecikmesi süresinin uzaması, püskürtme esnasında fazla yakıtın birikmesine sebep olur ve tutuşma olduğunda hızlı yanma ve ani basınç yükselmesine yol açar. Bu da “dizel vuruntusu” denilen

istenmeyen duruma yol açmaktadır [21]. Motorun daha yumuşak çalışması için tutuşma gecikmesi süresi kısaltılmalıdır [24].

Setan sayısının yüksek olması ise tutuşma gecikmesi süresini kısaltmakta ve yanma yakıtın çoğunluğunun daha püskürtülmeden başlamasını sağlamaktadır. Isının yayılımı ve basıncın yükselmesi daha kontrollü gerçekleşmektedir. Bu da motorun daha düzgün çalışmasına olanak sağlamaktadır [21].

3.1.2. Kontrolsüz Yanma

Hava ile karışmış ve yanmanın eşiğinde olan yakıt zerreleri bu evrede oksijenle temas etmekte ve ardı ardına yanmaya başlamaktadır. Bu, basınçta ani yükselmeye neden olur. Basınç yükselmesi motor içerisindeki hareketli parçalara ani yük uygular ve birbirlerine çarpmasına neden olmaktadır. Bu istenmeyen bir durum olan dizel vuruntusudur. Silindir içerisinde ki basıncın ani yükselmesinde yakıtın atomizasyon kalitesi, tutuşma gecikmesi süresinde püskürtülen yakıt miktarı ve bu sürede hava/yakıt karışımının kalitesi gibi parametreler etkilemektedir [24].

Bu etapta normal çalışma koşulları altında, ani basınç artışı 3-5 barı geçmemesi gerekmektedir. Aksi takdirde motor içindeki hareketli parçalara etki eden kuvvet artar ve hasara sebep olabilir. Sınırın altında kaldığı zaman ise yanma zamanı gecikir ve maksimum basınca ulaşamaz, yakıt tüketimi arttırır [23].

3.1.3. Kontrollü Yanma

Kontrolsüz yanma sonunda, ısı yayılım oranı artık yanmaya müsait hava/yakıt karışımı tarafından kontrol edilir. Bu safhada sıvı yakıt atomizasyonu, hava ve buharlaşmış yakıt karışımı, buharlaşma gibi işlemler bulunmaktadır. Bunlardan hava ve buharlaşmış yakıt karışımı bu eğriye en yüksek etki eden safhadır [21].

Kontrolsüz yanma sonunda basınç ve sıcaklık yüksek olduğundan bu fazı takiben kontrollü püskürtülen yakıt oksijen ile buluştuğu anda yanar [24]. Yanmanın ÜÖN' ya yakın konumda, sıcaklığın en yüksek olduğu yerde tamamlanması istenmektedir.

Kontrollü yanma aşamasında karışımın oluşma hızı yakıtın yanma hızını kontrol etmektedir. Bu karışma ve buharlaşma hızı yeterli olmaz ise genişlemenin ileri aşamalarında tamamlanmaktadır. Genişlemenin bitiminde sıcaklık azalacağından yakıtın hepsinin yanma olasılığı düşmektedir. Bunun sonunda yanmamış yakıt partikülleri oluşmaktadır [25]. Bu yanmamış yakıtlara hidrokarbonlar denir. Genişleme aşamasının bitimine doğru egzoz siteminde ağır moleküller olan hidrokarbon ve sülfat moleküllerini toplayacaktır. Bu maddelere partikül madde denilmiştir [26].

3.1.4. Art Yanma

Kontrollü yanmadan egzoz supabının açılma anına kadar olan aşamada oluşan reaksiyonlara art yanma denmektedir. Bu safhada yanma tamamlanmakta ve silindirin hacmi artmaktadır. Bu durum sıcaklık ve basınç azalmasına sebep olur. Eğer yakıt püskürtmesi bitmiş ise ürün konsantrasyonu en yüksek değere ulaşır. Verim açısından art yanma kısa sürede bitmesi istenen bir aşamadır [24]. Art yanma safhasında ısı yayılımı sifıra düştüğü noktaya yanma sonu denilmektedir. Egzoz zamanı gelmeden yanmanın tamamlanması gerekir [23].

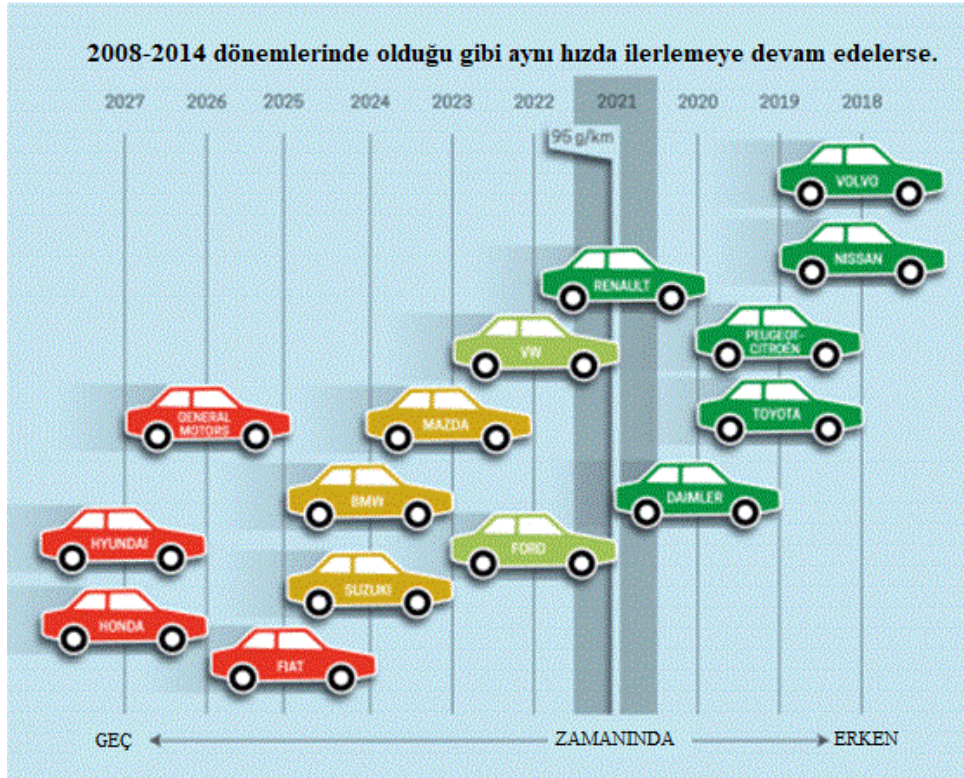
3.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLAR

Kentsel hava kirliliğinin ana sebeplerinden biri içten yanmalı motorlardır [21]. Özellikler hidrokarbon kökenli sıvı yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımı PM, HC, SO_x, NO_x, CO, CO₂ gibi zararlı emisyonların salınımına neden olmaktadır [27].

Petrol bazlı yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımı sonrası çıkan kirletici emisyonların azaltılması için çalışmalar 1970'li yıllarda başlamış ve halen devam etmektedir. Dizel yakıtı sıkı bir CO standartlarına sahip iken NO_x emisyonu miktarı için daha yüksek değerlere izin verilmektedir. Dizel yakıtında setan sayısı en az 51 olması, 2005 yılında maksimum 50ppm kükürt içirme şartı standartlara eklenmiştir. Daha sonra 2009 yılından itibaren kükürt içermeyen yakıtlar (<10ppm S) zorunlu hale getirilmiştir. ABD ve Avrupa Birliği, otomotiv üreticilerini emisyonları azaltıcı önlemler alması için zorlamakta ve gelecekteki emisyon standartlarına uyan araçları

erken tanıtımı için vergi teşvikleri getirmektedir [28,29]. Çizelge 1.1’de sıkıştırma ateşlemeli motorlu binek otomobiller için (M1 Kategori) Euro 4, Euro 5 ve Euro 6 AB emisyon standartları verilmiştir.

Avrupa, CO₂ emisyonu 2015’te 130g/km hedefine ulaştıktan sonra 2021’de CO₂ emisyonunu 95g/km’ ye düşürmüşlerdir. Bu hedefe Nissan, Volvo, Toyota gibi markalar önceden ulaşmıştır. Bu hedefe ulaşıldıktan sonra 2025 yılı itibari ile 60-70 g/km civarında olacağı tahmin ediliyor. Bununla birlikte Euro 7 standartlarının daha sıkı şartlarla gelmesi beklenmektedir [30]. Şekil 3.2.’ de markaların CO₂ emisyonu düşürme hedefleri görülmektedir.



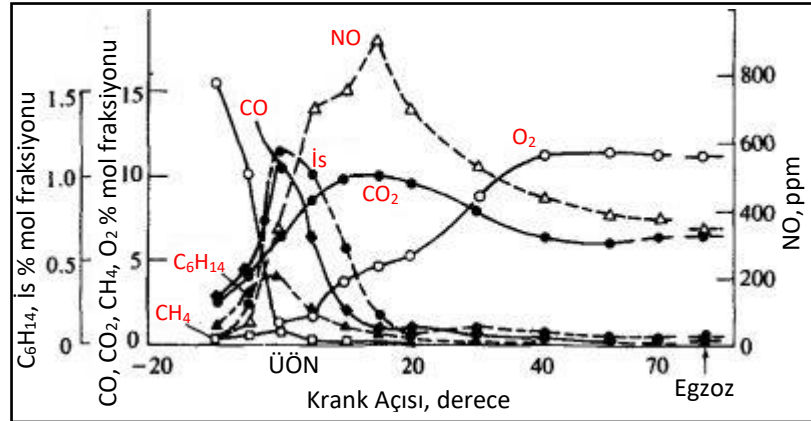
Şekil 3.2. Markaların CO₂ emisyon ilerlemeleri [30].

Günümüzde taşıt emisyonlarına karşı çok sıkı önlemler alınmaktadır. Bunlardan en bilineni “Paris İklim Anlaşması”. Bu anlaşmanın temel yaklaşımı CO₂ emisyonunu olabildiğince azaltmak ve ileriki yıllarda bu tür sera gazlarının doğal yollarla temizlenebileceği bir noktaya indirgemektir. Hafif ticari araçlar ve binek otomobiller için daha fazla CO₂ emisyonu düşüşü 2030 yılı ve sonrası için zorunlu olacaktır.

Avrupa 2050 yılına kadar net sıfır sera gazı emisyonunu hedeflemektedir. Bunun yanında küresel sıcaklık artışı sanayi öncesi döneme kıyasla 2 °C hatta mümkün ise 1,5 °C düşürmek, her beş yılda karbon emisyonu salınımını değerlendirmek ve yeni hedefler belirlemek gibi maddeler içermektedir [31]. Türkiye'nin 22/04/2016 yılında imzaladığı bu anlaşma 07/10/2021 tarihinde resmî gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir [32]. Şekil 3.3' de yanma işlemi sırasında dizel yakıtında oluşan ana emisyonlar gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. AB binek otomobilleri için emisyon standartları (M1) [29].

Sıkıştırma Ateşlemeli (Dizel)						
Standart	Tarih	CO	HC	NO _x	PM	HC+NO _x
		g/km				
Euro 4	01-2005	0,50	-	0,25	0,025	0,30
Euro 5	09-2011	0,50	-	0,18	0,005	0,23
Euro 6	09-2014	0,50	-	0,08	0,005	0,17



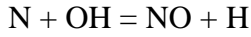
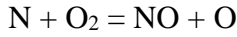
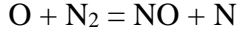
Şekil 3.3. Dizel emisyon konsantrasyonları [21].

3.2.1. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

Azot oksit emisyonları çoğunluğu azot dioksit (NO₂) ve azot monoksit (NO) olarak tanımlanırken genel adı NO_x emisyonlarıdır. Çıkan toplam azot oksit emisyonlarının %10'dan %30'a kadar NO₂ oluşturmaktadır. NO emisyon formunun maksimum

seviyesine basıncın en yüksek olduğu andan hemen sonra ulaşılmaktadır. Emisyonu etkileyen faktörler arasında en büyük etki silindir içinde oluşan sıcaklıktır. Bunun yanında oksijen konsantrasyonu, püskürtme zamanı, yakıtın özellikleri gibi parametreler de etkilemektedir [21].

Azot monoksitin (NO) asıl ana kaynağı atmosferden gelen nitrojen molekülleridir. Fakat yakıt içerisinde de azot bulunabilir. Dizel yakıtı nitrojen içermektedir fakat şu anki seviyeleri çok düşüktür. Stokiyometrik yanmaya yakın bir yanma olduğu varsayılarak hava/yakıt karışımının azot oksit reaksiyonları Zeldovich mekanizması ile açıklanmaktadır:



Silindire alınan hava/yakıt karışımının yanması oksijen molekülünü (O_2) ve nitrojen molekülünü (N_2) ayrıştırır, O ve N atomlarını oluşturur. Yanma sonucu bu atomlar birleşerek emisyonu oluşturmaktadır [21].

Genel olarak yanma odasında sıcaklık $1800\text{ }^\circ\text{C}$ 'e vardığında, oksijen (O_2) ve nitrojen (N_2) molekülleri ayrışıp O ve N atomlarını oluşturduktan sonra sıcaklığa bağlı olarak NO emisyonunu oluşturmaktadır. Alevlenme sıcaklığı ile doğru orantılı olarak bu emisyonun arttığı belirtilmiştir. NO moleküllerinin fazla oksitlenmesi ise NO_2 emisyonlarının oluşmasına sebep olmaktadır [28].

NO_x emisyonlarının oluşumu çoğunlukla ani yanma safhası ile doğru orantılıdır. Püskürtme avansının artırılması (zamanının öne alınması) ise tutuşma gecikmesini arttırmaktadır. Yakıtın erken püskürtüldüğü durumda sıcaklık ve sıkıştırma basıncı düşük seviyededir. Artan tutuşma gecikmesi, silindire püskürtülen yakıtın hava ile karışması için daha fazla zaman sunar. Fakat bu uzama ani yanma safhasında yakıtın büyük kısmının bir anda yanmasına ve basıncın daha fazla olmasına sebep olur, bu nedenle NO_x emisyonlarında artış meydana gelmektedir [21,28].

NO_x emisyonlarını etkileyen etkenlerden biri de yakıtın setan sayısıdır. Setan sayısının artması püskürtülen yakıtın buharlaşma safhasını ve tutuşmasını kolaylaştırmaktadır. Tutuşma gecikmesi daha kısa olacağından ani yanma safhası da kısa olur ve dolayısıyla oluşan NO_x emisyonu miktarı daha azdır. Setan sayısı düşük olan yakıtlar ise tutuşma gecikmesini uzatmaktadır. Artan tutuşma gecikmesi yakıt birikmesine sebep olur. Ani yanma safhasında geldiğinde yakıt fazla biriktiği için yanma sonunda sıcaklık artmaktadır. Artan sıcaklık NO_x emisyonunun oluşmasına sebep olmaktadır [33].

3.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Hidrokarbon emisyonları, hidrokarbon bazlı yakıtların tam yanmaması sonucu ortaya çıkan emisyonlardır [16]. Bu emisyonun en önemli sebeplerinden biri oksijen veya sıcaklığın yetersizliğidir. Silindir içerisinde yanma odasını saran boşlukların sıkıştırma zamanında hava/yakıt karışımları ile dolması, yağ tabakalarının içine yakıtın çekilmesi, silindirde yakıtın sıvı halde kalması HC emisyonunu etkileyen etkenlerdir [23,28].

Emisyonun en yüksek oranı motorun soğuk çalıştığı ilk hareketi sırasında oluşmaktadır. Dizel motorlarda yanma fakir karışımda olduğundan dolayı HC emisyonu benzin motoruna göre daha azdır. Emisyonu etkileyen başka faktör ise motor yüküdür. Motorun düşük yükte veya rölantide çalışması, tam yükte çalışmasına göre daha fazla HC emisyonu üretir. Nedeni ise, yükün artışı püskürtülen yakıtın miktarı artar ve reaksiyonlar hızlanır, sıcaklık artar sonuç olarak HC emisyonu azalır [28].

Turbo sistemine sahip motorlarda silindir içerisine alınan havanın miktarının artması ile püskürtülen yakıt miktarının artması motor gücünü de arttırmaktadır. Bu sistemlerde emme manifoldunda havanın emiliş hızı doğal emişli sisteme göre daha fazladır. Artan bu hız karışımın hızını artırır. Karışımın hızlanması oksidasyon ve reaksiyon hızını da arttırarak yanma sıcaklığı arttırarak HC emisyonlarının azaltmaktadır [33].

Püskürtme basıncı da emisyonu etkileyen bir diğer faktördür. Püskürtme basıncının yükselmesi yakıtın atomizasyonunu iyileştirir. Bu durumda karışım oluşumu daha iyi olur ve reaksiyon hızı artar, HC emisyonu oluşumu azalır. Fakat basıncın gerektiğinden daha fazla olması, alev sönme bölgelerini aşırı derecede genişletir ve bu HC emisyonu oluşmasını tetikleyen etkenlerdendir. Yakıtın püskürtme zamanını geciktirmek veya erken püskürtülmesi emisyonu arttırır. Bu durum tutuşma gecikmesini arttırır ve bununla birlikte daha fazla yakıt buharlaşır. Yanma odasının soğuk kenarlarında yaşanan ısı kayıpları, buraya gelen alevlerin aniden sönmesine neden olmaktadır. Bu da HC emisyonunun artmasına sebep olmaktadır [33,34].

3.2.3. Karbon monoksit (CO) Emisyonları

İçten yanmalı motorlarda CO emisyonları hava/yakıt oranına bağlıdır [16]. Bu oran küçük değerlerde iken CO emisyonu yüksek seviyelerde olmaktadır. Emisyonun ana nedeni yanma sırasında yakıtların eksik yanmasından kaynaklıdır. Yanma odasında yetersiz oksijenin ve sıcaklığın düşük olması CO emisyonu miktarını arttırır. Karışımın zengin olması CO emisyonunu etkilemekte ve silindire giren yakıt miktarı artarken emisyon miktarı da artmaktadır. Dizel motorlarda silindire alınan hava fazla olduğundan CO emisyonu düşüktür [35].

Emisyonu etkileyen başka bir faktör ise motor yüküdür. Motordaki yük yükseldikçe sıcaklık artmaktadır. Sıcaklığın artması CO emisyonunun dönüşümü için gerekli reaksiyonları hızlandırmaktadır ve emisyonda azalma meydana getirmektedir. Yüke bağlı hava fazlalık katsayısının yükselmesi durumunda sıcaklık artacaktır, ancak oksijen moleküllerinin konsantrasyonu azalacağından reaksiyon için gerekli zaman kısıtlı kalmaktadır. Bu CO emisyonunun artmasına sebep olmaktadır [28].

3.2.4. İs ve Partikül Madde Emisyonları

Yanmamış karbon molekülleri olan is emisyonları, içten yanmalı motorlar tarafından oluşturulan katı taneciklerdir. Silindire alınan yakıt damlacıklarının içerisinde bulunmakta olan H₂ molekülleri daha aktif olduğundan, içeride kalan C atomları

yeterince O₂ bulamamakta ve yanmadan is partikülü olarak egzozdan atılmaktadır [28].

Partikül maddelerin çoğunluğu yanmamış yakıt olmakla beraber, yağlama yağı ve bazı organik bileşenlerin de yanmaya katılması sonucu da oluşmaktadır. Bu maddeler solunabilir boyutta olmaktadır. Maddelerin çözünebilir kısmı olmakla beraber çözünemez kısmı, kuru kısım olarak bilinir. Bu kuru kısım emisyon ölçümlerinde kullanılmaktadır. İs emisyonu eksik yanmanın bir parçasıdır ve aşırı zengin hava/yakıt oranının sonucunda oluşmaktadır [21]. Soğuk hava koşullarında egzozdan beyaz is gelebilir. Yakıtın buharlaşmaya çalışırken hava ile tam karışmaması durumunun göstergesidir. Silindir içi sıcaklık yeteri kadar olmadığına yakıtın püskürtülmesinin ardından buharlaşma süresi zorlaşmaktadır. Bu durum beyaz is oluşumunu tetikler, bu is genellikle yanmamış hidrokarbonları içermektedir ve motorun ısınması ile azalma gösterir [33].

3.2.5. Kükürt (SO_x) Emisyonları

Petrol içerisinde kükürt bulunduğundan dolayı petrolden elde edilen dizel yakıtı da kükürt içermektedir. Yanma esnasında oksijen ile reaksiyona girmekte ve kükürt dioksit (SO₂) oluşmaktadır. Bazen yakıt içerisindeki kükürt sülfürik aside dönüşebilir ve parçaları aşındırabilir [36]. SO_x emisyonları yakıt içindeki kükürt elementinden kaynaklıdır. Oksijen ile buluştuğunda reaksiyon sonucu kükürt dioksit oluşmakta. Bu emisyon su ile reaksiyona girdiğinde sülfürik asit meydana gelmektedir. Bu asit motorda korozyon ve parçaların aşınmasına sebep olmaktadır. Doğada ise asit yağmurlarına sebebiyet vermektedir [21].

Dizel yakıtının yanma sonu ürünlerinden diğerleri de is ve küldür. Genelde supaplarda ve segmanlarda birikir. İs miktarını azaltma için setan sayısı belli değerin altında tutulmalıdır. Ancak 40'ın altına inildiğinde yanma kötüleşmekte, is ve kül miktarında artış olmaktadır [29,33].

BÖLÜM 4

DİZEL YAKITININ ÖZELLİKLERİ

Yakıt özellikleri yakıtın enerji içeriğini, kalitesini, akmaya karşı direncini, yanmaya karşı direncini, enjeksiyon kalitesini ve birçok özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir [26]. Özelliklerdeki artış veya azalış yanmayı etkilemekte ve dolayısıyla motor performansına etki etmektedir. Dizel yakıtının yüksek performans ve yakıt ekonomisi diğer yakıtlara görece daha iyidir [13,14].

Çizelge 2.1. Dizel yakıtının dünya standartlarında özellikleri [23].

Yakıtın Özellikleri	ASTM	EN590	Limit
Yoğunluk (kg/m ³)	D4052	838	820-845
Setan Sayısı	D975	52,1	>51
Kinematik Viskozite (mm ² /s)	D445	2,0-3,5	2,4
Bulutlanma Noktası (°C)		-6	<-5
Parlama Noktası (°C)	D93	64	>55
Su İçeriği (mg/kg)	D1744	100	<200
Kükürt İçeriği (mg/kg)	D2622	200	<350
Kül (Kütlece %)	D482	0,005	<0,01

Çizelge 2.2. Dizel yakıtının Türkiye standartlarında özellikleri [37].

Yakıtın Özellikleri	En az	En çok	Deney Yöntemi
Setan Sayısı	51,0	-	EN ISO 5165
Yoğunluk (kg/m ³ – 15 °C)	820	845	EN ISO 3975
Viskozite (mm ² /s – 40 °C)	2,00	4,50	EN ISO 3104
Kükürt (mg/kg)	-	50,0	EN ISO 20884
Parlama Noktası (°C)	55	-	EN 22719
Kül (% m/m)	-	0,01	EN ISO 6245
Su (mg/kg)	-	200	EN ISO 12937
Bakır Şerit Korozyonu (3h, 50 °C)		1	EN ISO 2160

4.1. SETAN SAYISI

Dizel yakıtının tutuşma kalitesi setan sayısı ile belirlenmektedir. Bu sayının düşük olması tutuşma gecikmesini uzatmakta, daha yanma başlamadan yakıtın çoğunluğunun püskürtülmesine neden olmaktadır. Yakıtın setan sayısı iki saf hidrokarbon yakıt ile karıştırılarak çıkarılır. Bunlardan bir tanesi hidrokarbon olan 100 setan sayısı ile n-hexadecane (C₁₆H₃₄) diğeri ise en düşük setan sayısı ile bir izosetan olan heptamethylnonane (HMN) [21].

Setan sayısı, dizel yakıtının sıkıştırılmış hava içine püskürtülmesi ile kendi kendine tutuşma özelliğini belirlemektedir. Setan sayısının yüksek olması, yanma odasında biriken yakıtın yüksek bir basınç ile aniden yanmasını engellemekte ve tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresinin kısılması ile hava ve yakıtın silindir içinde karışması için gereken zamanı kısaltmaktadır. Motor yükünün düşük olduğu anlarda setan sayısı düşük yakıt ile tutuşma gecikmesi çok daha fazla uzamaktadır. Bu hava/yakıt karışımının fakirleşmesine neden olur ve yanma tamamlanamaz. Bu ise HC emisyonuna sebep olmaktadır. Tutuşma gecikmesi zamanının azalması, kontrolsüz yanma safhasında ortaya çıkan yüksek ısı ve basınç artış oranını azaltır, yanma sonu sıcaklıklarını düşürür. Bu durum yüksek sıcaklık sonucu ortaya çıkan NO_x emisyonunun oluşumunda önemli bir yer tutmaktadır [33].

Dizel yakıtının setan sayısını yükseltmek için katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkılar doğrudan çözünerek yanmayı iyileştirmektedir. Akil nitratlar, bazı peroksitler ve eter nitratlar kullanılan bazı katkı maddeleridir. Bu maddeler arasından akil nitratlardan biri olan etilheksil nitrat, düşük maliyeti ve kolay elde edilmesi nedeni ile en çok kullanılan katkı maddelerindendir [26]. Nano parçacıklı yakıt katkılarının dizel yakıtı ile karıştırılması genel olarak setan sayısını yükseltmektedir [5,6,8].

Setan sayısını azaltmak için ise genelde aromatikler ve sikloalkanlar kullanılmaktadır. Ticari dizellerin setan sayısı 40 ile 55 arasındadır. Yakıtın setan sayısı ham petrole ve onun işleyişine bağlı olmaktadır [21].

4.2. VİSKOZİTE

Bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüne viskozite denir. Dinamik ve kinematik olarak ikiye ayrılmaktadır. Dinamik viskozite; aralarında 1 metre olan iki düzlemin arasında 1 m^2 alanındaki sıvının 1 m/s^2 hız ile kayması için gerekli Newton kuvvetidir. Kinematik viskozite ise dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Birimi santistok (cSt) ve $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$ ye eşittir. Viskozitenin yüksek olması enjeksiyonu ve pompalamayı zorlaştırmaktadır. Bu püskürtme sonrasında damlacıkların çapının büyümesine yol açmakta ve tutuşma gecikmesini arttırmaktadır. Soğuk havalarda yakıtın püskürtülmesi daha da zorlaşacağından yanma verimini düşürmektedir. Dolayısıyla hidrokarbon ve is emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Viskozite belirli bir değerin altına düşmemelidir. Çok düşük viskoziteye sahip bir yakıt, yakıt sisteminde sızıntıya sebep olabilir [29].

Çalışmalarda nano parçacıkların dizel yakıtına karıştırılması viskoziteyi düşürmüştür ve atomizasyonda iyileşme sağlamıştır [6,13,14]. Bazı çalışmalarda ise viskoziteyi arttırdığı görülmüştür [2,5].

4.3. YOĞUNLUK

Maddenin birim hacimdeki kütle miktarına yoğunluk denir. Yakıtlarda yoğunluk ise yakıtın içerdiği hidrojen-karbon miktarı, yapısı hakkında bilgi vermektedir. Dizel yakıt sistemlerinde yakıtın yoğunluğu motora gönderilen yakıtın kütlesini etkilemektedir. Çünkü dizel motorlarda enjeksiyon sistemleri hacimsel olarak çalışmakta ve yakıtın hacim miktarına bağlı olarak püskürtmektedirler [33].

Yoğunluğun artışı pompalanan yakıtın kütle miktarının düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle dizel yakıtlarının yoğunlukları genellikle 815-934 kg/m³ aralığında sınırlanır [38]. Yakıtın yoğunluğu arttıkça kaynama noktası da artmaktadır. Yüksek yoğunluktaki yakıtlar hacimsel olarak daha fazla enerjiye sahiptirler [26]. Nano parçacıkların çeşidine ve boyutuna bağlı olmakla beraber, dizel yakıtına karıştırılması genel olarak yoğunlukta küçük artışa neden olduğu görülse de yoğunluğun düştüğü çalışmalar da bulunmaktadır [12,13,20].

4.4. PARLAMA NOKTASI

Bir kabın içerisinde ısıtılan yakıtın üstüne alev yaklaştırılarak geçici olarak tutuşma vaziyetindeki yakıt buharının olduğu en düşük sıcaklık yakıtın parlama noktası olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile, sıvı haldeki yakıtın üs tarafında yanabilir bir karışımın meydana geldiği en düşük sıcaklıktır [38]. Eğer sıcaklık parlama noktasının üstünde veya tam o derecede ise yakıt buharı ateşlenmeye başlar. Bu ateşlenme noktası bazı durumlarda, oluşacak olan alevin korunması için yeterli buhar üretilen yakıt sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır [26].

Dizel yakıtının nano parçacıklı yakıt katkısı ile karıştırılması parlama noktasında düşüşe neden olmaktadır [6]. Bazı çalışmalarda çok küçük de olsa artışa neden olduğu görülmektedir [2,8].

4.5. KENDİLİĞİNDEN TUTUŞMA

Motorlarda kullanılan yakıtların önemli özelliklerinden biridir. Yakıtların kendi kendine tutuşmak için gerekli sıcaklığın derecesini belirler. Alevlerin sönmeden sürdürülebilmesi için tutuşma sıcaklığı ve bunun üzerinde bir sıcaklık gereklidir [29].

Yakıtların bulunduğu ortam kendiliğinden tutuşma açısından önemlidir. Buharlaşma yeteneği yüksek olan yakıt düşük sıcaklıklı ortamlarda kolayca alevlenirken, dizel yakıtlar gibi buharlaşma sıcaklıkları fazla olan yakıtlar daha güvenilirdir [33].

4.6. BULUTLANMA NOKTASI

Önceden belirli ve standartlaştırılmış koşullar içinde, yakıtın soğutulup parafin kristallerinden bir sisin oluşmaya başladığı andaki sıcaklığına bulutlanma noktası denir. Eğer sıcaklık belirlenmiş değerden fazla ise yakıt kullanılmak için güvenlidir. Ancak değer in altında ise yakıt filtresini tıkamaktadır [29].

4.7. AKMA NOKTASI

Başka bir adıyla jelleşme noktası, sıvı yakıtların akıcılığını kaybetmeye başladığı sıcaklığa akma noktası denmektedir. Akıcılığını kaybeden yakıt motorun çalışma şartlarını kötü etkilemektedir. Bilhassa soğuk iklim şartlarında dizel yakıtının akıcılığı önemli bir husustur [29].

4.8. BAKIR ŞERİT KOROZYON TESİRİ

Yakıtların ve yandıktan sonra çıkan ürünlerin korozyona sebebiyet vermemesi önemlidir. Dizel yakıtlarının içerdiği kükürt miktarı partikül oluşumunu ve korozyon etkisini arttırmaktadır. Özellikler sıcaklığın düşük olduğu çalışma durumlarında parçalarda çok fazla korozyon oluşmaktadır [29].

4.9. ANİLİN NOKTASI

Yakıt ile anilinin hacimsel olarak eşit oranda karışıp homojenleştiği sıcaklık değeri anilin noktasıdır. Anilin, parafinik HC'leri sadece ısıtıldığında eritebilen ancak aromatik HC'leri doğrudan eritebilen bir eriticidir. Motorin ile anilin eşit hacimde karıştırılır ardından ısıtılır ve daha sonra soğumaya bırakılır. Soğuduktan sonra iki ayrı tabaka halinde ayrışmaya başlar, bu esnadaki sıcaklığa o yakıtın anilin noktası denmektedir [38]. Yüksek anilin noktası düşük aromatik içerik demektir. Yani setan sayısının yüksek olacağının bir göstergesidir [26].

4.10. ÖZGÜL AĞIRLIK ve A.P.I. GRAVİTESİ

A.P.I. (The American Petroleum Institute) gravite derecesi petrol endüstrisinde özgül ağırlık yerine kullanılmaktadır. Petrolde A.P.I. gravitesi ile özgül ağırlık arasında ters orantı vardır. A.P.I. gravitesinin artması yoğunluğu düşürmektedir ve bu petrolün kalitesini arttırmaktadır. Denklem 4.1. ile hesaplanmaktadır [26].

$$API = [141,5 / (\text{Yoğunluk}/60 \text{ F})] - 131,5 \quad (4.1)$$

Eşitlikte sıcaklığı 60 F değerinde olan yoğunluk olmalı ve birimi g/cm^3 alınmalıdır.

4.11. DİZEL İNDEKSİ

Setan numarasının belirlenme yöntemi zor ve pahalı olduğundan yakıt özellikleri dizel indeksi ile belirlenmektedir. Yakıtın dizel indeksi büyüdükçe, yakıt parafinik yapıda olmakta ve tutuşmaya daha yatkın olmakta [25]. Dizel indeksi, yakıtın yoğunluk, anilin noktası, aromatik miktarı ve A.P.I gravitesi ile ilgili bilgilerini içermektedir. Dizel indeksi bir tutuşma indeksi olup setan numarası ile dolaylı yoldan ilişkilidir. Dizel indeksi denklem 4.2. ile ifade edilir [26];

$$DI = \text{Anilin Noktası} * A.P.I. / 100 \quad (4.2)$$

4.12. ISIL DEĞER

Yakıtın birim hacminden veya kütlesinden elde edilen enerjiye ısı değeri adı verilmektedir. Yakıtın enerji içeriği miktarını temsil ettiği için ısı değeri büyük olması istenmektedir. Yanma sonucunda egzoz gazı sıcaklıklarında su buharı bulunmakta olduğundan alt ısı değeri kullanılmaktadır [39].

Yakıtın karbon zincirinin uzunluğu fazlaştıkça ısı değeri artmaktadır. Hidrojen ve karbon atomlarının sayısı oksijen moleküllerine göre fazla olması ısı değeri artırır [40]. Nano parçacıkların dizel yakıtına katılması ısı değerinde artış sağladığı görülmektedir [2,13,20].

BÖLÜM 5

DİZEL YAKIT KATKI MADDELERİ

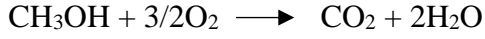
Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarından petrol bazlı hidrokarbonlu yakıtlar CO, CO₂, HC, NO_x, PM ve is gibi zararlı emisyonlar içerdiği için yeniliklere arayış hiç bitmemiştir. Motorlara yapılacak yenilikten ziyade yakıtlara yapılan modifikasyonlar daha kolay ve ekonomik açıdan daha uygun olmaktadır [5]. Dizel yakıtına katkı eklemenin asıl amacı performansı geliştirmek ve zararlı emisyonların seviyesini azaltmaktır. Katkılarda aranan özellikler şu şekilde sıralanabilir [41];

- Yakıtın özelliklerini geliştirme ve performansı iyileştirme,
- Yanma sonrası oluşan zararlı emisyonları azaltılması,
- Yanmanın iyileştirilmesi,
- Ekonomik ve elde edilebilir olması,
- Alevlenme noktasını iyileştirmesi vb.

Alkol bazlı katkıların oksijen içeriği fazla olmaktadır. Bu katkılar dizel yakıtı ile karıştırıldığında yoğunluk, viskozite, parlama noktası, setan sayısı gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri değiştirmektedir. Bunların önlemek için ise ayrıca setan sayısı geliştirici olarak bilinen üçüncül bir katkı katmak gerekmektedir. Bunlardan en çok bilineni nitro ethane, nitro methane, methyl ester ve octyl nitrate. Bu katkılar setan sayısının düşmesini önlemekte ve ayrıca yoğunluk, viskozite gibi özellikleri de geliştirmektedir. Fakat oksijen içerikli katkı ile üçüncül bir katkıyı karıştırmak fren gücünce düşüşe neden olmaktadır [40]. Alkollerin buharlaşma gizli ısıları yüksek olduğu için daha fazla sıkıştırma gerektirmektedir. Ayrıca silindire alınan karışımın sıcaklığı düşürülürse karışımın yoğunluğu ve volümetrik verim artmaktadır [42].

5.1. METANOL

1892 yılından önce adı metil alkol olan ve günümüzde metanol olarak kullanılan bu alkol berrak, su ile her oranda karışabilen sıvı ve organik bir bileşiktir. İçeriği %49,94 oksijen, %37,49 karbon, %12,58 hidrojen olup kimyasal formülü CH₃OH'dir. Bulunduğu ortamın sıcaklığı 455 °C üzerine çıktığında kendi kendine yanabilmektedir. Neredeyse renksiz bir aleve sahip olmakla beraber tam yanma olduğunda su ve karbondioksit açığa çıkmaktadır. -97,6 °C erime noktası, 65,1 °C kaynama noktası ve 11 °C parlama noktasına sahiptir. Stokiyometrik yanma olduğunda CO₂ ve H₂O ürünleri çıkmaktadır [29].



Metanol petrol kaynaklı yakıtlardan ya da kömürden elde edilebilmektedir ve ucuza üretilmektedir. Ancak dizel yakıtı içerisinde çözünürlüğü çok sınırlıdır. Metanolün su ile her oranda tamamen karışabilmesi dizel yakıtına eklendiğinde su içeriğinin artmasına neden olabilir. Bu artış ileride mekanik komponentlerde aşınmaya neden olabilir. Metanolün setan sayısı çok düşüktür ve dizel yakıtına eklendiğinde dizel yakıtının setan sayısını da düşürmektedir [43]. Bu nedenle metanolün dizel motorda kullanılabilmesi için buji kullanılması ya da dizel yakıtı ile karıştırılması gerekir [29].

Dizel yakıt ile karıştırıldığında yanmanın tamamlanmasına yardımcı olmaktadır. Ekstra oksijen eklemek yanmayı iyileştirmektedir ayrıca HC ve CO emisyonlarının azalmasına yardımcı olmaktadır. Fakat bunun yanında oksijen konsantrasyonunun artması önemli emisyonlardan olan NO_x emisyonunda artışa sebep olmaktadır [44].

5.2. ETANOL

Alkol fermantasyonu ile mısır, şeker pancarı, şeker kamışı, arpa gibi tarım ürünlerinden üretilen etanol, düşük maliyetli olup ağırlığına oranla %34 oksijen içermektedir. Dizel yakıtına katkı olarak etanol kullanılması oksijen içeriği sayesinde PM emisyonlarında azalma sağlamaktadır. Ayrıca yakıtın soğuk akış özelliklerini de

iyileştirmektedir. Ancak dizel yakıtında doğrudan etanol kullanmak bazı sorunlara yol açmaktadır. Düşük setan sayısı, düşük alevlenme noktası ve soğuk ortamlarda fakir çözümler gibi özellikleri olan etanol, ekstra katkıları olmadan dizel motorunda düzgün çalışmamaktadır [45].

Alt ısı değeri 27350 kJ/kg, yoğunluğu 0,794 kg/l ve kaynama sıcaklığı 78,4 °C olan etanol, içeriğinde su olmasından dolayı metal parçaları üzerinde korozyona sebep olmaktadır. Alkoller yanma esnasında yeterli hava ile buluşmaz ise asit, aldehytlar ve su oluşumuna yol açmaktadır. Aldehytlar; yapılarında karbonil grubu bulunan, içerisindeki bir karbon atomunun oksijen atomuna ortak bağ ile bağlandığı organik bileşiklerdir [46]. Su ile her oranda karışabilen etanol zehirli olmayan, temiz ve renksiz bir sıvıdır. Buharlaşma gizli ısısı metanolden daha azdır. Bu yüzden soğuk ortamda ilk hareket metanol ile karşılaştırıldığında daha kolaydır [42].

Avrupa Parlamentosu 2003/30/EC nolu direktifi ile teşvikler getirmiş ve biyoyakıtların kullanımını özendirilen ulusal mevzuatı adapte etmiştir [47]. Ülkemizde ise 2013 yılında %2, 2014 yılında en az %3 benzin yakıtı içerisinde tarım ürünlerinden elde edilmiş etanol içermesi zorunlu hale getirilmiştir [48].

5.3. DİETİL ETER

Dietil eter, etanolün dehidrasyonu ile üretilebilen renksiz, kokusuz ve kolay yanan bir bileşiktir. Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı ve yüksek uçuculuk özellikleri nedeni ile uzun zamandır dizel motorlar için önerilmektedir. Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı dizel yakıtından düşüktür ve setan sayısı ise 125'ten büyüktür. Ayrıca gizli buharlaşma ısısı dizel yakıtından daha yüksektir [49].

İçerdiği oksijen sayesinde dizel yakıtına ilave edildiğinde temiz yanmaya yardımcı olup zararlı emisyonların azalmasına katkıda bulunur. Farklı oranlarda dizel yakıtına katılarak deneye tabii tutulan bu karışımlardan dizel yakıtına nazaran daha yüksek performans alınmaktadır [33]. Kendiliğinden tutuşma sıcaklığının düşük olması sayesinde dizel motorlarda soğuk başlangıç için bir zamanlar önemli yere sahip olan

dietil eter, çalışmalar sonrasında çok düşük viskozitesi sebebiyle püskürtme sisteminin aşınma oranında bir yükselme olduğu gözlemlenmiştir. Yakıt katkısı olarak motor döngülerinde kayda değer bir sapma olmasa da bazı çalışmalarda yakıt tüketimini ve HC emisyonlarında artışa sebep olmuştur [50]. Bunun yanında yakıtta dietil eter katılması, dietil eterin yüksek uçuculuk oranı sayesinde silindir içerisinde hava/yakıt karışım hızını arttırmakta yanma verimini az da olsa arttırmaktadır [51].

5.4. BİYODİZEL

Oksijen bakımından zengin, toksik olmayan, yenilenebilir ayrıca biyolojik olarak parçalanabilir olan biyodizel, bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan ve kullanılmış yağlardan elde edilebilmektedir. Motorda herhangi bir değişikliğe gidilmeden ya da çok küçük değişikliklerle kullanılabilir ve doğrudan dizel yakıtı ile karıştırılabilmektedir. Kanada gibi bazı ülkeler zorunlu olarak dizel içerisine katkı olarak biyoyakıt katmaktadır ve 2015 yılında alınan karar ile %5 kadar biyoyakıt dizele karıştırılmaktadır [52].

Avrupa Birliği ülkeleri 2001 yılında 2001/77/EC yönergesinde enerji tüketimlerinin %22'sini yenilenebilir kaynaktan sağlamayı kararlaştırmışlardır. Bunun yanında biyodizel kullanıcılarına %50 daha az emisyon vergisi uygulama kararı almışlardır. Fransa %5, İspanya %30, İngiltere %5 oranında biyodizeli dizel yakıtına karıştırmaktadır. Ülkemizde ise dizel motorlar için 5015 sayılı petrol kanunu kapsamında ele alınmıştır. Bu kanun ile birlikte biyodizel dizel ile harmanlanan ürünler arasında yerini almıştır [53]. 1 Ocak 2016 tarihinden itibaren ise %3 oranında, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş biyodizel zorunlu olarak kullanılması belirlenmiştir [23].

Piroliz, seyreltme, mikroemülsiyon ve süperkritik üretim yöntemleri de olmakla beraber en çok tercih edilen transesterifikasyondur [23,52]. Metanol ve bir katalizör ile yağın transesterifikasyonu sağlanır, bunun sonucunda ürün olarak gliserin ve ham biyodizel elde edilmektedir [52].

Biyodizel ne kadar emisyon azaltıcı olsalar da yüksek viskoziteye sahip oldukları için püskürtme sisteminde sorunlara yol açmaktadır. Özellikler yüksek oranlarda püskürtme sistemini boğmakta ve verimi düşürmektedir. Biyodizel setan sayısı dizel yakıtından daha fazla olduğu için yanma sonucu daha iyi performans göstermektedir. Oksijen içeriğinin fazla olması ise NO_x emisyonlarında artışa sebep olmaktadır. Ayrıca alkollü bir katkı kullanılarak emisyonda azalma sağlanabilir [54].

Çizelge 5.1. Dizel yakıtı ve diğer katkıların ana özellikleri [43,45,50,51,55].

Özellikler	Dizel	Metanol	Etanol	Dietil Eter	Kanola
Kimyasal formül	C ₁₂ H ₂₃	CH ₃ OH	C ₂ H ₆ O	C ₄ H ₁₀ O	-
Yoğunluk (g/m ³)	844	790	799	713	910
Viskozite (40 °C – mm ² /s)	2,68	0,59	1,10	0,23	32,3
Alt ısı değer (kJ/kg)	44861	19674	28180	36873	39490
Setan sayısı	48	-	8	125	50
Alevlenme Sıcaklığı (°C)	78	11	12	40	169
Oksijen içeriği (%)	0	50	34,73	21,6	-
Hidrojen içeriği (%)	13	12,5	13,13	13,5	-
Karbon içeriği (%)	87	37,5	52,14	64,9	-

5.5. NANO PARÇACIKLI KATKILAR

İçten yanmalı motorlarda oksijen içeren katkılar her zaman emisyon ve yanma bakımında olumlu sonuçlar vermiştir. Ama bunun yanında motorda küçük eklentilere ya da yakıtın kimyasal, fiziksel özelliklerinde değişime neden olmuştur. Nano parçacıklar ise herhangi bir değişikliğe gidilmeden yakıtta belirli oranlarda eklenerek kullanılmaktadır. Bu katkıların en büyük özellikleri yanmayı ve emisyonları çok iyi bir şekilde geliştirmesi bunun yanında motor performansını, ısı yayılımını ve termik verimi arttırmasıdır. Metal içerikli nano parçacıklar yakıt ile karıştırıldığında, yüksek yüzey/hacim oranı oluşturmakta ve yanma için gerekli olan yüksek reaktif ortam görevi görürler [56].

Nano parçacıklı katkılar dizel yakıtı ile karıştırıldığında katalizör gibi davranarak yakıt karışımının yanma verimini yükseltmektedir. İçerdiği oksijen ve katalizör rolü, CO emisyonuna oksidasyon ile oksijen sağlar ya da NO_x emisyonundan oksijen emerek indirgenmesini sağlamaktadır. Yakıt ile karıştırıldığında yoğunluk ve viskozite iyileşmekte ve termik verimi arttırmaktadır. Bunun yanında özgül yakıt tüketimini ise azalmaktadır [57].

BÖLÜM 6

MATERYAL ve METOT

6.1. DENEY DÜZENEĞİ VE DONANIMLARI

Deneysel çalışmalarda Şekil 6.1’de görülen dört zamanlı tek silindirli Antor 3LD510 dizel motoru, motor yükleme donanımı olarak Net Fren motor dinamometresi kullanılmıştır. Deney motoru teknik özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney motoru görseli.

Çizelge 6.1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Özellik	
Marka	Antor 3LD510
Motor Tipi	DI, Dizel motoru
Silindir Sayısı	1
Silindir çapı (mm)	85
Kursu (mm)	90
Strok hacmi (cm ³)	510
Sıkıştırma oranı	17,5:1
Maksimum motor devri (dev/dak)	3000
Maksimum güç (kW)	12 (3000 dev/dak'da)
Maksimum moment (Nm)	32,8 (1800 dev/dak'da)

Deneyle esnasında motorun yüklenmesi, 0-50 kg aralığında ölçüm aralığına sahip, 1 gr hassasiyetli yük hücresi kullanılmıştır. Kalibrasyon ayarları üretici firmanın kullanım kılavuzu talimatlarına göre yapılmıştır. Deneylede kullanılan dinamometrenin ölçüm aralığı 0-5000 dev/dak olup motor momenti ölçüm aralığı ise 0-350 Nm'dir.

Dizel yakıtı tüketimi 0,1 g hassasiyetine sahip maksimum 6 kg yakıt ölçebilen PCE-BSH 6000 model dijital terazi ile g/min olarak kütlelel debisi ölçülmüştür. Egzoz gazı sıcaklığı ölçümlerinde 0-1200 °C ölçüm aralığına sahip Ni-Cr kaplamalı termokupl egzoz portununun 70 mm ilerisine yerleştirilmiştir.

Test sürecinde egzoz emisyonlarının ölçümü için Şekil 6.2. ve Şekil 6.3.'de gösterilen ve teknik özellikleri Çizelge 6.2. ve Çizelge 6.3.'te verilen Bosch-BEA 350 model emisyon ölçüm cihazı, duman emisyonu ölçümü için Bosch-BEA 070 model duman ölçüm kiti kullanılmıştır. Cihaz CO, CO₂, HC, NO_x emisyonlarını ve duman koyuluğunu, egzoz gazının hacimsel debisine oranı (%) olarak ölçebilmektedir.

Çizelge 6.2. Bosch BEA 350 teknik özellikleri.

Molekül	Ölçme Aralığı
CO	0 – 10 %vol
HC	0 – 9999 ppm vol
NO	0 – 5000 ppm vol
CO ₂	0 – 18 %vol
O ₂	0 – 22 %vol

Çizelge 6.3. Bosch BEA 070 teknik özellikleri.

Ölçülen Büyüklük	Ölçme Aralığı
Opaklık Derecesi	0 – %100
Absorsyon Katsayısı (k)	0 – 9,99 dev/dak
Özellik	Değer
Ölçüm Odası Uzunluğu	215 mm
Çalışma Aralığı	+5 °C – +40 °C
Ortam Havaasının Bağıl Nemi	< %90



Şekil 6.2. Bosch BEA 350 egzoz emisyonu ölçüm cihazı.



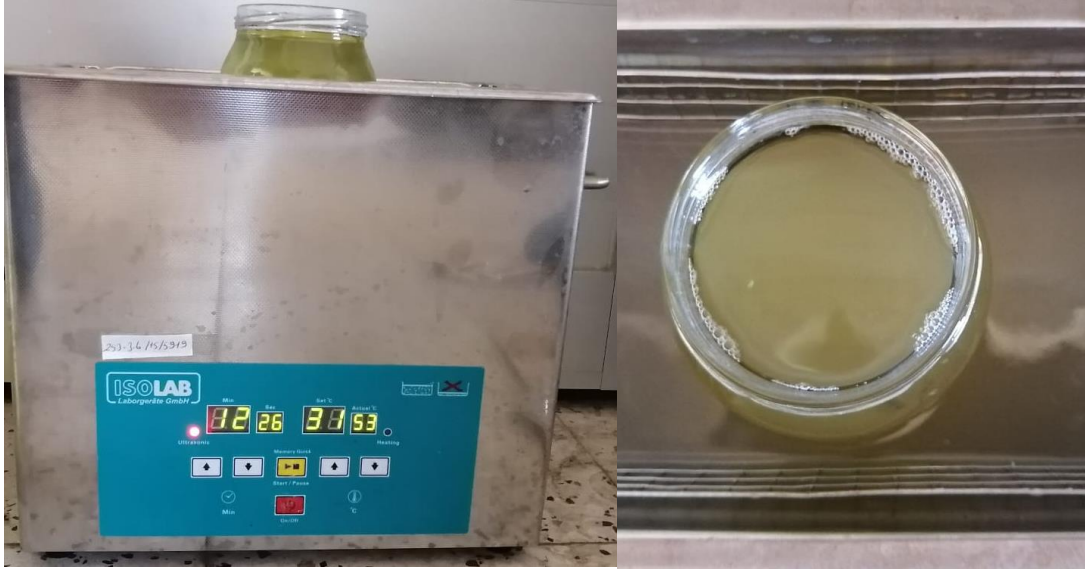
Şekil 6.3. Bosch BEA 070 is emisyonu ölçüm cihazı.

6.2. METOT

Çalışmada yakıt olarak dizel yakıtı kullanılmıştır. Dizel yakıt içerisine katkı maddesi 20 nm boyutlarında %99,995 hassasiyetinde olan CeO₂ katkı maddesi piyasadan temin edilmiştir. Dizel motorda yakıt olarak kullanılacak dizel yakıtı içerisine CeO₂ katkı maddesi 25 ppm – 50 ppm – 75 ppm ve 100 ppm oranlarında Şekil 6.4’de görülen AND-GR200 marka 210 g kapasiteli 0,0001 g hassasiyetli hassas terazide tartılarak ve Şekil 6.5’de ki ultrasonic karıştırıcı ile karıştırılmıştır.

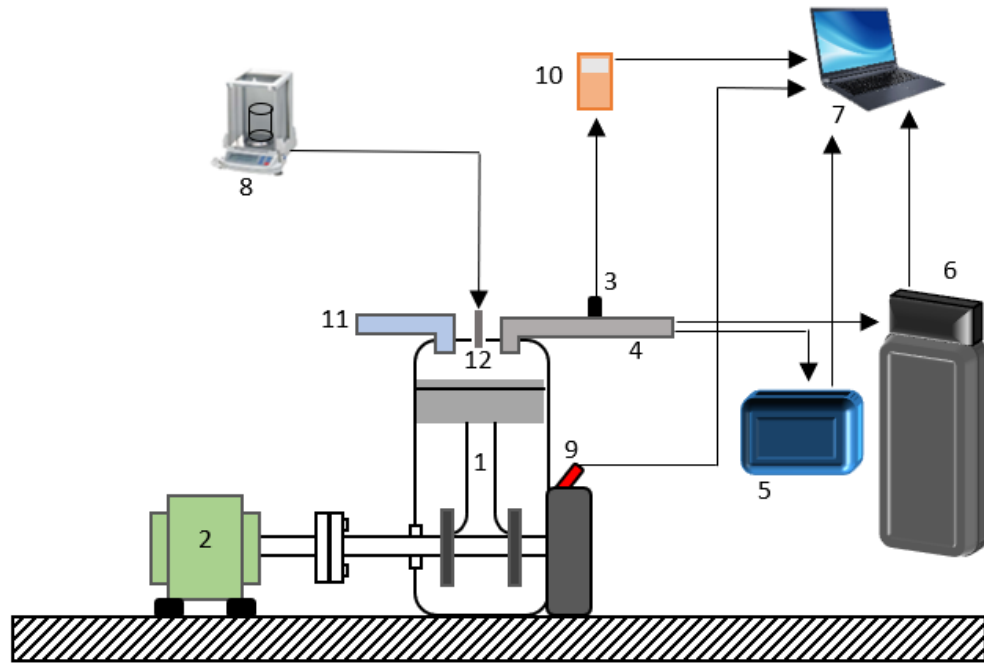


Şekil 6.4. Hassas terazi.



Şekil 6.5. Deneş yakıtlarının ultrasonic karıştırıcıda karıştırılması.

Test düzeneğini iki temel ölçüm sistemi oluşturmaktadır. Bu sistemler; motor momenti, yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ve motor yağ sıcaklığı ölçümlerinin yapıldığı motor test sistemi, egzoz gaz analizlerinin yapıldığı emisyon ölçüm sistemidir. Hazırlanan test düzeneğı Şekil 6.6'da şematik olarak gösterilmiştir. estlerde kullanılan ölçüm cihazlarından, egzoz emisyon cihazının kalibrasyonu Bosch firması tarafından yapılmıştır. Deneşlerden önce test motorunun motor yağı ve filtresi değiştirilmiştir. Özellikleri belirlenen yakıtların motor deneyleri tam yükte 7 farklı devirde (1600 – 1800 – 2000 – 2200 – 2400 – 2600 – 2800 dev/dak) yapılmıştır. Deneş verileri alınmadan önce motor dizel yakıtı ile kararlı çalışma sıcaklığına ulaşınçaya kadar çalıştırılmış, motor yağı ve emme havası giriş sıcaklığı sabit tutulmuştur. Daha sonra motor momenti, yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz emisyonları ölçülerek motor performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir.

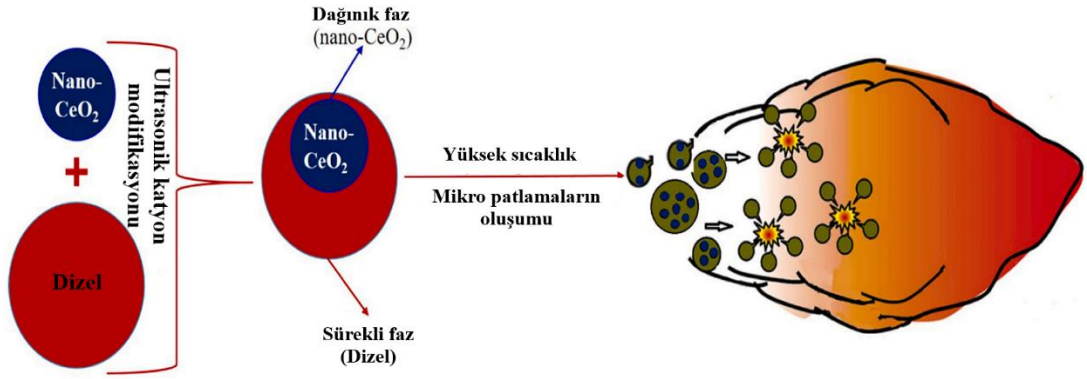


- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1- Deney motoru | 7- Bilgisayar |
| 2- Dinamometre | 8- Hassas terazi |
| 3- Termokupl | 9- Hız sensörü |
| 4- Egzoz borusu | 10- Dijital termometre |
| 5- İis emisyonu ölçüm cihazı | 11- Hava emme borusu |
| 6- Emisyon ölçüm cihazı | 12- Enjeksiyon |

Şekil 6.6. Deney sisteminin şematik görünümü.

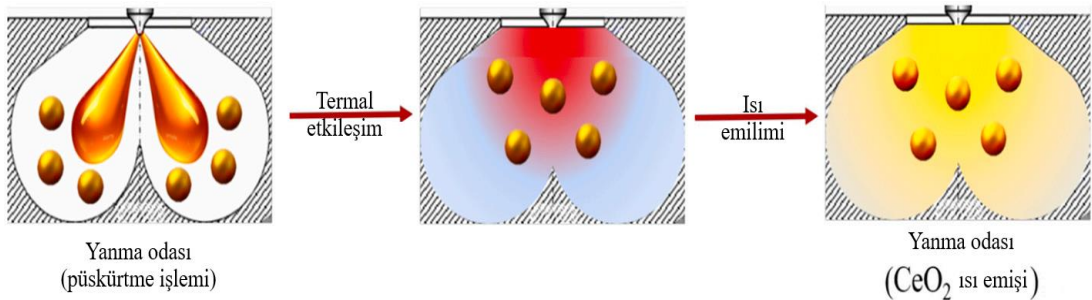
6.2.1. CeO₂ katkı maddesi

Çalışmalar CeO₂ nano parçacıklarının yanma işlemi sırasında meydana gelen çoklu yanma reaksiyonlarında önemli bir katalitik rol üstlendiği görülmüştür. Yanma reaksiyonlarının hızı ve yanma verimi CeO₂ eklenmesi sonucunda daha verimli hale gelmiştir. CeO₂ nano parçacığının yanmada sağladığı geniş yüzey/hacim oranı, bu yüksek katalitik özelliğinin ana nedenidir [58]. Şekil 6.7’de bu meydana gelen çoklu patlamaları göstermektedir.



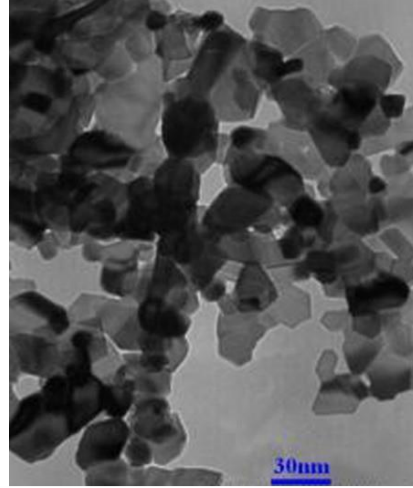
Şekil 6.7. Yakıt karışımının atomizasyonu ve çoklu patlamalar [58].

Oksijenin zengin olduğu koşullarda bu oksijen moleküllerini depolayabilen CeO_2 nano parçacıkları, oksijen bakımında fakir olan bölgeye ulaştığında depoladığı bu oksijeni serbest bırakarak bir oksijen tamponu oluşturabilmektedir. Oksidasyonun iyileşmesi, yakıt moleküllerine oksijenin daha fazla ulaşarak yanmanın iyileşmesini sağlamakta ve özellikle PM emisyonlarında düşüş sağlamaktadır. Ayrıca yanmada Ce moleküllerinin bulunması H ve C atomlarının birleşmesi için gerekli enerjiyi düşürebilmekte ve bunun sonucunu emisyon değişimlerini olumlu yönde etkilemektedir [58]. Bazı çalışmalarda CeO_2 nano parçacıkların boyutunun, yanma esnasında silindir içi sıcaklığa etki ettiğini göstermiştir. Yanma esnasında ısıyı emerek silindir içerisinde ısıyı düşürmektedir [58].



Şekil 6.8. CeO_2 nano parçacıklarının ısıyı emişi [58].

Şekil 6.9’da 10-30nm boyutlarında CeO₂ nano parçacığının iletim elektron mikroskobu (TEM) görüntüsü görülmektedir. Fiziksel görünümü Şekil 6.10.’da verilen Ege Nanotek seryum oksit nano parçacığının özellikleri Çizelge 6.4.’te verilmiştir.



Şekil 6.9. CeO₂ nano parçacıklarının elektron mikroskobu görüntüsü [5].



Şekil 6.10. CeO₂ nano parçacıklarının fiziksel görünümü.

Çizelge 6.4. Seryum Oksit nano parçacığı özellikleri.

Toz Boyutu	20 nm
Safılık	%99,995
Renk	Açık Sarı
Yüzey Alanı	20-50 m ² /g
Özkütle (Bulk)	0,8-1,1 g/cm ³
Özkütle (True)	7,132 g/cm ³

Çizelge 6.5. Deneş yakıtlarının isimlendirilmesi.

Yakıtlar	Kinematik Viskozite (mm ² /s 40 °C)	Parlama Noktası (°C)	Yoğunluk (kg/m ³ 15 °C)	Isıl Değer (MJ/kg)
D0	2,60	67	860	39,81
DCe25	2,52	64	846	40,02
DCe50	2,44	62	838	40,10
DCe75	2,39	59	834	40,14
DCe100	2,32	57	829	40,22

Çizelge 6.6. Deneş yakıtlarının özellikleri.

Yakıt İsmi	Yakıt Açıklaması
D0	Dizel yakıtı
DCe25	Dizel yakıtı içerisine 25ppm CeO ₂ nano parçacık katkı ilaveli yakıt (1 litre yakıt için).
DCe50	Dizel yakıtı içerisine 50ppm CeO ₂ nano parçacık katkı ilaveli yakıt.
DCe75	Dizel yakıtı içerisine 75ppm CeO ₂ nano parçacık katkı ilaveli yakıt.
DCe100	Dizel yakıtı içerisine 100ppm CeO ₂ nano parçacık katkı ilaveli yakıt.

6.3. DENEY ÖLÇÜM VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Efektif güç

$$P_e = \frac{M_d \times n}{9549} \quad (6.1)$$

P_e : Efektif motor gücü (kW)

M_d : Motor momenti (Nm)

n : Motor devri (dev/dak)

Termik verim

$$\eta = \frac{P_e \times 3600}{B_e \times H_u} \quad (6.2)$$

η : Termik verim (%)

P_e : Efektif motor gücü (kW)

B_e : Yakıt tüketimi (kg/h)

H_u : Yakıt alt ısı değeri (kJ/kg)

Özgül yakıt tüketimi

$$b_e = \frac{B_e \times 1000}{P_e} \quad (6.3)$$

b_e : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

B_e : Saatlik yakıt tüketimi (kg/h)

P_e : Efektif motor gücü (kW)

BÖLÜM 7

DENEYİN SONUÇLARI VE TARTIŞMA

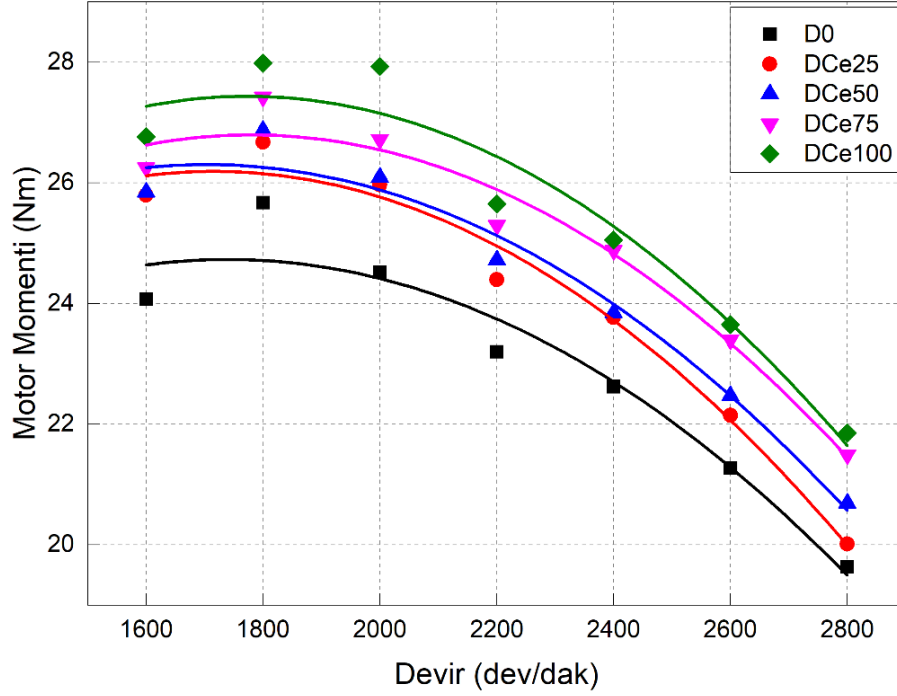
Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, dizel yakıtına CeO₂ nano parçacık katkı ilavesinin motor performansına ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Çalışmada motor tam yükte 7 farklı motor devrinde (1600 – 1800 – 2000 – 2200 – 2400 – 2600 – 2800 dev/dak) dizel yakıtı içerisine 25ppm, 50ppm, 75ppm ve 100ppm CeO₂ eklenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde ölçülüp hesaplanan performans parametreleri moment, güç, verim, özgül yakıt tüketimi ve egzoz gazı sıcaklığıdır. Egzoz emisyonları ise CO, HC, NO_x ve is emisyonlarıdır.

7.1 MOTOR PERFORMANS SONUÇLARI

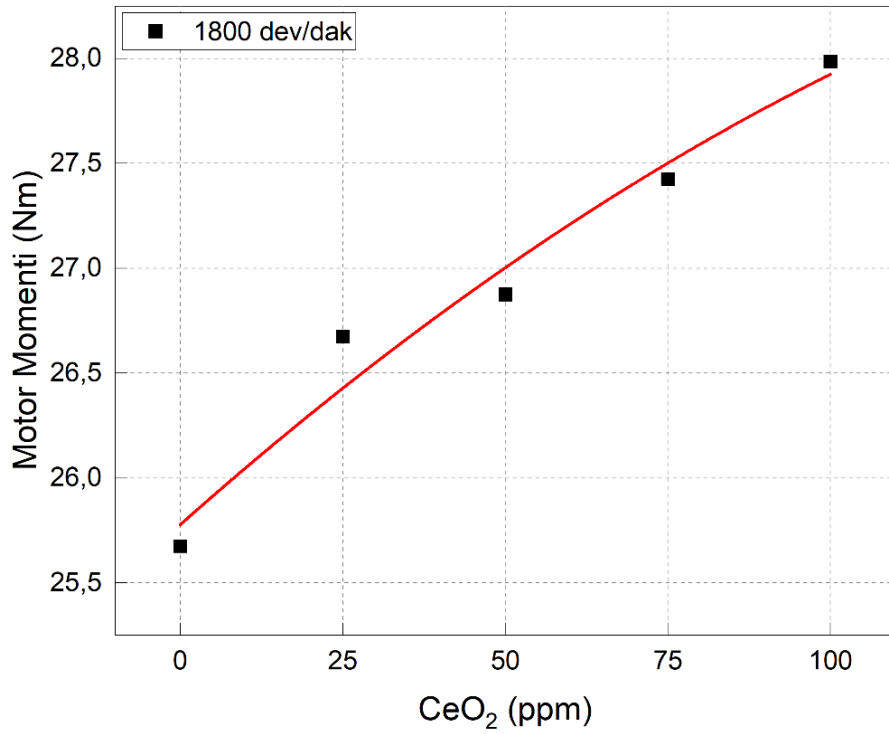
7.1.1. Motor Momenti

Dizel yakıtı içerisine CeO₂ nano parçacık katılmasının motor momentine etkisi Şekil 7.1 ve 7.2’de gösterilmektedir. Motor moment, motorun iş yapabilme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Deney düzeneğinde motora bağlı dinamometre ile ölçülmektedir. Silindir içerisindeki yanmada düzensizlikler motor momentini etkilemektedir. Bunun yanında hava/yakıt oranının da moment üzerinde etkisi bulunmaktadır [21]. Maksimum motor moment 1800 dev/dak’da elde edilmiştir. D0 yakıtında 25,68 Nm moment elde edilirken CeO₂ konsantrasyonu arttıkça motor momentinin arttığı görülmüştür. 1800 dev/dak’da moment artışı DCe25, DCe50, DCe75 ve DCe100 yakıt karışımlarında sırası ile %3,89, %4,67, %6,81 ve %8,99 olmuştur. Maksimum motor moment artışı ise 2000 dev/dak’da DCe100 karışımında %13,91 olmuştur. 1800 dev/dak’dan sonra motor devrinin artışıyla motor momentinin azaldığı gözlemlenmiştir. CeO₂’yi yakıt katkısı olarak kullanmak, silindir içerisinde ki hava/yakıt karışımını iyileştirerek daha iyi yanma sağlamakta bunun sonucunda daha iyi moment elde edilmesine olanak vermektedir. Katkı maddesinin içeriğindeki oksijen varlığı sayesinde, yakıt

molekülleri oksijene daha fazla ulaşarak yanmanın tamamlanmasını sağlamakta ve bu sayede daha yüksek motor momenti elde edilmektedir [13,16,19].



Şekil 7.1. Motor momentinin motor devrine göre değişimi.



Şekil 7.2. Motor momentinin CeO₂ miktarına göre değişimi.

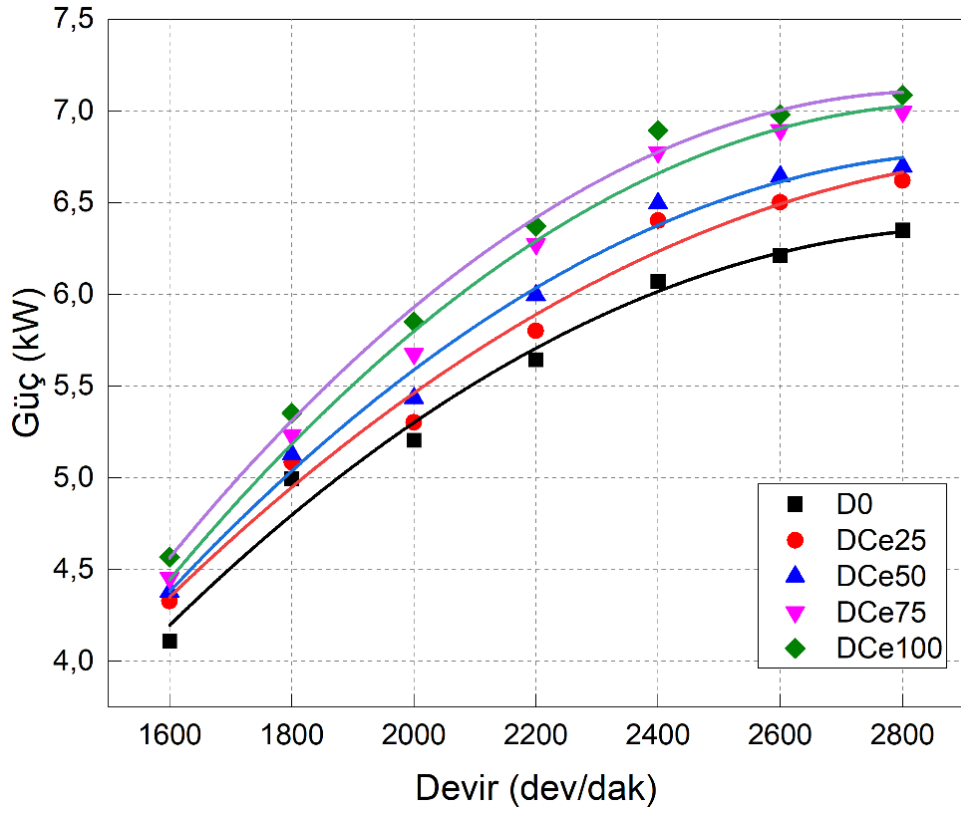
7.1.2. Motor Gücü

Şekil 7.3 ve 7.4’de dizel yakıtı içerisinde CeO_2 nano parçacık katkı ilavesinin motor gücü üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Güç, motorun iş yapabilme oranını belirlemektedir. Motor devrinin bir fonksiyonudur. Motor devri arttıkça güç artmaktadır. Maksimum güç devrinden sonra motor devrinde ki artışla güçte azalmaya başlar. Bunun nedeni yüksek devirlerde sürtünme kayıpları artmakta ve baskın hale gelmektedir. Gücü etkileyen faktörlerden birisi de silindir içerisindeki basınçtır. Bu nedenle yanmada oluşan düzensizlikler gücü etkilemektedir [59]. CeO_2 konsantrasyonu arttıkça gücün arttığı görülmektedir. Maksimum güç 2800 dev/dak elde edilmiştir. Dizel yakıtında motor gücü 6,35 kW elde edilirken dizel yakıtına göre motor gücünde ki maksimum artış 100ppm CeO_2 katkı ilavesinde %11,58 olmuştur. Dizel yakıtına göre motor gücünde ki artış sırası ile DCe25, DCe50 ve DCe75 yakıt karışımlarında sırası ile %4,27, %5,45 ve %10,16 olmuştur. Dizel yakıtına göre en yüksek güç artış oranı ise 2400 dev/dak’da 100ppm CeO_2 katkı ilavesinde %13,57 olmuştur. CeO_2 ’nin dizel yakıt içerisinde ilave edilmesi, yakıtın viskozite ve yoğunluğunu azaltırken, alt ısı değeri arttırmıştır. Bu yakıtın silindir içerisinde daha iyi atomizasyon özellikleri göstererek hava/yakıt karışımının daha iyi olmasını sağlamaktadır [60,61,62]. Yanmadaki artan kalite doğrudan gücü etkilemektedir [36].

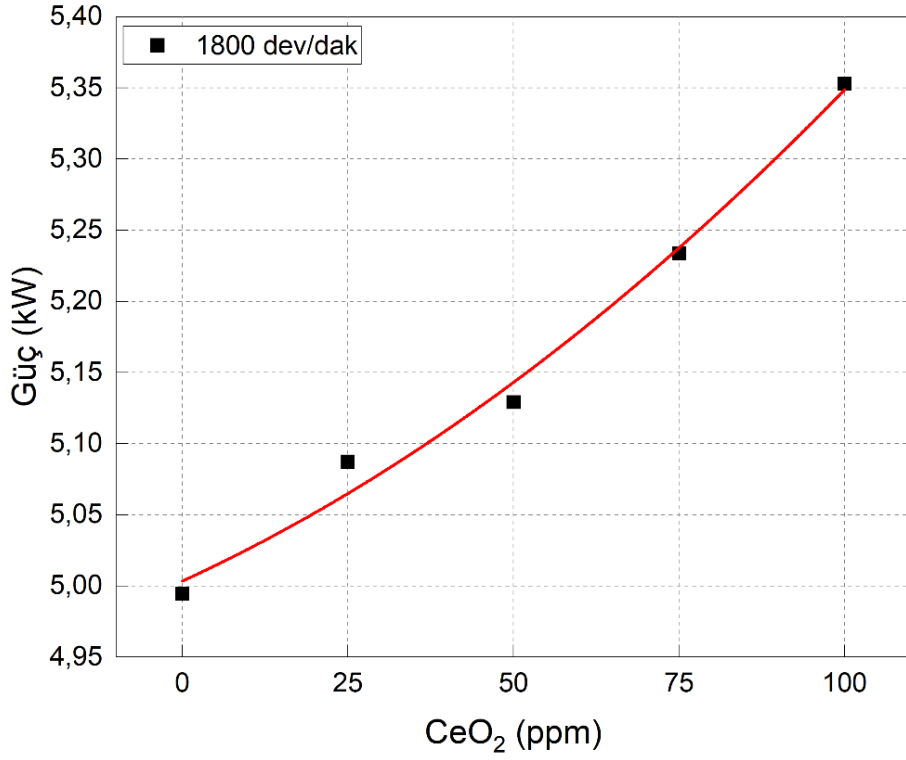
7.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Şekil 7.5 ve 7.6’ da CeO_2 nano parçacık katkısının dizel yakıtına ilavesinin özgül yakıt tüketimine etkisi gösterilmiştir. Özgül yakıt tüketimi, motor çıkışındaki birim güç başına harcanan yakıtı temsil etmektedir. Motor devri arttıkça özgül yakıt tüketimi düşmektedir, minimuma ulaştıktan sonra çok yüksek devirlerde tekrar artmaktadır. Sıkıştırma oranı ve hava/yakıt oranı özgül yakıt tüketimini etkilemektedir. Sıkıştırma oranı arttıkça termik verim yükselmekte ve özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Ayrıca yakıt eşdeğerlik oranı ($\phi=1$) bire yaklaştıkça özgül yakıt tüketim oranı en aza inmektedir [18,59]. En düşük özgül yakıt tüketimi maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dak’da elde edilmiştir. Dizel yakıtında 330,68 g/kWh elde edilirken CeO_2 ilave edilen DCe25, DCe50, DCe75 ve DCe100 yakıtlarında sırasıyla 322,64 – 316,87

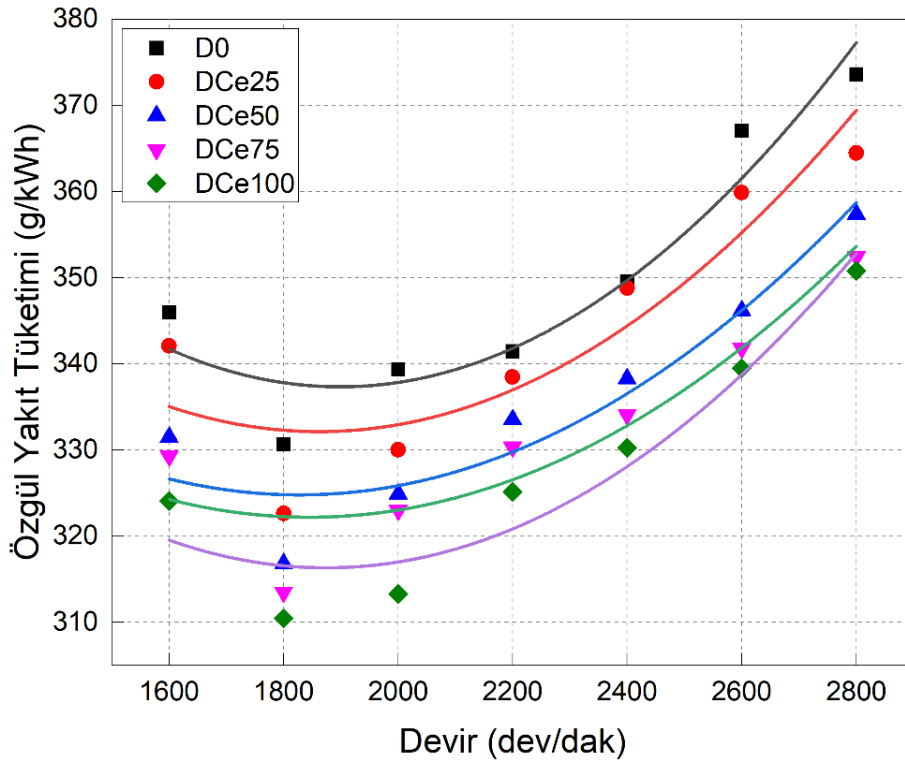
– 313,49 ve 310,50 g/kWh olmuştur. D0 yakıtına göre özgül yakıt tüketiminde maksimum azalma oranı 2000 dev/dak'da %7,69 ile DCe100 yakıtında elde edilmiştir. Dizel yakıtına CeO₂ nano parçacık katkı ilave edilmesi alt ısıl değeri attırmakta ve bu sayede özgül yakıt tüketiminde azalma sağlamaktadır. Yakıtta CeO₂ eklenmesi yüzey/hacim oranını arttırmaktadır [36,63]. Özgül yakıt tüketimi kullanılan yakıtın yoğunluğuna, viskozitesine ve alt ısıl değerine bağlıdır. Alt ısıl değeri daha yüksek olan yakıtların daha iyi tüketimi gösterdiği bilinmektedir [64].



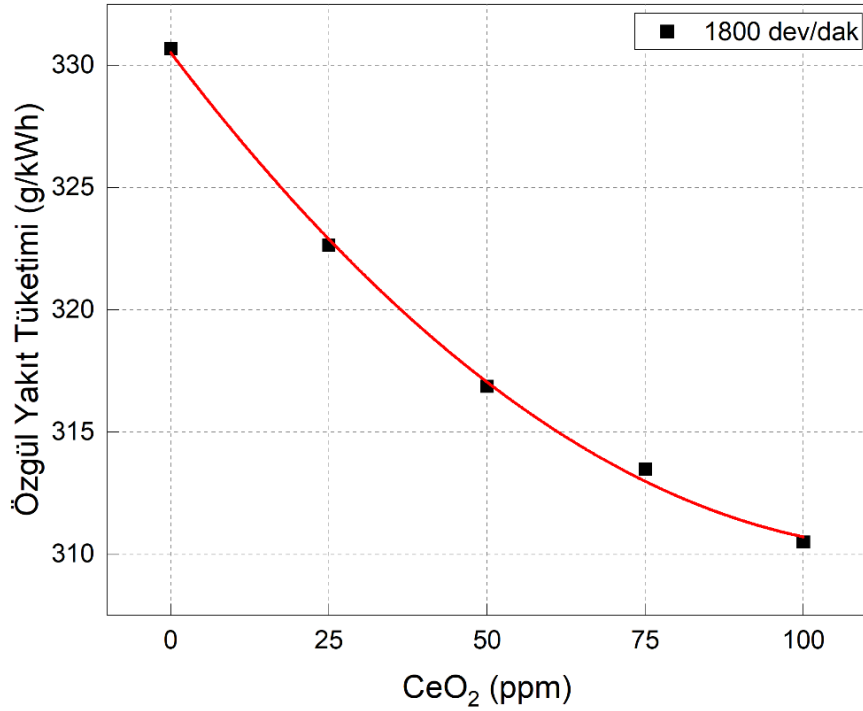
Şekil 7.3. Gücün motor devrine göre değişimi.



Şekil 7.4. Gücün CeO₂ miktarına göre değişimi.



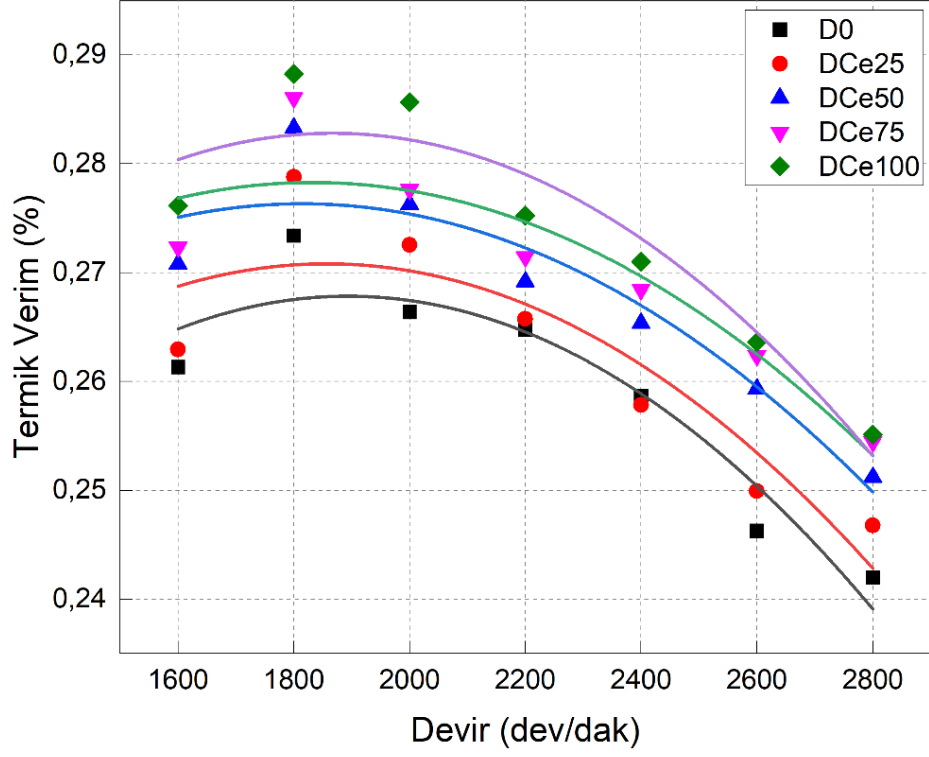
Şekil 7.5. Özgül yakıt tüketiminin motor devrine göre değişimi.



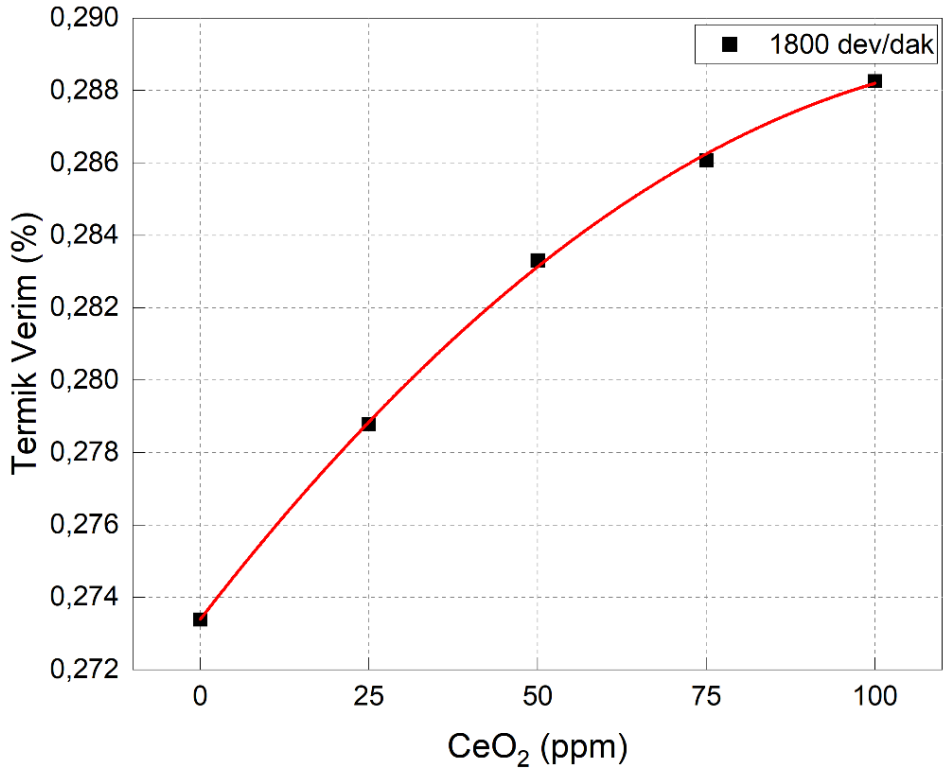
Şekil 7.6. Özgül yakıt tüketiminin CeO₂ miktarına göre değişimi.

7.1.4. Termik Verim

Şekil 7.7 ve 7.8’de dizel yakıtı içerisine eklenen CeO₂ nano parçacık katkısının termik verim üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Termik verim, silindir içerisinde yanan yakıttan elde edilen enerjinin faydalı işe dönüşen kısmını ifade etmektedir. Dizel yakıtta nano parçacık katılması alt ısı değerini yükseltmektedir. Bununla beraber katkı maddesi yakıtın buharlaşma oranını yükselterek yanmayı iyileştirmektedir [36,59]. En yüksek termik verim 1800 dev/dak’da DCe100 yakıtında %28,83 olarak elde edilmiştir. D0 yakıtında %27,34 olurken CeO₂ konsantrasyonunun artması ile birlikte DCe25, DCe50, DCe75 ve DCe100 yakıtlarında sırası ile %1,97, %3,63, %4,64, ve %5,44 artış elde edilmiştir. D0 yakıtına göre en yüksek artış oranı ise 2000 dev/dak’da DCe100 yakıtında %7,25 olmuştur. Nano parçacık katkı ilavesi ile viskozitedeki azalma kimyasal reaksiyonu geliştirmiş olup, oluşan daha küçük yakıt damlacıkları daha büyük aktif yüzey ve temas alanı sağlamaktadır. Reaktif yüzeylerin varlığı ile kimyasal reaktivitesi artmakta ve bu da daha iyi yanma dolayısıyla daha yüksek termik verim ile sonuçlandığı düşünülmektedir [14,36,65,66].



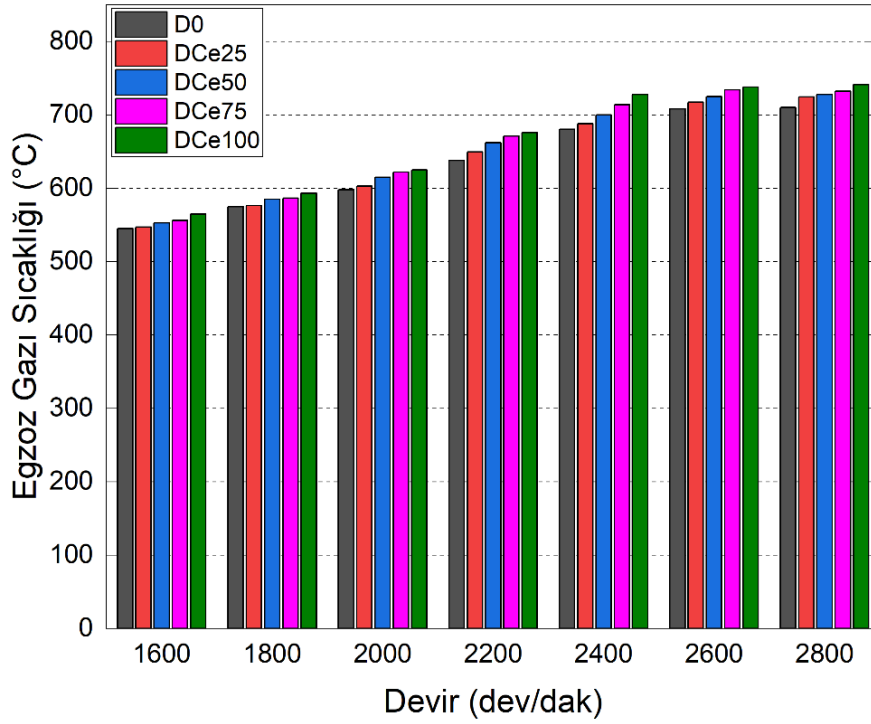
Şekil 7.7. Termik verimin motor devrine göre değişimi.



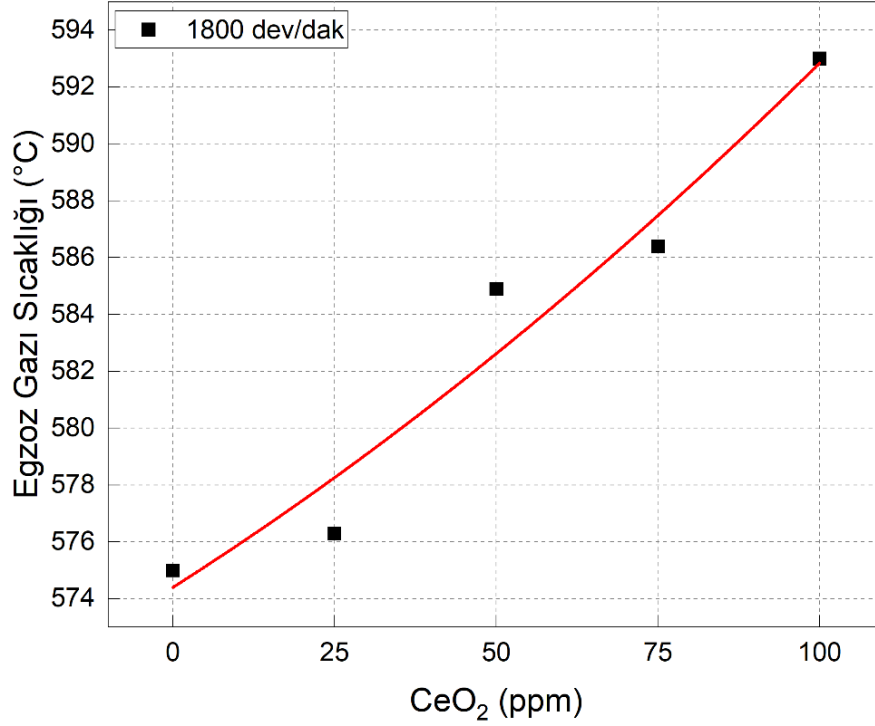
Şekil 7.8. Termik verimin CeO₂ miktarına göre değişimi.

7.1.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı

Şekil 7.9. ve 7.10'da CeO₂ nano parçacık katkı ilavesinin motor devrine göre egzoz gazı sıcaklığına etkisi gösterilmiştir. Egzoz gaz sıcaklığı motor yükünden, yanma odasına alınan yakıt miktarından, tutuşma gecikmesinden etkilenmektedir. Yakılan yakıtın alt ısıl değeri de egzoz gazı sıcaklığı üzerinde etkilidir. Ayrıca entalpinin büyük bir kısmı egzoz gazı ile birlikte gitmektedir ve bu termik verimi sınırlamaktadır [59]. Maksimum momentinin elde edildiği 1800 dev/dak'da D0 yakıtında egzoz gazı sıcaklığı 575 °C olurken D0 yakıtında 593 °C olmuştur. Egzoz gazı sıcaklığı motor hızı ve CeO₂ konsantrasyonu arttıkça artmaktadır. En yüksek egzoz gazı sıcaklığı D0 yakıtında 2800 dev/dak'da 741 °C olarak elde edilmiştir. D0 yakıtında 710 °C olan sıcaklık D0Ce25, D0Ce50, D0Ce75 ve D0Ce100 sırası ile 724 °C, 727 °C, 732 °C ve 741 °C olmuştur. Yakıtta CeO₂ nano parçacık katkı ilave edilmesi alt ısıl değeri arttırmakta ve her birim kütlede üretilen ısı artarak egzoz gazı sıcaklığı artmaktadır. Ayrıca nano parçacık katkı maddesinin oksijen içeriği silindir içerisindeki yanmayı iyileştirmekte olup egzoz gazı sıcaklığını arttırmaktadır [12].



Şekil 7.9. Egzoz gazı sıcaklığının motor devrine göre değişimi.



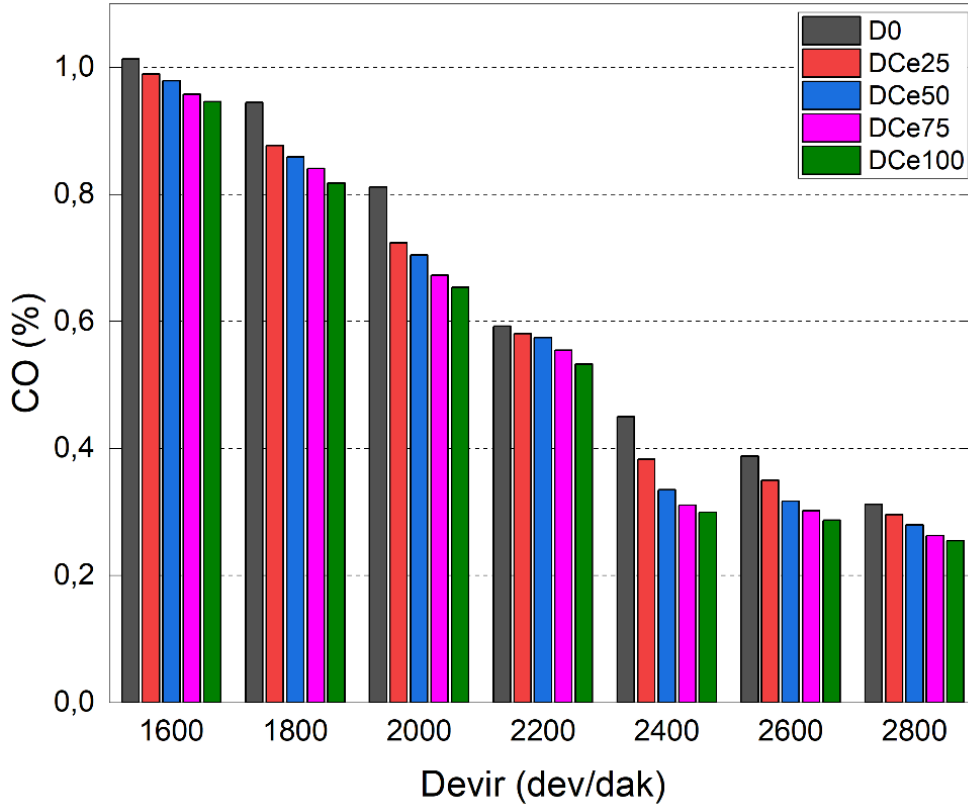
Şekil 7.10. Egzoz gazı sıcaklığının CeO₂ miktarına göre değişimi.

7.2. EGZOZ EMİSYONU SONUÇLARI

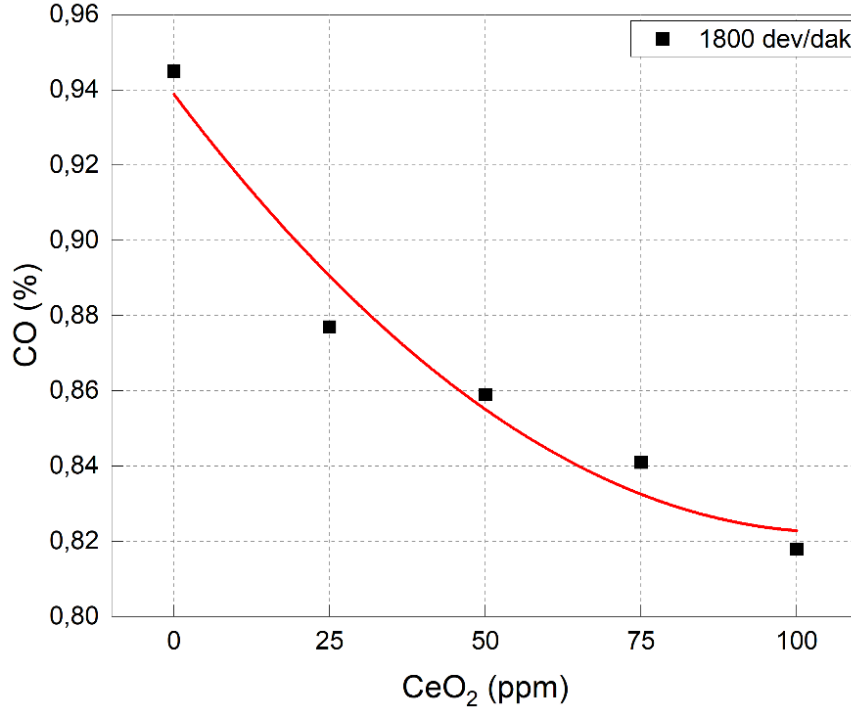
7.2.1. CO Emisyonları

Dizel yakıtına CeO₂ ilavesinin CO emisyonlarına etkisi Şekil 7.11 ve 7.12’de görülmektedir. CO emisyonu yakıtın yeterli oksijene ulaşamayıp eksik yanma olmasından kaynaklanmaktadır. CO emisyonu motorlarda öncelikli olarak hava/yakıt oranı tarafından kontrol edilmektedir. Egzozdaki CO emisyonu konsantrasyonu silindir içerisinde hava/yakıt oranının zengin karışım olması durumunda artmaktadır [13,21]. Şekil 7.11’de görüldüğü gibi 1800 dev/dak’da maksimum CO emisyonu D0 yakıtında elde edilmiştir. En düşük CO emisyonu 2800 dev/dak’da DCe100 yakıtında elde edilmiştir. 2800 dev/dak’da CO emisyonu D0 yakıtına göre DCe25, DCe50, DCe75 ve DCe100 yakıtlarında CO emisyonlarında azalma sırası ile %5,12 – %10,25 – %15,70 ve %18,27 elde edilmiştir. Dizel yakıtına göre CO emisyonunda ki en fazla azalma oranı %33,3 ile 2400 dev/dak’da gerçekleşmiştir.

Yakıtta eklenen CeO₂ katalizör etkisi göstererek yanmayı iyileştirmiş ve oksijen desteği sağlamıştır. Bu sayede CO molekülleri oksijenle daha fazla tepkimeye girerek CO₂ moleküllerine dönüşmektedirler. Yanma odasında oksijen konsantrasyonunun artması, CO emisyonunun daha fazla dağılmasına ve oksijenle buluşmasını sağlamaktadır [14,67]. Nano parçacık katkı ilavesi ile silindir içerisindeki sıcaklığın artması yakıtın daha iyi yanmasını sağlamıştır ve bu CO emisyonlarının azalmasına sebep olmuştur [68].



Şekil 7.11. CO emisyonunun motor devrine göre değişimi.

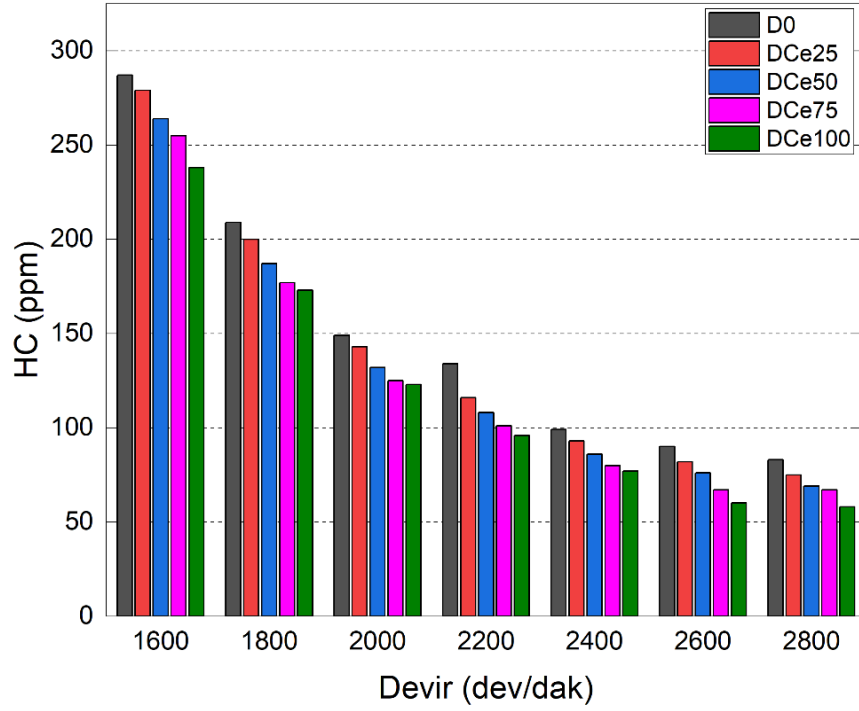


Şekil 7.12. CO emisyonunun CeO₂ miktarına göre değişimi.

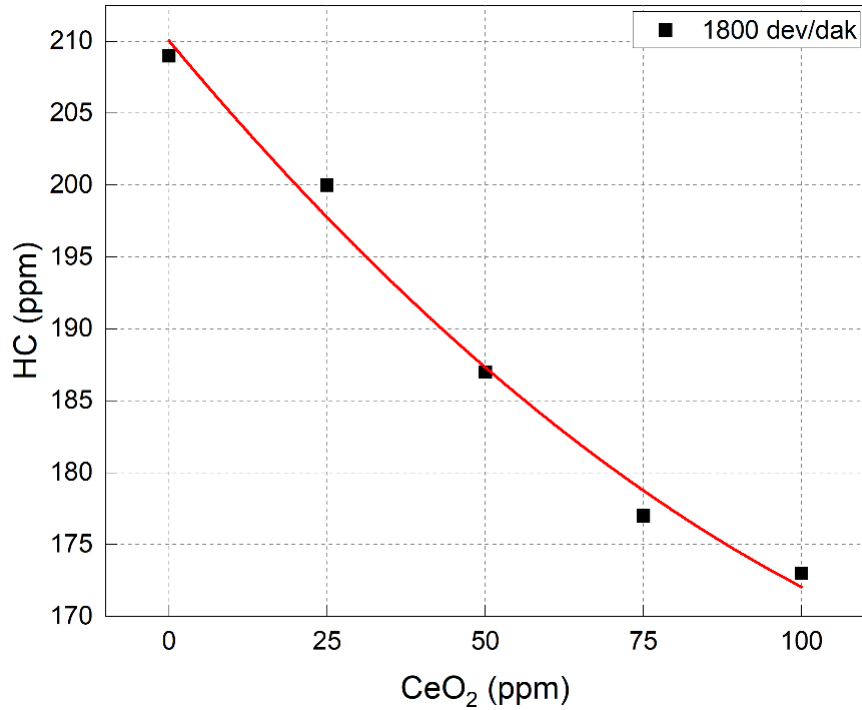
7.2.2. HC Emisyonları

CeO₂ nano parçacığının dizel yakıtına katılmasının HC emisyonları üzerindeki etkisi Şekil 7.13 ve 7.14’de gösterilmiştir. HC emisyonunun egzoz gazında bulunması yakıtın tam yanmamasından kaynaklanmaktadır. Silindir içerisinde yüksek basınç, silindirdeki hava/yakıt karışımını silindir duvarlarında, pistonda, segmanlarda bulunan çok küçük çatlaklara zorla itmektir. Bu çok küçük hacimlere alev ulaşmadan yanmamış yakıt/-hava karışımı egzoz supabından dışarı atılmaktadır [21,59,69]. 1800 dev/dak’da D0 yakıtında HC emisyonu 209ppm olurken DCe25, DCe50, DCe75 ve DCe100 yakıtlarında sırasıyla 200ppm, 187ppm, 177ppm ve 173ppm olmuştur. HC emisyonu CeO₂ konsantrasyonu ve motor devrinin artışıyla azalmıştır. Minimum HC emisyonu 2800 dev/dak’da elde edilmiştir. 2800 dev/dak’da D0 yakıtına göre CeO₂ nano parçacık katkı maddesi ilave edilen DCe25, DCe50, DCe75 ve DCe100 yakıtında HC emisyonlarında ki azalma sırasıyla %9,64 – %16,87 – %19,27 ve %30,12 elde edilmiştir. Dizel yakıtına göre HC emisyonlarında ki en yüksek azalma DCe100 yakıtında %33,3 ile 2600 dev/dak’da olmuştur.

CeO₂'nin eklenmesi oksijen içeriğini arttırdığı için daha iyi yanma sağlamak ve yanma kalitesini artırarak yanmanın tamamlanmasına ve HC emisyonlarının azalmasına sebep olmuştur [70].



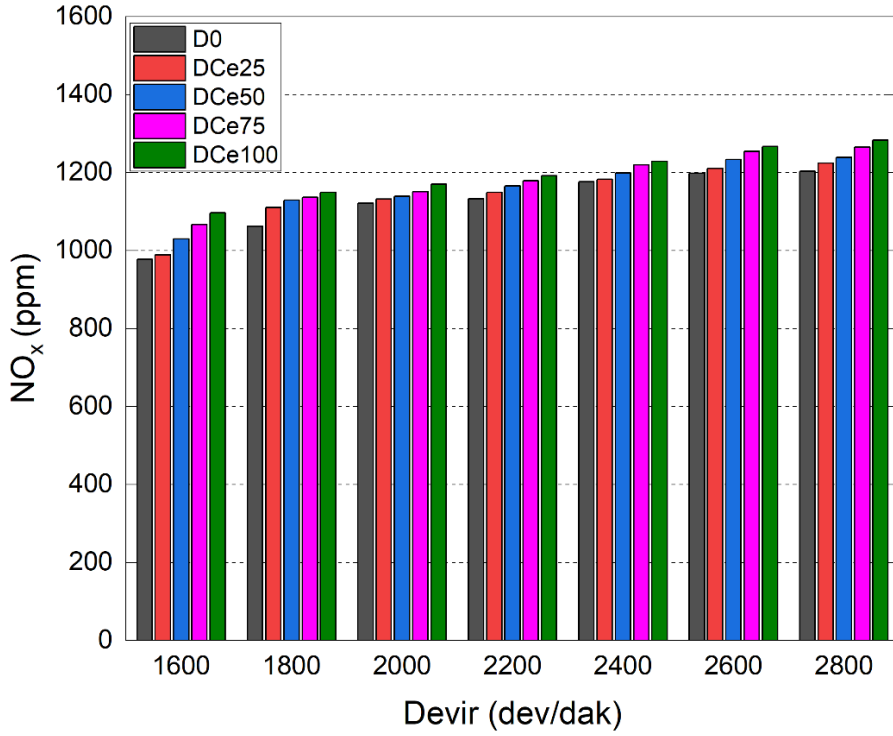
Şekil 7.13. HC emisyonunun motor devrine göre değişimi.



Şekil 7.14. HC emisyonunun CeO₂ miktarına göre değişimi.

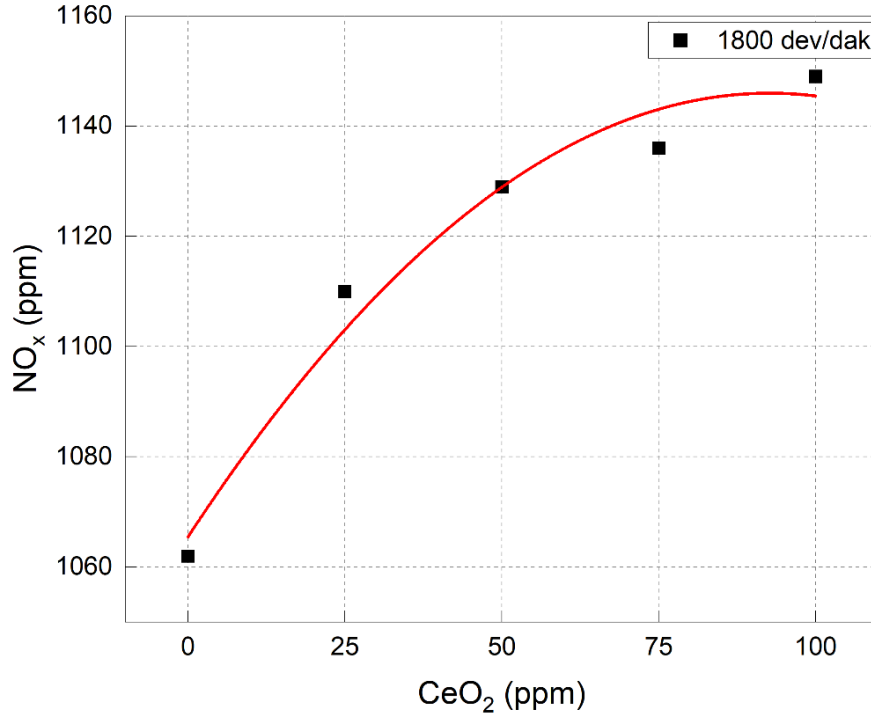
7.2.3. NO_x Emisyonları

Şekil 7.15 ve 7.16’de dizel yakıtta CeO₂ nano parçacık katkı ilavesinin NO_x emisyonuna etkisi gösterilmiştir. NO_x oluşumunun ana nedeni silindir içerisinde yanma sıcaklığının artmasıdır. Çoğunlukla silindir içerisine emilen havanın içindeki nitrojen moleküllerinden oluşmaktadır. Yanma odası sıcaklığı 1800 °C üzerine çıktığında oksijen molekülleri ve nitrojen molekülleri ayrışmakta ve sıcaklığa bağlı olarak NO emisyonlarını oluşturmaktadırlar [28,59]. En düşük NO_x miktarı 1600 dev/dak’da D0 yakıtında 977 ppm olarak elde edilmiştir. Düşük motor hızlarında silindir içi sıcaklığında düşük olmasından dolayı NO_x emisyonu düşük çıkmaktadır. Motor hızı ve CeO₂ konsantrasyonu arttıkça NO_x emisyonları artmaktadır. Dizel yakıtına göre 1600 dev/dak’da DCe25, DCe50, DCe75 ve DCe100 yakıtlarında sırasıyla %1,23, %5,43, %9,21 ve %12,28 artış göstermiştir. Maksimum motor momentinin elde edildiği 1800 dev/dak ve maksimum motor gücünün elde edildiği 2800 dev/dak’da D0 yakıtına göre DCe100 yakıtında ki NO_x emisyonu artışı sırasıyla %8,19 ve %6,65 olmuştur.



Şekil 7.15. NO_x emisyonunun motor devrine göre değişimi.

Bu artışın sebeplerinden biri hızlı yanma işlemidir. Bu yanma ısısını yükseltmekte ve NO_x oluşumunu teşvik etmektedir. CeO_2 nano parçacığın dizel yakıtına ilave edilmesi yakıtın alt ısıl değerini arttırdığı için yanma sonu sıcaklığı artmaktadır. CeO_2 'nin içerdiği oksijen ve neden olduğu yüksek reaksiyon oranı silindir içi sıcaklığı yükseltmekte ve NO_x oluşumuna neden olmaktadır [12,56]. Termik verimdeki artış NO_x emisyonlarındaki artışı tetiklemektedir [71].

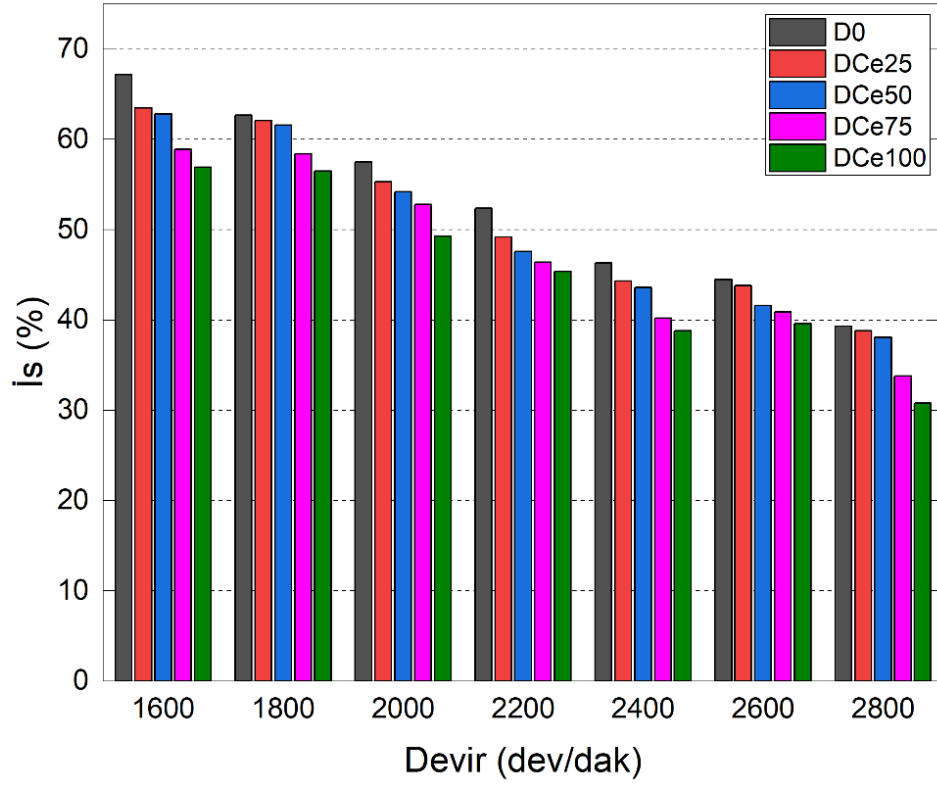


Şekil 7.16. NO_x emisyonunun CeO_2 miktarına göre değişimi.

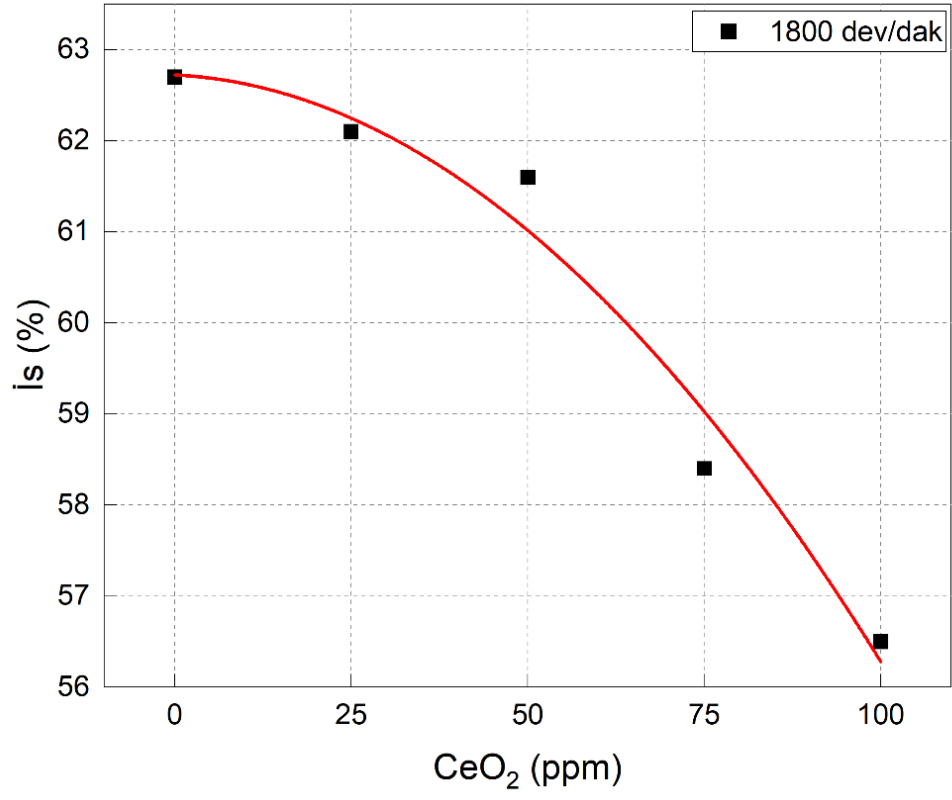
7.2.4. İş Emisyonu

Dizel yakıtına CeO_2 ilavesinin iş emisyonlarına etkisi Şekil 7.17 ve 7.18'de gösterilmiştir. İş emisyonu, motorda yanma esnasında silindir içerisinde yakıt olarak zengin bölgelerde meydana gelmektedir. Emisyonun partikülleri katı karbon molekülleridir. Bu moleküller yanma odasında zengin yakıt bölgelerinde oksijene ulaşamadıklarında oluşmaktadır [59,72]. Şekil 7.17'de görüldüğü gibi CeO_2 miktarının artması ile iş emisyon miktarı düşmektedir. 1800 dev/dak'da D0 yakıtında %62,7 olurken, D0 yakıtına göre DCe100 yakıtında iş emisyonundaki azalma miktarı %9,88 olmuştur. Minimum iş emisyonu miktarı 2800 dev/dak'da DCe100 yakıtında %30,8 olarak ölçülmüştür. D0 yakıtına göre DCe25, DCe50, DCe75 ve DCe100

yakıtlarında is emisyonunda ki azalma sırası ile %1,27 – %3,05 – %13,99 ve %21,63 olmuştur. CeO₂'nin sağladığı oksijen sayesinde is emisyonunda azalma elde edilmiştir. Ayrıca viskozite ve yoğunluktaki azalma yakıt ve hava karışımında iyileşme sağlamakta ve is emisyonunu azaltmaktadır [73].



Şekil 7.17. İS emisyonunun motor devrine göre değişimi.



Şekil 7.18. İis emisyonunun CeO₂ miktarına göre değişimi.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu deneysel çalışma, CeO₂ nano parçacığının dizel yakıtı içerisine ilave edilerek tek silindirli, dört zamanlı bir motorda, farklı motor devirlerinde gerçekleştirilmiştir. CeO₂ nano parçacığı 25ppm, 50ppm, 75ppm ve 100ppm miktarlarında ultrasonic karıştırıcıyla dizel yakıtı içerisine homojen bir şekilde karıştırılmıştır. CeO₂ nano parçacığının motor performansına ve emisyonlara etkisi deneysel olarak gözlemlenmiş ve incelenmiştir.

- CeO₂ nano parçacık katkısının dizel yakıtına katılması, silindir içerisinde oluşan yanmada yakıt taneciklerine daha fazla oksijenin ulaşmasını ve yanmanın daha verimli olmasını sağlamıştır. Bu sayede iyileşen yanma motor momentini olumlu yönde etkilemiştir. Maksimum motor momenti 1800 dev/dak'da D0 yakıtına göre 100ppm CeO₂ ilave edilen DCe100 yakıtında %8,99 artarak 27,99 Nm olarak elde edilmiştir.
- CeO₂ nano parçacık ilave edilen dizel yakıtlarının viskozitesinin azaltılıp alt ısı değerleri artırılarak hava/yakıt karışımının daha iyi olması sağlanmıştır. Bu sonuçlar motor gücünü olumlu yönde etkilemiştir. Elde edilen en yüksek güç 2800 dev/dak'da DCe100 yakıtında D0 yakıtına göre %11,58 artarak 7,09 kW elde edilmiştir.
- Özgül yakıt tüketimini olumlu yönde etkileyen CeO₂ nano parçacığı, yakıtın alt ısı değeri arttırmakta ve aynı gücün daha az yakıt miktarı ile elde edilmesini sağlamaktadır. En düşük yakıt tüketimi momentin en yüksek olduğu 1800 dev/dak'da D0 yakıtına göre DCe100 yakıtında %6,1 azalarak 310,50 g/kWh elde edilmiştir. Artan motor devri ile birlikte özgül yakıt tüketimi de artmıştır.

- Termik verim, CeO₂ nano parçacık miktarının artması ile birlikte yükselmektedir. Yakıt damlacıklarına daha yüksek temas alanı oluşturmuş. Artan aktif yüzey alanı ile birlikte yanma reaksiyonlarında iyileşme sağlanmış ve verimde artış elde edilmiştir. Maksimum verim 1800 dev/dak'da D0 yakıtında %27,34 iken DCe100 yakıtında %5,44 artarak %28,8 olmaktadır.
- CeO₂ nano parçacık miktarının artması egzoz gazında bir miktar yükselmeye sebep olmuştur. Yakıtta CeO₂ karıştırılması alt ısıl değeri arttırdığı için yanma iyileşmekte ve bunun sonucunda yanma sonu sıcaklıkları artmaktadır. D0 yakıtına göre en yüksek sıcaklık artışı 2400 dev/dak'da DCe100 yakıtında %7,05 olmuştur. En yüksek sıcaklık ise 2800 dev/dak'da D0 yakıtına göre DCe100 yakıtında %4,37 artarak 741 °C olmuştur.
- Dizel yakıtına CeO₂ nano parçacık katkısının ilave edilmesi emisyonlar üzerinde etkili olmuştur. CeO₂'nin sağladığı oksijen sayesinde yanma daha iyi gerçekleşmekte ve yanmayan yakıt oranı azalmaktadır. Yakıt parçacıkları daha fazla oksijene ulaşmakta ve yanma oranı artmaktadır. Bunun sonucunda CO, HC ve is emisyonları azalmaktadır. CO emisyonu 2800 dev/dak'da D0 yakıtına göre DCe100 yakıtında % 18,27 azalmıştır. Minimum HC emisyonu miktarı D0 yakıtına göre 58 ppm ile %30,12 azalarak DCe100 yakıtında elde edilmiştir. Minimum is emisyonu miktarı D0 yakıtına göre yine 2800 dev/dak'da DCe100 yakıtında %21,63 azalmıştır.
- CeO₂ nano parçacığının dizel yakıtına ilave edilmesi NO_x emisyonları miktarında artışa neden olmuştur. CeO₂ yakıtın alt ısıl değerini arttırmakta, yanmaya ekstra oksijen sağlamakta ve yanmayı iyileştirmektedir. Bunun sonucunda silindir içindeki yanma sıcaklığı artmakta ve havadan alınan azot molekülleri oksijen ile daha fazla reaksiyona girmektedir. En düşük NO_x miktarı 1600 dev/dak'da D0 yakıtında 977ppm olmuştur. Maksimum NO_x emisyonu ise D0 yakıtına göre DCe100 yakıtında 2800 dev/dak'da %6,65 artarak 1283ppm elde edilmiştir.

İçten yanmalı motorların güvenli ve optimum performansını elde etmek, yeni ekipman oluşturmak için tutuşma gecikmesi, yanıcılık sınırları, sıcaklıklar ve basınçlar gibi önemli yanma parametreleri de dahil olmak üzere yanma olaylarının anlaşılması ve güvenilir bir şekilde öngörülmesi gerekmektedir. Bu nedenden dolayı deneysel tez çalışması neticesinde elde edilen verilerin sonuçları dikkate alınarak aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- Artan silindir içi sıcaklığı NO_x artışına neden olduğu için, performansa en az etki edecek bir alkollü ya da biyodizel katkı maddesi karışıma eklenebilir.
- CeO_2 nano parçacık katkı maddesinin uzun vadede hareketli parçalara etkisi üzerine bir inceleme yapılabilir.
- Farklı motor yüklerinde deneysel çalışmalar yapılabilir ve incelenebilir.
- Püskürtme basıncı ve püskürtme avansı değiştirilerek emisyonlara ve performansa etkisi incelenebilir.
- Farklı nano parçacık boyutlarının motor performansına etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Turkenburg, W. C., Faaij, A., "Energy and the Challenge of Sustainability", *Renewable Energy Technologies*, Goldemberg, J., New York: UNDP, 219-272 (2000).
2. Silambarasan, R., Senthil, R., "Effects of nano additives on performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with Annona methyl ester", *Biofuels*, 7 (3): 271-277 (2016).
3. Shahid, E. M., Jamal, Y., "A Review of biodiesel as vehicular fuel", *Renewable&Sustainable Energy Reviews*, 12 (9): 2484-2494 (2008).
4. Sezer, İ., Bilgin, A., "Farklı Çalışma Koşullarında Dietil Eter- Dizel Yakıt Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi", *TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi*, 53 (631): 42-29 (2012).
5. Saraee, H. S., Taghavifar, H., Jafarmadar, S., "Experimental and numerical consideration of the effect of CeO₂ nanoparticles on diesel engine performance and exhaust emission with the aid of artificial neural network", *Applied Thermal Engineering*, 113: 663-672 (2017).
6. Gürü M., Karakaya, U., Altınparmak, D., Alıcılar, A., "Improvement of Diesel fuel properties by using additives", *Energy Conversion and Management*, 43 (8): 1021-1025 (2002).
7. Kantamneni, H., Gollakota, A., Nimmagadda, S., "Avant-garde Nanotechnology applications in Automotive Industry", *Advanced Materials Manufacturing & Characterization*, 3 (107): 195-197 (2013).
8. Ahmed, A., Shah, A. N., Azam, A., Uddin, G. M., Ali, M. S., Hassan, S., Ahmed, H., Aslam, T., "Environment-friendly novel fuel additives: Investigation of the effects of graphite nanoparticles on performance and regulated gaseous emissions of CI engine", *Energy Conversion and Management*, 211: 112748 (2020).

9. Goharshadi, E. K., Samiee, S., Nancarrow, P., "Fabrication of cerium oxide nanoparticles: Characterization and optical properties", *Journal of Colloid and Interface Science*, 356 (2): 473-480 (2011).
10. Chen, H. I., Chang, H.Y., "Synthesis and characterization of nanocrystalline cerium oxide powders by two-stage non-isothermal precipitation", *Solid State Communications*, 133 (9): 593-598 (2005).
11. Chaichan, M. T., Kadhum, A. A. H, Al-Amiery, A. A., "Novel technique for enhancement of diesel fuel: Impact of aqueous alumina nano-fluid on engine's performance and emissions", *Case Studies in Thermal Engineering*, 10: 611-620 (2017).
12. Chen, A. F., Adzmi, M. A., Adam, A., Othman, M. F., Kamaruzzaman M. K., Mrwan A. G., "Combustion characteristics, engine performances and emissions of a diesel engine using nanoparticle-diesel fuel blends with aluminium oxide, carbon nanotubes and silicon oxide", *Energy Conversion and Management*, 171: 461-477 (2018).
13. D'Silva, R., Binu K. G., Bhat T., "Performance and emission characteristics of a C.I. engine fuelled with diesel and TiO₂ nanoparticles as fuel additive", *Materials Today: Proceedings*, 2 (4-5): 3728-3735 (2015).
14. Lenin, M. A., Swaminathan M. R., Kumaresan, G., "Performance and emission characteristics of a DI diesel engine with a nanofuel additive", *Fuel*, 109: 362-365 (2013).
15. Selvan, V. A. M., Anand, R. B., Udayakumar, M., " Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel-ethanol blends on the performance and emission characteristics of a CI engine", *J Eng Appl Sci*, 4 (7): 1819-6608 (2009).
16. Sajeevan, A. C., Sajith, V., "Diesel Engine Emission Reduction Using Catalytic Nanoparticles: An Experimental Investigation", *Journal of Engineering*, 2013 :589382 (2013).
17. Aalam, S., " Cerium Oxide Nanoparticles as Additive with Diesel Fuel on DI Diesel Engine", *International Journal of Innovative Research and Creative Technology*, 1 (2): 215-219 (2015).

18. Dinesha, P., Kumar, S., Rosen, M., "Effects of particle size of cerium oxide nanoparticles on the combustion behavior and exhaust emissions of a diesel engine powered by biodiesel/diesel blend", *Biofuel Research Journal*, 8 (2): 1374-1383 (2021).
19. Bafghi, A. A. T., Bakhoda, H., Chegeni, F. K., " Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Addition in Diesel and Diesel-Biodiesel Blends on the Performance Characteristics of a CI Engine", *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 9 (8): 1507-1512 (2015).
20. Patil, D. S., Chopade, D. A, Kumbhalkar, M. A., "Experimental investigation of effect of cerium oxide nanoparticles as a fuel additives in cottonseed biodiesel blends", *MAYFEB Journal of Mechanical Engineering*, 1: (2018).
21. Heywood, J. B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", *McGraw-Hill*, New York, 45-547 (1988).
22. Salmani, M. H., Sharma, R. C., Kumar, H., Dhingra M., " Effect of used transformer oil on efficiency of compression ignition engine", *International Journal for Technological Research in Engineering*, 2 (7): 786-791 (2015).
23. Çelik, M., "Biyodizel yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Enstitüsü*, Ankara, 27-48 (2015).
24. Borat, O., Balcı, M., Sürmen A., "İçten Yanmalı Motorlar Cilt 1", *Teknik Eğitim Vakfı*, Bursa 260-263 (1994).
25. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E., Soruşbay C., "İçten Yanmalı Motorlar", *Birsen Yayın Evi*, İstanbul 58-133 (1995)
26. Challen, B., Baranescu, R., "Diesel Engine Reference Book Second Edition", *Butterworth-Heinemann*, Oxford, 100-102 (1999).
27. Aghbaslo, M., Tabatabaei, M., Khalife, E., Shojaei, T. R., Dadak, A., "Exergoeconomic analysis of a DI diesel engine fueled with diesel/biodiesel (B5) emulsions containing aqueous nano cerium oxide", *Energy*, 149: 967-978 (2018).
28. Vezir, A., "Bir dizel motorunda buhar enjeksiyonunun NO_x ve is emisyonlarına etkisinin araştırılması", Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 22-42 (2009).

29. Acarođlu, M., Aydođan H., Özçelik A. E., "Yakıtlar ve Yanma", *Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık, Genişletilmiş ve Güncellenmiş 2. Basım*, Ankara, 164-274 (2018).
30. İnternet: Frost and Sullivan The Growth Pipeline Company, "Mobility: Automotive & Transportation", <https://www.frost.com/frost-perspectives/european-emission-regulations-will-stringent-emission-regulations-choke-automotive-industry-or-will-oems-find-their-way-out/>
- <https://www.frost.com/frost-perspectives/active-aerodynamics-systems-drive-long-range-electric-vehicles-penetration/> (2016-2017).
31. Official Journal of the European Union, Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019.
32. Resmî Gazete, 7 Ekim 2021 tarihli 31621 sayı.
33. Uslu, S., "Düşük güçlü bir dizel motorda dietil eter kullanılmasının motor parametrelerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 32-50 (2015).
34. Orak, E., "Tek silindirli dizel motorlarda emme portuna su püskürtmenin, performans ve emisyonu etkilerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 36 (2011).
35. İlkılıç, C., "Çeşitli alternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elâzığ, 37-39 (1999).
36. Norhafana, M., Noor, M. M., Sharif P. M., Hagos, F. Y., Hairuddin, A. A., Kadirgama, K., Ramasamsy, D., Rahman, M. M., Alenezi, R., Hoang, A. T., "A review of the performance and emissions of nano additives in diesel fuelled compression ignition-engines", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 469 (1): (2018).
37. TS 3082 Otomotiv yakıtları - Dizel (Motorin)- Gereklere ve deney yöntemleri. EN 590 / Eylül 2005
38. Özer, S., "Bütanol kullanımının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 50-52 (2010).

39. Tillem, İ., "Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 21 (2005).
40. Kaya, C., "Biyodizelin gemi dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımının deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 36 (2019).
41. Basha, J. S., "An Experimental Analysis of a Diesel Engine Using Alumina Nanoparticles Blended Diesel Fuel", *SAE Technical Paper*, 2014-01-1391 (2014).
42. Baliç, F., "Dizel motorunda etil alkol fumigasyonunun motor performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 21-27 (2007).
43. Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M., Bian, Y. Z., Ren, X. C., "Performance and combustion characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine", *Applied Energy*, 87 (5): 1679-1686 (2010).
44. Yasin, M. M., Yusaf, T., Mamat, R., Yusop, A. F., "Characterization of a diesel engine operating with a small proportion of methanol as a fuel additive in biodiesel blend", *Applied Energy*, 114: 865-873 (2014).
45. Hulwan, D. B., Joshi, S., V., "Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel–ethanol–biodiesel blends of high ethanol content", *Applied Energy*, 88 (12): 5042-5055 (2011).
46. Bayındır, H., "Etanol-Benzin karışımlarının benzinli motorlarda motor ve karakteristikleri ve hava kirliliğine etkileri", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elâzığ, 60-62 (1998)
47. Official Journal of the European Union, Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003.
48. Resmî Gazete, 7 Temmuz 2012 tarihi 28346 sayı.
49. Pugazhvadivu, M., Rajagopan S., "Investigations on a diesel engine fuelled with biodiesel blends and diethyl ether as an additive", *Indian Journal of Science and Technology*, 2 (5): 31-35 (2009).

50. İbrahim, A., "Investigating the effect of using diethyl ether as a fuel additive on diesel engine performance and combustion", *Applied Thermal Engineering*, 107: 853-862 (2016).
51. Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M., Bian Y. Z., "Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine", *Renewable Energy*, 36 (4): 1252-1258 (2011).
52. Roy, M. M., Wang, W., Alawi, M., "Performance and emissions of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel, biodiesel-diesel-additive and kerosene-biodiesel blends", *Energy Conversion and Management*, 84: 164-173 (2014).
53. Sabancı, A., Atal, M., Yaşar, A., "Türkiye'de biyodizel kullanım olanakları", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2 (1): 33-39 (2006).
54. Balan, K. N., Yashvanth, U., Devi, P. B., Arvind T, Nelson H., Devarajan, Y., "Investigation on emission characteristics of alcohol biodiesel blended diesel engine", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 41 (15): 1879-1889 (2019).
55. Roy, M. M., Wang, W., Bujold, J., "Biodiesel production and comparison of emissions of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel and canola oil-diesel blends at high idling operations" *Applied Energy*, 106: 192-208 (2013).
56. Hossain, A. K., Hussain, A., "Impact of nanoadditives on the performance and combustion characteristics of neat jatropha biodiesel", *Energies*, 12 (5): 921 (2019).
57. Nassir, A. K., Shahad, H., "Experimental study of effect of nanoparticles addition on combustion phasing in diesel engine", *Int J Mech Mechatron Eng*, 12 (1): 87-97 (2018).
58. Hoang, A. T., "Combustion behavior, performance and emission characteristics of diesel engine fuelled with biodiesel containing cerium oxide nanoparticles: A review", *Fuel Processing Technology*, 106840: 218 (2021).
59. Pulkrabek, W. W., "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine", *Prentice Hall Upper Saddle River*, New Jersey 50-289 (2004).
60. Yaliwal, V. S., Banapurmath, N. R., Revenakar, S., Tewari, P. G., "Effect of mixing chamber or carburetor type on the performance of diesel engine operated on biodiesel and producer gas induction", *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 5 (2): 25-37 (2016).

61. Hazar, H., Mahmut, U., Aydın, H., Şap, Emine., "The effects of apricots seed oil biodiesel with some additives on performance and emissions of a diesel engine", *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 5 (3): 102-114 (2016).
62. Agarwal, A. K., Som, S., Shuklar, P. C., Goyal, H., Longman, D., "In-nozzle flow and spray characteristics for mineral diesel, Karanja, and Jatropha biodiesels." *Applied Energy*, 156: 138-148 (2015).
63. Mirzajanzadeh, M., Tabatabaei, M., Ardjmand, M., Rashidi, A., Ghobadian, B., Barkhi, M., Pazouki, M., "A novel soluble nano-catalysts in diesel–biodiesel fuel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions", *Fuel*, 139: 374-382 (2015).
64. Ashok, B., Nanthagopal, K., Mohan, A., Johny, A., Tamilarasu, A., "Comparative analysis on the effect of zinc oxide and ethanox as additives with biodiesel in CI engine", *Energy*, 140: 352-364 (2017).
65. Soudagar, M. E. M., Nik-Ghazali, N. N., Kalam, M. A., Badruddin, I. A., Banapurmath, N. R., Akram, N., "The effect of nano-additives in diesel-biodiesel fuel blends: A comprehensive review on stability, engine performance and emission characteristics", *Energy Conversion and Management*, 178: 146-177 (2018).
66. Murugesan, A., Avinash, A., Gunasekaran, E. J., Murugaganesan, A., "Multivariate analysis of nano additives on biodiesel fuelled engine characteristics", *Fuel*, 275: 117922 (2020).
67. Mehregan, M., Moghiman, M., "Numerical investigation of effect of nano-aluminum addition on NO_x and CO pollutant emissions in liquid fuels combustion", *Int J Mater Mech Manuf*, 2 (1): 60-63 (2014).
68. Singh, T. S., Rajak, U., Samuel, O. D., Chaurasiya, P. K., Natarajan, K., Verma, T. N., Nashine, P., "Optimization of performance and emission parameters of direct injection diesel engine fuelled with microalgae *Spirulina* (L.) – Response surface methodology and full factorial method approach", *Fuel*, 285: 119103 (2021).
69. Favre, C., May, J., Bosteels, D., "Emissions control technologies to meet current and future European vehicles emissions legislation", *Association of Emissions Control By Catalyst* (AECC), (2013).

70. Singh, Y., Sharma, A., Singh, G. K., Singla, A., Singh, N. K., "Optimization of performance and emission parameters of direct injection diesel engine fuelled with pongamia methyl esters-response surface methodology approach", *Industrial Crops and Products*, 126: 218-226 (2018).
71. Kumar, S., Dinesha, P., "Optimization of engine parameters in a bio diesel engine run with honge methyl ester using response surface methodology", *Measurement*, 125: 224-231 (2018).
72. Rao, G. A. P., Sharma, T. K., "Engine Emission Control Technologies: Design Modifications and Pollution Mitigation Techniques", *Apple Academic Press*, 37-38 (2020).
73. Babu, K. R., Raja, R. B., "Theoretical and experimental validation of performance and emission characteristics of nanoadditive blended diesel engine", *International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, 3 (5): 18-31 (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah Burak ARSLAN, İlk öğrenimini ve orta öğrenimini Karabük'te tamamladı. Karabük Demir Çelik Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2014 yılında lisans eğitimine Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği bölümünde başladı ve 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans programına başlamıştır.