



**DİZEL/B₂O₃ NANOPARÇACIK KARIŞIMLARININ
DİZEL MOTOR KARAKTERİSTİKLERİNE
ETKİLERİNİN YANIT YÜZEY METODOLOJİSİ
İLE İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Şule SARAL

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Samet USLU**

**DİZEL/B₂O₃ NANOPARÇACIK KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN YANIT YÜZEY
METODOLOJİSİ İLE İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

Şule SARAL

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Samet USLU**

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

**KARABÜK
Ocak 2024**

Şule SARAL tarafından hazırlanan “DİZEL/NANOPARÇACIK KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN YANIT YÜZEY METODOLOJİSİ İLE İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Samet USLU

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Samet USLU (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ŞİMŞEK (İAÜ)

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

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.”

Şule SARAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL/B₂O₃ NANOPARÇACIK KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN YANIT YÜZEY METODOLOJİSİ İLE İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU

Şule SARAL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Samet USLU

Ocak 2024, 61 sayfa

Dünyanın en büyük çevre sorunlarından biri olan hava kirliliğinin temel sebeplerinden biri olan içten yanmalı motorlu taşıtların kullanılabilmesi için gerekli olan yakıtların tükenmekte olması sebebi ile alternatif yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar ve yatırımlar önemli ölçüde artmıştır. Dizel motorlarda özellikle azot oksit (NO_x) emisyonlarının yüksek olması sebebi ile alternatif yakıtların üretilmesi çevre kirliliğinin azaltılması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada bor oksit (B₂O₃) nanoparçacığı ve dizel yakıt karışımlarının emisyonlara ve motor performansına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel yakıtları, B₂O₃ nanoparçacığının dizel yakıtın içerisine 10, 20 ve 30 ppm miktarlarında eklenmesi

sonucunda elde edilmiştir. Deneyle tek silindirli ve düşük güçlü bir dizel motor kullanılarak farklı motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtta 20 ppm B_2O_3 eklenmesi ile elde edilen yakıtla yapılan testlerde en düşük özgül yakıt tüketimi (ÖYT) elde edilmiştir. 3000 watt motor yükü altında B_2O_3 20 yakıtı ile yapılan deneysel çalışmada ÖYT değeri dizel yakıtta göre %1,75 oranında azalmıştır. B_2O_3 10 yakıt ile 1000 watt motor yükü altında yapılan deneysel çalışmada %35,13 oranında artış ile maksimum ÖYT değerine ulaşılmıştır. Karışımın içerisindeki B_2O_3 katkısı arttıkça ÖYT’de artış olduğu görülmüştür. Dizel yakıtta eklenen B_2O_3 katkısı ile oluşturulmuş yeni yakıtlar ile yapılan deneyler, katkı olarak kullanılan B_2O_3 miktarının artması ile doğru orantılı olarak NO_x emisyonlarının da arttığını ortaya koymuştur. Nanoparçacık katkısının 20 ppm’e kadar artışı NO_x miktarını arttırırken, 30 ppm de düşme eğilimi görülmüştür. En yüksek NO_x miktarı B_2O_3 20 yakıtı ile 3000 watt motor yükünde yapılan deneyde elde edilirken, en düşük NO_x miktarı katkısız dizel yakıt ile 500 watt motor yükünde yapılan deney sonucunda elde edilmiştir. B_2O_3 20 yakıtı ile yapılan deneysel çalışmada NO_x emisyonunun miktarı %52,21’lik bir artış oranı ile dizel yakıtta göre en yüksek artışı göstermiştir.

Kullanılan nanoparçacığın zengin oksijen içeriği sebebi ile yakıt içerisindeki B_2O_3 miktarı arttıkça is emisyonları, hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksit (CO) emisyonları azalmıştır. En düşük is emisyonu katkısız dizel yakıt ile 500 watt motor yükünde, en yüksek is emisyonu B_2O_3 10 yakıtı ile 3000 watt motor yükünde elde edilmiştir. HC emisyonunun %62,12’lik oranda azalması ile maksimum iyileşme 500 watt motor yükünde B_2O_3 30 yakıtı ile yapılan deneysel çalışmada elde edilmiştir. CO emisyonunun %57,14’lük oranda azalması ile maksimum iyileşme 2500 watt motor yükünde B_2O_3 10 ve B_2O_3 20 yakıtları ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilmiştir. Dizel yakıtta eklenen B_2O_3 nanoparçacığı ile elde edilen yakıtlar katkı oranı fark etmeksizin dizel yakıttan daha iyi emisyon sonuçları sağlamıştır. Karbondioksit (CO_2) emisyonu için en düşük sonuçlar saf dizel yakıt ile elde edilirken artan B_2O_3 miktarı ile CO_2 emisyonları da artış göstermiştir. CO_2 emisyonunu miktarında dizel yakıtta göre en çok artış %19,01’lik oran ile B_2O_3 30 yakıtının 1000 watt motor yükü altında test edilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen veriler yanıt yüzey metodoloji ile optimizasyon için Minitab uygulamasında kullanılmıştır. Uygulama sonucunda motor yükü ve B₂O₃ miktarı için optimum değerlere, ÖYT ve emisyonlar için optimum yanıtlara ulaşılmıştır. B₂O₃ için optimum değer 2,12 ppm iken motor yükü için optimum değer 1409,09 watt olarak tespit edilmiştir. ÖYT için 333,57g/kWh, is emisyonu için %0,45, NO_x emisyonu için 439,66 ppm, CO₂ için %4,61 ve HC emisyonu için 25,77 ppm olarak tespit edilmiştir.

Dizel yakıt ile kullanıldığında bazı emisyon değerlerini iyileştirirken bazı emisyon değerlerini arttıran B₂O₃ nanoparçacığı ÖYT'yi de artırmıştır. Emisyon değerlerinin düşürülmesi hedeflendiği için kullanımı is emisyonları, HC ve CO emisyonları için avantaj sağlarken, NO_x ve CO₂ emisyonları için dezavantaj sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde B₂O₃ nanoparçacığının motor özelliklerinde değişikliğe gidilmeden dizel yakıt katkı maddesi olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bor Oksit, Nanoparçacık, Alternatif yakıt, Motor Performansı
Egzoz emisyonları

Bilim Kodu : 91413

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION AND OPTIMIZATION OF THE EFFECTS OF DIESEL/B₂O₃ NANOPARTICLE MIXTURES ON DIESEL ENGINE CHARACTERISTICS USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

SULE SARAL

**Karabuk University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Samet USLU

January 2024, 61 pages

The experimental investigation of the effects of boron oxide (B₂O₃) and diesel fuel blends on emissions and engine performance has been conducted in this study, focusing on the primary cause of air pollution, which is the depletion of fuels necessary for the operation of motor vehicles. Due to the high nitrogen oxides (NO_x) emissions in diesel engines, the production of alternative fuels is crucial for reducing environmental pollution.

The experimental fuels were obtained by adding boron oxide nanoparticles to diesel fuel at concentrations of 10, 20, and 30 ppm. The experiments were carried out using a single-cylinder, low-power diesel engine at different engine loads. The tests conducted with the fuel obtained by adding 20 ppm boron oxide to diesel fuel resulted in the lowest specific fuel consumption (SFC). In the experimental study conducted with 3000 watts of engine load using B₂O₃20 fuel, the specific fuel consumption

value decreased by 1,75% compared to diesel fuel. In the experimental study conducted with B₂O₃10 fuel at 1000 watts of engine load, a 35,13% increase was achieved, reaching the maximum SFC value. An increase in B₂O₃ content in the mixture led to an increase in SFC. Experiments with the newly created fuels, which included boron oxide as an additive, revealed that the amount of NO_x emissions increased proportionally with the increase in the amount of boron oxide used as an additive. While the addition of nanoparticle content up to 20 ppm increased NO_x levels, a decreasing trend was observed at 30 ppm. The highest NO_x level was obtained in the experiment with B₂O₃30 fuel at 3000 watts of engine load, while the lowest NO_x level was obtained in the experiment with pure diesel fuel at 500 watts of engine load. The experimental study with B₂O₃30 fuel showed a 52,21% increase in NO_x emissions compared to diesel fuel.

Due to the rich oxygen content of the used nanoparticle, as the boron oxide content in the fuel increased, particulate matter (PM) emissions, hydrocarbon (HC), and carbon monoxide (CO) emissions decreased. The lowest PM emissions were obtained with pure diesel fuel at 500 watts of engine load, while the highest PM emissions were obtained with B₂O₃10 fuel at 3000 watts of engine load. The maximum improvement in HC emissions, with a decrease of 62,12%, was achieved in the experimental study with B₂O₃30 fuel at 500 watts of engine load. The maximum improvement in CO emissions, with a decrease of 57,14%, was achieved in the experimental studies with B₂O₃10 and B₂O₃20 fuels at 2500 watts of engine load. Fuels obtained by adding boron oxide nanoparticles to diesel fuel provided better emission results than diesel fuel, regardless of the additive ratio.

While the lowest carbon dioxide (CO₂) emission results were obtained with pure diesel fuel, increasing boron oxide content also increased CO₂ emissions. The highest increase in CO₂ emissions, with a rate of 19,01%, was observed when testing B₂O₃30 fuel at 1000 watts of engine load.

The data obtained from the experimental studies were used in the Minitab application for response surface methodology optimization. As a result, optimum values were reached for engine load and boron oxide concentration, as well as optimum responses

for emissions. The optimum value for boron oxide was determined to be 2,12 ppm, while the optimum value for engine load was 1409.09 watts. The responses were determined as 333.57 g/kWh for specific fuel consumption, 0,45% for PM emissions, 439,66 ppm for NO_x emissions, 4,61% for CO₂ emissions, and 25,77 ppm for HC emissions.

When used with diesel fuel, boron oxide nanoparticles improved some emission values while increasing others, resulting in an increase in specific fuel consumption. Although the use of boron oxide nanoparticle as a diesel fuel additive provides advantages for reducing PM emissions, HC, and CO emissions, it poses a disadvantage for NO_x and CO₂ emissions. The results indicate that boron oxide nanoparticle can be used as a diesel fuel additive without altering engine characteristics.

Key Words : Boron oxide-diesel mixtures, Diesel engine, Alternative fuel,
Engine performance, Exhaust emissions

Science Code : 91413

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca bana her türlü desteği sunan ve bu tez çalışmasının ortaya çıkmasında büyük pay sahibi olan, kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen, deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Karabük Üniversitesi öğretim üyesi değerli hocam Doç. Dr. Samet USLU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Karabük Üniversitesi KBÜBAP-22YL-113 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü birimine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme, eşime ve üzerimde emeği olan herkese tüm kalbimle sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3	6
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR	6
3.1.DİZEL MOTORLARDA YANMA	6
3.1.1. Tutuşma Gecikmesi.....	7
3.1.2. Kontrolsüz Yanma.....	7
3.1.3. Kontrollü Yanma	8
3.1.4. Art Yanma	8
3.2.DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLAR.....	8
3.1.5. Hidrokarbon (HC) Emisyonları.....	9
3.1.6. Karbon monoksit (CO) Emisyonu	9
3.1.7. Azot Oksit (NO _x) Emisyonu	9
3.1.8. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonu	11
3.1.9. İs Emisyonu.....	11

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	12
DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİ	12
4.1.KİNEMATİK VİSKOZİTE	12
4.2. YOĞUNLUK	12
4.3.SETAN SAYISI	13
4.4.AKMA NOKTASI	13
4.5.UÇUCULUK	14
4.6.PARLAMA NOKTASI	14
4.7.YANMA ARTIKLARI	14
4.8.ISIL DEĞER	14
4.9.KOROZİF ETKİ	15
4.10.ANİLİN NOKTASI	15
BÖLÜM 5	16
DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR VE DİZEL YAKIT KATKI MADDELERİ	16
5.1.ALTERNATİF YAKITLAR	16
5.1.1. Doğalgaz	16
5.1.2. Hidrojen	17
5.1.3. Biyodizel	17
5.1.4. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	18
5.1.5. Biyogaz	18
5.1.6. Alkoller	19
5.2.YAKIT KATKI MADDELERİ	19
5.2.1 Seryum Oksit (CeO ₂)	20
5.2.2. Titanyum dioksit (TiO ₂)	21
5.2.3. Dietil Eter	21
5.2.4. Bor Oksit	22

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6	24
MATERYAL VE METOT	24
6.1. MATERYAL	24
6.1.1. Deney Alanı	24
6.1.2. Deney Motoru	25
6.1.3. Deneyde Kullanılan Yakıtlar	26
6.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI	27
6.2.1. Yükleme Ünitesi	27
6.2.2. Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi	28
6.2.3. Homojen Karışımın Elde Edilmesi	29
6.2.4. Yakıtın Karıştırılması	30
6.2.5. Hassas Terazi	31
6.3. DENEYLERİN YAPILIŞI	32
6.3.1. Motor Deneyleri	32
6.4. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR	32
BÖLÜM 7	33
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	33
7.1. MOTOR PERFORMANSI	33
7.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi	33
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI	34
7.2.1. NO _x Emisyonu	34
7.2.2. İS Emisyonu	35
7.2.3. CO Emisyonu	36
7.2.4. HC Emisyonu	38
7.2.5. CO ₂ Emisyonu	39
7.3. YANIT YÜZEY METODOLOJİSİ İLE OPTİMİZASYON	40
BÖLÜM 8	54
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Dizel motorlarında yanma diyagramı.	7
Şekil 5.1. B ₂ O ₃ nanoparçacığının taramalı elektron mikroskobu (TEM) altındaki....	23
görüntüsü.....	23
Şekil 6.1. Deney düzeneği.....	24
Şekil 6.2. Deney düzeneğinde kullanılan motor ve jeneratör.	25
Şekil 6.3. Deneyde kullanılan yakıtlar.	26
Şekil 6.4. Deneyde kullanılan B ₂ O ₃ nanoparçacığı.	26
Şekil 6.5. Elektronik kontrol ünitesi.	28
Şekil 6.6. Elektronik terazi.....	29
Şekil 6.7. Manyetik karıştırıcıda homojen karışım eldesi.....	30
Şekil 6.8. Ultrasonik karıştırıcı ile nanoparçacık içerikli yakıtın karıştırılması.	31
Şekil 6.9. Hassas terazi ile nanoparçacık ölçümü.	31
Şekil 7.1. ÖYT'nin farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi.....	34
Şekil 7.2. NO _x gazının farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi.....	35
Şekil 7.3. Is emisyonunun farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi.	36
Şekil 7.4. CO gazının farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi.	37
Şekil 7.5. HC gazının farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi.	39
Şekil 7.6. CO ₂ gazının farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi	40
Şekil 7.7. Yanıt yüzey metodolojisi için Minitab uygulamasında yapılan seçimler ..	42
Şekil 7.8. Paremetre sayısına göre tasarım tipinin seçilmesi.	43
Şekil 7.9. Farklı kombinasyonlarda yapılacak deney sayısının gösterildiği ekran. ...	43
Şekil 7.10. Deney sayısının seçilmesi.	44
Şekil 7.11. Dizayna başlamak için takip edilen adımlar.	44
Şekil 7.12. Yanıtların seçildiği ekran.....	45
Şekil 7.13. Deneylerin değerlendirme ve etkileşim kriterlerinin seçilmesi.	45
Şekil 7.14. Sonuçların doğruluk seviyesinin seçilmesi.....	46
Şekil 7.15. Çizilecek grafiklerin belirlenmesi.....	47

Sayfa

Şekil 7.16. Yanıt yüzey metodolojisinin sonuçları.	47
Şekil 7.17. Özgül yakıt tüketiminin motor yükü ve B_2O_3 miktarına göre değişimi... 48	48
Şekil 7.18. HC emisyonunun motor yükü ve B_2O_3 miktarına göre değişimi.	49
Şekil 7.19. CO emisyonunun motor yükü ve B_2O_3 miktarına göre değişimi.	49
Şekil 7.20. CO_2 emisyonunun motor yükü ve B_2O_3 miktarına göre değişimi.....	50
Şekil 7.21. NO_x emisyonunun motor yükü ve B_2O_3 miktarına göre değişimi.	50
Şekil 7.23. Optimizasyon için Minitab uygulamasında yapılan seçimler.....	52
Şekil 7.24. Optimum sonuçlar için minimum değerlerin seçilmesi.	52
Şekil 7.25. Optimizasyon grafiği.	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 6.1. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler.....	25
Çizelge 6.2. Dizel yakıtın özellikleri	27
Çizelge 6.3. Bor oksit nanoparçacığının özellikleri	27

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

P_e	: Efektif güç
B	: Saatlik yakıt tüketimi
B_e	: Özgül yakıt tüketimi
CO	: Karbon monoksit
CO_2	: Karbondioksit
NO_x	: Azot oksit
HC	: Hidrokarbon
CeO_2	: Seryum Oksit
TiO_2	: Titanyum dioksit
B_2O_3	: Bor oksit

KISALTMALAR

B_2O_310	: 10 ppm B_2O_3 İçeren Yakıt Karışımı
B_2O_320	: 20 ppm B_2O_3 İçeren Yakıt Karışımı
B_2O_330	: 30 ppm B_2O_3 İçeren Yakıt Karışımı
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
TG	: Tutuşma Gecikmesi
PM	: Partikül Madde

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynakları fosil ve yenilenebilir olarak iki büyük başlık altında incelenebilmektedir. Bu ana kaynaklara fosil için kömür, petrol ve doğalgaz gibi örnekler verilebilirken, yenilenebilir kaynaklar için hidrojen ve rüzgâr örnek verilebilir. Dünyada enerjiye duyulan ihtiyacın büyük bir çoğunluğu örnek verdiğimiz fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan tüketim fosil yakıtların tüketimini de arttırmış ve fosil yakıtlara artan ihtiyaç gelecek ile ilgili kaygılara sebep olmaya başlamıştır. Var olan fosil yakıtların yakın gelecekte dünyadaki enerji ihtiyacını karşılayamayacağı düşünülmektedir. Bu kaygılar dünyada alternatif enerji kaynakları aranmaya başlanmasına sebep olmaktadır.

Günlük hayatta birçok alanda yaygın olarak kullanılan dizel yakıtın ve dizel motorların tercih edilmesi için birçok sebep vardır. Verimliliğinin yüksek olması en önemli pozitif özelliklerinden biridir. Birçok pozitif özelliğe sahip olması sebebiyle de dizele verilen önem ve ilgi artmıştır. Nüfusa bağlı olarak sanayinin, endüstrinin ve taşımacılığın hızla artması yenilenemeyen kaynaklardan olan dizel yakıtı ihtiyacı arttırmaktadır. Fakat dizel gibi petrol bazlı yakıtlar sınırları olan kaynaklardan elde edilmektedir.

Anlatılan bunca pozitif tarafın yanında çevreye ve ekosisteme verdiği zararlar ise yadsınamaz. Özellikle dünyanın ortak problemi olan emisyonlar nüfus artışı ile birlikte geleceğinizi tehlike altına sokmaktadır. Hidrokarbonlar, azot oksitler, kükürtlü bileşikler ve karbon oksitler bu emisyonlara örnek teşkil etmektedir [1]. Emisyonlar içerdikleri zararlı moleküller sebebi ile sadece çevreyi kirletmekle kalmayarak insan hayatını da olumsuz etkilemektedir. İnsanlarda solunumsal semptomlara, akciğer hastalıklarına ve sinir hastalıklarına sebep olmaktadır. İnsanların dışında bitkilere ve hayvanlara da birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır.

Artan araç sayısı ve yakıt tüketimi ile daha verimli motorlara olan ilgi ve ihtiyaçlar da bu doğrultuda artmıştır. Fakat dizel motorların emisyonlar ile ilgili problemlerinden ötürü önemli kısıtlamaları vardır. Bu emisyon problemine rağmen özellikle taşımacılıkta yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Emisyon problemi ile ilgili birçok yetkin kişi tarafından sayısız çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların arasında dizele nanoparçacık eklenmesi ile yakıtın ve motorun özelliklerinin iyileştirilmeye çalışılması da vardır [2].

Dizel yakıtlar son döneme kadar maliyet açısından daha avantajlı olması sebebi ile tercih edilirken artık fiyat açısından da avantajlı olan yönleri azalmaktadır. Dizel yakıtın çevreye verdiği zararı azaltmak için ülkelerin çoğunda dizel yakıt fiyatlarının arttırılması ile kullanımın oranlarının azaltılması hedeflenmektedir. Dizel yakıt kullanımının azaltılması teşvik edilirken alternatif yeni yakıt arayışları artmakta ve yakıtlara yapılan katkılar ile emisyon oranları düşürülmeye çalışılmaktadır. Yakıtlarda içerik değişikliğine gidilmeden yakıtların özelliklerinde iyileştirme yapılması daha ekonomik bir yöntem olmaktadır. İçerik değişmediği için araç motorlarında da değişikliğe gidilmemesini sağlayacağından daha avantajlıdır.

Bu çalışmada dizel yakıt ve nanoparçacık karışımının dizel motor karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Nanoparçacıklar hacimsel yapılı maddelere göre oldukça üstün özellikler sergileyebilmektedirler. Bu amaçla farklı oranlardaki nanoparçacıkların dizel yakıtı karıştırılması ile elde edilen sonuçların yarattığı optimizasyon incelenmiştir. Araştırmanın yanıt yüzey metodolojisi ile yapılması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yaygınlaşan nano teknoloji son zamanlarda her alanda kullanılmaya başlanarak malzemelerin pozitif özellikleri arttırılmaya çalışılmaktadır. Elde edilecek yeni ürünlerin fonksiyonları geliştirilmek istenmektedir. Bu sebeple de nano teknoloji üzerine yapılan çalışmalara ağırlık verilmeye başlanmıştır. Kelime anlamı olarak nano fiziksel bir büyüklüğün milyarda biri demektir [3].

Günümüzde yapılan araştırmalarda test sayısının fazla olması çalışmaların süresini uzatmakta ve süreci zorlaştırmaktadır. Test sayılarının ve dolayısıyla test sürelerini azaltılabilmesi ve elde edilen sonuçların optimizasyonu için giriş faktörlerinin cevap değerlerine etkisini incelemeye yarayan, matematiksel ve istatistiksel yöntemler ile yapan yanıt yüzey metodolojisi kullanılmaktadır [4].

Zhu ve Zhang tarafından yapılan çalışmada motorun düşük çalışma devirlerinde katkı olarak eklenen demir pikrat sayesinde özgül yakıt tüketiminin ve egzoz emisyonlarının azaldığı gözlemlenmiştir [5].

Avrupa’da büyük ticari araç firmalarının birinde ağır yük taşıyan firmaların birinde dizele seryum oksit katılarak ortaya çıkan karışımın yakıt tasarrufu ve verimli yanma üzerindeki etkileri incelenmiştir. %10 oranında yakıt tasarrufu elde edilirken, yanmanın ise daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır [6].

Wakefield ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise dizel yakıtına katılan seryum oksit nano partikülünün dizel yakıtın verimliliğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu deneysel çalışmada bazı zararlı egzoz emisyonlarının da azaldığı anlaşılmıştır [7]. Arslan tarafından yapılan çalışmada seryum oksit nanoparçacığı eklenen dizel yakıtın ve kullanıldığı motorun özelliklerinde ne gibi değişikliklere sebep olduğu incelenmiştir. Dizel yakıtına sırasıyla 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm ve 100 ppm oranlarında

nanoparçacık eklenerek işlem yapılmıştır. Eklenen nanoparçacık dizel yakıtta viskozitenin azalmasına ve alt ısıl değerin artmasına sebep olmuştur. Dizel yakıtta nanoparçacık eklenmesi ile birlikte yanma verimli hale gelmiş ve bu durum momentin pozitif yönde etkilenmesini sağlamıştır. Motor gücü de olumlu yönde etkilenmiştir. Eklenen nanoparçacığın artması termik veriminde artmasına sebep olmuştur. Yanmanın iyileşmesi verim artışını desteklemiştir. Aynı zamanda artan nanoparçacık miktarı çıkan egzoz seviyesini yükseltmiştir. Bu sebeple eklenen nanoparçacığın emisyon düzeylerinin üzerinde de etkili olduğu görülmüştür. Yanma oranı arttığında yanmamış yakıt oranı azalmıştır. CO, HC ve is emisyonları azalma eğilimi gösterirken NO_x emisyonları artma eğilimi göstermiştir [8].

Gümüş tarafından yapılan çalışmada Al₂O₃, CuO ve TiO₂ nanoparçacıklar dizel yakıtta eklenmiştir. Parlama noktası eklemenin sonucunda yükselmiştir. Eklenen nanoparçacıklar arasında artış seviyesine en az sebep olan TiO₂ nano partikülünün sebep olduğu görülmüştür. Soğuk filtre tıkanma noktası testleri tüm karışımlarda dizelin saf haline göre pozitif sonuçlar vermiştir. Nanoparçacık karışımı olan yakıtlarda damıtma kaybı da daha az olmuştur. Karışım yakıtlarda setan indeksleri de gözle görülür oranda artmıştır, bu artışın emisyon değerlerini düşüreceği öngörülmüştür. Deneysel çalışmaların sonucu incelendiğinde nano yakıtların dizele göre termofiziksel özelliklerinin değiştiği gözlenmiştir fakat bu değişimler yakıtı olumsuz yönde etkilememiştir. Zararlı egzoz emisyonları %12 oranında azalmış, tork %4 artmış ve ek olarak nano partikül eklenmesine rağmen maliyetlerde önemli bir artış olmamıştır [9].

Sonenschein tarafından yapılan çalışmada metal nano partiküllerin dizel yakıtta katılması ile dizel yakıtın tutuşma ve buharlaşma özelliklerindeki değişimler üzerine bir çalışma yapılmıştır. %0,1 ve %0,5 oranlarında eklenen metal nano partiküller oldukça az oranda katılmış olsalar da dizel yakıtın tutuşma ve buharlaşma özelliklerinin arttırdığı anlaşılmıştır. Fakat bu artış durumunun yalnızca düşük sıcaklıklarda etkili olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda bu parametrelere gözle görülür bir etkisi olmadığı anlaşılmıştır [10].

Rani vd. tarafından dizel yakıtta ve dizel-etanol karışımına alüminyum oksit nanoparçacıklar eklenerek dört zamanlı tek silindirli sabit hızlı dizel motorların farklı yüklerde performans ve emisyon karakteristikleri üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmada nanoparçacık katkılı karışımlarla motorun fren termal veriminin yüksek yüklerde arttığı gözlemlenmiştir. Özgül yakıt tüketiminin de aynı şekilde arttığı anlaşılmıştır. Yüksek yüklerde çalışan motorlarda CO emisyonu daha düşük olmuştur. Düşük yüklerde ise nitrojen oksit emisyonunun düşük olduğu gözlemlenmiştir [11].

Özer vd. yapılan bu çalışmada dizel yakıtta boraks dekahidrat katkı maddesi olarak eklenmiş ve katkı maddesinin dizel yakıt ve dizel motor üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı oranlarda dizel ve boraks dekahidrat karışımları test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarla yakıt tüketimi, güç, tork ve egzoz emisyonları gibi parametreler ölçülmüştür. Katkı maddesi olan boraks dekahidratın oksijen içeriğinin zengin olması sebebi ile NO_x emisyonları dışındaki emisyonları azalttığı gözlemlenmiştir. Egzoz sıcaklığı artarken NO_x ve CO_2 emisyonlarının da arttığı gözlemlenmiştir. HC ve CO emisyonlarında düşüş olmuş, aynı zamanda fren özgül yakıt tüketiminin de düştüğü gözlemlenmiştir. Gelecekte bu çalışmadaki gibi yakıt katkı maddesi olarak borun kullanılabileceği anlaşılmıştır [2].

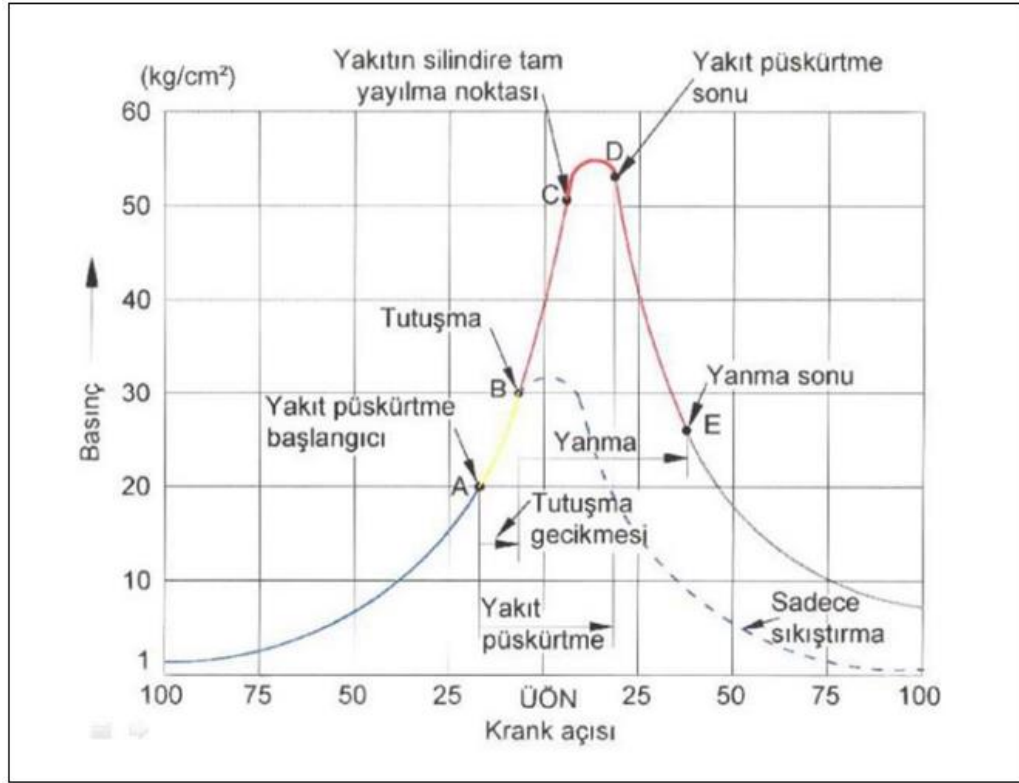
BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR

3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA

Dizel motorlar oksijenli gazların yüksek sıcaklık ve basınca ulaşmasının ardından silindire püskürtülmüş olan yakıtın patlaması ana prensibi ile çalışmaktadır. Gaz sıkıştırılırken yükselen sıcaklık ile birlikte yakıt ateşlenir. Hava silindir içine alınırken piston tarafından da sıkıştırılır. Bu adımlar gerçekleşirken havanın mevcut sıcaklığı da 500-700 °C'ye ulaşır. Pistonun ulaştığı en yüksek noktada yakıt yanma odasına püskürtülür. Yükselen sıcaklık ve yüksek basınçlara ulaşan hava ile karışır ve o anda yanma gerçekleşir [12]. İçten yanmalı bir motor tipi olan dizel motorlarda yanma 4 evrede gerçekleşmektedir.

- a) Tutuşma Gecikmesi
- b) Kontrolsüz Yanma
- c) Kontrollü Yanma
- d) Art Yanma



Şekil 3.1. Dizel motorlarında yanma diyagramı [13].

3.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Tutuşma gecikmesi evresi yakıtın sıkıştırılmış havaya püskürtüldüğü ve yanma için gereken yakıt hava karışımının oluştuğu evredir. Tutuşma sıkıştırmanın sonunda hemen gerçekleşmez yakıtın tutuşabilmesi için istenilen tutuşma sıcaklığının oluşması ve yakıtın oksijenle karışması gerekmektedir. Tutuşmanın gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan zamana yani yakıtın püskürtülmeye başlandığı andan ilk alevin meydana geldiği ana kadar geçen süreye verilen addır. Tutuşma gecikmesinin tamamen yok edilmesi mümkün değildir. Sürenin kısaltılması ile yanmanın verimi ve optimizasyonu mümkün olabilmektedir [14].

3.1.2. Kontrolsüz Yanma

Bir diğeri adı ile ani yanma safhasıdır. Silindirin içerisindeki basınç, silindire püskürtülen karışımın bir kısmının tutuşmaya başlaması ile aniden yükselir. Bu yükselmenin oranını tutuşma gecikmesinin süresi ve yanma odasındaki yakıtın miktarı belirlemektedir. Basınçtaki ani yükselmenin hızı motorda dizel vuruntusu olarak

ortaya çıkmaktadır. Dizel vuruntusu yüksek basınç artışına bağlı olarak motorun daha sert ve gürültülü çalışmasıdır. Bu durum ancak tutuşma gecikmesi süresinin kısaltılması ile çözümlenebilmektedir. Günümüzde, başlangıçta püskürtülen yakıt miktarı azaltılarak ya da kademelendirilerek dizel motorlardaki vuruntu problemi azaltılabilmektedir [15].

3.1.3. Kontrollü Yanma

Kontrollü yanma evresi basıncın maksimum seviyeye ulaştığı andan yanmanın büyük bir çoğunluğunun gerçekleştiği ana kadar geçen süreyi ifade eder. Dizel motorda yanma birden fazla noktadan başlayarak gerçekleşir. Kontrolsüz yanma evresinde gerçekleşen ani yanma sonucunda silindirin içerisindeki sıcaklık ve basınç seviyesi çok yüksek olduğundan kontrollü yanma evresinde enjeksiyondan püskürtülen yakıt oksijeni bulunduğu anda yanar. Bu açıdan yanmanın hızı hava ile yakıtın karışmasına silindir içerisindeki oksijen miktarına ve enjeksiyonun karakteristiğine doğrudan bağlıdır [15].

3.1.4. Art Yanma

Kontrollü yanmanın gerçekleşmesinin ardından egzoz supabının açıldığı ana kadar meydana gelen reaksiyonlara art yanma denir. Püskürtmenin bitmesiyle silindirin içinde kalan ve yanmamış maddeler silindirin içerisindeki oksijen miktarına bağlı olarak yanmaya devam eder. Bu esnada piston alt ölü noktaya doğru harekete geçer. Önündeki hacmi arttırarak basınç ve sıcaklığı azaltır. Art yanma evresinin kısa sürmesi motorun daha verimli çalışması için önemlidir [16].

3.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLAR

Dizel motorlarda kullanılan yakıtlar uygun şartlar altında hava ile tam yandığında yanma ürünleri olarak CO₂, H₂O ve N₂ ortaya çıkmaktadır. Bu yanma ürünlerine ek olarak karışımın fakir ya da zengin olmasına bağlı olarak hava kirliliğine neden olan bazı kirleticiler de ortaya çıkar. Egzoz gazında PM, NO_x, CO, CO₂, HC ve is gibi kirleticiler konsantrasyonlara rastlanmaktadır.

3.1.5. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Hidrokarbonlar egzoz gazından hava yakıt oranının istenilenden daha az ya da fazla olması ile, düşük kompresyon, supap bindirmesi ve silindir içinde homojen olmayan sıcaklık dağılımından dolayı; kısmen yanmış ya da yanmaya hiç dahil olmadan dışarıya atılan emisyonlardır. Tutuşma gecikmesinden hemen sonra silindire püskürtülen yakıt, mevcut yakıtın hava ile karışma hızını yavaşlatır. Karışımın oluşma hızı yavaşladıkça eksik yanma ve hidrokarbon emisyonlarına sebep olan aşırı zengin karışım ortaya çıkar. Aşırı zengin karışım yanmamış hidrokarbon oluşumunun en önemli sebeplerindendir. Hidrokarbon emisyonlarının oluşumu yakıt sistemine, motor yüküne, yanma odasındaki şartlara, motor tasarımına, yakıt özelliklerine ve hava emiş yöntemine bağlıdır [17].

3.1.6. Karbon monoksit (CO) Emisyonu

Silindir içerisine püskürtülen yakıt ile başlayan yanma esnasında yakıtın yeterli miktarda oksijen ile reaksiyona girememesi sonucunda karbon monoksit emisyonları ortaya çıkar. Yetersiz oksijen ve düşük sıcaklık yanma odasında eksik yanmaya sebep olur ve hidrokarbon yakıtlarının eksik yanması ile karbon monoksit emisyonları oluşur. Özellikle yakıt oranı fazla olan zengin karışımlarda daha çok karbon monoksit emisyonu üretilir. Fakir karışımla çalışan motorlarda ise homojen olmayan karışım ve sıcaklık dağılımı reaksiyon oluşturma zamanı bulamadan egzozdan atılmasına sebep olduğu için karbon monoksit emisyonuna sebep olmaktadır. Dizel motorlar hava fazlalığı olan yakıt karışımları ile çalıştığından, yakıtça zengin karışımlarla çalışan motorlara göre çok daha az karbon monoksit emisyonu oluşturmaktadır. Herhangi bir renge ve kokuya sahip olmayan karbon monoksit gazı, maruz kalınması halinde dokulardaki oksijen miktarını azaltarak insan sağlığını da olumsuz etkilemektedir.

3.1.7. Azot Oksit (NO_x) Emisyonu

Azot yaklaşık 8 farklı oksit oluşturmaya rağmen hava kirliliği açısından en önemlileri NO (azot monoksit) ve NO₂ (azot dioksit)'tir. NO, NO₂, N₂O₂ vb. tüm bileşikler NO_x olarak tanımlanmaktadır. NO_x emisyonları özellikle 1800 Kelvin'in

üzerindeki sıcaklıklarda ortaya çıkmaktadır. Karışımın içerisindeki havanın yüksek sıcaklıkla iyonize olması sebebi ile tehlikeli NO_x emisyonları ortaya çıkar. Dizel motorlarda gerçekleşen yanma ile, hacimce yaklaşık %90'ı NO ve %5'i NO_2 'den oluşan azotoksit emisyonları oluşmaktadır. Doğal çevre şartlarında da NO - NO_2 dengesi NO_2 oluşturacak yöndedir. Stokiyometrik orana yakın karışımlarda yanma sırasında NO oluşur. Alevin geçtiği bölgelerdeki gazın sıcaklığı ve karışım oranı NO oluşum hızını belirlemektedir. Stokiyometrik karışımlarda maksimum NO oluşurken karışımın zenginleşmesi ya da fakirleşmesi ile NO oluşum miktarı azalmaktadır. NO alev cephesinin önünde ve arkasında oluşabilmektedir. Alev cephesinin geçtiği bölgelerde önündeki bölgeye göre daha fazla NO oluşmaktadır fakat alev bölgesinde oluşan NO reaksiyonla atmosferde NO_2 'ye dönüşmektedir.

Dizel motorların hava fazlalığı açısından zengin karışım ile çalışması sebebi ile diğer motorlara göre NO_x oluşturma potansiyelleri daha yüksektir. Benzin motorlarında bir ton egzoz gazındaki NO_x oranı 18,42 kg iken dizel motorlarında bu oran 123,71 kg'lara ulaşabilmektedir.

NO_x emisyonlarının oluşumunda yakıt enjeksiyon sistemi özellikleri, yakıtın kalitesi ve karışım içerisindeki oksijen konsantrasyonu oldukça önemlidir.

Yakıtın kalitesi ile setan sayısı kastedilmiştir. Dizel motorda sıkıştırma ile ısınan havanın içinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen sayıya setan sayısı denir. Fazla olması ile tutuşma gecikmesi periyodu azalır ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması sonucu hızlı basınç artışı önlenmektedir.

Oksijen konsantrasyonunda NO_x emisyonlarının oluşumunda etkili olduğundan bahsedilmiştir. Artan oksijen konsantrasyonu NO_x emisyonlarını da arttırmaktadır. Oksijen konsantrasyonunun artması ile tutuşma gecikmesi kısalır. Bu durum püskürtme avansının azalmasını da imkân tanır. Azalan avans ile NO_x emisyonları da azalır [18].

3.1.8. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

Dizel motorlarda karbondioksit emisyonunun oranı yakıtın kalitesi, yakıtın yanması ve motor verimliliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Yanma sırasında oksijen ile reaksiyona girerek birleşen karbon ve hidrojenler CO₂'ye dönüşür. Yanan yakıtın içeriği de CO₂ emisyonlarının oranında etkilidir. Sülfür içeriği CO₂ emisyonunun artmasına neden olur. Düşük sülfür içeriğine sahip yakıtlar daha az emisyonla sebep olur. Motorun verimliliği yakılan yakıt miktarını azaltacağından ve daha az yakıt kullanılmasına sebep olacağından emisyonların azalmasına sebep olur. CO₂ emisyonu atmosferde sera gazı etkisi göstererek güneş ışınlarının tutulmasına sebep olabilir. Dünyada sıcaklığın artması ve iklimdeki değişikliklerin temel sebepleri arasında gösterilmektedir. Değişen iklim koşullarının ekosisteme zarar vereceği düşünülmektedir. CO₂ emisyonlarının azaltılması için egzoz gazını temizlemek için yeni teknolojiler, yakıt ekonomisini iyileştirme yolları ve alternatif yakıtlar çözüm önerisi olarak sunulabilir [19].

3.1.9. İS Emisyonu

İs emisyonlarının temel sebepleri yakıtın yanması, yakıtın kalitesi, egzoz gazları, motorun tasarımı ve performansı olarak değerlendirilebilir. Yanma sırasında dizel motorlarda karbon partikülleri ve yanmamış hidrokarbonlar salınır. Bahsi geçen partiküller is emisyonlarının temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Yanan yakıtın içerisindeki sülfür ve yakıtın kimyasal özelliklerinin is emisyonları üzerindeki etkileri sülfür oranındaki artış ile is emisyonlarının da artması ile gözlenebilmektedir. Dizel motorların egzoz gazlarında is partikülleri bulunmaktadır. Egzoz gazlarının atmosfere yayılması ile is partiküller de çevreye yayılmaktadırlar. Dizel motorların tasarımı yanma verimliliğini ve performansı etkilediğinden is emisyonlarının miktarını da etkileyebilmektedir. İS emisyonları çevre koşullarını ve insan sağlığını önemli düzeyde etkileyebilmektedir. İS emisyonları ile hava kirliliği ve solunum yolu hastalıkları ile iklim koşullarını ve insan sağlığını etkileyebilmektedir. Dizel partikül filtreleri, motor tasarımında ve yakıt kalitesinde yapılacak iyileştirmeler ile is emisyonlarının azaltılması mümkün olabilmektedir [20].

BÖLÜM 4

DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİ

Günümüzde kullanım yoğunluğu en yüksek olan yakıtlardan birisi olarak dizel yakıt öne çıkmaktadır. Daha fazla güce ve enerjiye ihtiyaç duyulduğunda, avantaj yaratması sebebi ile tercih sebebi de olmaktadır. Dizel yakıtlar petrolün 200-350 °C sıcaklıklara kadar ısıtılması ile elde edilmektedir. Kaynama noktası 150 °C ile 380 °C arasında değişim göstermektedir. Yapılarındaki karbon sayıları 8-16 arasında değişmektedir. Dizel yakıtın kalitesini ve kullanıldığı alandaki performansını etkileyen bazı özellikler bulunmaktadır. Bu bölümde dizel yakıtın özelliklerinden bahsedilecektir [49].

4.1.KİNEMATİK VİSKOZİTE

Akışkanların akmaya karşı gösterdiği direnç kinematik viskozite olarak tanımlanabilmektedir. Dizel motorlarda yakıt ve enjeksiyon sistemlerinde önemli bir parametredir. Enjektörlerin işlevselliği yakıtın püskürtülmesi ve yanmanın verimliliği üzerinde de oldukça etkilidir. Dizel motorlardaki kinematik viskozite motorun performansını ve dayanıklılığını belirleyici etkiye sahiptir. Ölçümler çeşitli viskozimetreler ile gerçekleştirilebilir. Bu ölçümler uygun yağ ve yakıt seçimlerini yapabilmek için önemlidir [21]. Viskozite küçüldükçe akış direnci azalır ve yanma iyileşmektedir. Buna bağlı olarak is emisyonlarının miktarı da azalmaktadır. Viskozitenin belirli değerlerin altına inmemesi gerekmektedir çok düşük olması kaçakların artmasına sebep olmaktadır [22].

4.2. YOĞUNLUK

Dizel motorlarda yoğunluk motorun çalışması için kullanılan dizel yakıt ve motor yağının yoğunluğunu ifade etmektedir. Yoğunluk bir malzemenin birim hacmi başına

düşen kütleli tanımlamaktadır. Yakıtın ve yağın yoğunluğu dizel motorlarda motorun performansı yakıt ve yağın yoğunluğuna bağlı olarak değişim göstermektedir. Dizel motorlarda yakıtın yoğunluğu yanma verimliliğini etkilemektedir. Yoğunluğu yüksek bir dizel yakıt daha fazla enerji sağlayabilir ve motorun daha iyi performans ile çalışmasını sağlayabilmektedir [23].

4.3. SETAN SAYISI

Dizel yakıt özelliklerinden setan sayısı tutuşma performansının göstergesini ifade etmektedir. Motor içinde yanmanın ne kadar elverişli olduğunun göstergesidir. Yüksek setan sayısına sahip yakıtlarda tutuşma daha kolay gerçekleşebilmektedir ve daha hızlı yanma meydana gelebilmektedir. Dizel motorlarda benzinli motorlarda olduğu gibi yanmanın başlaması için kıvılcıma ihtiyaç duyulmamaktadır. Dizel motorlarda yakıt silindir içerisinde artan basınç ve sıcaklığın etkisi ile kendiliğinden tutuşmaktadır [24]. Setan sayısı karbon zincirinin uzunluğuna bağlı olarak artış göstermektedir. Standart motorlarda ideal yakıt kullanımı için setan sayısının 45-60 arasında olması gerekmektedir. Setan sayısının 38'in altına düştüğü durumlarda yanma süresi oldukça fazla uzamaktadır. Bu sebeple tutuşma gecikmesi için setan sayısı oldukça önemlidir. Tutuşma gecikmesi motorlarda vuruntuya sebep olacağından yüksek setan sayısına sahip yakıt kullanılan motorlarda tutuşma için gereken süre ve doğrudan vuruntu azalmaktadır [25].

4.4. AKMA NOKTASI

Akma noktası dizel yakıt özelliklerinden biri olup, düşük hava sıcaklıklarında oldukça önem arz etmektedir. Akma noktası değerinin yüksek olması durumunda yakıtın akıcılığı azalmaktadır. Akıcılığı azalan yakıt motorun zor çalışmasına sebep olmaktadır. Akma noktası sıcaklığı, motorun bulunduğu ortamın sıcaklığından daha düşük olmalıdır [26].

4.5. UÇUCULUK

Uçuculuk yakıtların buharlaşabilme yeteneğini ifade etmektedir. Sıvılarından sıvı halinden gaz haline geçme sıcaklığını belirtmektedir. Benzinli motorlarda olduğu kadar önemli olmamakla beraber dizel motorlar için de önemli bir yakıt özelliği olarak bilinmektedir. Dizel yakıtlarda uçuculuk damıtma sıcaklığının %90'ı olarak ifade edilmektedir. Yüksek uçuculuk yeteneğine sahip yakıtlar egzoz sıcaklığını, egzoz emisyonlarını, dumanı ve yakıt tüketimini azaltabilmektedir [26].

4.6. PARLAMA NOKTASI

Parlama noktası en temelde ürünün güvenle kullanılması için önem arz etmektedir. Dizel yakıtlarda yangını önleme noktasında önemlidir. Yanıcı bir akışkanın kıvılcım ile tutuşabileceği karışımı oluşturabilecek kadar sıcak buhar yaydığı sıcaklığı ifade etmektedir. Güvenlik için yakıtlarda parlama noktasının 65-150°C aralığında olması beklenmektedir. Özellikle de 35°C'nin altına düşmemesi beklenmektedir [26].

4.7. YANMA ARTIKLARI

Dizel yakıtların önemli problemlerinden biri de yanma sonucunda ortaya çıkan karbon ve kül atıklarıdır. Yanma sonucunda ortaya çıkan artıklar motor parçalarında ve bölümlerinde birikmeye sebep olmaktadır. Setan sayısının belli bir değere kadar artırılması ile bu problem de azalmalar gözlemlenebilmektedir [27].

4.8. ISIL DEĞER

Yakıtın kütesinden veya birim hacminden elde edilen enerji ısı değer olarak ifade edilmektedir. Yakıttaki enerji içeriğinin miktarını ifade etmesi sebebi ile yakıtlarda yüksek olması beklenmektedir. Yanma sonu ortaya çıkan egzoz gazlarında su buharı bulunması sebebi ile alt ısı değeri dikkate alınmaktadır. Karbon ve hidrojen atomlarının sayısı ısı değerinde artışa sebep olmaktadır. Dizel yakıtta nanoparçacık eklenmesi ile ısı değerinde artış olduğu görülmektedir [28].

4.9. KOROZİF ETKİ

Dizel yakılarda kükürt içeriği korozyon bakımından tehlike arz etmektedir. Yakıt içerisinde istenmeyen bileşikler sebebi ile korozyon meydana gelebilmektedir [29].

4.10. ANİLİN NOKTASI

Anilin noktası dizel yakıtlardaki parafinik yapılı hidrokarbonların miktarını göstermektedir. Yüksek anilin noktası hidrokarbon miktarının da fazla olduğunu göstermektedir. Anilin aromatik hidrokarbonları her zaman eriten, parafinikleri ise yalnızca sıcakta eritme özelliğine sahip bir eritgendir. Anilin noktası dizel indeks hesaplamalarında da kullanılmaktadır. Belirli bir sıcaklık altında dizel anilinin içinde tamamen erir fakat erimiş halde soğumaya bırakıldığında parafinler yakıt içerisinde ayrışmaya başlamaktadır. Bu ayrışma sırasında iki ayrı tabaka görüldüğünde anilin noktası belirlenmektedir. Dizel indeksi = $\frac{\text{Anilin noktası}(^{\circ}\text{F}) \times \text{API Gravite}(60^{\circ}\text{F})}{100}$ formülü ile hesaplanmaktadır [30]

BÖLÜM 5

DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR VE DİZEL YAKIT KATKI MADDELERİ

Dünyada ve ülkemizde yakıtın önemi her geçen gün artarken petrol bazlı yakıtlara ulaşım ve maliyetler de büyük bir hızla artmaktadır. Dizel motorlarda petrol kaynaklı dizel yakıt ulaşım sektörünün en temel enerji kaynağını oluşturmaktadır. Her geçen gün ortaya çıkan ihtiyaç artışına karşılık petrol rezervlerinin sınırlı olması ya da belirli bölgelerde toplanmış olması insanları yeni yakıt arayışlarına sürüklemektedir. Alternatif yakıt arayışlarının ortaya çıkardığı bilimsel çalışmaların da oldukça önem kazanmasına sebep olmaktadır. Kökeni petrole dayalı olmayan alternatif yakıtlar, petrol rezervlerinin azalmasına ve tükenmesi karşı en önemli çözümlerden biri olarak görülmektedir. Ancak alternatif yakıtların çözüm olamadığı durumlarda da petrol kökenli yakıtlara eklenecek katkı maddeleri ile performans özellikleri iyileştirilirken emisyon oranları ve çevre koşullarının da optimum seviyede tutulması hedeflenmektedir. Çalışmaları yapılan alternatif yakıtların ve yakıt katkı maddelerinin kullanılabilir olması için en önemli özelliklerin başında motor performansı, ortaya çıkan egzoz emisyonlarının oranı ve maliyetler gelmektedir. Yakıtların ve yakıt katkı maddelerinin kullanılabilmesi için bu parametrelerde ortaya çıkacak verimsizlik ya da olumsuz yönde gerçekleşen artışlar istenmeyen durumlardır [31].

5.1. ALTERNATİF YAKITLAR

5.1.1. Doğalgaz

Doğalgaz yeryüzünün alt katmanlarında bulunan organik maddelerin zamanla bakterileşmesi aynı zamanda krojenleşme ve ısıl ayrışma sonucunda oluşan, içeriğinin büyük bir çoğunluğu metan ve çeşitli hidrokarbonlardan oluşan yanıcı bir gaz karışımıdır. Alternatif yakıtlara oranla içeriğinde kükürt miktarının az olması avantajlı özellikleri arasında bulunmaktadır. Atmosferdeki doğalgaz oranının çok az ya da çok

fazla olması durumunda yanma ve patlama riski yoktur. Ancak belirli bir oranda bulunması halinde patlama tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Yakıt olarak kullanılması durumunda yanma sonucunda ortaya çıkardığı emisyon miktarı azdır. Çevreyi kirletici emisyonlar yönünden alternatif yakıtlara oranla daha temiz bir yakıttır [32].

5.1.2. Hidrojen

Hidrojen enerji kaynağı olarak bilinse de enerji taşıyıcısı olarak tanımlanmaktadır. Diğer yakıtlara oranla enerji içeriği en yüksek olan alternatif yakıttır. Dünyada en çok bulunan element olarak da bilinmektedir. Yakıt olarak kullanıldığında enerji taşıyıcı olarak kullanımı daha uygun görülmektedir. Hidrojen yakıt olarak kullanıldığında karbon bileşimi içermediğinden zararlı egzoz emisyonlarına da sebebiyet vermemektedir. Kullanımı sonucunda atık olarak sadece su ortaya çıkmaktadır. Alternatif yakıtlar ile kıyaslandığında yanma ve patlama riski düşüktür. Oksijen ve hava ile bir araya gelen hidrojen 450 °C'nin üzerinde kendi kendine tutuşabilmektedir. Hidrojen üretimi için güneş, rüzgâr, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil yakıtlar kullanılabilir. Hidrojen kullanımdaki en önemli problemlerin başında depolamanın güçlüğü ve üretimin yüksek maliyetle gerçekleşmesidir. Bu sebepler de hidrojenin yakıt olarak kullanımını engellemektedir [33].

5.1.3. Biyodizel

Dizel motorlar için önemli alternatif yakıtlardan olan biyodizel, ham veya atık bitkisel yağlardan ya da hayvansal yağlardan üretilmektedir. Dizel yakıtlar için önemli yenilenebilir yakıt alternatifleri arasında gösterilmektedir. Biyodizel üretiminde dünyada en yaygın kullanılan bitkisel yağ, kanola yağıdır ve biyodizelin kalitesi, yakıtın hammaddesinde kullanılan yağın özelliklerine bağlı olduğu kadar biyodizelin üretim tekniğine de bağlıdır. Dizel motorlarda biyodizel katkısının oranları motorun yapısına, çalışma şartlarına ve özelliklerine bağlı olarak emisyon ve performansında farklı sonuçlara sebep olmaktadır. Bitkisel yağlar kullanılarak elde edilen biyodizelin ısıl değeri katkısız dizel yakıtı oranla %10 daha az olmaktadır. Biyodizel ve dizel karışımlarında özgül yakıt tüketiminde az miktarda artış gerçekleşmektedir. Ancak termik verimde değerler dizele oldukça yakındır. Biyodizel yakıtların en

önemli avantajlarından birisi de zararlı emisyonları azaltan özelliklere sahip olmasıdır. Biyodizel içerisindeki kükürt miktarının düşük olmasından dolayı SO₂ emisyonunu azaltmaktadır. [34].

5.1.4. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Sıvılaştırılmış petrol gazı yani LPG belirli oranlarda bütan ve propanın karıştırılması ile ortaya çıkan bir petrol gazıdır. Sıvılaştırılmış petrol gazı alternatif yakıt olarak en çok tercih edilen yakıtlar arasındadır. Bu durumun en temel sebebi kolay tedarik edilmesi ve maliyeti olmuştur. Sıvılaştırılmış petrol gazı yüksek oktan sayısı ve verimliliği sebebi ile de uzun zamandır tercih edilmektedir. Aynı zamanda sıvılaştırılmış petrol gazı diğer yakıtlara göre emisyon yönünden daha temizdir. Yakıt içerisinde kükürt olmaması sebebi kükürt oksit emisyonu da söz konusu değildir. Ek olarak dizel motorlarda görülen is ve partikül emisyonları oluşmamaktadır [35].

5.1.5. Biyogaz

Güç üretiminde yakıtların ortaya çıkardığı çevresel etkiler, maliyetler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması önem kazanmaktadır. Biyogaz da bu yakıtlar arasında olup organik yakıtlardan üretilen alternatif bir yakıttır. Biyogaz çoğu zaman organik yakıtların çürümesi ile elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Ana bileşeni CH₄ gazı olup içeriğinin %50-70 oranını CH₄ gazı oluşturmaktadır, aynı zamanda içerisinde yanıcı olmayan CO₂ ve H₂S gibi gazları da bulundurmaktadır. Metan (CH₄) gazı basit yapılı bir hidrokarbondur ve bu gazın yüksek kararlılığı içten yanmalı motorlar için yakıt olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır. Biyogazın yakıt olarak kullanılması küresel ısınmayı da olumlu yönde etkilemektedir. Biyogaz düşük enerji yoğunluğuna sahiptir, alev yayılma hızı ve alevlenme sınırları düşüktür. Düşük egzoz emisyonları, yüksek vuruntu dayanımı ve tam yanma da olumlu özellikleri arasında gösterilebilmektedir [36].

5.1.6. Alkoller

İçten yanmalı motorlar için alternatif yakıt olarak alkoller kullanılabilir. İçten yanmalı motorlarda kullanılabilen alkol çeşitleri metanol, etanol, propanol ve bütanol olarak sıralanabilmektedir. Alkolün yapısında karbon, hidrojen ve oksijen bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan alkol çeşitlerinin metanol ve etanol olduğu bilinmektedir. Özellikle temiz yanan yakıtlar grubunda yer almaları sebebi ile tercih edilmektedirler. Başta Brezilya olmak üzere Avrupa ülkelerinde alternatif yakıt olarak kullanımı desteklenmektedir. Belirli yasalarla da kullanımı teşvik edilmektedir [39].

Etanol içeriğinde karbon hidrojen ve oksijen bulunduran sıvı alkol olarak tanımlanmaktadır. Etanol şekere dönüştürülmesi mümkün olan karbonhidratlar ve şeker içeren tüm biyolojik kaynaklardan üretilmesi mümkün bir alkoldür. Alkol üretiminde lider olan Brezilya 1975'te ülkenin petrol bağımlılığını azaltmak için dizel motorlarda yakıt olarak kullanımına öncülük etmiştir. Renksiz bir sıvı olan etanol aynı zamanda hafif kokuludur. Ülkemizde ise yatırımlar olmasın rağmen henüz talep sınırlı olduğundan üretim düşüktür [40].

Etanolün tercih edilmesine sebep olan yönlerinin başında yenilenebilir olması, temiz yanan bir yakıt olması, düşük maliyetlere sahip olması, üretimi ve depolanmasının kolaylığı ve sera gazının diğer yakıtlara göre daha az olması sayılabilmektedir [41].

Metanol kendi kendine tutuşma eğilimi ve yanma sonu sıcaklığı düşük olan bir alkol çeşididir. Yanma sonu sıcaklığının düşük olması sebebi ile CO ve NO_x emisyonlarına daha az sebep olmaktadır. Buharlaştırma ısısı ise yüksektir ve bu sebeple nem tutma özelliği artmaktadır. Artan nem tutma özelliği sebebi ile korozyonlara sebep olmaktadır. Metanolün kimyasal formülü CH₃OH olarak ifade edilmektedir [42].

5.2.YAKIT KATKI MADDELERİ

İçten yanmalı motorlarda kullanılan, oksijen içeriği yüksek katkı maddeleri emisyonların iyileştirilmesi ve yanma performansının artırılması açısından pozitif sonuçlar doğurmaktadır. Bu pozitif etkilere sebep olurken katkı maddesi olarak

kullanıldığı yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişikliklere sebep olmaktadır. Ancak nanoparçacıklar yakıtların özelliklerinde değişikliğe sebep olmaksızın yakıt katkı maddesi olarak kullanılabilir. Nanoparçacık içerikli katkı maddeleri yüksek oksijen içeriği ve yanma sırasında sergilediği katalizör rolü sebebi ile performansını iyileştiren etki göstermektedir. Zengin oksijen içeriği ve yanma sırasındaki katalizör etkisi emisyonların azaltılması yönünde pozitif etkilere sebep olmaktadır.

Yakıt katkısı olarak kullanılan nanoparçacıklar için boyut 100 µm'den küçük olarak kabul edilmektedir. Nano boyutlu parçacıklar bahsedilen küçük boyutları sebebi ile yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahiptirler. Bu özellikleri sayesinde de yakıt ile havanın daha iyi karışmasına ve homojen bir karışım elde edilmesine olanak tanımaktadırlar. Homojen karışım ile yanma veriminin artmasını sağlamaktadırlar. Yanma sırasında oluşturdukları katalitik etki ile yanma hızının artmasını sağlamaktadırlar. Reaksiyonun aktivasyon enerjisini düşürerek, düşük sıcaklıkta yanmanın gerçekleşmesini sağlamaktadırlar. Yüksek reaktivite, kısa süren tutuşma gecikmesi, hızlı enerji salınımı ve üstün yanma özellikleri sebebi ile kullandıklarında avantaj sağlamaktadırlar. Katkı maddesi olarak kullandıkları yakıtın ısı iletim kapasitesini arttırarak tutuşma gecikmesini kısaltmaktadırlar. Kinematik viskozite, akma ve parlama noktası gibi özelliklerde de üstünlük sağlamaktadırlar. Motor performansında özgül yakıt tüketimi ve verim gibi konularda iyileşme sağlamaktadırlar. Yapılan bazı deneysel çalışmalarda titanyum oksit (TiO₂), alüminyum oksit (Al₂O₃), bakır oksit (CuO), seryum oksit (CeO₂), çinko oksit (ZnO), demir oksit (Fe₂O₃) gibi nanoparçacıklar kullanılmıştır. Nanoparçacıkların motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki iyileştirici etkileri yapılan çalışmalarda da gözlemlenmiştir. Bu bölümde daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan bazı nanoparçacıklar ve yakıt maddeleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

5.2.1 Seryum Oksit (CeO₂)

Birçok alanda kullanılan CeO₂ nanoparçacığı, özellikle düşük üretim maliyetleri sebebi ile tercih konusu olmaktadır. CeO₂ nanoparçacığı yüksek kararlılık seviyesine, yüksek termal kararlılığa ve sertliğe sahiptir. UV ışınlarının emilmesi konusunda da

yetenekli bir nanoparçacık olarak kendini kanıtlamaktadır. Oksijen içeriği yüksek bir nanoparçacık olması sebebi ile yakıt katkı maddesi olarak kullanılması durumunda egzoz emisyonlarının azaltılmasına ve yanma performansının iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Yine yanma olayına oksijenleri serbest bırakması ve depolaması sebebi ile de destek olmaktadır. Katkı maddesi olarak kullanıldığında, kullanıldığı yakıtın girdiği tepkimelerde katalizör etkisi göstermektedir. Bu üstün özellikleri sebebi ile otomotiv sektörünün temel sorunu olan yakıt arayışında katkı maddesi olarak tercih edilmektedir [50].

5.2.2. Titanyum dioksit (TiO₂)

Titanyum dioksit nanoparçacığı doğada hazır halde bulunmaktadır. Beyaz renklidir ve ilk defa beyaz renk pigmentini sağlaması için kullanılmıştır. Gelişmekte olan nano teknoloji uygulamaları ile titanyum dioksit nanoparçacığı üzerinde yapılan çalışmalar da hız kazanmaktadır. Titanyum dioksit doğal olarak farklı mineral yapılarına sahip bir nanoparçacıktır. Yarı iletken özellik göstermektedir ve yüksek kırılma indeksine sahip bir nanoparçacıktır. Düşük maliyetli olmaları sebebi ile dizel yakıt katkı maddesi olarak kullanımı tercih edilmektedir [51].

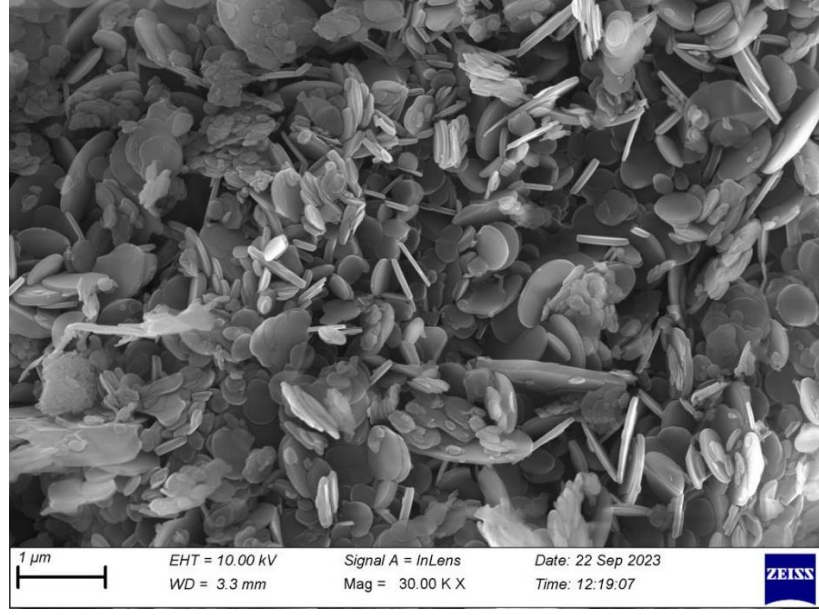
5.2.3. Dietil Eter

Etanolün türevi olan dietil eter yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilebilmesi sebebi ile tercih edilen alternatif yakıtlar arasında yerini almaktadır. Dietil eter etanolden elde edilen bir yakıt olması sebebi ile biyoyakıt olarak da isimlendirilebilmektedir. Atmosfer şartlarında sıvı formda olması sebebi ile dizel yakıtı karıştırılma imkanını da kolaylaştırmaktadır ve karışım oranlarının kolayca ayarlanmasına olanak tanımaktadır [37]. Dietil eter kolay yanabilen, renksiz, uçucu ve parlayabilen bir bileşik olarak ifade edilebilmektedir. Dietil eter yüksek setan sayısı ve yüksek oksijen içeriğine sahip bir yakıttır. Bu sebeple de son yıllarda daha çok dizel yakıt katkısı olarak kullanımı tercih edilmektedir. Oksijenli yakıtlar özellikle hava kirliliğini engellemek için tercih konusu olmaktadır. Dietil eter gibi oksijenli yakıtlar motorlu taşıt yakıtlarına katkı olarak eklendiğinde zehirli egzoz gazı emisyonlarını

azaltıp, katıldığı yakıtların daha temiz yanmasına sebep olmaktadırlar. Oksijen açısından da oldukça zengin bileşiklerdir [38].

5.2.4. Bor Oksit

Bor elementi türevli bir nanoparçacık olan B_2O_3 borun temel oksidi olarak bilinmektedir. Genellikle borik asidin dehidrasyon işlemine maruz bırakılması ile elde edilmektedirler. Bor oksitler beyaz renkli, sert, yağlı ve kokusuz bir nanoparçacıklardır. B_2O_3 nanoparçacığının yüksek enerji içeriği sebebi ile yakıtlara katkı olarak kullanılması ile alternatif yakıtlar oluşturulması mümkündür. B_2O_3 nanoparçacığı ile oluşturulan alternatif yakıtın en büyük dezavantajı maliyetleri arttırması olarak bilinmektedir. Ancak bu durum da bor rezervlerinin $\frac{3}{4}$ 'ünün Türkiye'de bulunması sebebi ile önemini yitirmektedir. Yapılacak yatırımlar ve çalışmalar ile maliyetlerin de düşürülebileceği öngörülmektedir. Diğer yandan B_2O_3 nanoparçacığı oda sıcaklığında katı halde bulunması sebebi ile dizel yakıtta katkı olarak kullanılması ve depolanması kolay olan bir nanoparçacıktır. Yakıt içerisine eklenen nanoparçacıkların genellikle yakıtların termo-fiziksel özelliklerinde iyileştirmelere sebep olduğu bilinmektedir. Zengin oksijen içeriğine sahip temiz bir nanoparçacık olarak bilinmektedir. Bu sebeple egzoz emisyonlarının azaltılması konusunda çalışmalara dahil edilmektedir. Yanma verimi ve performansı açısından yüksek erime ve kaynama noktalarına sahip olması bir dezavantaj gibi görünmektedir. Ancak yüksek kinematik viskozite özelliği sebebi ile yanma tepkimelerinde katalizör etkisi yaratabilmektedir. Yarattığı katalitik etki ile yanmanın hızlanmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda gerçekleşen kimyasal reaksiyonun aktivasyon enerjisini düşürerek yanmanın daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesine olanak tanımaktadır. Daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşen yanmanın sonucunda, yüksek sıcaklıklara bağlı olarak artış gösteren egzoz emisyonlarının oranında da azalmaya sebep olmaktadır. Egzoz emisyonlarını azaltma ve motor performansını iyileştirme gibi pozitif etkileri B_2O_3 nanoparçacığının alternatif yakıtlar söz konusu olduğunda tercih edilmesi için en önemli sebeplerin başında gelmektedir. Şekil 5.1'de B_2O_3 nanoparçacığının Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) altındaki görüntüsü gösterilmektedir. Şekil 5.1'de de görüleceği üzere B_2O_3 nanoparçacığı homojen bir yapıya sahiptir [45].



Şekil 5.1. B_2O_3 nanoparçacığının taramalı elektron mikroskobu (TEM) altındaki görüntüsü.

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1. MATERYAL

Bu bölümde deneysel çalışma sürecinde kullanılan materyaller şekil ve tablolar ile birlikte açıklanmıştır.

6.1.1. Deney Alanı

Motor testleri Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ne ait Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney alanına ait fotoğraf Şekil 6.1'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Deney düzeneği

6.1.2. Deney Motoru

Yapılan deney çalışmalarında Lutian 3GF-ME isimli dizel jeneratör kullanılmıştır. Kullanılan motora ait görüntü Şekil 6.2’de verilmiştir. Motora ait teknik özellikler Çizelge 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Deney düzeneğinde kullanılan motor ve jeneratör.

Çizelge 6.1. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler.

Model	Lutian 3GF-ME
Motor Gücü	7 HP
Motor Hızı Maksimum (d/d)	3000
Silindir sayısı	1
Silindir Hacmi	296 cm ³
Yakıt tipi	Dizel
Sürekli Çıkış Gücü (kW)	2.9
Maksimum Çıkış Gücü (kW)	3.2
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı
Ağırlık (kg)	69

6.1.3. Deneyde Kullanılan Yakıtlar

Yapılan deneylerde dizel yakıt ve dizel yakıt katkısı olarak B_2O_3 nanoparçacığı kullanılmıştır. Kullanılan dizel yakıtı ait özellikler çizelge 6.2’de ve nanoparçacığı ait özellikler Çizelge 6.3’te gösterilmiştir. Kullanılan test yakıtları ve nanoparçacığı ait görseller Şekil 6.3’te ve 6.4’te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Deneyde kullanılan yakıtlar.



Şekil 6.4. Deneyde kullanılan B_2O_3 nanoparçacığı.

Çizelge 6.2. Dizel yakıtın özellikleri [43].

Özellik	Dizel Yakıt
Kimyasal formül	C_xH_y
Molekül ağırlığı	190-220
Yoğunluk (15 °C'de) (kg/L)	0,830
Viskozite (40 °C'de) (mm^2/s)	2,7
Oksijen içeriği (%)	-
Kaynama noktası (°C)	180-360
Tutuşma sıcaklığı (°C)	315
Stokiyometrik hava-yakıt oranı (H/Y) _s	14,7
Buharlaştırma gizli ısı (kJ/kg)	260
Alt ısı değeri (kJ/kg)	42500
Setan sayısı	40-50

Çizelge 6.3. B₂O₃ nanoparçacığının özellikleri [44].

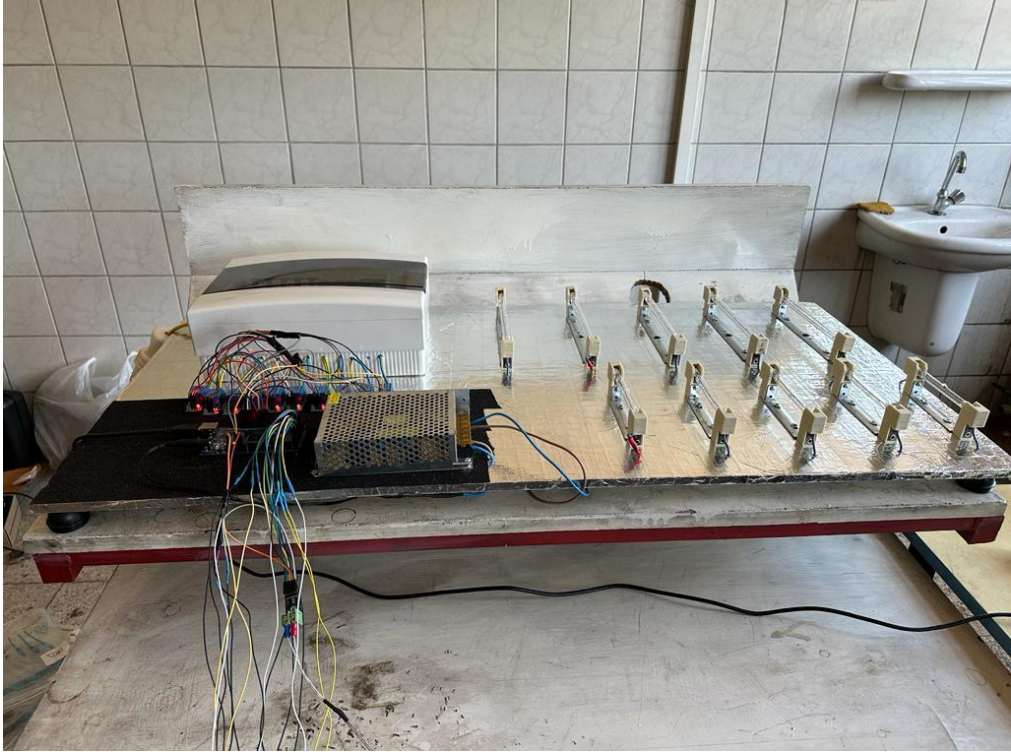
Özellik	Bor Oksit
Kimyasal formül	B ₂ O ₃
Molekül ağırlığı	69,62
Kaynama noktası (°C)	1860
Erime Noktası (°C)	450
Kinematik Viskozite (mm^2/s)	4,24
Yoğunluk (g/ml)	1.085
Isıl değeri (kJ/kg)	43200
Çözünürlük (g/l)	36

6.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

6.2.1 Yükleme Ünitesi

Yapılan deneysel çalışmalarda jeneratöre yapılan yükleme 500 ve 1000 Watt'lık halojen ampullerden oluşan bir yükleme ünitesinin deney düzeneğine eklenmesi ile

oluşturulan sistem sayesinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine ilave edilen yükleme nitesi Şekil 6.3'te görülmektedir.



Şekil 6.5. Elektronik kontrol nitesi.

6.2.2. Yakıt Tkretiminin llmesi

Dizel yakıt ve dizel yakıtta B_2O_3 nanoparçacığı eklenerek yapılan çalışma esnasında motorun yakıt tüketimi elektronik terazi ile gerçekleştirilmiştir. Kütlesel yöntem kullanılarak ölüm gerçekleştirilmiştir. Kullanılan elektronik teraziye ait görüntü Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.6. Elektronik terazi.

6.2.3. Homojen Karışımın Elde Edilmesi

Dizel yakıtta nanoparçacık eklendikten sonra homojen karışım elde edebilmek için manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan manyetik karıştırıcı ile dizel ve B_2O_3 nanoparçacığının karıştırılmasına ait görüntü Şekil 6.7’de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Manyetik karıştırıcıda homojen karışım eldesi.

6.2.4. Yakıtın Karıştırılması

Nanoparçacık ilave edilen yakıt ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Kullanılan ultrasonik karıştırıcıya ait görsel Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Ultrasonik karıştırıcı ile nanoparçacık içerikli yakıtın karıştırılması.

6.2.5. Hassas Terazi

Dizel yakıtı eklenecek nanoparçacık ölçümleri hassas terazi ile yapılmıştır. 10, 20 ve 30 ppm nanoparçacığın hassas terazi ile ölçülmesi işlemine ait görseller Şekil 6.9’da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Hassas terazi ile nanoparçacık ölçümü.

6.3. DENEYLERİN YAPILIŞI

6.3.1 Motor Deneyleri

Deneysel çalışmalara baŐlamadan hemen önce motora ait ayarlar kontrol edilmiş ve motor sıcaklığı çalışma sıcaklığına getirilmiŐtir. Bu deneysel çalışmada jeneratör ve 500 ve 1000 Watt'lık halojen ampullerden oluşturulan bir yükleme nitesi ile motorun yüklenmesi sađlanmıŐ ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Jeneratör motorunun orijinal püskürtme basıncında dizel ve belirli oranlarda (10, 20 ve 30 ppm) B₂O₃ nanoparçacık karışımı ile çeşitli motor yüklerinde (500, 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 Watt) alıŐtırılarak her çalışma sonunda motor kararlı hale geldikten sonra CO, HC, CO₂, NO_x, ve is ile ilgili ölçümler yapılmıştır.

6.4. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

Özgül yakıt tüketimi aŐađıdaki eŐitlik kullanılarak hesaplanmıŐtır.

$$be = \frac{B \times 1000}{Pe}$$

be : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

B : Saatlik yakıt tüketimi, (kg/h)

Pe : Efektif motor gücü, (kW)

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

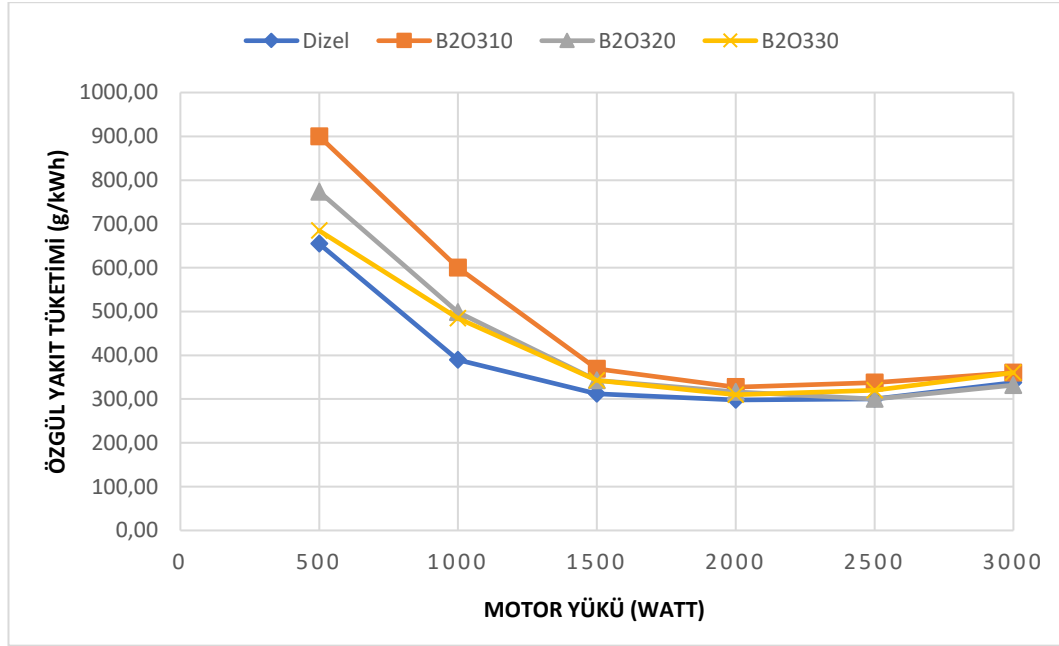
Deneysel olarak geliştirilen bu çalışmada, dizel yakıtta nanoparçacık ilave edilerek oluşan yeni karışımın motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri analiz edilmek istenmektedir. Bu sonuçların elde edilebilmesi için farklı motor yüklerinde (500,1000,1500,2000,2500,3000 watt), katkısız dizel yakıt içerisine 10, 20 ve 30 ppm B_2O_3 nanoparçacığı eklenerek deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında ölçülen parametreler motorun performansı açısından; efektif verim, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı, egzoz emisyonları açısından ise; CO, HC, CO_2 , NO_x ve is değişkenler olarak kabul edilmiştir.

7.1. MOTOR PERFORMANSI

7.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi

Şekil 7.1’de katkısız dizel yakıtın içerisine B_2O_3 nanoparçacığının eklenmesi ile oluşan yakıtların dizel motorda kullanılmasının ÖYT üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Saf dizele B_2O_3 ilavesi ile ÖYT tüm B_2O_3 içerikli test yakıtlarında artmıştır. B_2O_3 nanoparçacığının alt ısıl değeri ve yoğunluğu katkısız dizel yakıtın alt ısıl değerinden ve yoğunluğundan daha yüksektir. Dizel yakıtta eklenen B_2O_3 nanoparçacığı dizel yakıtın ısıl değerinin ve yoğunluğunun artmasına sebep olmuştur. Bu sebeple artan B_2O_3 miktarı ile ÖYT düşüş göstermiştir. Ancak Şekil 7.1’de de görüleceği üzere yalnızca 2 noktada saf dizel yakıtın altında bir ÖYT ortaya çıkmıştır. Bu değerler saf dizel yakıtta 30 ppm B_2O_3 eklenerek oluşturulan yeni yakıtın 2000 watt motor yükünde test edilmesi ve aynı şekilde saf dizel yakıtta 20 ppm B_2O_3 eklenerek oluşturulan yakıtın 2500 watt motor yükü altında test edilmesi ile elde edilmiştir. En düşük ÖYT dizel yakıtta elde edilirken, en yüksek özgül yakıt tüketimi ise B_2O_3 10

yakıtında elde edilmiştir. 2500 watt motor yükünde B₂O₃20 yakıtı ile yapılan deneyde ÖYT 300 g/kWh değerinde sabit kalırken, 3000 watt motor yükü altında B₂O₃20 yakıtı ile yapılan deneysel çalışmada ÖYT 331.58 g/kWh değeri ile dizel yakıtı göre %1,75 oranında azalmıştır. B₂O₃10 yakıt ile 1000 watt motor yükü altında yapılan deneysel çalışmada %35,13 oranında artış ile maksimum ÖYT değerine ulaşılmıştır.



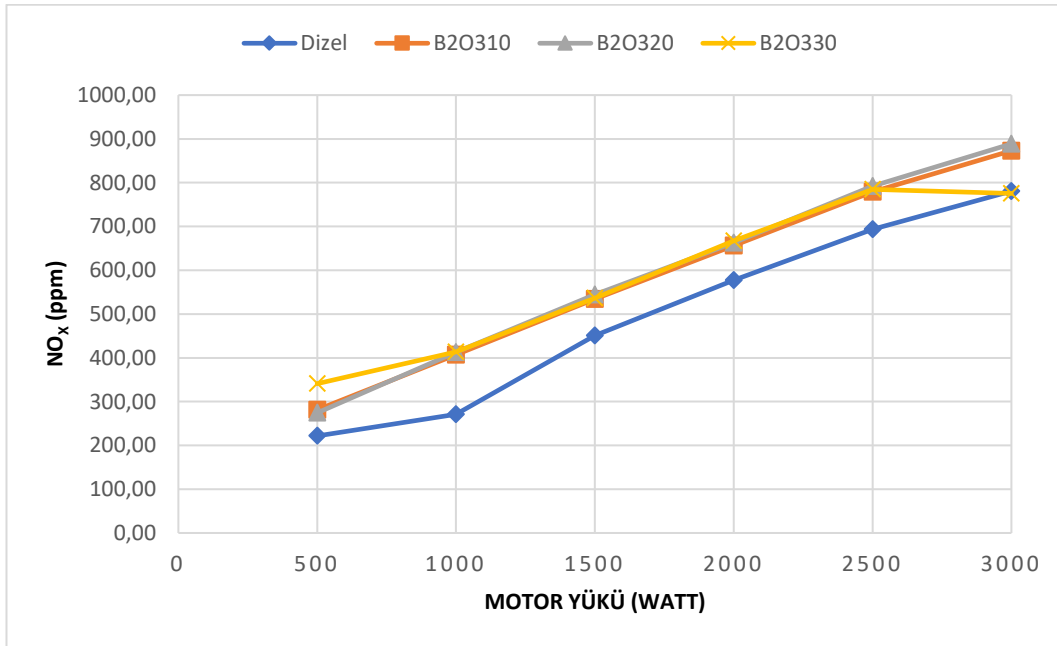
Şekil 7.1. ÖYT'nin farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi.

7.2. EGZOZ EMİSYONLARI

7.2.1. NO_x Emisyonu

Motorlarda NO_x emisyonunun ortaya çıkmasının temel sebebi yanmanın sonundaki sıcaklığın artması olarak bilinmektedir. Yanmanın gerçekleştiği süreçte, yanma için gerekli olan sıcaklık seviyesi yükseldikçe havanın içerisinde bulunan azot ve oksijen reaksiyona girmektedir. Reaksiyon sonucunda istenmeyen zararlı egzoz emisyonlarından NO_x emisyonunun oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu reaksiyon NO_x emisyonları için sıcaklığın önemini ortaya koymaktadır. Sıcaklık seviyesi arttıkça NO_x emisyonlarının oluşum hızı ve miktarı da artmaktadır. Şekil 7.2'de farklı motor yüklerinde, dizel ve dizele farklı oranlarda B₂O₃ katılarak elde edilen alternatif yakıtların yanma sonunda oluşturdukları NO_x miktarları gösterilmiştir. Şekil 7.2'de

görülebileceği üzere B_2O_3 miktarı arttıkça NO_x miktarında da artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi B_2O_3 nanoparçacığının sahip olduğu yüksek kinematik viskozite olarak gösterilebilmektedir. Yüksek viskozite zengin karışımın yandığı bölgelerin genişlemesine ve sıcaklığın yükselmesine sebep olmaktadır. Yükselen sıcaklık ise NO_x emisyonunun oluşumu desteklemektedir. Yükselen sıcaklıklar ile 20 ppm B_2O_3 katkısına kadar artış devam ederken 30 ppm B_2O_3 eklemesi ile oluşturulan yeni alternatif yakıtta NO_x emisyonlarının düşme eğilimi gösterdiği görülmüştür. En yüksek NO_x miktarı B_2O_3 20 yakıtı ile 3000 watt motor yükünde yapılan deneyde elde edilirken, en düşük NO_x miktarı katkısız dizel yakıt ile 500 watt motor yükünde yapılan deney sonucunda elde edilmiştir. B_2O_3 20 yakıtı ile yapılan deneysel çalışmada NO_x emisyonunun miktarı %52,21'lik bir artış oranı ile dizel yakıtı göre en yüksek artışı göstermiştir. Yapılan çalışmalarda aynı motor yüklerinde dizel yakıt ile yapılan deney sonuçlarından daha düşük NO_x emisyonu değeri veren başka bir yakıtta rastlanmamıştır.

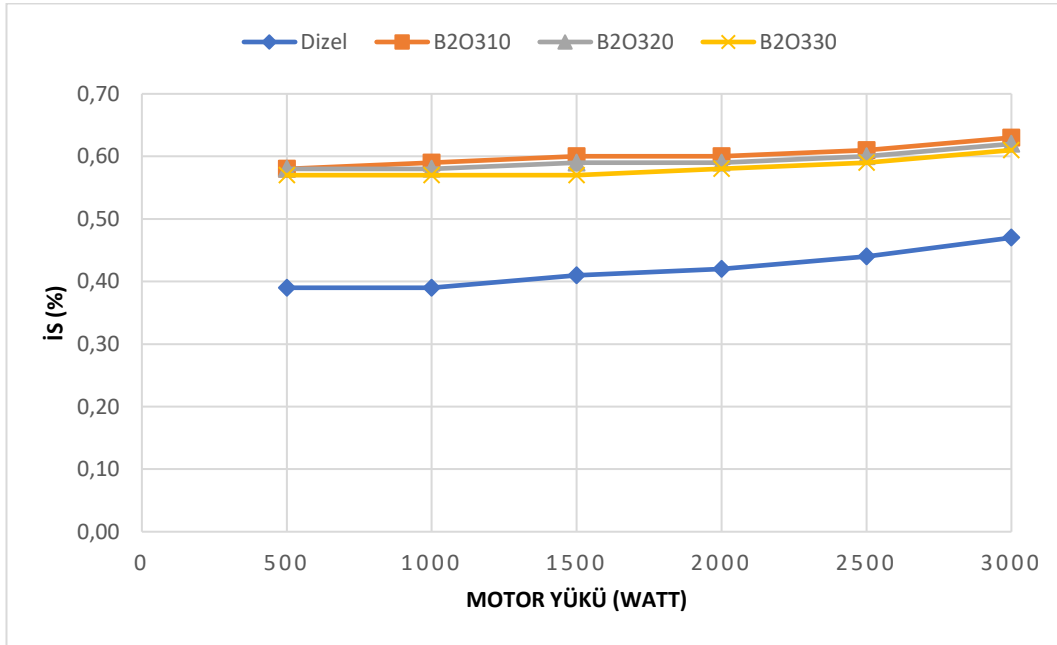


Şekil 7.2. NO_x gazının farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi.

7.2.2. İş Emisyonu

Dizel yakıtta farklı oranlarda yapılan B_2O_3 ilavesi ile yapılan deneylerin sonucunda oluşan iş emisyonları Şekil 7.3'te gösterilmiştir. En düşük iş emisyonu sonuçlarının saf dizel yakıttan elde edildiği görülmüştür. Ancak katkı olarak kullanılan B_2O_3 miktarı

artıkça is emisyonları azalmıştır. Bor oksidin temiz bir nanoparçacık olması ve zengin oksijen içeriğine sahip olması sebebi ile is emisyonlarını azalttığı Şekil 7.3'te gösterilen verilerle de desteklenmiştir. B_2O_3 katkısı ile elde edilen yeni yakıtlar hiçbir deney şartında dizelden daha iyi sonuçlar vermemiştir. Bu duruma B_2O_3 nanoparçacığının yüksek erime ve kaynama noktası sıcaklıkları verilebilir. Yanabilmek için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyan B_2O_3 , dizel yakıtı yanarken yanma ortamında katı fazda kalabilmektedir. Yanma ortamında katı halde kalan nanoparçacıklar partikül madde ve is emisyonu oluşumunu desteklemektedir. En düşük is emisyonu katkısız dizel yakıt ile 500 watt motor yükünde, en yüksek is emisyonu B_2O_3 10 yakıtı ile 3000 watt motor yükünde elde edilmiştir. 1500 watt motor yükünde B_2O_3 10 yakıtı kullanılarak yapılan deneysel çalışmada is emisyonlarında %51,28'lik oran ile en yüksek artış gerçekleşmiştir. Aynı motor yüklerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda dizel yakıttan daha iyi is emisyonu oranı görülmemiştir.

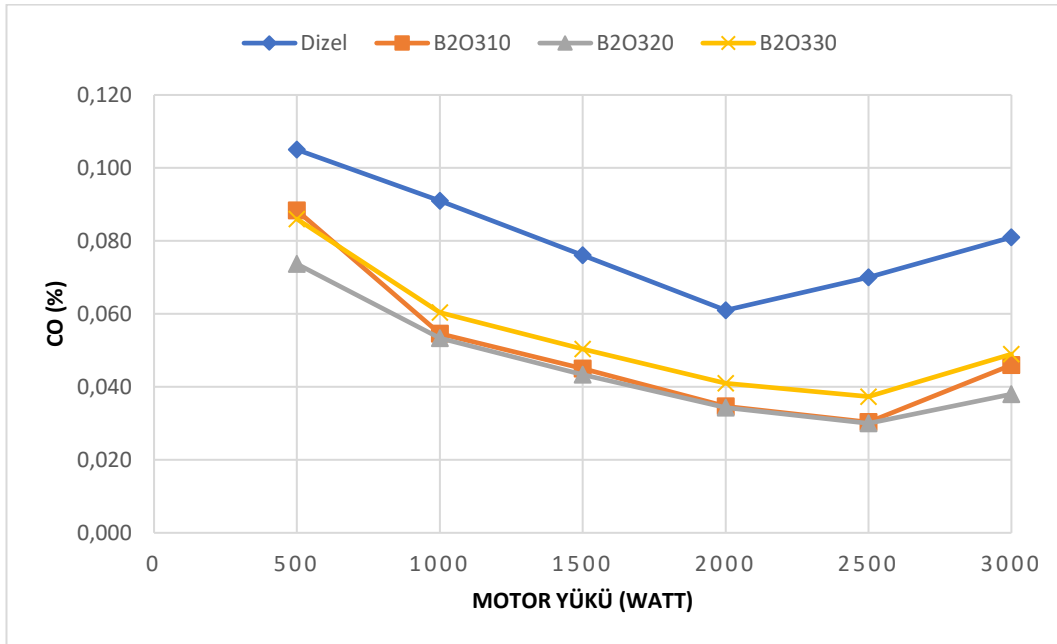


Şekil 7.3. Is emisyonunun farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi.

7.2.3. CO Emisyonu

CO emisyonları yanma sırasında ve sonrasında yeterli oksijen seviyesinin bulunmaması ve yanmanın tam gerçekleşmemesidir. Farklı motor yüklerinde

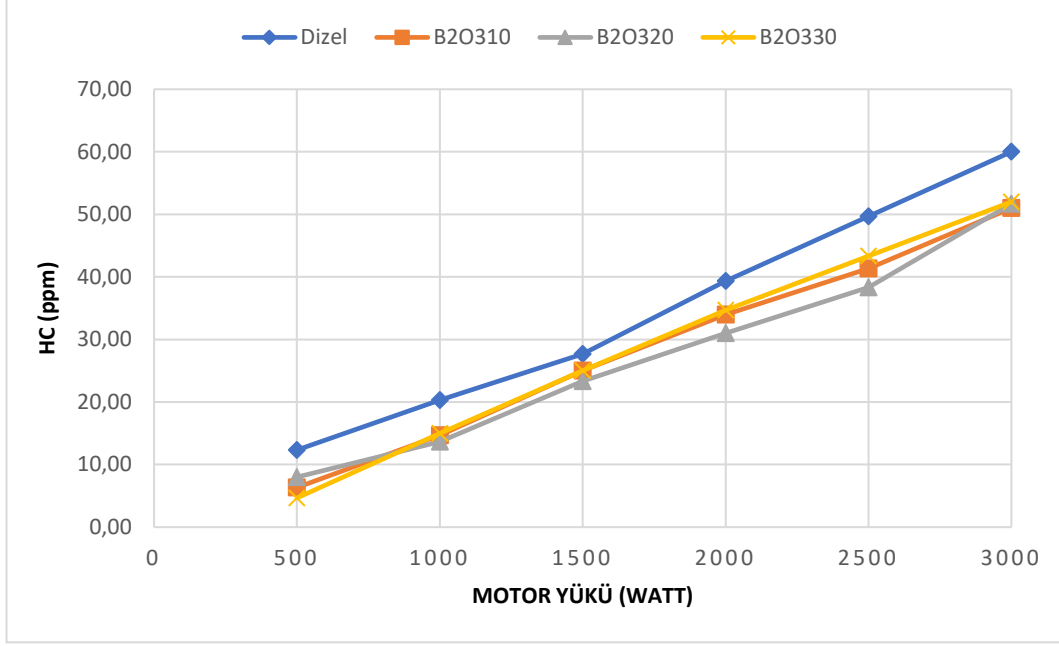
alternatif yakıtlarla yapılan deney sonuçlarının CO emisyonuna etkileri Şekil 7.6’da gösterilmiştir. CO emisyonu için en kötü sonuçlar saf dizel yakıtta elde edilmiştir. Saf dizel yakıtta eklenen B_2O_3 nanoparçacığının miktarı arttıkça zararlı CO emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Bu değişimin sebebi ise yakıt katkısı olarak kullanılan B_2O_3 nanoparçacığının yapısında bulunan oksijendir. Bor oksidin yapısında bulunan oksijen, yanma için ihtiyaç duyulan oksijen miktarına katkı sağlamıştır. CO emisyonunun en düşük olduğu değer %0,030 ile B_2O_3 20 ve B_2O_3 10 yakıtlarının 2500 watt motor yükünde test edilmesi ile elde edilmiştir. En kötü CO emisyonu sonucu ise saf dizel yakıt ile 500 watt motor yükünde %0,105 olarak elde edilmiştir. Dizel yakıtta 2500 watt motor yükünde yapılan deney sonucunda %0,070 oranında CO emisyonu elde edilirken B_2O_3 10 ve B_2O_3 20 yakıtları ile 2500 watt motor yükü altında yapılan deneylerin sonucunda CO emisyonu %0,030 olarak tespit edilmiştir. CO emisyonunun %57,14’lük oranda azalması ile maksimum iyileşme 2500 watt motor yükünde B_2O_3 10 ve B_2O_3 20 yakıtları ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilmiştir. Dizel yakıtta eklenen B_2O_3 nanoparçacığı ile elde edilen yakıtlar katkı oranı fark etmeksizin dizel yakıttan daha iyi emisyon sonuçları sağlamıştır.



Şekil 7.4. CO gazının farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi.

7.2.4.HC Emisyonu

Farklı motor yükleri ve yakıtların HC emisyonu üzerindeki etkileri Şekil 7.5'te görülmektedir. HC emisyonlarının egzoz gazları içerisinde bulunması durumu yakıtın tam yanmaması ya da kısmen yanması sebebi ile ortaya çıkmaktadır. Hava/Yakıt oranı da egzoz emisyonları için oldukça önem arz etmektedir. Hava /Yakıt oranının çok fakir ya da çok zengin olması kısmen yanma olayına sebep olduğu için HC emisyonlarının artışı için de sebep gösterilmektedir. Dizel motorlarda HC emisyonu miktarı fakir karışım ile gerçekleşen yanma sonucunda artış göstermektedir. Şekil 7.5 incelendiğinde en iyi HC değerlerinin 20 ppm B₂O₃ karışım ile elde edilen yakıttan elde edildiği görülmüştür. Saf dizel yakıt en kötü HC emisyonu değerlerini verirken B₂O₃ eklemesi ile HC emisyonlarının optimize edilebileceği görülmüştür. Dizel yakıt, 30 ppm B₂O₃ karışımı ile 500 wattlık motor yükünde yapılan deney ile en iyi HC emisyonu sonucunun elde edildiği görülmektedir. Ek kötü HC emisyonu sonucunun ise saf dizel yakıt ile 3000 watt motor yükünde elde edildiği görülmektedir. Tepkimelerin aktivasyon enerjisinin yüksek olması tepkimelerin daha zor başlayacağını göstergesidir. Katalizörler tepkimelerin aktivasyon enerjisini düşürerek tepkime hızını artırırlar. Katkı maddesi olarak kullanılan nanoparçacıkların da tepkimelerde katalizör etkisi yarattığı ve aktivasyon enerjisini düşürüp oksitlenmeyi hızlandırarak HC emisyonlarının azalmasına sebep olduğu öngörülmektedir. Dizel yakıtta 500 watt motor yükünde yapılan deney sonucunda 12,33 ppm oranında HC emisyonu elde edilirken B₂O₃30 yakıtı ile 500 watt motor yükü altında yapılan deney sonucunda HC emisyonu 4,67 ppm olarak tespit edilmiştir. HC emisyonunun %62,12'lik oranda azalması ile maksimum iyileşme 500 watt motor yükünde B₂O₃30 yakıtı ile yapılan deneysel çalışmada elde edilmiştir. Dizel yakıtta eklenen B₂O₃ nanoparçacığı ile elde edilen yakıtlar katkı oranı fark etmeksizin dizel yakıttan daha iyi emisyon sonuçları sağlamıştır.

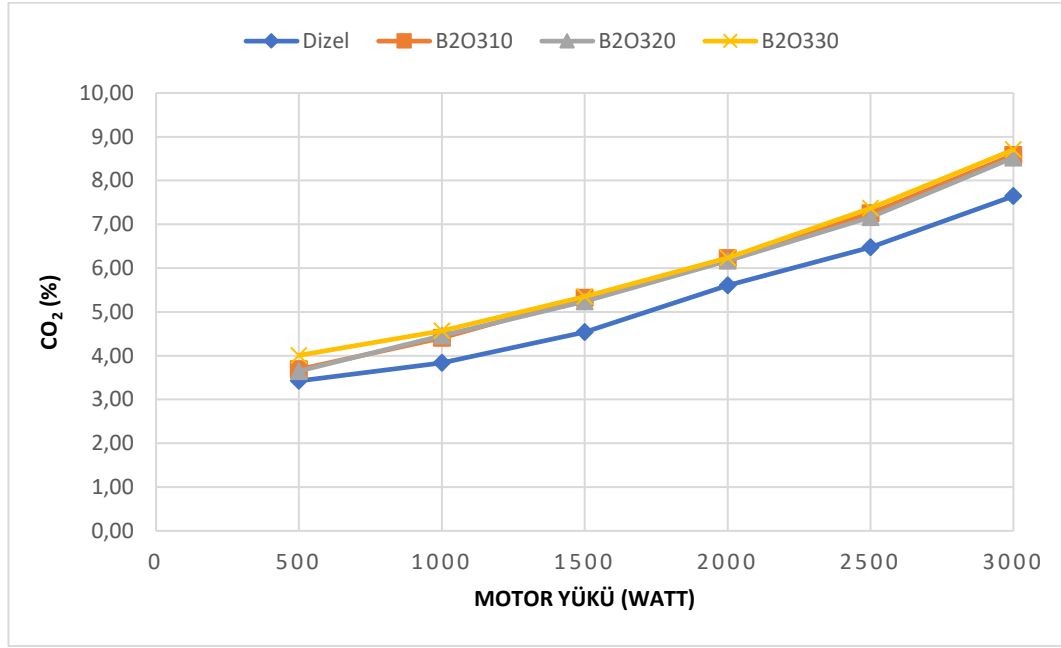


Şekil 7.4. HC gazının farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi.

7.2.5. CO₂ Emisyonu

Dizel motorlarda yanma esnasında oksijen ile reaksiyona giren karbonlar birleşerek CO₂ emisyonlarının oluşmasına sebep olmaktadır. CO₂ emisyonunun atmosferde oluşturduğu sera gazı etkisi CO₂ bileşiğini istenmeyen egzoz emisyonları kategorisinde değerlendirmemize sebep olmaktadır. Yanan yakıtın içeriği de CO₂ emisyonlarının oluşumu için önemli bir parametredir. Şekil 7.4' de farklı motor yükleri ve yakıtlarla yapılan testlerin CO₂ emisyonu üzerindeki etkileri gösterilmiştir. CO₂ emisyonunun en düşük olduğu sonuçlar saf dizel yakıt ile yapılan deneylerde elde edilmiştir. Şekil 7.4 incelendiğinde B₂O₃ nanoparçacığının saf dizel yakıtta eklenmesinin CO₂ emisyonlarını arttırdığı görülmektedir. En düşük CO₂ emisyonu oranı katkısız dizel yakıt ile 500 watt motor yükünde yapılan deneyde elde edilmiş olup, en yüksek CO₂ emisyonu ise B₂O₃30 yakıtı ile 3000 watt motor yükünde yapılan deney sonucunda elde edilmiştir. Yakıt kaynaklı emisyonlar arasında en zararsız olarak gösterilen CO₂ emisyonlarının oluşmasının sebebi kullanılan yakıt miktarı olarak bilinmektedir. Motorlarda yanma için gerektiği kadar yakıt kullanılarak tam yanmanın gerçekleşmesi emisyonların minimum düzeyde tutulması için istenen senaryodur. Yapılan bu deneysel çalışmada artan B₂O₃ miktarı ile CO₂ emisyonlarının miktarı artmaktadır. Katkı olarak kullanılan B₂O₃ nanoparçacığının yüksek viskozitesi

sebebi ile yanmanın kötüleşmesi CO₂ emisyonlarının oluşumunu desteklemektedir. Yüksek viskozite zengin karışımın yandığı bölgelerin genişlemesine ve sıcaklığın yükselmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple B₂O₃ miktarının artışına bağlı olarak CO₂ emisyonunun miktarı da artmaktadır [52]. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda CO₂ emisyonunun miktarında dizel yakıtı göre en çok artış %19,01'lik oran ile B₂O₃30 yakıtının 1000 watt motor yükü altında test edilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. CO₂ emisyonunun en iyi olduğu sonuçlar dizel yakıt ile yapılan deneylerde elde edilmiştir.



Şekil 7.6. CO₂ gazının farklı motor yüklerine bağlı olarak değişimi

7.3.YANIT YÜZEY METODOLOJİSİ İLE OPTİMİZASYON

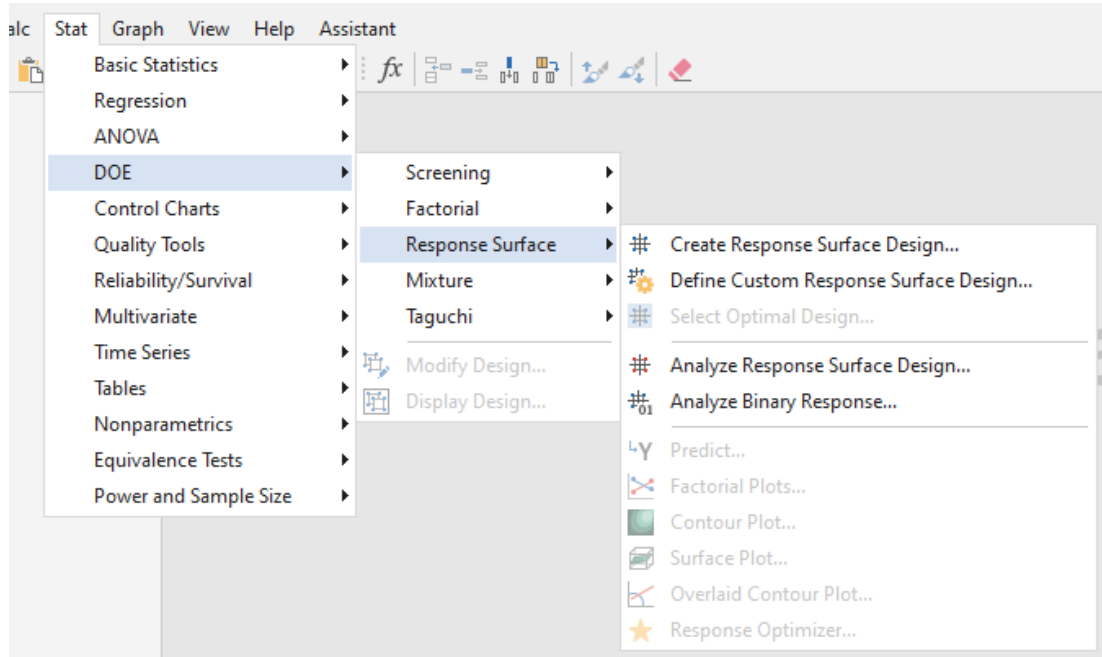
Yanıt yüzey metodolojisi olarak bildiğimiz yöntem 1900'lü yılların ortasında 'Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması' adı ile geliştirilmiş ve tanımlanmıştır [46]. Deneylerin yapılmadan önce tasarlanması, çeşitli değişkenlerin ve nedenlerin etkilediği sistemlerin ve süreçlerin optimizasyonunda kullanılan istatistiksel bir teknik olarak tanımlanabilmektedir. Yanıt yüzey metodolojisi ile deneylerin tasarlanması, modellenmesi, optimizasyonu, tepki yüzeyleri ve kontur grafikleri mümkün hale gelebilmektedir. Yanıt yüzey metodolojisi deneyin tasarımının yapılması ile başlamaktadır. Bu süreçte çeşitli değişkenler ve faktörler belirlenerek sistematik olarak değiştirilmektedir. Bu adımda bağımsız değişkenlerin çıktı değişkenleri

üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır [47]. Yanıt yüzey metodoloji giriş değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişki matematiksel olarak modellenmektedir. İkinci derece modeller yayın olarak kullanılırken, daha yüksek dereceli modeller de tercih edilebilmektedir. Kullanılan bu matematiksel modellemeler ile giriş değişkeninin çıktı değişkeni üzerindeki etkileri hakkında bilgiler edinmek mümkün hale gelmektedir.

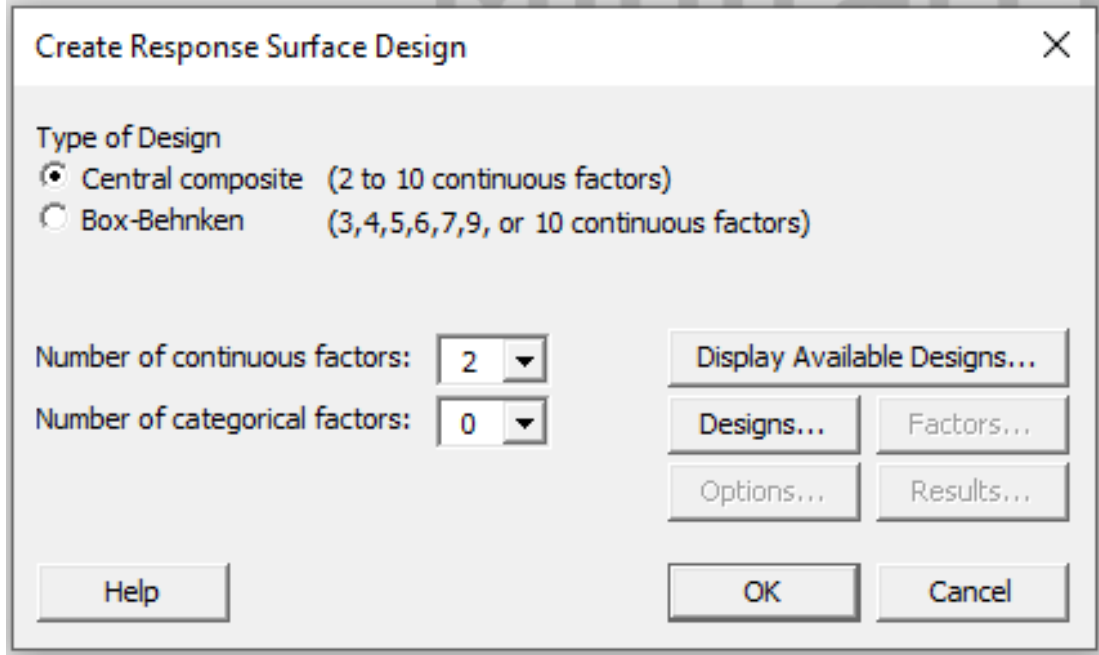
Modellerin oluşturulmasının ardından çıktı değişkenlerinin minimum veya maksimum olduğu andaki giriş değerlerinin bulunması hedeflenmektedir. Bu noktada amaç sürecin en iyi koşullarını belirlemektir. Yanıt yüzey metodolojisinde sonuçların görselliğini arttırmak ve yorumlayabilmek için grafikler kullanılmaktadır. Kullanılan grafikler ile giriş değişkenleri ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkinin üç boyutlu olarak değerlendirmesine imkân tanımaktadır. Elde edilmiş olan sonuçların doğrulanması deneylerin yapılması kadar önemli hale gelmektedir. Sonuçları onaylamak ve modeli doğrulamak için yeni deneyler yapılabilir. Yanıt yüzey metodolojisi deneylerin optimizasyonu için kullanılan en etkili yöntemlerden biri olarak gösterilmektedir. Bilim insanlarının çok değişkenli ve karmaşık süreçleri daha hızlı incelemelerine ve iyileştirmelerine imkân tanımaktadır. Maliyet ve zaman tasarrufu konusunda da kullanımı oldukça avantajlıdır [48].

Yanıt yüzey metodolojisinin uygulanabilmesi için belirli bir sayıda deneye ihtiyaç duyulmaktadır. Deney sayısı da faktör sayısına göre belirlenmektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada temel iki faktör bulunmaktadır. Bunlar nanoparçacık oranı ve motor yüküdür. Bu parametreler doğrultusunda deneylerin sayısı ve optimizasyonu minitab uygulaması kullanılarak analiz edilmektedir. Minitab uygulamasında Stat-DOE- Responce Surface- Create Responce Surface Design adımları takip edilmiştir. Bu adımların seçimi Şekil 7.7'de görülmektedir. Bu adımlar sonrasında yeni bir arayüz açılmış ve açılan arayüz de yapılacak olan çalışma için dizayn seçeneği sorulmaktadır. Var olan seçeneklerden faktör sayısına göre tercih yapılabilir. Bu çalışmadaki faktör sayısı belirlenmiş ve Şekil 7.8'de görüldüğü gibi Central Composite dizayn tipi seçilerek çalışmaya devam edilmiştir. Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da yapılması gereken test sayısı ile ilgili uygulama tarafından bilgi verilmektedir. Şekil 7.10'da deney sayısı seçimi yapılmıştır. Açılan yeni çalışma sayfasına deney verileri eklenmiştir ve Şekil

7.11’de Stat- DOE- Responce Surface- Analyze Responce Surface Design adımları takip edilmiş ve faktör sayısı seçilmiştir. Çalışmadaki faktörleri ve çıktıları Şekil 7.12 ‘de görüldüğü gibi seçtikten sonra çalışmaların yapılacağı şartların seçilmesi için yeni bir arayüz açılmıştır. Şekil 7.13’de faktörlerin bireysel etkilerinin, kareleri etkilerinin ve birbirleri ile olan etkileşimlerinin değerlendirileceği Full Quadratic seçeneği seçilmiştir. Deneyler için güven derecesi Şekil 7.14’te görüleceği gibi %95 olarak seçilmiştir. Deneylerin sonuçlarının daha net görülebilmesi için Şekil 7.15’de görüldüğü gibi Pareto grafiklerinin de çizileceği seçim yapılmış ve çalışma tamamlanmıştır. Şekil 7.16’da çalışma tamamlandıktan sonra karşımıza çıkan, sonuçları gösteren ve çalışmaları gerçekleştirdiğimiz ekranın genel bir görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 7.7. Yanıt yüzey metodolojisi için Minitab uygulamasında yapılan seçimler



Şekil 7.8. Parametre sayısına göre tasarım tipinin seçilmesi.

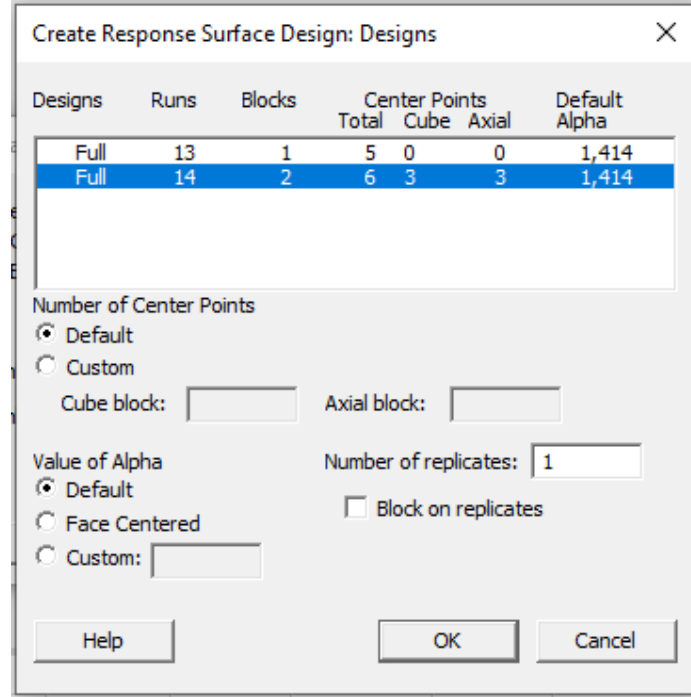
Create Response Surface Design: Display Available Designs

Available Response Surface Designs

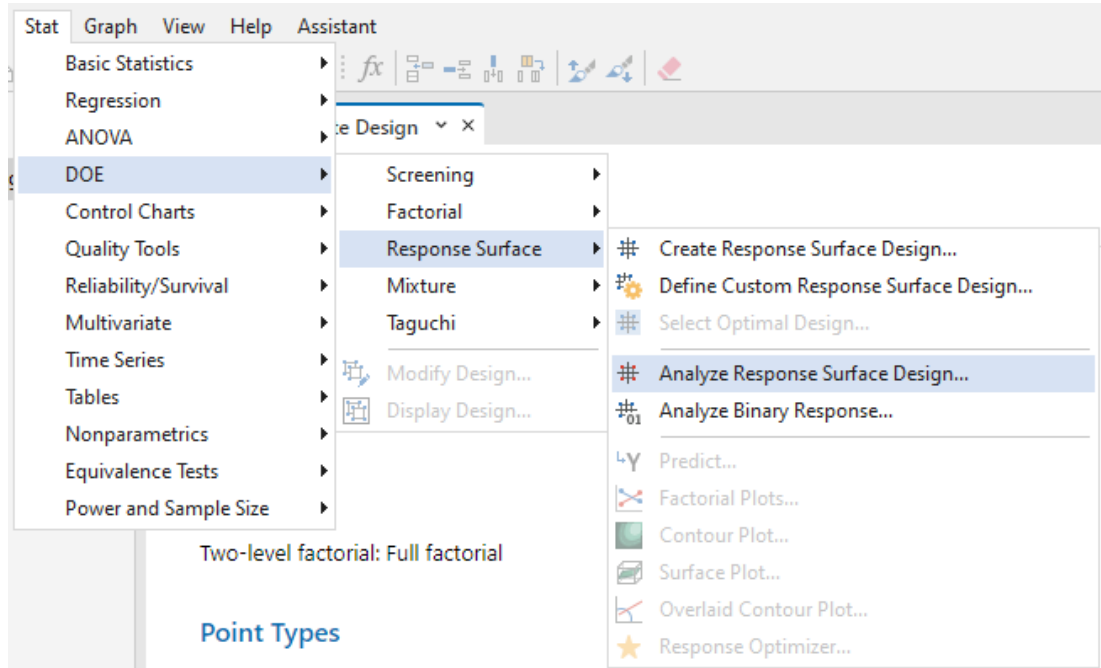
Design		Continuous Factors								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Central composite full	unblocked	13	20	31	52	90	152			
	blocked	14	20	30	54	90	160			
Central composite half	unblocked				32	53	88	154		
	blocked				33	54	90	160		
Central composite quarter	unblocked							90	156	
	blocked							90	160	
Central composite eighth	unblocked									158
	blocked									160
Box-Behnken	unblocked		15	27	46	54	62		130	170
	blocked			27	46	54	62		130	170

Help OK

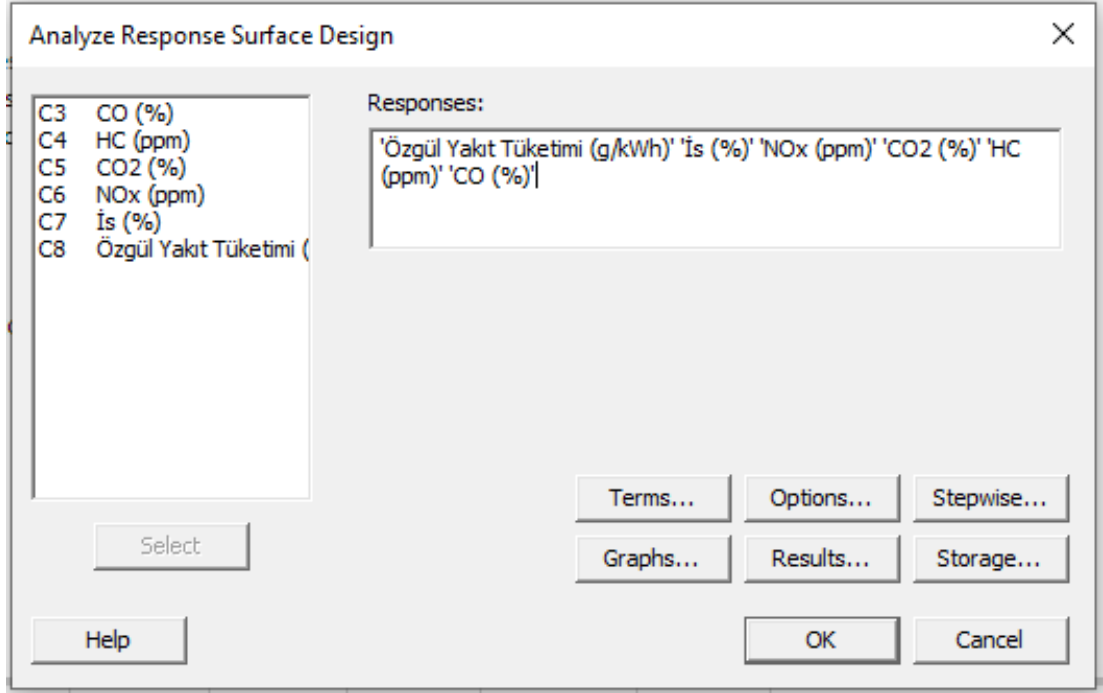
Şekil 7.9. Farklı kombinasyonlarda yapılacak deney sayısının gösterildiği ekran.



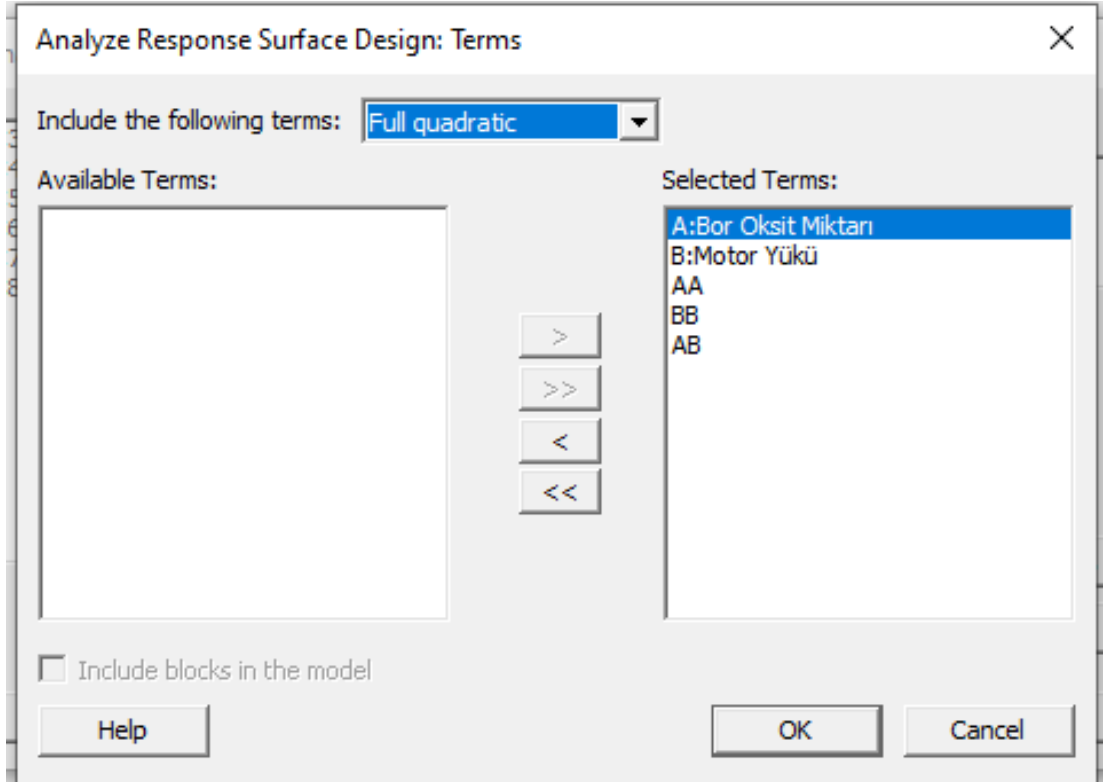
Şekil 7.10. Deney sayısının seçilmesi.



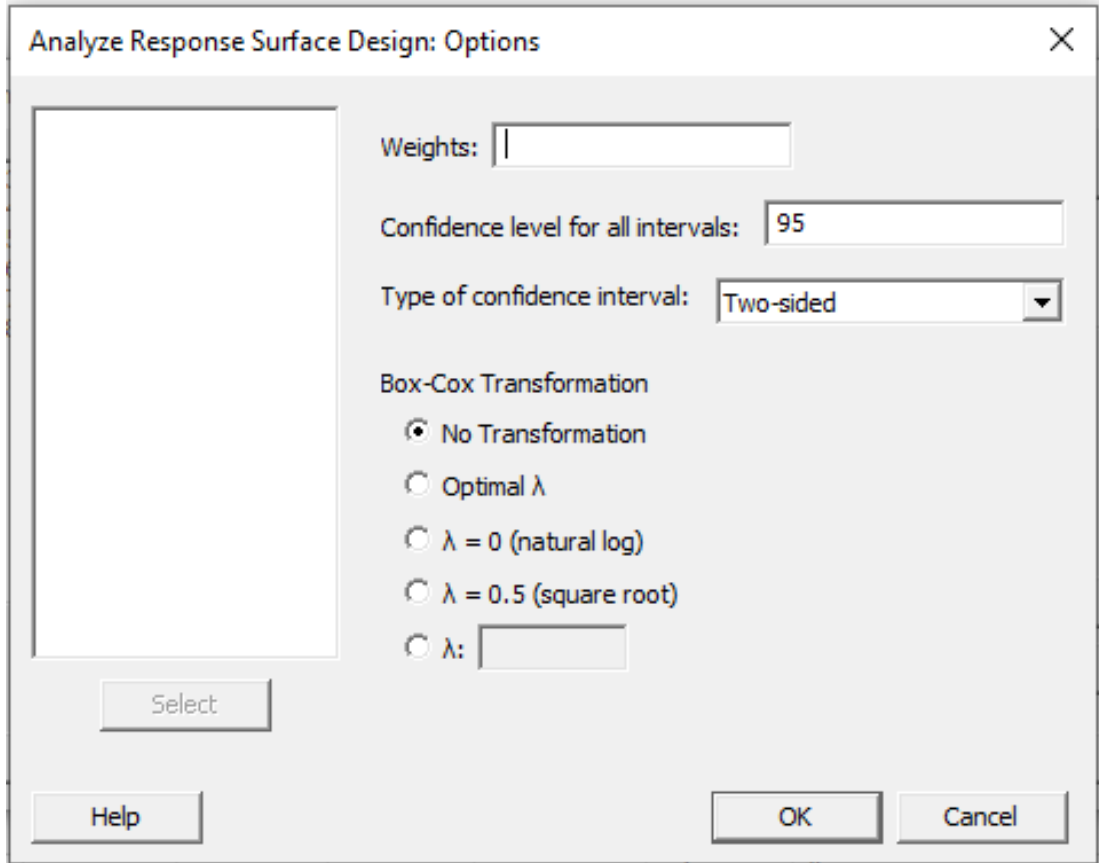
Şekil 7.11. Dizayna başlamak için takip edilen adımlar.



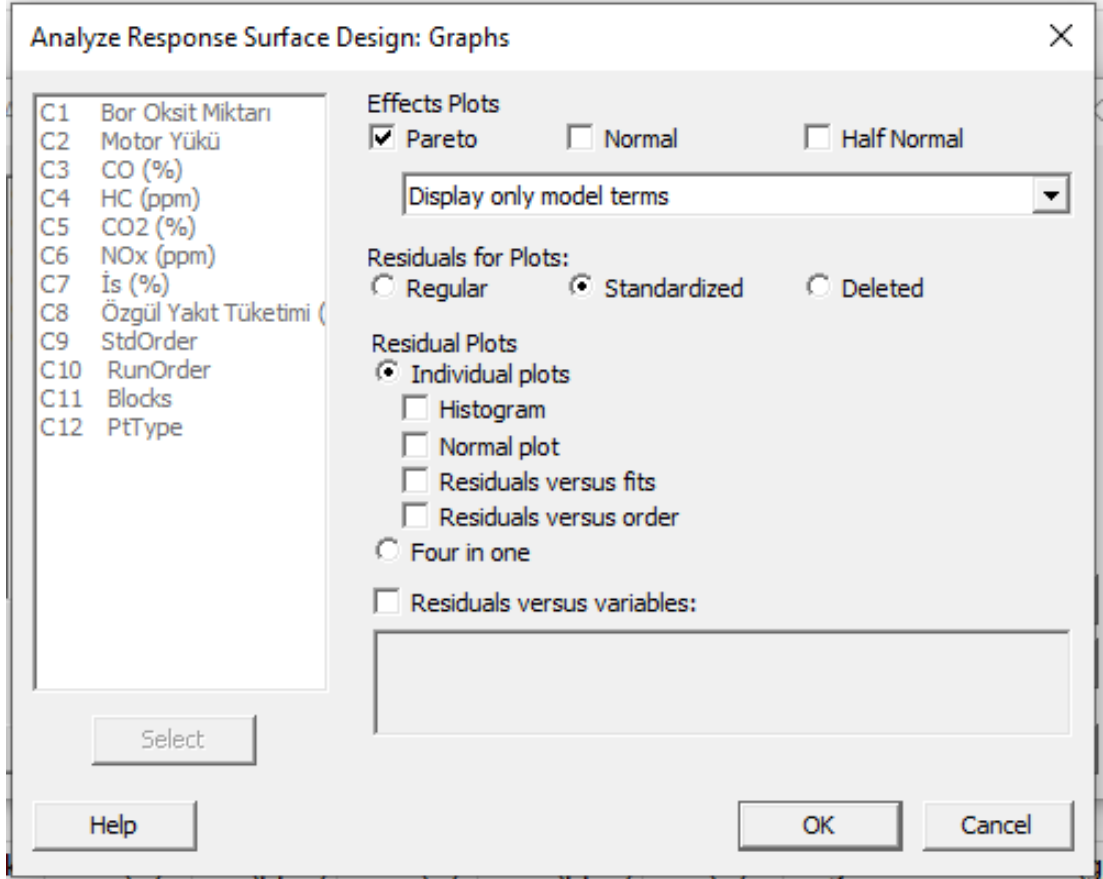
Şekil 7.12. Yanıtların seçildiği ekran.



Şekil 7.13. Deneylerin değerlendirme ve etkileşim kriterlerinin seçilmesi.



Şekil 7.14. Sonuçların doğruluk seviyesinin seçilmesi.



Şekil 7.15. Çizilecek grafiklerin belirlenmesi.

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	338.0	31.3	10.80	0.000	
Bor Oksit Miktarı	33.8	37.3	0.91	0.391	2.58
Motor Yüğü	-211.9	54.4	-3.89	0.005	3.36
Bor Oksit Miktarı*Bor Oksit Miktarı	-79.0	55.1	-1.43	0.189	2.31
Motor Yüğü*Motor Yüğü	301	101	2.99	0.017	4.21
Bor Oksit Miktarı*Motor Yüğü	11	128	0.09	0.933	6.83

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
59.6674	91.93%	86.89%	64.66%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Constant	1	115200.0	115200.0	108.0	0.000
Bor Oksit Miktarı	1	4000.0	4000.0	0.38	0.535
Motor Yüğü	1	10000.0	10000.0	0.95	0.335
Bor Oksit Miktarı*Bor Oksit Miktarı	1	1000.0	1000.0	0.01	0.921
Motor Yüğü*Motor Yüğü	1	10000.0	10000.0	0.95	0.335
Bor Oksit Miktarı*Motor Yüğü	1	100.0	100.0	0.00	0.960
Error	15	10000.0	666.67		
Total	17	126000.0			

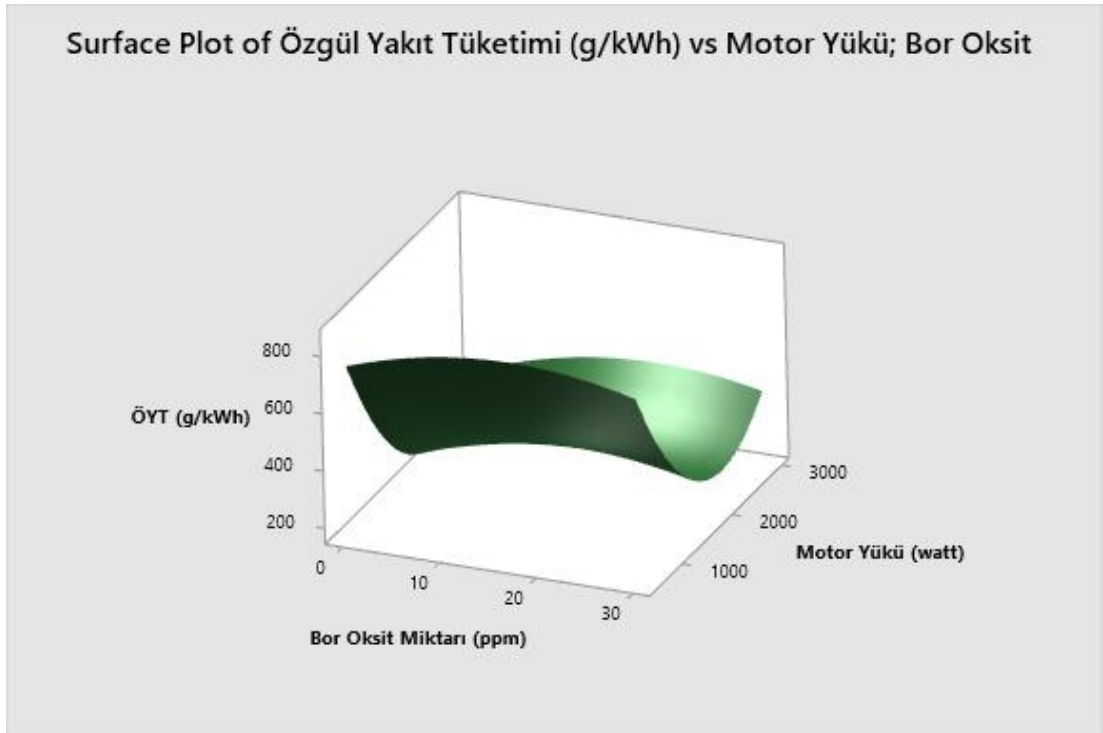
Source

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
Bor Oksit Miktarı	0	1500	0,0761000	27,6667	4,536	451,000	0,41	311,688	2	2	1	1		
2														
3	10	500	0,0883333	6,3333	3,688	281,333	0,58	900,000	3	3	1	1		
4	10	1000	0,0545667	14,6667	4,408	407,333	0,59	600,000	4	4	1	1		
5	10	1500	0,0450000	25,0000	5,320	534,000	0,60	369,231	5	5	1	1		
6	10	2000	0,0346667	34,0000	6,224	656,000	0,60	327,273	6	6	1	1		

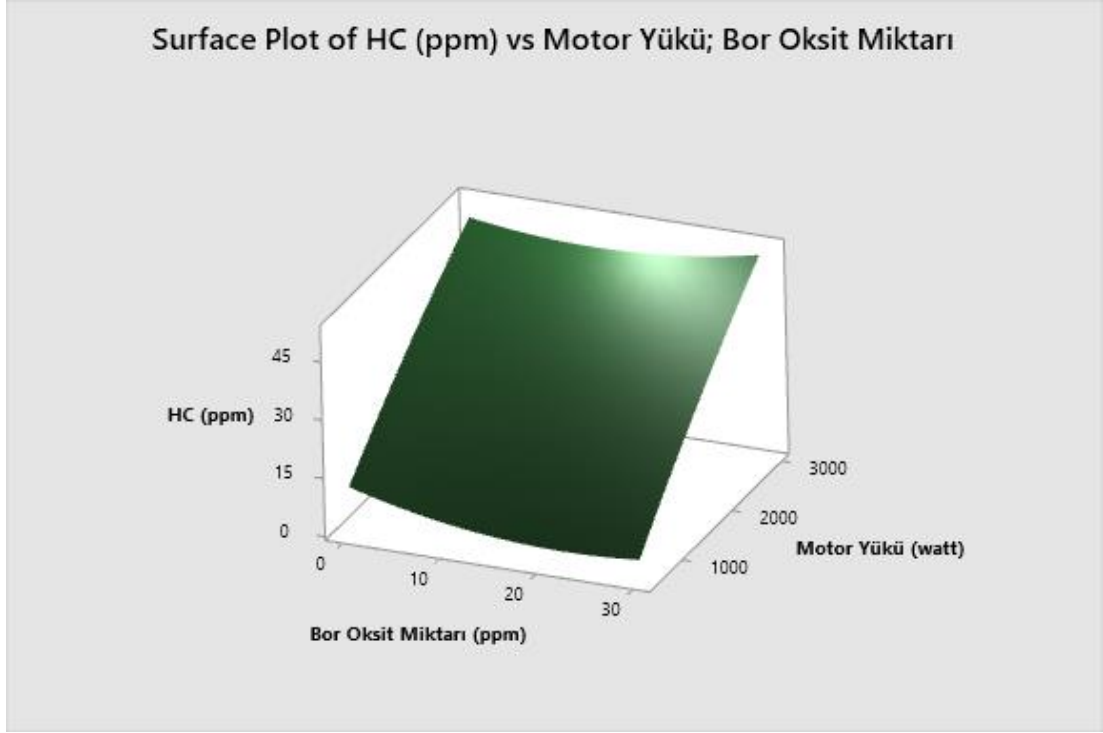
Şekil 7.16. Yanıt yüzey metodolojisinin sonuçları.

Ardından Stat – DOE- Response Surface – Surface Plot adımları takip edilerek cevapların faktörlere göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafikler her cevap için

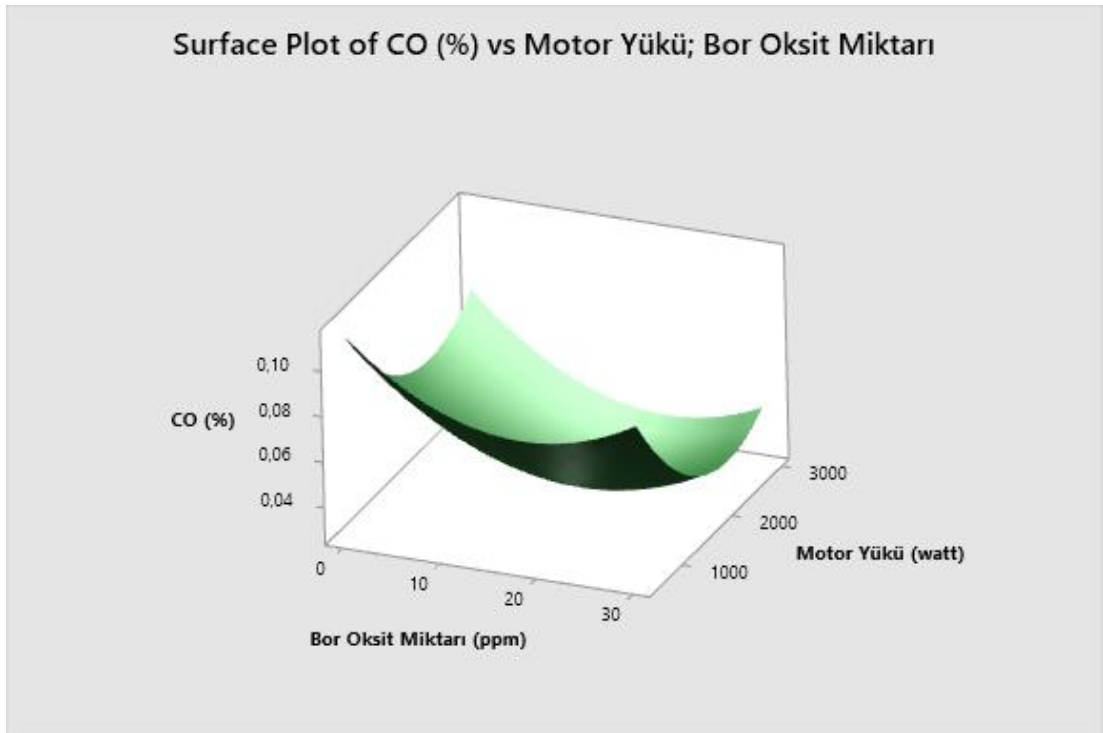
ayrı ayrı oluşturulmuştur. Şekil 7.17’de ÖYT’nin motor yükü ve B₂O₃ miktarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 7.18’de HC emisyonunun motor yükü ve B₂O₃ miktarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 7.19’da CO emisyonunun motor yükü ve B₂O₃ miktarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 7.20.’da CO₂ emisyonunun motor yükü ve B₂O₃ miktarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 7.21’de NO_x emisyonunun motor yükü ve B₂O₃ miktarına göre değişimi görülmektedir. Şekil 7.22’de is emisyonlarının motor yükü ve B₂O₃ miktarına göre değişimi görülmektedir.



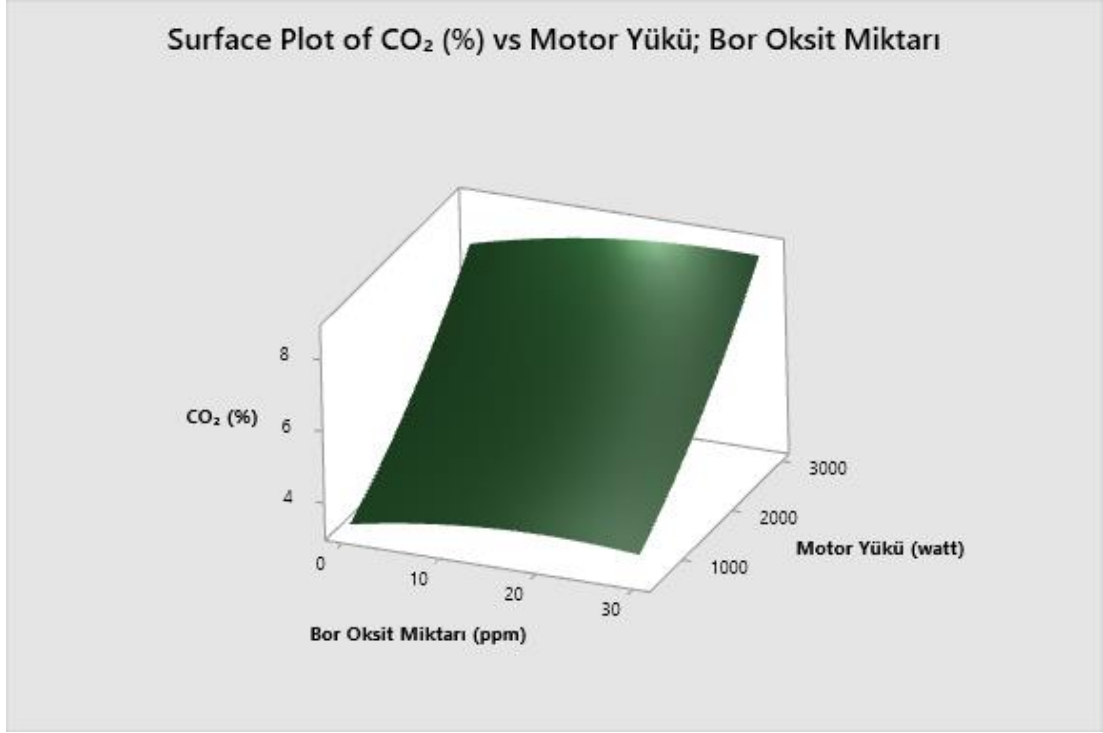
Şekil 7.17. Özgül yakıt tüketiminin motor yükü ve B₂O₃ miktarına göre değişimi.



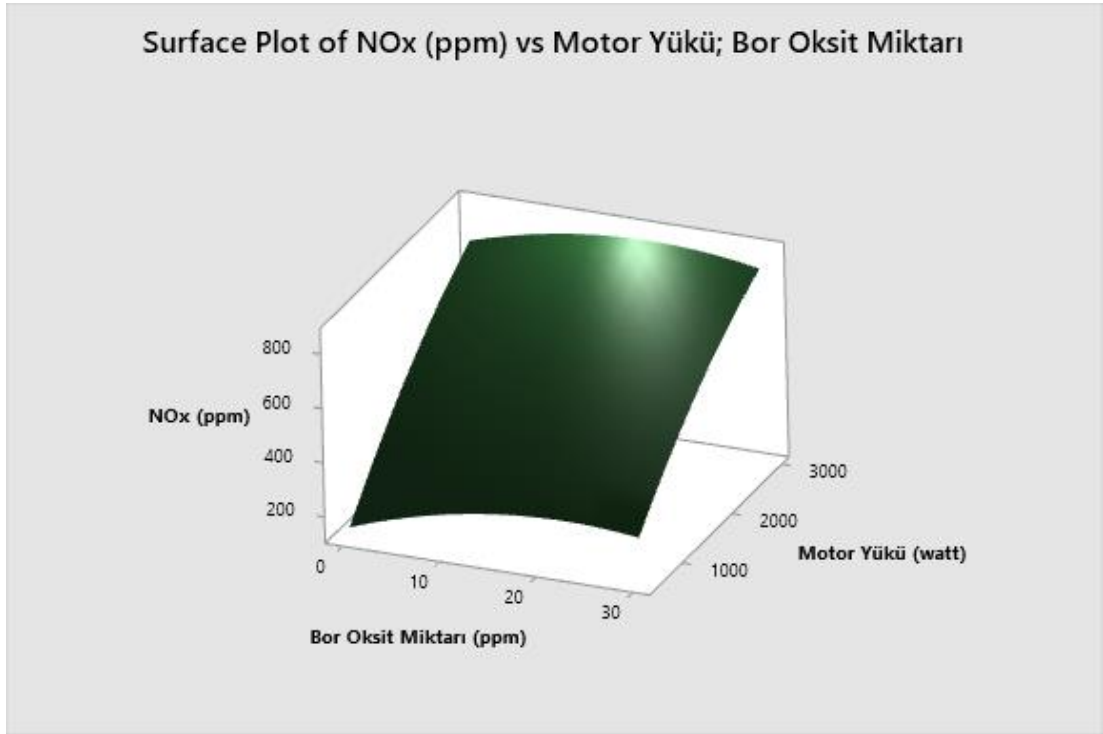
Şekil 7.18. HC emisyonunun motor yükü ve B_2O_3 miktarına göre değişimi.



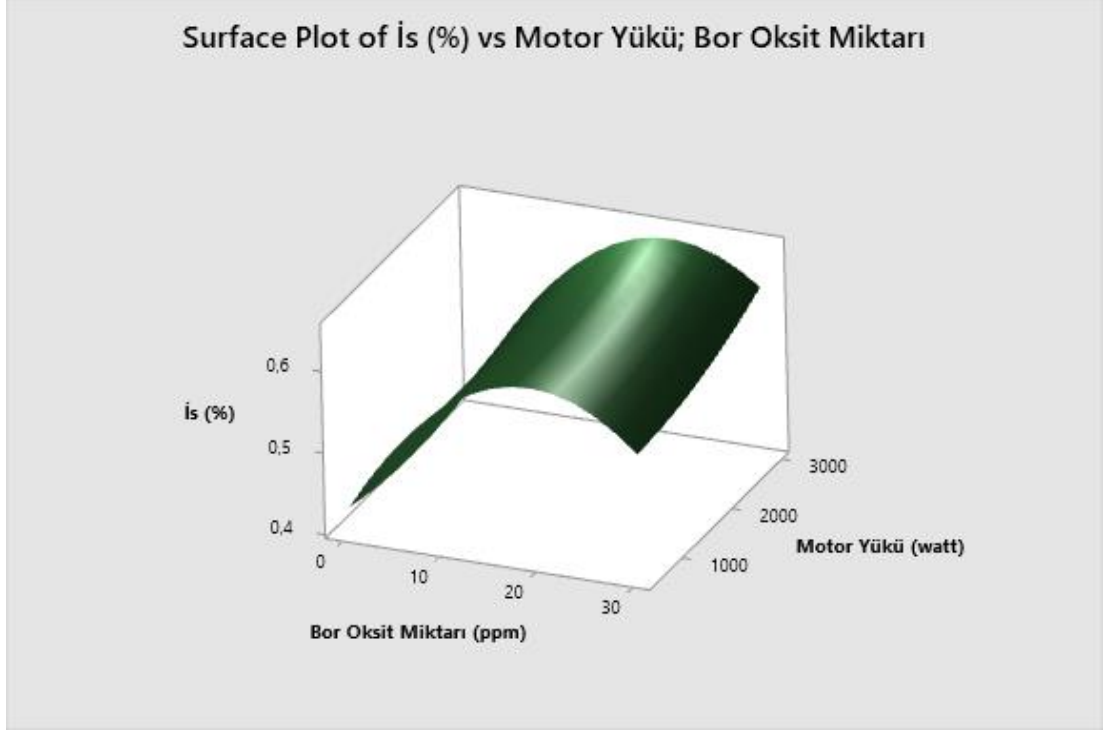
Şekil 7.19. CO emisyonunun motor yükü ve B_2O_3 miktarına göre değişimi.



Şekil 7.20. CO₂ emisyonunun motor yükü ve B₂O₃ miktarına göre değişimi.

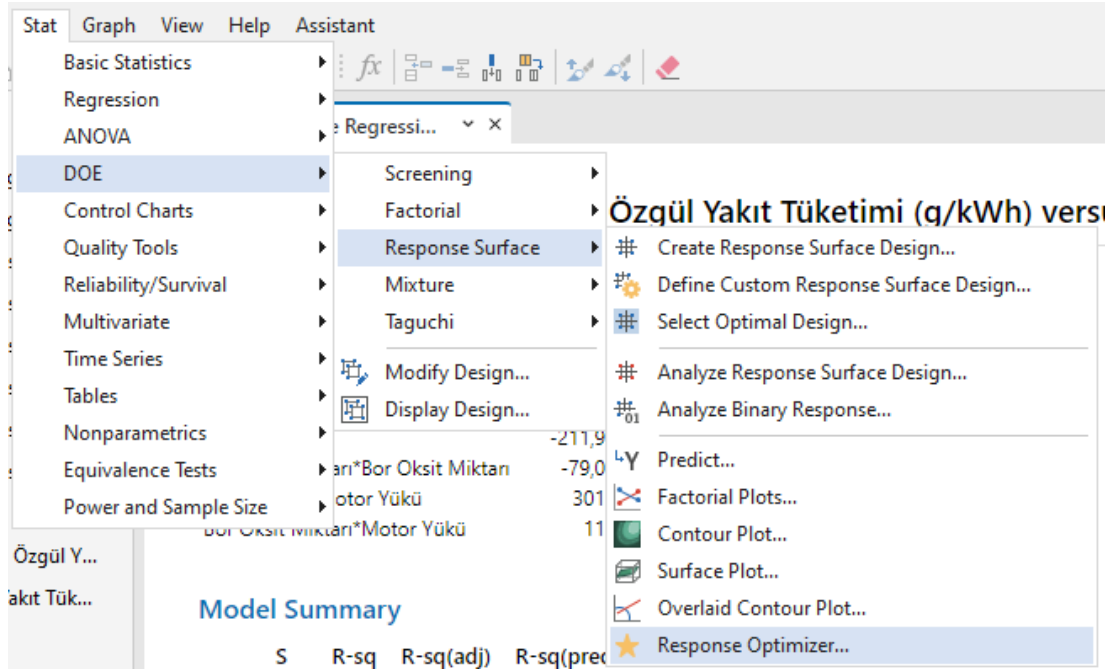


Şekil 7.21. NO_x emisyonunun motor yükü ve B₂O₃ miktarına göre değişimi.

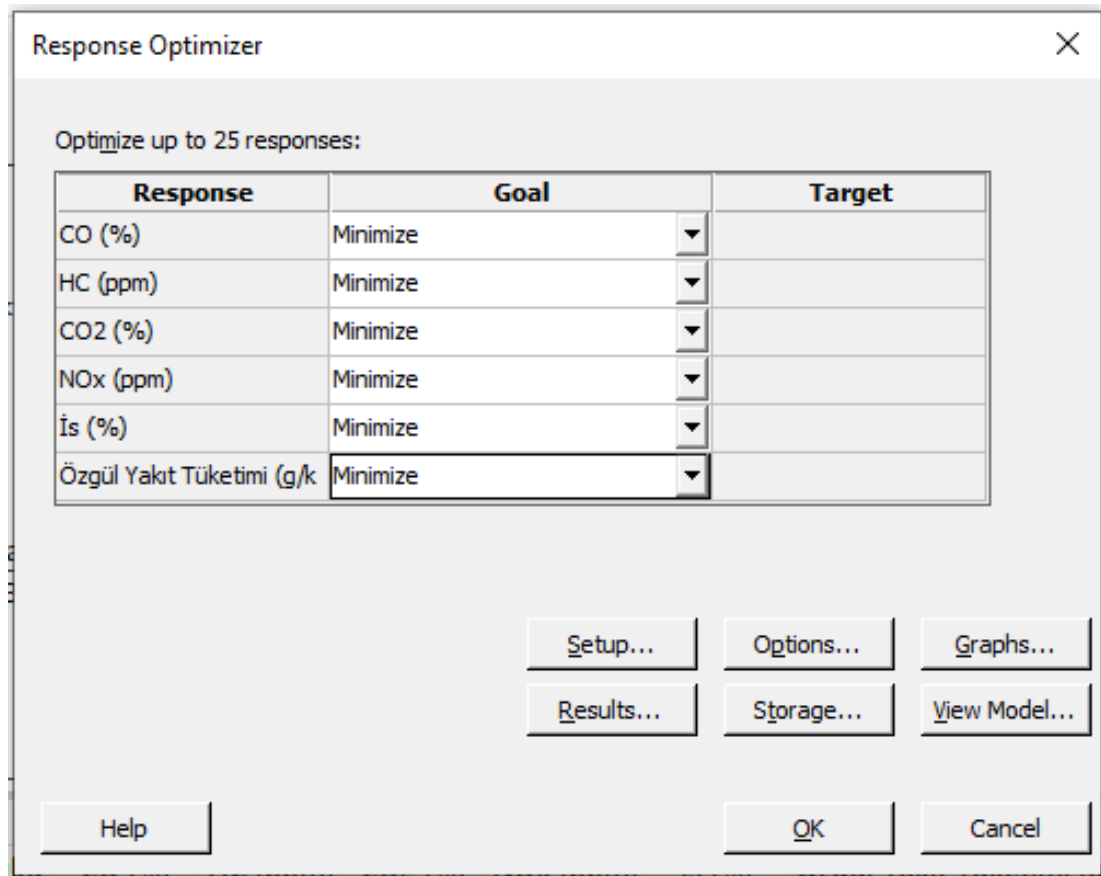


Şekil 7.22. İş emisyonunun motor yükü ve B_2O_3 miktarına göre değişim.

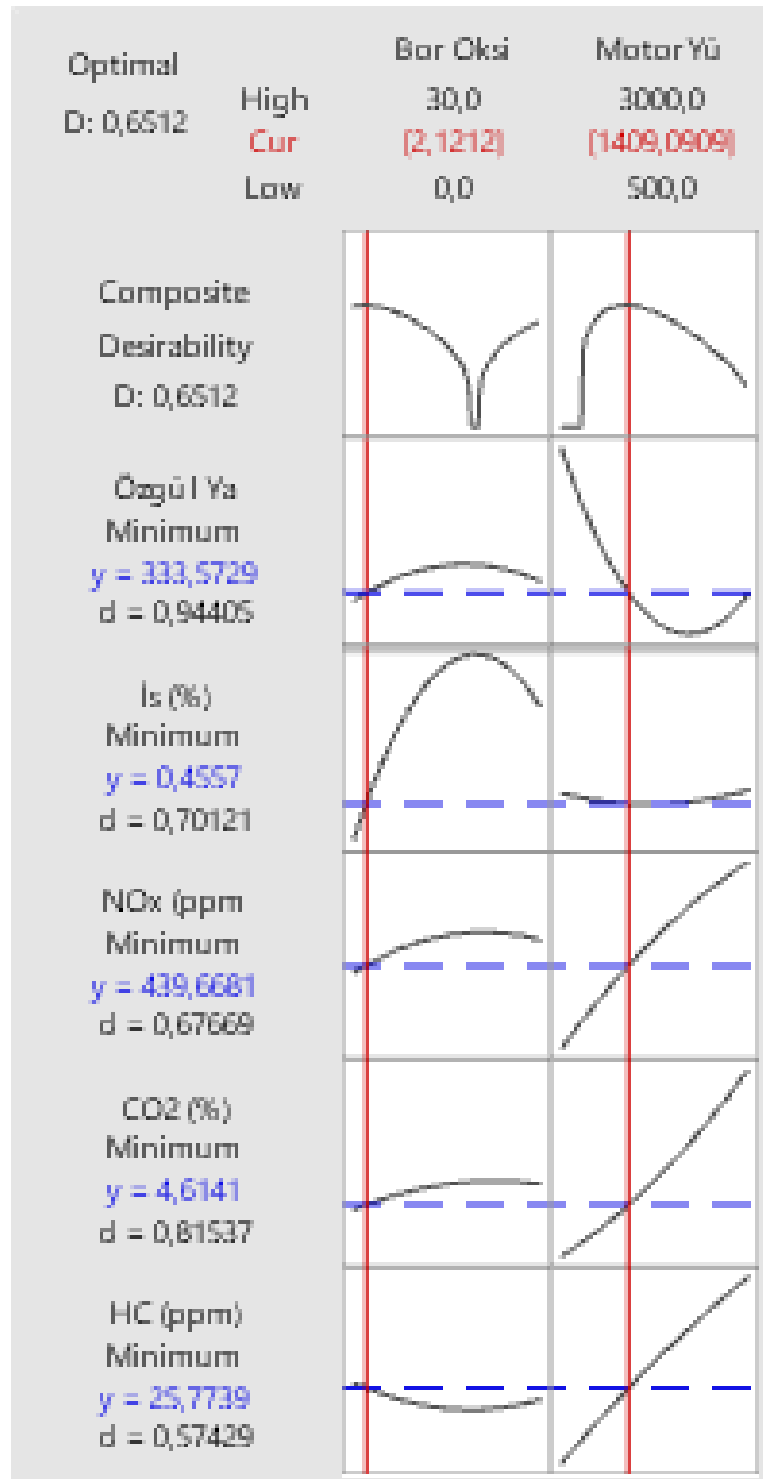
Deney çalışmalarında optimum cevaplara ulaşabilmek için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimizasyon için Stat- DOE- Responce Surface- Responce Optimizer adımları Şekil 7.23'te görüldüğü gibi takip edildikten sonra optimizasyon amaçlarını seçtiğimiz yeni bir arayüz açılmaktadır. Bu çalışmada, tüm cevaplar için amaç en aza indirmek olarak seçilmiştir. Şekil 7.24'te görüldüğü gibi yapılan optimizasyon çalışmasında elimizdeki değerler için minimum seçeneği işaretlenmiştir. Amacın, en aza indirmek olarak seçilmesinin sebebi özgül yakıt tüketiminin en aza indirgenmesinin maliyetler için avantaj sağlaması iken egzoz emisyonlarının en az olduğu durumun çevre kirliliği ve insan sağlığı için önem taşımasından kaynaklanmaktadır. Bu adımların sonunda Şekil 7.25'te görülen optimizasyon sonuç grafiği ortaya çıkmıştır. Şekil 7.25'te görülen optimizasyon grafiğinde, seçilen parametrelere göre en optimum değerler B_2O_3 faktörü için 2,1212 ppm iken motor yükü için 1409,0909 watt olarak bulunmuştur.



Şekil 7.23. Optimizasyon için Minitab uygulamasında yapılan seçimler.



Şekil 7.24. Optimum sonuçlar için minimum değerlerin seçilmesi.



Şekil 7.25. Optimizasyon grafiği.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada tek silindirli bir motorda dizel yakıtta katkı maddesi olarak nanoparçacık eklenerek elde edilen yakıtların farklı motor yüklerinde deneysel olarak incelenmesi ve bu deneylerin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmalar değişik motor yüklerinde ve sabit bir hızda gerçekleştirilmiştir. Deneysel yakıt olarak dizel, B₂O₃10, B₂O₃20 ve B₂O₃30 kullanılmıştır. Bu çalışmada dizel katkı maddesi olarak eklenen B₂O₃ ile oluşan yeni yakıtların katkısız dizelden daha iyi egzoz emisyonu sonuçları vermesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın en önemli sonuçları aşağıda açıklanmıştır.

- Dizel yakıtta B₂O₃ nanoparçacığının eklenmesi ile özgül yakıt tüketiminde artış olduğu görülmüştür. Bu oran B₂O₃10 isimli yakıtla 500 wattlık motor yükünde yapılan deneyde en yüksek değere ulaşmıştır. Dizel yakıtta eklenen B₂O₃ nanoparçacığının oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminin de azaldığı görülmektedir. 2000 Watt'a kadar artan motor yükü şartlarında yapılan deneylerde özgül yakıt tüketiminin azalma eğiliminde olduğu görülürken 2000 watt motor yükünden sonraki yüklemelerde özgül yakıt tüketiminde artış görülmüştür.
- Dizel yakıtta katkı olarak kullanılan B₂O₃ miktarının NO_x, İS, CO₂, HC ve CO gibi egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. B₂O₃ karışımı ile yapılan deneysel çalışmalarda B₂O₃ miktarının artması ile NO_x ve CO₂ emisyonları artış gösterirken, B₂O₃ nanoparçacığının artması ile İS, HC ve CO emisyonlarının azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. CO emisyonlarının iyileşmesinin temel sebebi yakıt içerisinde oksijen miktarının fazla olmasıdır. İS emisyonlarının oranı ise B₂O₃ nanoparçacığının temiz yanan bir katkı olması sebebi ile azalmıştır.

- Deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen veriler, faktör sayısına göre deney sayısı belirlenerek yanıt yüzey metodolojisinde kullanılmıştır. Giriş değişkenlerinin çıktı değişkenleri üzerindeki optimizasyonu incelenmiştir.

Bu çalışma konusuna göre şu öneriler yapılabilir:

- B_2O_3 nanoparçacığı eklenerek elde edilen yakıt karışımlarının dizel motorda kullanımının egzoz gaz sıcaklığını ve yakıt tüketimini nasıl etkilediği deneysel olarak incelenebilir.
- Dizel motorlarında yakıt katkısı olarak B_2O_3 nanoparçacığının kullanımının motor parçaları ve enjeksiyon sistemi üzerinde korozif etkilerinin olup olmadığı incelenebilir.
- B_2O_3 nanoparçacığının 100 gr'ı 20.000 TL'nin üzerinde satışa sunulmaktadır. Dizel yakıt için katkı maddesi olarak kullanımının maliyet açısından değerlendirilmesi ve alternatif olarak yakın gelecekte kullanımını sorgulanabilir.

KAYNAKLAR

1. Kelen, F., “Effects of Motor Vehicle Emissions on Human Health and Environment”, **Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences**, Van, 80-83 (2014).
2. Özer, S., Demir, U., Koçyiğit, S., “Effect of using borax decahydrate as nanomaterials additive diesel fuel on diesel engine performance and emissions”, **Energy**, Muş, Bilecik, Bingöl (2022).
3. Prasher, R. S., Bhattacharya, P., Phelan, P. E., “Thermal conductivity of nanoscale colloidal solutions (nanofluids)”, **Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Arizona State University, USA**, 419-423 (2005).
4. Montgomery, D. C., “Design and Analysis of Experiments” **Technometrics**, ABD, 69-70 (2006).
5. Zhu, M., Ma, Y., Zhang, D. “An experimental study of the effect of a homogeneous combustion catalyst on fuel consumption and smoke emission in a diesel engine.” **Energy**, 6004-6007 (2011).
6. Havlin, N., “Nano-fuel additive enters efficiency trials”, **New Scientist**, USA (2003).
7. Wakefield, G., Xiaoping, W., Gardener, M., Park, B., Anderson, S., “Envirox: fuelborne catalyst; Developing & launching a nano-fuel additive.” **Techn. Analysis & Strat. Manag.**, Hong Kong, UK, 126-137, (2008).
8. Arslan, A.B., “Dizel Yakıtı İçerisinde CeO₂ Nano Parçacık İlavesinin Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük, 1-3, 58-61 (2022).
9. Gümüş, A.S., “Nano Yakıtların Dizel Motor Performans ve Egzoz Emisyonu Üzerine Etkilerinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **19 Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Samsun, 74-77 (2012).
10. Sonenschein, D., Taewoo, L., Prasher, R., Peck, R., “Ignition and combustion characteristics of liquid fuel droplets containing metal nanoparticles”. **Heat Transfer Summer Conference**, 242-249, (2008).

11. Rani, S., Ajaad, D., Karteek, P., Naidu, L.A., “Experimental Investigation On The Performance And Emission Characteristics Of Diesel Engine Using Diesel-Ethanol Blends And Aluminium Oxide Nano Particles”, **International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)**, India, (2017).
12. Takaishi, T., “Approach to High Efficiency Diesel and Gas Engines”, web.archive, (2009).
13. Kaya A., “Dizel Motorlarının Çalışma Prensipleri”, Tech-worm, (2016).
14. Polat, S., “Dizel Motorlar”, Ders Notu, **Hititler Üniversitesi Meslek Yüksekokulu**, Çorum, 6, (2011).
15. Örs, A., “BİYODİZEL BÜTANOL KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSINA VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 26-28, (2016).
16. Uslu, S., “DÜŞÜK GÜÇLÜ BİR DİZEL MOTORDA DİETİL ETER KULLANILMASININ MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİSİ”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük, 8-12, (2015).
17. Kelen, F., “Motorlu Taşıtların Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri”, Araştırma Yazısı, **Yüzüncü Yıl Üniversitesi**, Van, 84-85, (2014).
18. İçingür, Y., “Dizel Motorlarında Emisyon (Azot Oksit) (NO_x) Kontrol Yöntemleri”, Araştırma Yazısı, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 1-9, (2017).
19. Karataş, Ö., “Motorlu Taşıtlar ve Adapazarın’da Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyonların Envanterlenmesi”, Araştırma Makalesi, **Sakarya Üniversitesi**, Sakarya, 20-21, (2018)
20. Çoban, A., “Biyodizel Karışımları ile Çalışan Bir Dizel Motorunda Performans, NO ve İS Emisyonlarını Etkileyen Faktör Seviyelerinin Taguchi Yöntemi ile Belirlenmesi”, Araştırma Makalesi, **Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü**, Sakarya, 230-232, (2021)
21. Timuralp, Ç., “Bazı Yağlayıcıların Viskozitelerinin Saybolt Viskozimetresi ile Ölçümü ve İndekslerinin İncelenmesi”, Araştırma Makalesi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi**, Afyon, 2-3, (2012)
22. Uslu, S., “Düşük Güçlü Bir Dizel Motorda Dietil Eter Kullanılmasının Motor Parametrelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 21, (2015).
23. Tillem, İ., “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 7-8 (2005).

24. Andaç, İ., “Atık Lastik Pirolizinden Elde Edilen Pirolitik Yağın Endüstriyel Kullanımı Açısından Kalitesinin Belirlenmesi ve Arttırılmasına Dair Metotların Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 43-44 (2022).
25. Calam, A., “Atık Kızartma Yağı Biyodizeliyle Çalışan Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorun Yanma Performans ve Emisyon Özellikleri”, **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik ve Fen Fakültesi**, Fen ve Mühendislik Dergisi, Samsun, 98 (2020).
26. Ejder, S. B., “Etanol- Dizel, Biyodizel - Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması ”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 47-59 (2007).
27. Uslu, S., “Düşük Güçlü Bir Dizel Motorda Dietil Eter Kullanılmasının Motor Parametrelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 26, (2015).
28. Arslan, A. B., “Dizel Yakıtı İçerisine CeO₂ Nano Parçacık İlavesinin Motor Performansı Ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük, 26, (2022).
29. Uslu, S., “Düşük Güçlü Bir Dizel Motorda Dietil Eter Kullanılmasının Motor Parametrelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 27, (2015).
30. Çelebi, Y., “Bütanol Katkısının Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Biyodizel Kullanımına Etkilerinin Deneysel Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Batman, 7, (2017).
31. Yıldırım, S., “Dünyada ve Türkiye’de petrol”, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü”, Araştırma Yazısı, **T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı**, İstanbul, 11-30, (2003).
32. İşyarlar, B., “Doğal Gaz Yakıtlı Bir Yanma Odasında Hava Ve Yakıt Sıcaklıklarının Sıcaklık, Entalpi Ve Entropi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, Araştırma Yazısı, **Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu**, Ordu, 25, (2014).
33. Özdemir, Ö. Ö., “Enerji Taşıyıcısı Olarak Hidrojen ve Hidrojen Üretim Yöntemleri”, Araştırma Yazısı, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkaleli, 17, (2019).
34. Tillem, İ., “Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 4-5, (2005).

35. Sayın, C., “Benzinli Bir Motorda Benzin+Lpg Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi”, Araştırma Yazısı, **Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, İzmit, 118-119, (2005).
36. Yılmaz, T. İ., “Dizel-Biyogaz Çift Yakıtla Çalışan Bir Motorda Dizel Yakıt Miktarının Emisyonlara Etkisi”, Araştırma Makalesi, **Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi**, Denizli, 683-684, (2020).
37. Tunca, S., “Farklı Katkı Maddeli Emülsifiye Yakıtların Bir Dizel Motorun Performans ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Sakarya, 17-19, (2019).
38. Uslu, S., “Düşük Güçlü Bir Dizel Motorda Dietil Eter Kullanılmasının Motor Parametrelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük, 33-34, (2015).
39. Şenveli, E., “Etanol Katkılı Yakıt Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 35-36, (2008).
40. Özer, S., “Alkollerin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması”, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi**, Bursa, 98-100, (2014).
41. Şenveli, E., “Etanol Katkılı Yakıt Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 3-5, (2008).
42. Uslu, S., “Düşük Güçlü Bir Dizel Motorda Dietil Eter Kullanılmasının Motor Parametrelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi**, Samsun, 31-33, (2022).
43. Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş., “Motorin özellikleri”, Tüpraş, (2015).
44. Ereztech., “Ürün spesifikasyon sertifikası”, Ereztech, (2023).
45. Çakmak, A., “Bor oksit nanoparçacıklarının dizel yakıt katkısı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, Dergi Yazısı, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük, 421-422, (2022).
46. Koç, B., “Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları”, Derleme Yazısı, **Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği**, İzmir, 2-3, (2009).
47. Ergül, U. E., “Yanıt Yüzey Yöntemi ve Genetik Algoritma Kullanılarak Transformatör Sargı En Sıcak Nokta Sıcaklığının Modellenmesi ve Optimizasyonu”, Araştırma Makalesi, **Amasya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi**, Amasya, 469-470, (2019).
48. Taha, H. N. H., “Optimization Of The Performance And Emission Responses Of The Diesel Engine With Rsm Using Environmentally Friendly Fuel Blends”,

Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği**, Karabük, 66-68, (2023).

49. Ejder, S. B., “Etanol- Dizel, Biyodizel - Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 43-44, (2007).
50. Aydın, B., “Nano Yakıt Katkı Maddesi İlave Edilen Biyodizel Dizel Karışımının Motor Performans ve Emisyon Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği**, Karabük, 4-6, (2022).
51. Nanografi., “Nanopartiküller: Özellikleri ve Uygulama Alanları”, Nanografi, (2023).
52. Kılıç, T., “Motorlu Taşıtlar ve Adapazarın’da Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyonların Envanterlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi**, Sakarya, 20-21, (2010).

ÖZGEÇMİŞ

Şule SARAL eğitim öğretimini Üniversite yıllarına kadar Ankara'da tamamladı. Kampüs Temel Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2016 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 2021 yılında mezun oldu. Ardından Karabük Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Yüksek Lisans Eğitimi devam ederken Teknopark İstanbul A.Ş.'de Ar-Ge Hizmetleri Müdürlüğü'nde Uzman Yardımcısı pozisyonunda çalışmaya başladı. Şu anda çalışma hayatına aynı şirkette devam etmektedir.