

**BİYODİZEL, BÜTANOL VE DİZEL KARIŞIMLARINA
NANOGRAFEN İLAVESİNİN
MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
DENEYSEL OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

İbrahim GENÇ

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Doç.Dr. İlhan Volkan ÖNER

Dr. Öğr. Üyesi Abdulaziz ATABANI

2023

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ENERJİ BİLİM DALI

**BİYODİZEL, BÜTANOL VE DİZEL KARIŞIMLARINA
NANOĞRAFEN İLAVESİNİN
MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
DENEYSEL OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

(An experimental study on its applications in internal combustion engines with production and characterization of an alternative fuel from waste of used tires)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim GENÇ

Danışman: Doç.Dr. İlhan Volkan ÖNER
İkinci Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdulaziz ATABANİ

Erzurum
Temmuz, 2023



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

İbrahim GENÇ tarafından hazırlanan “Biyodizel, Bütanol ve Dizel Karışımlarına Nanografen İlavesinin Motor Performansı ve Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak Değerlendirilmesi” başlıklı çalışması 28/07/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof.Dr. İsmail SOLMAZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.
Danışman:	Doç.Dr. İlhan Volkan ÖNER <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.
Jüri Üyesi:	Doç.Dr. Faruk YEŞİLDAL <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.
Jüri Üyesi:	Dr.Öğr.Üyesi Halil İbrahim AKOLAŞ <i>Balıkesir Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.
İkinci Tez Danışmanı:	Dr.Öğr.Üyesi Abdulaziz ATABANİ <i>Erciyes Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü
Aslı ıslak imzalıdır.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**Graduate School of Natural and
Applied Sciences**T.C.****ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ****Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü****ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU**

Yüksek Lisans Tezi olarak *Doç.Dr. İlhan Volkan ÖNER* danışmanlığında sunulan “Biyodizel, Bütanol ve Dizel Karışımlarına Nanografen İlavesinin Motor Performansı ve Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak Değerlendirilmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	3	30
Kuramsal Temeller	18	30
Materyal ve Metot	22	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	3	20
Sonuçlar ve Öneriler	0	20
Tezin Geneli	14	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
İbrahim GENÇ	Doç.Dr. İlhan Volkan ÖNER
28.7.2023	28.7.2023
İmza: Aslı ıslak imzalıdır.	İmza: Aslı ıslak imzalıdır.

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocalarım Doç.Dr. İlhan Volkan ÖNER ve Dr. Öğr. Üyesi Abdulaziz ATABANI'ye şükranlarımı sunar, yıllar içinde bana verdikleri tüm emeklerden dolayı kendilerine sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmanın gerçekleşmesindeki katkıları nedeniyle, Öğr.Gör. Esenay ARSLAN ve Prof.Dr. Sebahattin ÜNALAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak; her zaman ve her koşulda yanımda olan, tüm imkân ve desteklerini eksik etmeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

İbrahim GENÇ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BIYODİZEL, BÜTANOL VE DİZEL KARIŞIMLARINA NANOGRAFEN İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

İbrahim GENÇ

Danışman: Doç.Dr. İlhan Volkan ÖNER

İkinci Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdulaziz ATABANİ

Bu çalışmada, atık yemeklik kızartma yağlarından elde edilen biyodizel, alkol ve dizel karışımlarına farklı oranlarda grafen nanoplateletler (GNPs) katılarak alternatif yakıtlar üretildi. Alkol olarak bütanol kullanıldı ve karışımlara hacimce %10, %15 ve %20 oranında ilave edildi. Öncelikli olarak hazırlanan tüm yakıt karışımlarının setan indisi, kalorifik değer, yoğunluk ve viskozite gibi kimyasal özellikleri analiz edildi. Ayrıca, tüm numunelerin TGA, DSC, FTIR, uv-VIS ve GS-MS analizleri de yapılarak karakterizasyon işlemi gerçekleştirildi. Sonrasında, tüm yakıt numunelerinin CI dizel bir motorda motor performans, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonları da deneysel olarak araştırıldı. Deneyler, 7 farklı karışım için 1500 ve 2000 d/dak hızda ve 5 farklı yükte (0-12.5-25-37.5-50 Nm) gerçekleştirildi. Yanmayı iyileştirmesi amacıyla GNPs ilavesi olan numunelere 0,05 gr GNPs ilave edildi. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki; BSFC değerleri arasındaki en büyük fark dizel yakıt ile B20Bu20 karışımı arasında 12,5 Nm yükte, en düşük fark ise 37,5 Nm yükte gerçekleşmiştir. D100 yakıtından sonra en yüksek 2. BTE değerleri, her iki devir sayısında da B10Bu10G yakıt numunesinde kaydedildi. Silindirdeki maksimum basınç (P_{max}), 12,5 Nm yükte (61,30 bar) B20Bu20 yakıt numunesi ile kaydedildi. GNPs katkısı tutuşma gecikmesi süresini kısılmasına sebep oldu. Her iki devir sayısında da hazırlanan karışımlara GNPs ilavesi NO_x oluşumunda bir artışa sebep olmuştur. Ayrıca, en yüksek CO_2 emisyonu % 19.34'lik bir artışla 50 Nm yükte B10Bu10G yakıt karışımında gözlenmiştir. Bu çalışma, 3'lü karışım olarak hazırlanan numunelere GNPs ilavesinin CI dizel motorlarda kullanımını desteklemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık yemeklik yağ biyozideli, bütanol, üçlü karışım, grafen nanoplatelets (GNPs), motor performansı, egzoz emisyonları.

Temmuz 2023, 62 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

EXPERIMENTAL EVALUATION OF EFFECTS ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF NANOGRAFENE ADDITION TO BIODIESEL, BUTANOL AND DIESEL BLENDS

İbrahim GENÇ

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. İlhan Volkan ÖNER

Co-supervisor: Assist.Prof.Dr. Abdulaziz ATABANI

In this work, alternative fuels were developed by adding graphene nanoplatelets (GNPs) at different ratios to biodiesel, alcohol and diesel blends. Biodiesel was obtained from waste cooking oil. Butanol was used as the alcohol and added to the blends at 10%, 15% and 20% by volume. First of all, chemical properties such as cetane index, calorific value, density and kinematic viscosity of all the prepared fuel blends were analyzed. In addition, TGA, DSC, FTIR, UV-VIS and GS-MS analyses of all samples were performed and the characterization process was carried out. Afterwards, engine performance, combustion characteristics and exhaust emissions of all fuel samples in a CI diesel engine were also experimentally investigated. The experiments were carried out at 1500 and 2000 rpm for 7 different blends and at 5 different loads (0, 12.5, 25, 37.5 and 50 Nm). In order to improve the combustion characteristics, 0.05 gr GNPs was added to the samples. The results of the study showed that; the biggest difference between BSFC values was between diesel fuel and B20Bu20 blend at 12.5 Nm load, and the lowest difference was at 37.5 Nm load. The second highest BTE values after D100 fuel were recorded in the B10Bu10G fuel sample at both speeds. The maximum in-cylinder pressure (Pmax) was recorded with the B20Bu20 fuel sample at a load of 12.5 Nm (61.30 bar). The addition of GNPs caused a shortening of the ignition delay time. However, the addition of GNPs caused an increase in NO_x formation. In addition, the highest CO₂ emission was observed with an increase of 19.34% in the B10Bu10G fuel mixture at 50 Nm load. This study was carried out to support the addition of GNPs addition to the ternary fuel blends in CI diesel engines.

Keywords: Waste cooking oil biodiesel, Butanol, Ternary blend, Graphene nanoplatelets (Gnps), Engine performance, Exhaust emissions.

July 2023, 62 pages

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI	iii
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
MATERYAL VE METOT	14
Biyodizel Üretim(B100)	14
Yakıt Numunelerinin Hazırlanması	15
Motor performansı, yanma özellikleri ve emisyon analizleri	16
TGA Analizi	21
DSC Analizi.....	22
FT-IR Analizi.....	22
uv-VIS Analizi.....	22
GC-FID Analizi	23
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	24
Test Numunelerinin Özellikleri	24
Motor Performans Analizleri	25
Fren Özgöl Yakıt Tüketimi (BSFC)	25
Fren Termal Verimi (BTE)	27
Silindir içi basınç verileri.....	29
Emisyon Analizi	34
NO _x emisyonları.....	34
CO ₂ emisyonları.....	36
TGA Analizi	38

DSC Analizi.....	39
FT-IR Analizi.....	40
uv-VIS Analizi.....	42
GC-FID Analizi	43
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR.....	47



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Biyodizel, Bütanol, Euro Dizel ve GNPs karışım oranları	15
Tablo 2. Dizel motorun teknik özellikleri	18
Tablo 3. Egzoz emisyon cihazının ölçüm aralığı ve doğruluğu	19
Tablo 4. Silindir İçi Basınç Sensörü, Amplifikatör ve Enkoderin Teknik Özellikleri	19
Tablo 5. Numunelerin fiziko-kimyasal özelliklerini ölçen test cihazlarının özellikleri	20
Tablo 6. Biyodizel, Bütanol, Euro Dizel ve GNPs karışımlarının fiziko-kimyasal özellikleri	24
Tablo 7. Biyodizel, Bütanol, Euro Dizel ve GNPs karışımlarının yoğunluklarının sıcaklıkla değişimi	24
Tablo 8. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının TGA Sonuçları	39
Tablo 9. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının Kristalizasyon Başlangıç Sıcaklıkları	40
Tablo 10. D100, B10Bu10, B10Bu10G, B15Bu15, B15Bu15G, B20Bu20, B20Bu20G ve B100 Yakıtlarının Fonksiyonel Grup Frekansları	41
Tablo 11. GC-FID analizine göre Biyodizel, Dizel, Butanol ve GNPs Karışımlarının % Cinsinden Yağ Asidi Bileşenleri	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Transesterifikasyon yöntemi deney düzeneği	14
Şekil 2. Transesterifikasyon işleminin reaksiyon denklemi	15
Şekil 3. Biyodizel, fosil dizel, bütanol, GNPs ve karışımları	16
Şekil 4. Motor test düzeneği, bileşenleri ve fotoğrafları	18
Şekil 5. Yakıt karışımlarının farklı yüklerdeki BSFC değerleri a) 1500 d/dak b) 2000 d/dak.	26
Şekil 6. Motor Fren Termal Verimi (BTE) a) 1500 d/dak b) 2000 d/dak	28
Şekil 7. 1500 d/dak - 12,5, 25, 37,5 ve 50 Nm yükte krank açısına göre silindir içi basınç değişimi	31
Şekil 8. 2000 d/dak - 12,5, 25, 37,5 ve 50 Nm yükte krank açısına göre silindir içi basınç değişimi	34
Şekil 9. Motor yüklerine ve test yakıtlarına göre NO _x emisyonundaki değişimler	35
Şekil 10. Motor yüklerine ve test yakıtlarına göre CO ₂ emisyonundaki değişimler	37
Şekil 11. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının TGA Analizi (kütle kaybı ve sıcaklığın değişimi)	38
Şekil 12. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının Derivatif Termogravometrik (DTG) Analizi	39
Şekil 13. D100, B10Bu10, B10Bu10G, B15Bu15, B15Bu15G, B20Bu20, B20Bu20G ve B100 Yakıt Karışımlarının Kızılöztesi Spekturumları (FR-IR)	41
Şekil 14. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının UV-VIS spekturumları	42
Şekil 15. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının GC-FID spekturumları	43

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

Kısaltmalar

N ₂	Nitrojen	FTV	Fren termal verimi
NO _x	Nitrojen Oksit	IYO	Isı yayılım oranı
HC	Hidrokarbon	B5	%5 Biyodizel, %95 Dizel
CO	Karbonmonoksit	B10	%10 Biyodizel, %90 Dizel
FeCl ₃	Demirklorür	B15	%15 Biyodizel, %85 Dizel
NO	Nitrikoksit	B20	%20 Biyodizel, %80 Dizel
MgO	Magnezyumoksit	B25	%25 Biyodizel, %75 Dizel
SiO ₂	Silisyumoksit	B50	%50 Biyodizel, %50 Dizel
ppm	Milyonda bir partikül	B100	%100 Biyodizel, %0 Dizel
PM	Partikül madde	D80SBD15E4S1	%80 Dizel, %15 Soyabiyodizel, +4 Etanol, %1 izopropanol
CRDI	Common rail direct injection	DI	Direkt enjeksiyonlu
NE	Nitroetan	MWCNT	Fonksiyonelleştirilmiş çok duvarlı karbo nanotüp
NM	Nitrometan	ZJME25	%25 zizipus jube metil ester
MXEE	Metoksi eitler	Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
MN	Manganez	HSU	Hartridge Smoke Unit
CE	Seryum	ULSD	Ultra Düşük Sulfür Dizel
d/dak	Devir/dakika	NH3	3 çıkışa sahip nozul tipi
Nm	Newton metre	NH5	5 çıkışa sahip nozul tipi
CO ₂	Karbondioksit	BDE	biyodizel-dizel-etanol
FÖYT	Fren Özgöl Yakıt Tüketimi	BSEC	Brake Specific Energy Consumption
g/kWh	Gram / kilowattsaat	TF	Üçlü yakıt
kW	kilowatt	TF20	%70 Dizel, %20 Jatropha biyodizel, %10 Etanol + 20 ppm Al ₂ O ₃
WCC	Isıtmalı katalitik konvertör	E4	%4 Etanol ilavesi
CPF	Katalize Edilmiş Partikül Filtreleri	E8	%8 Etanol ilavesi
ECE	Avrupa Ekonomi Komisyonu	UHC	Yanmamış hidrokarbonlar
ESC	Avrupa Sabit Çevrimi	GNP	Grafen nanoplateletler
D100	%100 Dizel	mg/lt	Miligram/litre
THC	Toplam Hidrokarbon	GO	Grafen oksit
nm	Nanometre	EGT	Egzoz gazı sıcaklığı
BD15E5	%15 Biyodizel, %5 Etanol, %80 Dizel	Al@C	Alüminyum nanopartikül
BD5	%5 Biyodizel, %95 Dizel	B10E4	%10 biyodizel, %90 dizel, %4 etanol
BD20	%20 Biyodizel, %80 Dizel	B10E4N30	%10 biyodizel, %90 dizel, %4 etanol, 30 ppm Alüminyum nanopartikül
TiO ₂	Titanyumoksit	CH ₃ OH	Metanol
CeO ₂	Seryumoksit	NaOH	Sodyum hidroksit

GİRİŞ

Son yıllarda, dizel motorlardan salınan zararlı emisyonları azaltabilmek için birçok yeni yasal düzenleme yürürlüğe girmiştir. Bu emisyon standartlarını karşılayabilmek için, motor üreticileri her geçen gün yeni yöntemler ve sistemler geliştirmektedir. Bunlardan bazıları, motor öncesinde yapılan önlemler olup; yakıt üzerine yapılan çalışmalar ve iyileştirmeler, düşük N_2 sahip yakıtların kullanımı, ilave yakıtlar ve alternatif yakıtlar bu önlemler arasında sayılabilir.

Literatür incelendiğinde, dizel motorlar üzerine yapılan alternatif yakıt çalışmalarının birçoğunun farklı materyallerden üretilen biyodizel ile dizel yakıt karışımlarının kullanımından oluştuğu görülmektedir.

Nanopartiküller, boru içi akışta ısı iletimini iyileştirmekten, kompozit malzemelerin yapıştırıcılarında bağlantı mukavemetini arttırmaya kadar mühendisliğin hemen hemen her alanında kendisine yer bulmuştur. Dizel yakıtı nanopartikül ilavesi ise yeni bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Dizel yakıtı nano boyutta farklı malzemelerden parçacıklar ilave edilerek zararlı emisyonların, özellikle de NO_x emisyonlarının azaltılması amaçlanmaktadır. Özellikle büyük hacimli ve taşımacılık sektöründe kullanılan taşıtlardan salınan zararlı egzoz emisyonlarında yapılacak olası iyileştirmeler, toplamda çevreye verilen zararlı etkileri de büyük ölçüde azaltacaktır.

Mühendislik, tıp, biyoteknoloji, tarım teknolojisi ve taşımacılık gibi birçok alanda yaygın olarak kullanımı tercih edilen nanoakışkanlar, termofiziksel özelliklerin iyileştirmek için ana akışkanda asılı halde duran ve milyonda bir parçacıktan daha küçük boyuta sahip nispeten yeni bir tür koloidal çözeltiler olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda, nanoteknolojideki ilerlemelerle bilim insanları, nanopartikül yüklü dizel-biyodizel karışımlarını kullanarak geleneksel dizel motor yanma davranışları, stabilite özellikleri, çeşitli motor performans parametreleri ve emisyon karakteristiklerinin iyileştirilmesi üzerine odaklanmışlardır. Dizel motor ana yakıtına nanoboyutta metalik, metalik olmayan, organik ve karıştırılmış parçacıklar kullanılarak yukarıda sayılan konularla ilgili çok az sayıda çalışma literatürde yer almıştır. Elde edilen sonuçlar, ana yakıttaki partikül boyutu ve konsantasyonu, kullanılan nanopartikülün tipine bağlı olarak parlama, yanma ve akma noktalarındaki iyileşmeler, yüksek ısıl iletkenlikten dolayı ısı ve kütle transferi özelliklerindeki iyileşmeler, yanma için yüksek reaktif ortam, yüksek yüzey-hacim oranı gibi modifiye edilmiş yakıtın termofiziksel ve kimyasal özelliklerindeki çoklu iyileşmelerden dolayı umut vadedicidir. Tüm bu üstünlüklerine rağmen, literatürde bulunan belli belirsiz ve çelişkili sonuçlar, ayrıca farklı

araştırmacıların deneysel sonuçları, yakıt iyileştirmelerinde bu yeni yaklaşımlar hakkında şimdiye kadar bir görüş birliğine varmayı mümkün kılmamıştır.



KURAMSAL TEMELLER

Literatür incelendiğinde dizel yakıt alternatif olarak farklı yağlardan üretilmiş biyodizel yakıt karışımlarının kullanıldığı ikili karışımların motor performans ve emisyon analizleri gerçekleştirildiği görülmektedir. Ayrıca, bu ikili karışımlara farklı alkoller ilave edilerek de bir çok çalışma yapılmıştır. Son zamanlarda ise bu yakıt karışımlarına Al_2O_3 , CeO , Grafen, MgO , Si_2O v.b. gibi farklı nanopartiküller ilave edilerek karışımlar hazırlanmış ve motor testleri gerçekleştirilmiştir.

Saxena ve ark. (2017), çalışmasında; tüm bu gerçekleri göz önünde bulundurarak, dizel motor için umut vaat eden bir gelecek yakıtı olmasını sağlamak ve nanopartikül yakıt emisyon teknolojisinin maksimum potansiyelini kullanmak ve bu alanda daha ileri araştırmalar yürütmek için bir yol gösterici olmak düşüncesi ile nanopartikül asılı dizel, biyodizel yakıt ve karışımlarının stabilite ve yanma özellikleri ve bunların tüm yakıt ve motor karakteristikleri üzerine etkilerinin yer aldığı önemli yayınları derlemişlerdir (Saxena, Kumar, & Saxena, 2017). Sıvı yakıtta nanopartikül ilavesinin etkisi, NO_x emisyonları hariç Hidrokarbon (HC), duman seviyeleri ve karbonmonoksit (CO) gibi emisyonların çoğunda daha düşük bulunmuştur. Ancak, CO emisyonu $FeCl_3$ nanopartikül ilavesi ile artmıştır. Biyodizele nanopartikül ilavesinin yüksek enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon zamanı, oksidasyon oranlarını hızlandıran daha iyi hava-yakıt karışım oranlarının sonucu olarak sprey karakteristiklerinde bir iyileşme sağlamış, bu da daha düşük emisyon değerleri meydana gelmesini yardımcı olmuştur. Deney sonuçları, nanopartiküller dizel ve biyodizel ile karıştırıldığında motor NO_x emisyonlarının daha da arttığını göstermiştir. Biyodizelin zengin oksijen içeriği, yüksek derecede katalitik olan nanopartikül ile birleştğinde daha yüksek silindir pik sıcaklığı üretilir. Bunun sonucu olarak, daha fazla azotu (N_2) nitrik oksite (NO) oksidize edilerek, daha yüksek oranda NO_x bileşeni oluşması sağlanır. Araştırmacılar, su ile nanopartikül katkılı yakıtı karıştırarak, yakıtın yanması sırasında suyun buharlaşması için yeterince ısı çekilmesini ve böylece silindir pik sıcaklığının azalmasını sağlayabilir, bunun sonucu olarak NO_x emisyon seviyeleri azaltılabilir sonucuna varmışlardır.

Özgür ve ark. (2015) çalışmalarında, biyodizele nanopartikül ilavesinin yakıt özelliklerine, sıkıştırma ateşlemeli dizel motor performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, MgO ve SiO_2 olarak adlandırılan iki farklı nanopartikülü 25 ve 50 ppm dozajlarda biyodizele ilave ederek, elde ettikleri modifiye yakıtın yakıt özellikleri, motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini araştırmışlardır. Sonuçlar, nanopartikül ilavesi ile NO_x ve CO motor emisyon değerlerinin azaldığını ve motor performans değerlerinin ise arttığını göstermiştir (Özgür & Özcanlı & Kadir Aydın, 2015).

Aman ve ark. (2023), çalışmalarında *Jatropha* biziodyzel dizel karışımlarına 100 ppm grafen nanopartikül ilave etmiş ve tek silindirli dizel bir motorda motor performans ve egzoz emisyonlarının analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonuçları, termal verimde %0.57-1.54 oranında bir artışa sebep olurken yakıt tüketiminde %0.36-1.33 oranında, duman opaklığında %0.45-4.12 ve PM (partikül madde) emisyonlarında %1.68-9.62 oranında bir azalmaya sebep olmuştur (Singh Rajpoot, Choudhary, Chelladurai, & Kumar Patel, 2023).

Fayyazbakhsh ve Pirouzfahar (2016) çalışmalarında, iki farklı tip metal nanopartikül ilaveli etanol-dizel karışımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine olan etkilerini optimizasyon teknikleri ve deneysel modelleme yöntemleri ile araştırmışlardır. Deneylerinde, turboşarjlı CRDI (common rail direct injection) bir test motoru kullanmışlar ve modellemede emisyon, motor performansı ve fizikokimyasal özellikleri 4 farklı ana parametre göz önünde bulundurularak tasarım yapmışlardır. Bunlar;

1. Nitroetan (NE), Nitrometan (NM) ve 2 metoksi eitler (MXEE) gibi oksijenat ve nitrojenatlar,
2. Manganez (MN) ve Seryum (CE) metal nanopartikül katkı maddeleri,
3. 1500 d/dak. ve 2200 d/dak. Motor hızları,
4. 370, 275, 180 ve 20 Nm motor yükleri'dir.

Modelleme yoluyla elde edilen bulgular, bu dört değişkenin kuadratik ve kübik terimlerinin önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, dizel-etanol- (NE+MN) karışımının setan sayısını arttırmak ve kurum emisyonlarını azaltmak için kullanılan en iyi karışım olduğunu göstermiştir. Deneylerde, motor hızı artışı ile emisyon değerleri azalmıştır. Ayrıca, dizel-etanol (MXEE+CE) karışımı diğer karışımlardan daha fazla motor performansını artırma etkisi göstermiştir. Optimum şartlar NE ve MN katkılı, 1500 d/dak. Motor hızı ve 168 Nm motor yükü olarak bulunmuştur. Bu şartlar altında model tarafından, kurum içeriği 27,6 ppm, NO_x bileşeni 441,3 ppm, CO₂ bileşeni 28,1 ppm, fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) 224,2 g/kWh, motor gücü ise 26,5 kW olarak tahmin edilmiştir (Fayyazbakhsh & Pirouzfahar, 2016).

Kim H. ve Choi B. (2010) çalışmalarında; biyoyakıt karıştırılmış dizel yakıtları CRDI (common rail direct injection) bir test motorunda test etmişler ve egzoz emisyon karakteristiklerini, katalizör üzerine nanopartiküllerin reaksiyon ve parçacık boyut dağılımının karakteristiklerini araştırmışlardır. Ayrıca, ısıtmalı katalitik konvertörleri (WCC) veya katalize edilmiş partikül filtreleri (CPF) ile donatılmış bir CRDI dizel motorun motor performansı, emisyon karakteristikleri ve partikül boyut dağılımını Avrupa Ekonomi

Komisyonu (ECE) ve Avrupa Sabit Çevrimi (ESC) test standartlarında incelemişlerdir. Biyoyakıt dizel karışımının motor performansının %100 dizel D100 yakıtına benzer olduğu ve biyoyakıtlarla karışımının bir sonucu olarak düşük kalorifik değerinden dolayı yüksek yakıt tüketimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Dizel-biyodizel karışımının yakıt olarak kullanılması sonucu toplam hidrokarbon (THC) ve CO emisyonları azalmış olup, yakıt içerisindeki oksijen içeriğinin artmasından dolayı NO_x emisyonları artmıştır. Biyoetanol-dizel yakıtın kullanımı ile CO emisyonları yaklaşık %50 azalmıştır. Bununla beraber biyoetanol-dizel karışımının enerji dönüşüm verimleri %100 dizel D100 yakıtına benzer bulunmuştur. Karışım yakıtın kullanılması ile motordan salınan toplam partikül sayısı azalmış fakat, %100 dizel D100 yakıtı ile karşılaştırıldığında 50 nm den daha küçük boyuttaki partikül ilavesi ile daha fazla emisyon yayıldığı tespit edilmiştir. Son olarak ise BD15E5 biyodizel ve biyoetanol karışımının BD20 biyodizel kullanımı ile mukayese edildiğinde partikül sayısı ve partikül kütlesi bakımından çok daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Kim & Choi, 2010).

Sathish ve ark. (2023) çalışmalarında, balık atıklarından elde edilen balık yağından tranesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmişler ve TiO₂ ve CeO₂ ile karıştırarak yakıt karışımları oluşturmuşlardır. Hazırlanan yakıt karışımlarını tek silindirli dizel bir motor test etmişler ve motor performans ve emisyonların değişimlerini araştırmışlardır. Hibrit nano yakıt ile %17 daha yüksek FTV, %7.5 daha yüksek maksimum silindiriçi basınç, %36.6 daha yüksek IYO (ısı yayılım oranı) tespit etmişleridir. Bununla beraber, NO_x emisyonlarının %16, HC emisyonlarının %15 ve CO emisyonlarının ise %5 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Motor performans, yanma ve emisyon özellikleri açısından Hibrit nanopartikül ilavesinin mono-nanopartikül ilavesinden daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır (Sathish et al., 2023).

Shaafi T. ve Velraj R. (2015) çalışmalarında; nanopartikül ilavesi olarak alümina (DS80SBD15E4S1 + alümina) kullanılarak B20 (dizel+soyabiyodizel) ve dizel soyabiyodizel etanol yakıt karışımının tek silindirli, tabi emişli, hava soğutmalı, sabit hızlı sıkıştırma ateşlemeli bir test motorunda yanma, motor performans ve emisyon karakteristiklerini araştırmışlar ve saf dizel yakıt ile karşılaştırmışlardır. Homojen bir dağılım elde etmek için nanopartiküller uygun bir yüzey aktifleştirici madde ile ultrasonik karıştırıcı cihazında karıştırılmıştır. Deneylerde kullanılan B20 (dizel+soyabiyodizel) ve (DS80SBD15E4S1 + alümina) karışımlarının özellikleri alümina nano ilavelerin birleşmesi ve biyodizelin karışmasından dolayı değişmiştir. Yanma esnasında silindir basıncı ve ısı yayılım hızı, (DS80SBD15E4S1 + alümina) yakıt karışımında saf dizel kıyasla daha yüksek olmuştur. (DS80SBD15E4S1 + alümina) yakıt karışımının kullanılmasın durumunda egzoz gaz sıcaklığı azalmıştır, bu da genişleme strokunda daha yüksek sıcaklık farkının daha yüksek fren termal

verim elde edilebileceğinin ana sebebi olabileceği sonucuna varmışlardır. Soya biyodizeline oksijen varlığı, nanopatiküllerin daha iyi karışması CO ve yanmamış HC emisyon değerlerini önemli derece azaltmış, fakat tüm yüklerde NO_x emisyonların küçük bir artış meydana gelmiştir (Shaafi & Velraj, 2015).

Aghbashlo ve ark. (2016), çalışmalarında; bir DI (direkt enjeksiyonlu) dizel motorda ekserjik performans parametreleri üzerine dizel/biyodizel yakıt karışımına yeni bir çözünebilir hibrit nanokatalistin ilave edilmesinin etkilerini araştırmak için bir deney düzeneği hazırlamışlardır. Deneyler, fonksiyonelleştirilmiş çok duvarlı karbo nanotüp (MWCNT) üzerine seryum oksit yerleştirilmiş 4 farklı hibrit nanokatalizör (0, 30, 60 ve 90 ppm) konsantrasyonunda ve iki farklı dizel biyodizel yakıt karışımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 2 farklı motor hızında ve 5 farklı motor yüklerinde ekserji analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ekserjetik parametrelerin motor devri ve yükünden oldukça etkilendiğini göstermiştir. Genel olarak, ekserji yıkımı değeri motor hızı ve yükünün artışıyla artmıştır. Çalışmada kullanılan yakıt karışımları hemen hemen benzer ekserjik verimlere ve sürdürülebilirlik indeksine sahip olduğu görülmüştür. İlginç bir şekilde dizel/biyodizel karışımına hibrit nanokatalizör eklenmesi egzoz emisyonlarında kayda değer bir azalmaya sebep olmuştur. Bu sebeple, amit ile fonksiyonelleştirilmiş MWCNTs-CeO₂ katalizörü içeren dizel/biyodizel karışımlarının, DI bir dizel motorun ekserjik performans parametrelerinde herhangi bir olumsuz değişiklik yapılmaksızın saf dizel yakıtın yerini alabileceği sonucuna varılmıştır (Aghbashlo et al., 2016).

Mirzajanzadeh ve ark. (2016), çalışmalarında; dizel biyodizel karışımı kullanan bir DI (direkt enjeksiyon) bir dizel motorda NO_x, CO, yanmamış HC ve is gibi emisyonları azaltmak için yeni bir çözünebilir hibrit nanokatalizör kullanmışlardır. Aynı zamanda motor gücü, motor yükü ve yakıt tüketimi gibi performans parametrelerinin de iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Deneyler, fonksiyonelleştirilmiş çok duvarlı karbonnanotüp (MWCNT) üzerine seryum oksit yerleştirilmiş 3 farklı hibrit nanokatalizör (30, 60 ve 90 ppm) konsantrasyonunda ve BD5 ve BD20 iki farklı dizel biyodizel yakıt karışımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çözünebilir nano boyutlu katalizör partiküllerinin yüksek yüzey alanının ve bunların katalitik oksidasyon reaksiyonu ile birlikte homojen dağılımının, 90 ppm katalizörü içeren BD20 yakıt karışımında, özellikle yanma reaksiyonunda önemli ölçüde gelişmeler sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, saf BD20 yakıtı ile karşılaştırıldığında BD20(90 ppm) yakıtının tüm NO_x, CO, HC ve is emisyon değerleri sırasıyla, % 18.9, % 38.8, % 71.4 ve % 26.3 oranında azalmıştır. Ayrıca, modifiye edilmiş yakıt karışımı, aynı zamanda motor gücü ve motor torku gibi motor performans

parametrelerini sırasıyla% 7.81 ve % 4.91'e kadar arttırmış ve yakıt tüketimini de % 4,50 oranında düşürmüştür (Mirzajanzadeh et al., 2015).

Aalam ve ark. (2015), çalışmalarında dizel yakıt ile %25 zizipus jjube metil ester karışımını CRDI common rail direkt enjeksiyonlu tek silindirli dizel bir motorda test etmiş ve motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristiklerini araştırmışlardır. Bu yakıt karışımına, mekanik homojenizer ve ultrasonik karıştırıcı kullanmak suretiyle, 25 ppm ve 50 ppm konsantrasyonunda ZJME25 Al₂O₃ nanopartikül ilave etmişlerdir. Deney sonuçlarında, tüm çalışma şartlarında özgül yakıt tüketiminde ve egzoz emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Tam yükte ZJME25 yakıtına 25 ppm alüminyum oksit ilave edilmesi ile 13,459 g/kWh HC ve 79 HSU is emisyonları ölçülmüş iken, aynı yakıtta 50 ppm Al₂O₃ (alüminyum oksit) ilave edilmesi ile 8,599 g/kWh HC ve 49 HSU is emisyonları ölçülmüştür. Ayrıca, dizel-biyodizel karışımına alüminyum oksit nanopartikül ilavesinden dolayı, fren termal veriminde ve ısı yayılımında önemli derecede bir iyileşme gözlemlenmiştir (Aalam, Saravanan, & Kannan, 2015).

Prabu A. ve Anand R.B. (2016), çalışmalarında 4 stroklu, tek silindirli DI (direkt enjeksiyonlu) dizel bir motorda, Jatropha biyodizeline alümina Al₂O₃ ve Seryum oksit (CeO₂) nanopartikül ilavesinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine olan etkilerini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Jatropha biyodizeline 10, 30 ve 60 ppm oranında Al₂O₃ ve CeO₂ nanopartikül ilave etmişlerdir. Nanopartikül ilavesi ile NO, CO, yanmamış HC ve duman emisyonları sırasıyla %13, %60, % 33 ve %32 oranlarında azalırken, neredeyse saf dizelinkine yakın fren termal verimi elde etmişlerdir (Prabu & Anand, 2016).

Vairamuthu ve ark. (2016), çalışmalarında; motor araştırmalarında yakıt-hava karışımının kalitesinde hayati öneme sahip olan yakıt enjektör oryantasyon açısı ile farklı nanopartikül-yakıt karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine olan etkilerini araştırdılar. Deneylerinde, tek silindirli, 4 stroklu su soğutmalı DI (direkt enjeksiyonlu) bir dizel motor ve eddy akım dinamometresi kullandılar. Yakıt olarak ultra düşük sülfür dizel (ULSD) ile Calophyllum Inophyllum Metil Ester karışımına CeO₂ nanopartikül ilaveli modifiye yakıtı kullanarak, yeşil bir çevre için CeO₂ nanopartikül dozajını optimize etmişlerdir. İlave nanopartikül ile NO_x ve HC emisyonlarında bir azalma, ayrıca hızlı buharlaşma ve daha iyi hava yakıt karışımı sağlandığı için 250 bar nozul açılma basıncında, NH₃ ile karşılaştırıldığında NH₅ için özgül yakıt tüketimi ve emisyon seviyelerinde bir azalma, fren termal veriminde ise bir iyileşme gözlemlenmiştir(Vairamuthu, Sundarapandian, Kailasanathan, & Thangagiri, 2016).

D'Silvaa ve ark. (2015) çalışmasında; sıkıştırma ateşlemeli bir motorda yakıt katkısı olarak titanyum dioksit (TiO_2) nanopartikül kullanmışlardır. Nanopartikül konsantrasyonu homojen dağılım için deneysel olarak optimize edilmiştir. Dizel yakıt içerisindeki nanopartikül dağılımının yoğunluk, alevlenme noktası ve kalorifik değerleri deneysel olarak belirlenmiştir. TiO_2 nanopartikül ilavesi ile bu özelliklerin iyileştiği gözlemlenmiştir. Çalışmalarında, dizel ve dizel+ TiO_2 nanopartikül karışımlı modifiye yakıtın motor performans ve egzoz emisyon testlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu deneylerde, TiO_2 nanopartikül ilavesi ile maksimum yükte, fren özgül yakıt tüketiminde %22'ye kadar bir azalma, motor fren termal veriminde ise bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, TiO_2 nanopartikül ilavesi ile egzoz emisyonlarından yanmamış hidrokarbonlarda (HC) %18, CO karbon monoksitte ise %25'lik bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir (D'Silva, Binu, & Bhat, 2015).

Hasan ve Rahman (2017), araştırmalarında dünya çapındaki kullanılan farklı türdeki sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılabilir olan dizel-biyodizel yakıt karışımlarının motor performans ve emisyon özelliklerini incelemişlerdir. Bu özelliklerin yanı sıra biyodizelin üretilmesinin ekonomiye ve çevreye olan etkilerini de incelemiş ve tartışmışlardır. Araştırmalarında %30'a kadar biyodizel içeren karışımların hemen hemen dizel yakıt ile benzer özellikler içerdiğini görmüşlerdir. Araştırma sonuçlarının genelinde dizele kıyasla biyodizel-dizel karışımının, yakıt tüketiminden az miktarda ödün vererek daha kısa tutuşma gecikmesi ve daha düşük ısı salınım hızı ve biraz daha yüksek verimlilik sağladığını görmüşlerdir. Araştırma sonuçları emisyon açısından ise HC, CO ve PM emisyonlarının büyük ölçüde azaldığını fakat NO_x emisyonunun biraz arttığını tespit etmişlerdir (Hasan & Rahman, 2017).

Lahane ve Subramanian (2015), çalışmalarında farklı oranlarda hazırladıkları dizel-biyodizel yakıt karışımlarının (B5, B10, B15, B20, B25, B50 ve B100) 1500 d/dak'da sıkıştırma ile ateşlemeli direk enjeksiyonlu bir motorda enjeksiyon, yanma, püskürtme, motor performans ve emisyon özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmanın sonuçlarında, B15'e kadar biyodizel-dizel karışımı ile püskürtme penetrasyonunun duvar çarpmasına yol açmadığını fakat B20'nin kritik bir öneme sahip olduğunu görmüşlerdir. Daha yüksek setan sayısı nedeniyle tüm biyodizel karışımlarında ateşleme gecikme süresi azalmış ve bunun sonucu olarak da daha az basınç artışı ve motorun daha düzgün çalışması ile sonuçlanmıştır. Motorun torku %20 biyodizel oranına kadar kayda değer bir değişim göstermemiştir. Daha yüksek biyodizel oranlarında düşüş görülmüştür. Emisyon sonuçlarında ise CO, HC ve duman

tüm yakıt karışımlarında azalmıştır. NO_x emisyonları tüm karışımlar için % 1,4–22,8 aralığında artış göstermiştir (Lahane & Subramanian, 2015).

Sivaramakrishnan (2018), çalışmasında karanja biyodizelinin geleneksel dizel yakıt ile farklı oranda karışımlarının (%20, %25 ve %30) tek silindirli dört zamanlı sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda kullanılması sonucunda motor performans ve emisyon özelliklerinin incelenmesini ve bunun yanında dizel yakıt ile özelliklerinin karşılaştırılmasını gerçekleştirmiştir. Deneyler, 4 farklı sıkıştırma oranında (15:1, 16:1, 17:1, ve 18:1) gerçekleştirilmiştir. Çalışmasında, sıkıştırma oranının yakıt tüketimi, fren ısı verimi ve egzoz gazı emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Biyodizel yakıt karışımının dizel yakıt performansına göre deneysel analizleri yapılmış ve optimize edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda dizel yakıtı benzer en iyi motor performans ve emisyon özelliklerini 18:1 sıkıştırma oranında %25 biyodizel içeren biyodizel-dizel yakıt karışımı olduğunun sonucuna varmışlardır (Sivaramakrishnan, 2018).

Muralee ve ark. (2019), çalışmalarında en iyi BDE (biyodizel-dizel-etanol) karışım özelliklerini tahmin etmek için, Modifiye Lederer denklemi (kinematik viskozite), Grunberg-Nissan denklemi (setan sayısı), Kay'ın karıştırma kuralı (yoğunluk, net ısıtma değeri, kükürt içeriği) yaklaşımlarını kullanmışlardır. Dizel ve biyodizel oranlarındaki karşılık gelen sapmaları incelemek için etanol içeriğini (% 5 ile % 10) artırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney için dizel yakıt standartlarını karşılayan BDE yakıt karışımı oranları seçilmiştir. Deneyin motor performans ve emisyon testleri dört zamanlı 15 kW gücünde bir dizel motor jeneratöründe 1600 d/dak sabit hızda gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, en iyi BDE yakıt karışım oranının % 78 dizel, % 17 biyodizel ve % 5 etanol karışımının olduğu tespit edilmiştir. En iyi BDE yakıt karışımının motor performans ve emisyon özelliklerinin diğer yakıt karışımlara göre geleneksel dizel yakıtı en çok benzer özellikler gösterdiğini görmüşlerdir (Krishna, Abdul Salam, Tongroon, & Chollacoop, 2019).

Yesilyurt ve ark. (2020), çalışmalarında dizel yakıt, biyodizel (aspir yağı) ve alkol ((etanol-C2, izopropanol-C3, n-bütanol-C4 veya izopentanol-C5) ile birlikte farklı oranlarda karıştırılarak tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı bir dizel jeneratör motorunda 3000 d/dak sabit motor devrinde beş farklı motor yükünde (0, 500, 750, 1000 ve 1250 W) motor performans, yanma ve emisyon özelliklerini incelemişlerdir. Yakıt karışımları, dizel-biyodizel (%80-20), dizel-biyodizel-bitkisel yağ (%70-20-10) ve dizel-biyodizel-bitkisel yağ-alkol (%60-20-10-10) şeklindedir. Yapılan deney sonuçlarına göre yakıt karışımlarının fren özgül yakıt tüketimi değerlerinin dizel yakıtı göre % 4,54 - % 27,82 arasında bir artış ve fren ısı veriminde ise bir azalış olduğunu görmüşlerdir. Genellikle test edilen yakıt karışımlarının

emisy n değerleri dizele kıyasla azalma göstermiştir. Yanma  zellikleri açısından yapılan incelemede,   l  karışımlara ilave edilen alkollerin ısı salınım hızı azaltması, silindir içi basıncın yükselmesine neden olmuştur. Yapılan deney sonuçlarına göre, yakıt karışımları arasında en iyi yakıt karışımının dizel-biyodizel-bitkisel yağ-pentanol karışımının performansı, yanma davranışlarını iyileştirmek ve egzoz emisyonlarını azaltmak için uygun bir yakıt karışımı olabileceğinin sonucuna varmışlardır (Yesilyurt, Aydın, Yilbasi, & Arslan, 2020).

Barabas ve ark. (2010), çalışmalarında dizel-biyodizel-etanol yakıt karışımının motor performans ve emisyon özelliklerinin dizel yakıt özelliklerine göre karışılaştırmasını yapmışlardır.  ncelikler, hazırlanan yakıt karışımlarının kimyasal bileşim, yoğunluk, kinematik viskozite, soğuk filtre tıkanma noktası, parlama noktası vb. termokimyasal özelliklerini ve motor performansı için fren özgül yakıt tüketimi ve fren ısı verimini araştırmışlardır. Emisyonlar açısından CO, CO₂, NO_x, HC ve duman emisyonlarının ölçümünü gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, daha düşük motor yüklerinde frene özgü yakıt tüketiminde maksimum % 32,4'lik bir artış, motor freni ısı veriminde ise maksimum % 21,7'lik bir azalma g r lm ştir. CO emisyonları özellikle yüksek yüklerde artan CO₂ emisyonlarına bağlı olarak maksimum % 59 oranında azalmıştır. NO_x emisyonları özellikle kısmi ve yüksek yüklerde hafif artarken tüm motorların y k çevrimlerinde HC ve duman emisyonları azalmıştır (Barab s, Todoru, & Bldean, 2010).

Appavu ve ark. (2019), mevcut araştırma çalışmasında, sabit konsantrasyonda yağ (% 5) ve dizel (% 50) ile değişen pentanol konsantrasyonuna (% 10 - %40) sahip kuaterner karışımların kullanılmasına odaklanmıştır. Hazırlanan test yakıtlarının deneyleri, tek silindirli bir dizel motorunda gerçekleştirilmiş ve sonuçlar dizel-biyodizel karışımlarıyla karışılaştırılmıştır. Yakıt karışımında artan pentanol konsantrasyonu ile BSFC ve BSEC azaldığı için sonuçlar biraz farklı çıkmıştır. Emisyon açısından ise HC, CO ve duman azalırken, NO_x emisyonu ise artmıştır. Hem NO_x emisyonlarını azaltmak hem de motor performansını iyileştirmek için en uygun alternatif yakıt karışımının %40 dizel-biyodizel-yağa pentanol ilavesiyle olabileceği sonucuna varmışlardır (Appavu, Ramanan M, & Venu, 2019).

Venu ve ark. (2021), çalışmalarında dizel-biyodizel-etanol yakıt karışımına Al₂O₃ nano partikül katılarak hazırlanan yakıt karışımlarının motor performans, yanma ve emisyon özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde, tek silindirli dizel bir motor kullanılmıştır. Hazırlanan   l  yakıt (TF) % 70 dizel,% 20 Jatropha biyodizel ve% 10 etanol karışımına 10 ppm, 20 ppm ve 30 ppm dozajlarda Al₂O₃ nano partiküller karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına göre, 20 ppm Al₂O₃ nano katkı maddesi katılarak

hazırlanan (TF20) yakıt karışımının diğer TF yakıt karışımı özellikleri ile karşılaştırıldığında BSFC'yi ve BSEC'i sırasıyla %7,8 ve % 4,93 oranında düşürdüğü gözlemlenmiştir. Aynı karışımın (TF20) emisyonlar açısından ise HC, CO, NO_x ve duman emisyonlarını sırasıyla %5,69, % 11,24, % 9,39 ve % 6,48 düşürdüğü gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma sonucuna göre TF yakıt karışımına 20 ppm Al₂O₃ nanopartikül eklenmesi neticesinde motor performansının ve yanmanın geliştirilebileceğini ve egzoz kirletici gazların azaldığı sonucuna varmışlardır (Venu, Raju, Lingesan, & Elahi M Soudagar, 2021).

Shekofteh ve ark. (2020), araştırmalarında biyodizelin, dizel yakıttan daha yüksek viskozite ve yoğunluğa sahip olduğunu ve bunun sonucunda BSFC, NO_x ve duman emisyonlarını arttırdığını görmüşlerdir. Bu sorunun çözülmesi için, yakıt karışımının viskozitesini ve yoğunluğunu azaltan ve dizel yakıtlara göre duman ve NO_x emisyonlarını azaltan katalizörlerin kullanılması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Çalışmalarında, en boy oranı, mekanik dayanım ve yüksek ısı ve elektrik iletkenliği gibi kendine has özellikleri nedeniyle karbon nanotüpleri kullanmışlardır. Yakıt olarak, dizel-biyodizel yakıt karışım oranı sırasıyla %95 ve %5 olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu yakıt karışımına 30, 60 ve 90 ppm konsantrasyonlarına sahip MWCNT'ler-OH ile E4 ve E8 konsantrasyonlarında biyo-etanol bazlı çözeltiler karıştırılmıştır. Deneyler, 1800, 2100 ve 2400 d/dak motor devirlerinde ve tam yükte motor deneyleri motor performans ve emisyon testleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, katkı maddeleri dizel-biyodizel-etanol karışımlarına eklendiği zaman tork ve güç değerini iyileştirdiği fakat BSFC'yi düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Emisyonlar açısından ise, UHC ve CO emisyonlarının azaldığını, fakat NO_x emisyonunu arttığını gözlemlemişlerdir (Shekofteh, Gundoshmian, Jahanbakhshi, & Heidari-Maleni, 2020).

El-seesy ve ark. (2018), çalışmalarında jatropha metil esterlerinden oluşan biyodizel ile dizel yakıt karışımına (%20 biyodizel ve %80 dizel) grafen nanoplateletlerin (GNP'ler) eklenmesinin sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda motorun performans, yanma ve emisyon özelliklerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. GNP'ler 25, 50, 75 ve 100 mg / lt farklı konsantrasyonlar da eklenmiştir. Hazırlanan yakıt karışımları farklı motor yüklerinde ve hızları altında incelenmiştir. GNP'ler 50-75 mg/lt'de eklenmiştir ve içerisinde %20 jatropha biyodizeli içeren yakıt karışımı ile karşılaştırıldığında fren ısı veriminde %25'lik bir artışa ve fren özgül yakıt tüketiminde ise %20'lik bir azalmaya neden olmuştur. Emisyonlar açısından ise NO_x, CO ve UHC'nin motor emisyonlarını sırasıyla % 40, % 60 ve % 50 oranında azalttığını görmüşlerdir. Sonuç olarak motor performans ve emisyonlarının genel özelliklerinde optimum artışa sahip doz seviyesinin 50 mg/lt olduğunun sonucuna varmışlardır (El-Seesy, Hassan, & Ookawara, 2018).

Mesri Gundoshmian ve ark. (2021), çalışmalarında biyodizel-dizel yakıt karışımına ek olarak çok duvarlı karbon nanotüplerin (MWCNT-COOH) karıştırılmasıyla sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorun motor performans ve emisyon özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Yakıt karışımı içerisinde %5 biyodizel (B5) içeren biyodizel-dizel yakıt karışımına sırasıyla 30, 60 ve 90 ppm konsantrasyonlarındaki MWCNT-COOH nanoparçacıkları katılmıştır. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorda testler 1800, 2100 ve 2400 d/dak ve tam yükte gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre, B5 yakıt karışımına MWCNT-COOH eklenmesiyle dizel ve B5 yakıt karışımı ile kıyaslandığında motor gücünde sırasıyla % 13,01 ve % 16,57 artış olduğu görülmüştür. Tork değerleri ise % 17,61 ve % 18,03 oranında artış göstermiştir. BSFC ise % 9,48 ve % 10,21 oranlarında azalmıştır. Emisyonlar açısından ise yakıttaki MWCNT-COOH'ye rağmen CO emisyonları sırasıyla D100 ve B5'e göre ortalama % 10,26 ve % 7,26 oranında azalmıştır. Ayrıca UHC emisyonları sırasıyla D100 ve B5 yakıtlarına kıyasla % 16,33 ve % 10,64 oranlarında bir azalma olduğu görülmüştür (Mesri Gundoshmian, Heidari-Maleni, & Jahanbakhshi, 2021).

Hoseini ve ark. (2020), çalışmalarında dizel-biyodizel yakıt karışımına (%20 biyodizel-%80dizel, B20) grafen oksit (GO) nanopartiküllerinin eklenmesinin sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda motor performans ve emisyon özelliklerine üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. B20 yakıt karışımına sırasıyla 30, 60 ve 90 ppm olan GO nano partikülleri eklenmiştir. Deneyler 2100 d/dak'lık sabit bir hızda ve 0%, 25%, 50%, 75%, ve % 100 yük altında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, grafen oksit nanopartiküllerin kullanılmasıyla B20 yakıt karışımına kıyasla motor gücü ve EGT değerleri önemli derecede artış göstermiştir. Emisyonlar açısından ise B20 yakıt karışımının emisyonları ile karşılaştırıldığında CO emisyonunda %5 - %22 oranında ve UHC emisyonunda %17 - %26 oranında önemli düşüşler olduğunu gözlemlemişlerdir. Fakat, CO₂ emisyonun da %7 - %11 ve NO_x emisyonunda % 4 - % 9 oranında bir artış olduğu görülmüştür. Yapılan değerlendirmeler doğrultusunda, nano-grafen oksidin *Oenothera lamarckiana* biyodizel karışımları için uygun bir alternatif yakıt katkı maddesi olarak kullanılabileceğini sonucuna varmışlardır (Hoseini et al., 2020).

Wu ve ark. (2018), çalışmalarında biyodizel-dizel yakıt karışımlarına karbon kaplı alüminyum (Al@C) nanopartiküllerin ilave edilmesinin motor performansı ve emisyonlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Al@C nanopartikülleri 30 ppm'lik dozajda biyodizel-dizel yakıtına eklenmiştir. Karşılaştırma yapılması için Avrupa Sabit Döngüsü (ESC) kapsamındaki testler için dizel-biyodizel karışımı (B10), % 4 etanolü B10 (B10E4) ve % 4 etanol ve 30 ppm nanopartiküllü B10 (B10E4N30) dahil olmak üzere üç farklı türde yakıt karışımını kullanmışlardır. Deney sonucunda, Al@C nanopartikülleri kullanılmasıyla B10 yakıt

karışımına göre fren özgül yakıt tüketiminin (BSFC) % 6 oranında, NO_x emisyonunun %6 oranında ve CO emisyonunun %19 oranında bir azalış gösterdiğini görmüşlerdir (Wu, Xie, Wang, & Roskilly, 2018).

Tüm bu literatür bilgileri dizel, biyodizel, alkol ve nanopartikül karışımlarının oldukça yaygın bir şekilde kullanıldığını göstermektedir. Bu çalışmada ise, dizel yakıtı alternatif olarak üçlü yakıt karışımına nanografen ilave edilerek yanmanın iyileşmesi ve termokimyasal özellikleri dizel yakıt daha yakın alternatif bir yakıtın üretilmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla, ilk olarak atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizel, bütanol ve dizel yakıt karışımlarına farklı oranlarda GNPs ilave edilerek hazırlanan numunelerin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, hazırlanan yakıt karışımlarının yanma, motor performans ve egzoz emisyon özellikleri araştırılmıştır.



MATERYAL VE METOT

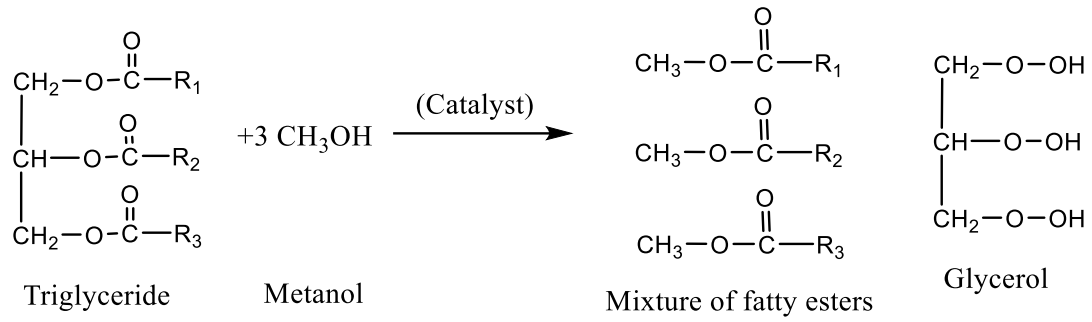
Tezin bu bölümünde atık kızartma yağlarından biyodizel üretimi ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Üretilen biyodizele bütanol ve euro dizel (D100) karıştırılarak hazırlanan yakıt karışımlarına 0,05 gr nanografen katılarak elde edilen yakıt karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyon azalızlerini gerçekleştirebilmek için kullanılan deney düzeneği ile ilgili bilgilere ve motor performansı değerlerinin hesaplanma yöntemlerine ait bilgilere yer verilmiştir.

Biyodizel Üretimi (B100)

Yaklaşık 2 kg atık kızartma yağı geri akış sistemli iki boyunlu bir balonda 60 °C'ye ısıtıldı. 333 gram metanol (CH_3OH) içerisine 10 gram sodyum hidroksit (NaOH) katolizör olarak eklendi ve alkol içinde tümüyle çözünmesi sağlandı. Elde edilen alkol- NaOH karışımı içerisine atık kızartma yağı ilave edilerek karıştırıldı. İlk olarak reaksiyon 5 saat 60 °C'de sonrasında oda sıcaklığında devam ettirildi. Reaksiyon sonucunda cam balonun altında gliseröl çöktü ve bu kısım karışımdan ayrıldı. Elde edilen biodizele distile su ilave edilerek 2 kez yıkama işlemi gerçekleştirilmiş ve faz ayrışması ile saf su ayrılmaya bırakılmıştır. İçerisinden saf su ve gliserol uzaklaştırılmış olan karışımdan biyozidel üretilmiş oldu (Öztürk et al., 2020; Sethuraman et al., 2022). Gerçekleşen reaksiyon tepkimesi **Şekil 1**'de, reaksiyon denklemi ise **Şekil 2**'de verilmiştir.



Şekil 1.Transesterifikasyon yöntemi deney düzeneği



Şekil 2. Transesterifikasyon işleminin reaksiyon denklemi

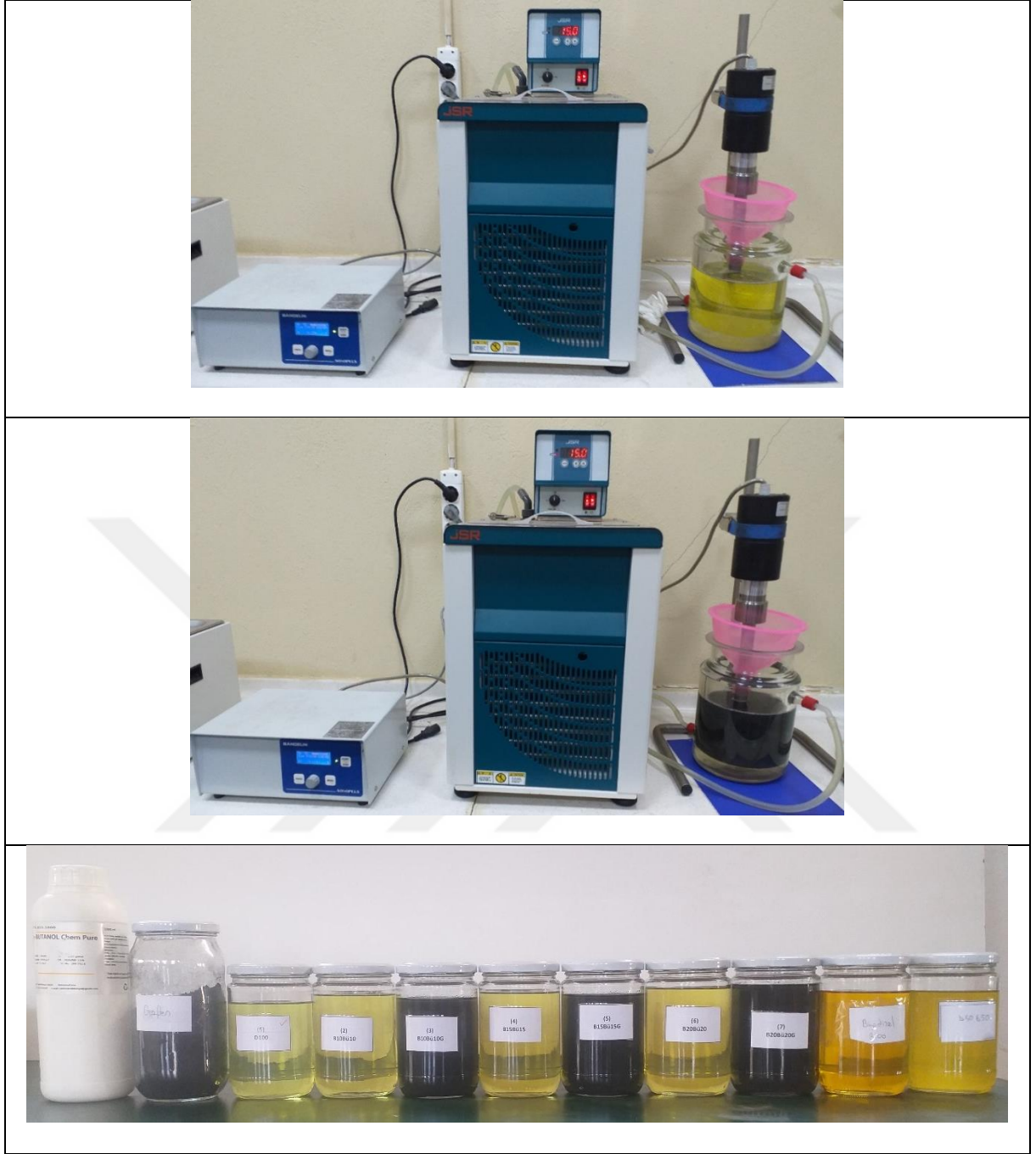
Yakıt Numunelerinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan yakıt numunelerinin karışım oranları **Tablo 1**'de verilmiştir. Dizel, biyodizel ve bütanol karışımlarına 0.05 gr GNPs ilave edilerek 8 farklı yakıt numunesi hazırlanmıştır.

Tablo 1. Biyodizel, Bütanol, Euro Dizel ve GNPs karışım oranları

Nu.	Numune adı	Biyodizel (%)	Bütanol (%)	Euro Dizel (%)	GNPs (gr)
1	D100	0	0	100	0
2	B10Bu10	10	10	80	0
3	B10Bu10G	10	10	80	0.05
4	B15Bu15	15	15	70	0
5	B15Bu15G	15	15	70	0.05
6	B20Bu20	20	20	60	0
7	B20Bu20G	20	20	60	0.05
8	B100	100	0	0	0

Yakıt karışımlarında dizel yakıtın motorda sorunsuz bir şekilde yanabilmesi için dizel yakıt oranı %60 olacak şekilde bir karışım planlaması yapılmıştır. Karışımlar hazırlanırken ilk önce alkol olarak kullanılan bütanol, dizel ve biyodizel ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Sonrasında, **Şekil 3**'de görüldüğü gibi soğutuculu cam bir beherin içinde GNPs 60 dk. boyunca 3. Kademe titreşim ile ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılmıştır.



Şekil 3. Biyodizel, fosil dizel, bütanol, GNPs ve karışımları

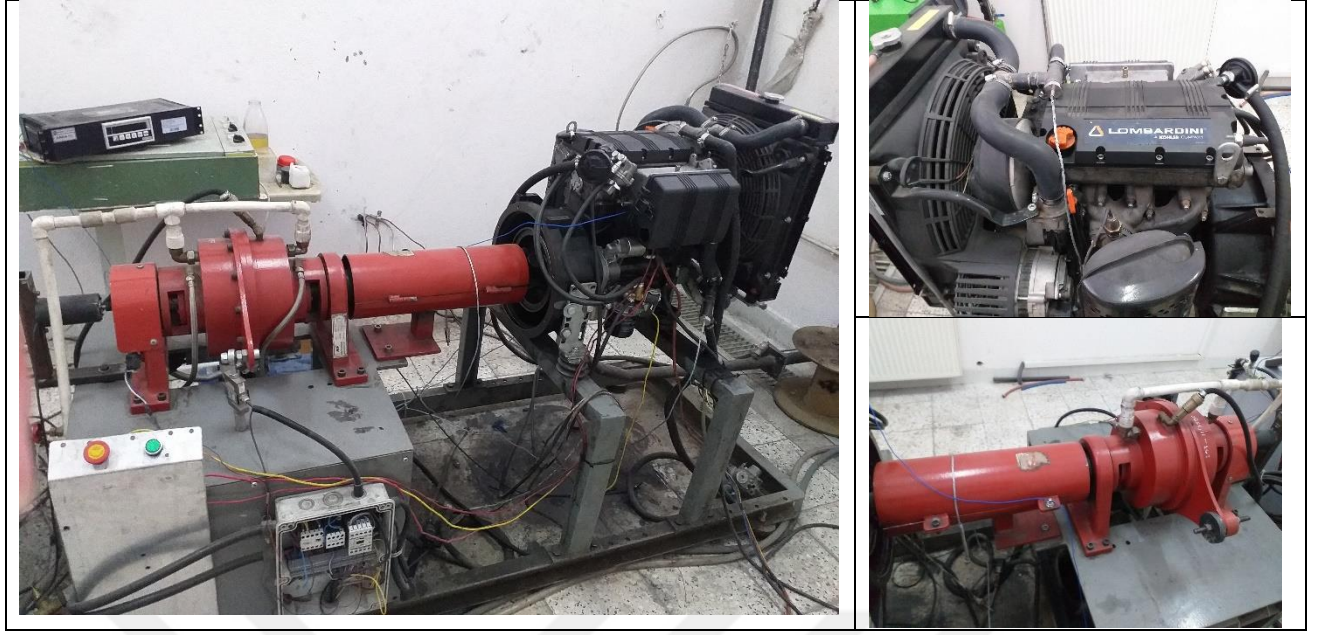
Motor performansı, yanma özellikleri ve emisyon analizleri

Bu çalışmanın motor testleri ve egzoz emisyon analizleri, Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı Motorlar Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Tüm deneylerde, 3 silindirli Lombardini marka CI dizel bir motor, hidrolik dinamometre, dinamometre yük hücresi ve dinamometre kontrol paneli, silindir içi basıncı ölçen piezoelektrik basınç sensörü, amfikatör, veri toplama kartı, enkoder ve motor devrini ve krank açısını belirleyen yanma analiz sistemi, egzoz emisyon cihazı ve kütleli yakıt tüketimini

Deneyler, 5 farklı yükte (0, 12.5, 25, 37.5 ve 50 Nm), 2 farklı devir sayısında (1500 d/dak ve 2000 d/dak) gerçekleştirilmiştir. Test motoru ilk olarak D100 yakıtı ile motor soğutma sıvısı sıcaklığı 90-100 °C'ye ulaşana kadar çalıştırılmış ve sistemin kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Daha sonra her numune ile çalışmaya başlamadan önce yakıt filtresi boşaltılmış ve filtreye yeni test yakıtı konulmuştur. Böylece bir önceki deneyin etkileri minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Motor testleri sırasında hidrolik dinamometrede dolaşan akışkanın debisi bir valf vasıtasıyla ayarlanmış ve motor farklı yüklerde çalıştırılmıştır.



1	Test motoru	8	Dijital terazi
2	Amplifikatör	9	Yakıt tankı
3	Veri toplama kartı	10	Egzoz sıcaklık sensörü
4	Bilgisayar	11	Emisyon cihazı
5	Enkoder	12	Egzoz hattı
6	Hidrolik dinamometre	13	Silindiriçi basınç sensörü
7	Yük hücresi	14	Devir sayısı ölçer



Şekil 4. Motor test düzeneği, bileşenleri ve fotoğrafları

Tablo 2. Dizel motorun teknik özellikleri

Model	Lombardini / LDW 1003
Motor türü	Doğal emişli, CI dizel motor
Silindir sayısı	3
Silindir hacmi	1028 cm ³
Silindir çapı/kursu	75 mm x 77.6 mm
Maksimum güç	19.5 kW (26.5 HP) @3600 d/dak
Enjeksiyon basıncı (bar)	155
Enjeksiyon zamanı (°CA)	20 BTDC
Sıkıştırma Oranı	22.8:1
Maksimum Tork	67 Nm/@2000 d/dak
Soğutma tipi	Su soğutmalı

Emisyon analizlerinde hem dizel hem de benzinli motorlarda kullanılabilen modüler mobil test düzeneği olan BEA 270 tipi egzoz emisyon cihazı (Bosh, Almanya) kullanılmıştır. **Tablo 3**, egzoz emisyonu analiz cihazının ölçüm aralığını ve doğruluğunu göstermektedir. Her çalışma koşulu için emisyon cihazının ekranından üçer kayıt alınmış ve bunların ortalama değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3. Egzoz emisyon cihazının ölçüm aralığı ve doğruluğu

Emisyon	Ölçüm aralığı	Doğruluk	Fotoğraf
O ₂ (%vol / %vol)	0.00-22.00	0.01	
CO ₂ (%vol / %vol)	0.00-18.00	0.01	
NO (ppm vol / ppm vol)	0-5000	≤ 1	
CO (%vol / %vol)	0.000-10.00	0.001	

Dizel deney motoru, 0-6500 d/dak motor devri ve 0-450 Nm tork ölçüm aralığı olan 1 gr hassasiyetinde Net Fren NF150 marka hidrolik dinamometre ile yüklenmiştir. Motor yükleri 0–200 kg aralığında ölçüm yapabilen CAS marka SBA 200L model yük hücresi ile motor yüklemeleri okunmuştur.

Silindir içi basıncı ölçümünde, Kistler marka 6052 C model piezoelektrik basınç sensörü kullanılarak elektrik sinyallerine dönüştürülmüş ve bu sinyalleri yükseltebilen ve hassas filtreleme özelliğine sahip basınç sensörü ile uyumlu amplifikatör kullanılmıştır.

Silindir içi basıncın krank mili açısı ile değişimini gözlemleyebilmek için kaplin ile dinamometreye bağlantısı yapılan Atek marka ARC S 50 model optik artımlı ölçüm yapan enkoder kullanılmıştır (**Tablo 4**). Deneylerde elde edilen silindir içi basınç ve krank mili açısı verileri National Instruments NI marka Usb 6210 model veri toplayıcı kartına (data logger) aktarılmıştır. Tüketilen yakıt miktarı 30 kg kapasiteli 0,01 gr hassasiyete sahip elektronik bir tartı ile yapılmıştır.

Tablo 4. Silindir İçi Basınç Sensörü, Amplifikatör ve Enkoderin Teknik Özellikleri

Silindir içi Basınç Sensörü		Amplifikatör		Enkoder	
Marka-model	Kistler-6052C	Marka-model	Kistler-5018a	Marka-model	Atek arc S50
Tip	Piezoelektrik	Kanal sayısı	1	Ölçüm aralığı(d/dak)	0/6000
Ölçüm aralığı(bar)	0/250	Ölçüm aralığı(pC)	2-220000	Çalışma sıc.(C)	-25/+85
Çalışma sıc.(C)	-20/350	Çıkış sinyali, volt	-10/+10	Tepki frekansı(kHz)	300
		Frekans, kHz	0/200		
		Çalışma sıcaklığı(C)	0/50		

Bu çalışmada hazırlanan tüm numunelerin fiziko-kimyasal özellikleri ve ölçümlerin yapıldığı cihazlara ilişkin bilgiler **Tablo 5**'te verilmiştir. Bu özellikler, yakıt kimyası ve yanma özelliklerini doğrudan etkilemesi nedeniyle önemlidir.

Tablo 5. Numunelerin fiziko-kimyasal özelliklerini ölçen test cihazlarının özellikleri

Özellik	Model	Marka	Doğruluk	ASTM standardı	Fotoğraf
Kinematik viskozite		Ankatest	± 0.1 K	D445	
Bulutlanma ve akma noktası	NTE 450		± 0.1 °C	D97	
Setan indisi	K45290	Koehler	± 0.1 °C	D6751	
Kalorifik değer	C-200	IKA	0.0001 K	D6751	

Yoğunluk	DS7800	A.Krüss Optronic GmbH	± 0.0001 g/cm ³	D1298
----------	--------	-----------------------------	-----------------------------------	-------



Tüm ölçüm cihazlarından elde edilen veriler ile efektif güç ve özgül yakıt tüketimi değerleri aşağıdaki formüllerle hesap edilmiştir.

$$P_e = 2\pi nT \quad (1)$$

Burada,

n = d/dak biriminden devir sayısını

T = Nm biriminden Torku göstermektedir. Bu durumda, P_e efektif güç kW biriminden hesap edilmektedir.

Ayrıca, aşağıdaki denklemlerin yardımıyla BSFC ve fren termal verimliliği (BTE):

$$BSFC \left(\frac{g}{kWh} \right) = \frac{\dot{m}_y \left(\frac{g}{h} \right)}{P_e (kW)} \quad (2)$$

$$BTE(\%) = \frac{P_e (kW)}{\dot{m}_y \left(\frac{g}{h} \right) * H_u \left(\frac{kJ}{kg} \right)} = \frac{3600}{BSFC \left(\frac{g}{kWh} \right) * H_u \left(\frac{kJ}{kg} \right)} \quad (3)$$

TGA Analizi

Termogravimetri (TG), istenen atmosfer ortamında örnek numunenin kütlesinin sıcaklıkla nasıl değişimini gösteren bir tekniktir. Bu teknik ile, numune sabit adımlarla ısıtılırken ağırlık değişimi gözlemlenerek, malzemenin termal kararlılığı ve uçucu bileşenlerin oranları tespit edilir. Bu analiz sonuçları yatay eksenle sıcaklık (belli adımlarda) düşey eksenle ise kütle kaybı % cinsinden olacak şekilde grafike edilir. Diğer kimyasal analiz tekniklerine göre daha ekonomik olan bu analiz (TGA), biyoyakıt endüstrisinde son zamanlarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (GROENEWOUD, 2001).

Bu çalışmada, D100, B10Bu10, B10Bu10G, B15Bu15, B15Bu15G, B20Bu20, B20Bu20G ve B100 yakıt karışımlarının TGA analizleri, 20 mg'lık kapasiteli platinyum (Pt) panlar içerisinde

numuneler yerleştirilerek, Exstar 6000/6300 marka termal analizler (oda sıcaklığı - 750 °C) ile gerçekleştirildi. Her bir analiz sonrası, panın içinde önceki analizden kalan numuneler temizlenerek diğer analize geçildi. Isıtma işlemi, numuneler 20°C'den 750 °C sıcaklığa 10 °C/dak. adımlarla arttırılarak gerçekleştirildi. Her bir test yaklaşık 35 dak. sürdü. Tüm reaksiyonlar tamamlanana ve numunelerin kütlesi sabit kalana kadar ısıtma işlemine devam edildi.

DSC Analizi

DSC analiz tekniğinde, malzemenin sıcaklığı kontrollü bir şekilde arttırırken ortamdan çektiği ya da ortama verdiği ısı, sıcaklık veya zamanla değişimi gözlemlenir. Bu yöntem sayesinde malzemenin camsı geçiş, erime ve kristalleşme sıcaklıklarının yanı sıra özgül ısı kapasitesi ve termal kararlılıklarını da belirleme imkânı vardır. Aynı zamanda, hangi sıcaklıklarda faz değişimlerinin gerçekleştiği de tespit edilebilir.

D100, B10Bu10, B10Bu10G, B15Bu15, B15Bu15G, B20Bu20, B20Bu20G ve B100 yakıt karışımlarının kristalizasyon sıcaklıklarını tespit etmek için DSC analizi gerçekleştirilmiştir. DSC analizi, soğutma sistemine sahip Perkin Elmer 8500 marka DSC cihazı ile gerçekleştirildi. (-180/750 °C). Testler N₂ atmosferi ortamında 20ml/dak inert gaz akışında ve 10 °C/dak soğutma hızında gerçekleştirildi. Her bir numune 5±0.5 mg ağırlığında idi ve her bir test yaklaşık 20 dak. sürdü.

FT-IR Analizi

FT-IR analizi, fonksiyonel grupların bağları hakkında herhangi bir bilgi edinmeksizin, bir molekül veya numunede bulunan farklı kimyasal bağları, makyajı veya fonksiyonel grupları tanımak için kullanılan yaygın bir yöntemdir. FT-IR ile moleküler için bir "parmak izi" olarak adlandırılan bir kızılötesi absorpsiyon spektrumu elde edilir. Bu spektrumlar maddeden maddeye değişiklik gösterir. (Athar, 2015; Chrzanowski & Dehghani, 2013; Mohammed et al., 2020; Prusty, Barik, & Swain, 2019).

D100, B10Bu10, B10Bu10G, B15Bu15, B15Bu15G, B20Bu20, B20Bu20G ve B100 yakıtının FT-IR spektrumları Perkin Elmer cihazı vasıtasıyla, 4000-400 cm⁻¹ dalga boyu ve çözünürlüğü 4 cm⁻¹ olacak şekilde tarandı.

uv-VIS Analizi

UV-Vis spektrumları, moleküllerin elektronik özelliklerini belirlemeye yarar. Bu spektrumlar sayesinde, tüm organik bileşikler görünür ve ultraviyole bölgedeki ışık

soğurulur. Fosil kaynaklı dizel yakıtlarda çok farklı aromatik bileşiklerin görülmesi olasıdır (Mohammed et al., 2020; Shimamoto & Tubino, 2016).

Bu çalışmada, D100, B10Bu10, B10Bu10G, B15Bu15, B15Bu15G, B20Bu20, B20Bu20G ve B100 yakıtının uv-VIS analizleri gerçekleştirildi.

Biyodizel numuneler yüksek UV aralığında ışığı soğurduğu için, numunelerini ölçülebilir absorbands aralığına getirmek için Biyodizel (B100) ve bütanol (Bu100) numuneleri Spektrofotometrede, dietil eter (DEE100) ile seyreltildi. Kuvars küvetler kullanılarak numunelerin Uv Spektrumlarını elde edildi. Tüm numunelerin UV absorpsiyon spektrumları oda sıcaklığında, Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis Spektrofotometre kullanılarak 1 nm aralıklarla 500–200 nm dalga boyunda aralığında ve 1 cm kuvars küvetler kullanılarak tarandı.

GC-FID Analizi

Alev iyonizasyon tespiti (FID, flame ionization detection), en yaygın kullanılan gaz kromatografisi (GC, gas chromatography) tespit yöntemidir. Alev iyonizasyon dedektörleri çok çeşitli hidrokarbonlara yanıt verir ve geniş bir dinamik aralığa sahiptir. İyonizasyon dedektörleri, mevcut çözünen madde miktarı ile orantılı olarak değişen bir akım üretmek için, gaz kromatografisi kolonlarından ayrıştırılan çözünen maddelerle etkileşime girmektedir. FID C içerikli organik numunelerin iyonlaşmasını ardından, iyonların toplanması dedektörün elektrotlarında akım oluşturmaları ve bu akımın ölçülmesi prensibine dayanmaktadır.

Kromatografik analiz, bir karışımdaki iki ya da daha fazla bileşenin birbirlerinden ayrılması için, hareketli (taşıyıcı-mobil) bir faz ile sabit (durgun-adsorban) bir faz arasındaki farklı etkileşimlerden dolayı değişik hızlarda hareket etmeleri esasına dayanan bir yöntemdir. Örnek bileşenleri sabit ve mobil fazlarda farklı derecede dağılım gösterirler. Bileşenler sabit faz üzerinde kalırken mobil faz akışıyla yavaşça hareket ederler. Böylece sabit faz tarafından zayıf tutulan bileşenler daha hızlı hareket ederler. Sonuç olarak hareket hızındaki bu farklılıktan dolayı örnek bileşenleri kalitatif veya kantitatif analiz edilebilecek bantlara ayrılırlar. Yöntemin basit oluşu, çalışma kolaylığı ve zamandan tasarruf sağlaması yönünden klasik ayırma yöntemlerine göre üstünlük sağlamaktadır. Kromatografik yöntemlerle kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirine çok yakın bileşenlerden oluşan karışımları tümüyle, kolayca ve kısa sürede ayırmak mümkün olmaktadır (Şahin, 2015).

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Test Numunelerinin Özellikleri

Hazırlanan test yakıtların termokimyasal özelliklerinin dizel yakıtı benzer olması, dizel bir motorda kullanılabilirliğinin göstergesidir. **Tablo 6**'da, tüm test numunelerin termokimyasal özellikleri görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre; D100 yakıtının setan indisi 51.30 iken B100 yakıtının 35.81 olarak ölçülmüştür. Ayrıca, D100 yakıtının ısı değeri 45.30 MJ/h iken B100 yakıtının ısı değeri 38.96 MJ/h olarak tespit edilmiştir. Hazırlanan diğer tüm yakıt karışımlarında dizel yakıt yüzdesi azaldıkça setan indeksi ve kalorifik değeri düşmüştür. n-bütanolün setan indeksi diğer alkollere göre yüksek olmasına rağmen, dizel ve biyodizele göre oldukça düşüktür.

Tablo 6. Biyodizel, Bütanol, Euro Dizel ve GNPs karışımlarının fiziko-kimyasal özellikleri

Numune No	Numune Adı	40 °C'deki Kinematik Vizkozite (mm ² /s)	Akma noktası (°C)	Setan indeksi	Kalorifik değer (MJ/kg)
1	D100	3,36	-27	51,30	45,30
2	B10Bu10	3,16	-24	51,21	43,22
3	B10Bu10G	3,32	-21	50,87	43,04
4	B15Bu15	3,16	-22	49,38	42,31
5	B15Bu15G	3,35	-21	49,22	42,28
6	B20Bu20	3,15	-19	48,41	41,37
7	B20Bu20G	3,40	-18	47,53	41,60
8	B100	3,32	-	35,81	38,96
9	n-Bütanol (Imdadul et al., 2016)	3,00	-	25	34,33

Ayrıca hazırlanan tüm karışımların sıcaklıkları ile numune yoğunluklarının değişimi Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Biyodizel, Bütanol, Euro Dizel ve GNPs karışımlarının yoğunluklarının sıcaklıkla değişimi

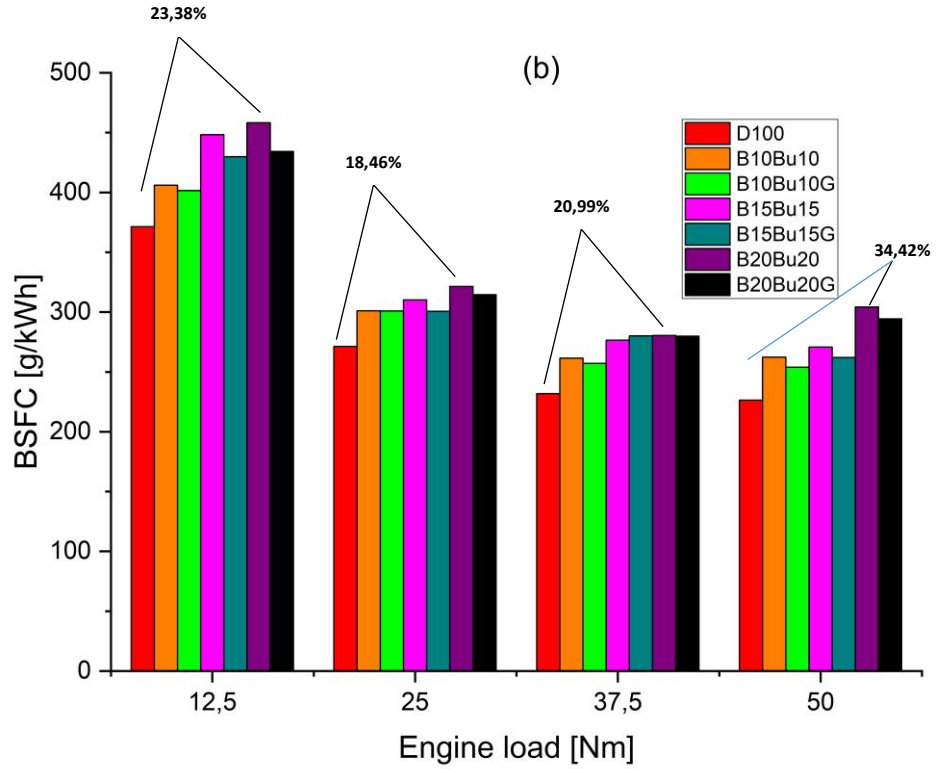
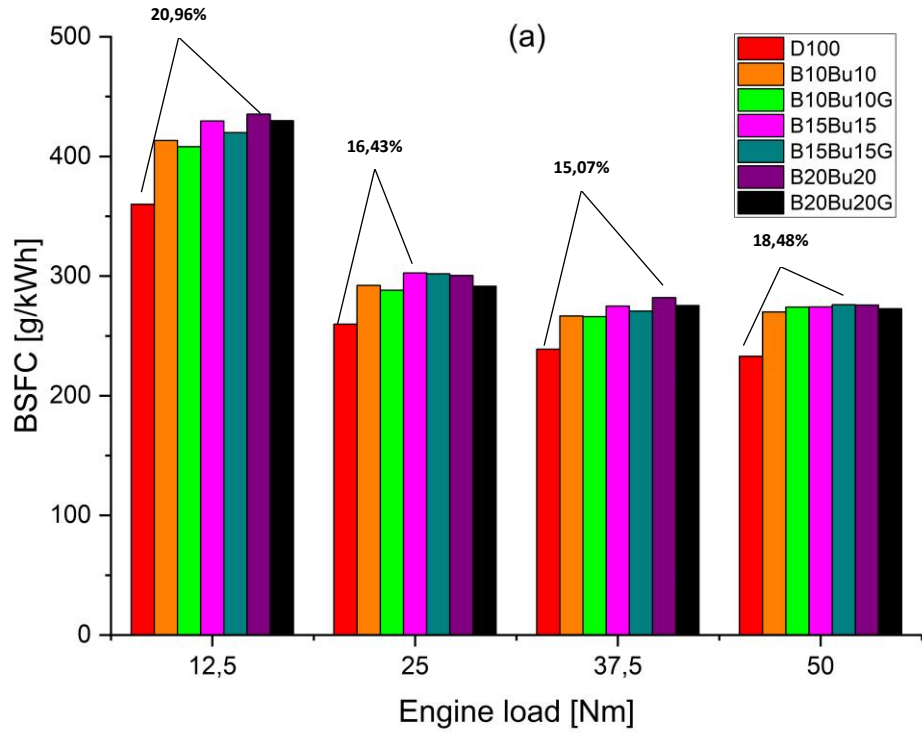
	Numune adı	Sıcaklık (°C)						
		10	15	20	25	30	35	40
Yoğunluk (kg/m ³)	D100	840.4	837	833.4	829.9	826.2	822.7	819.2
	B10Bu10	845.7	842.1	838.4	834.7	831	827.3	823.6
	B10Bu10G	846.4	842.8	839.2	835.5	831.9	828.3	824.8
	B15Bu15	847.5	843.8	840.1	836.4	832.6	828.9	825.2
	B15Bu15G	848	844.3	840.6	837	833.3	829.6	826
	B20Bu20	849.9	845.9	842.2	838.5	834.7	831	827.3
	B20Bu20G	851.8	848.1	844.4	840.6	837	833.3	829.7

Tablo 7'den elde edilen sonuçlara göre, karışımlarda biyodizel ve bütanol oranının artması nedeniyle yoğunluklar artmıştır. Ayrıca, sıcaklık arttıkça yoğunluk azalmıştır.

Motor Performans Analizleri

Fren Özgöl Yakıt Tüketimi (BSFC)

Özgöl yakıt tüketimi, içten yanmalı motorların en önemli motor performans kriterlerinden biridir. Bu değer, birim efektif güç başına yakıt tüketimini verir. Böylece, tüm test numuneleri için birim güç başına tüketilen yakıt miktarı hesap edilebilir. Motor performans parametrelerinde BSFC değerinin düşük olması arzu edilir. Ayrıca, BSFC değerleri 37,5 Nm'de tork değerinde minimuma ulaşmış ve sonrasında 50 Nm tork değerinde hafif bir artış göstermiştir. Bu küçük artışın nedeni, 37,5 Nm yükte, ön karışimli yanma fazının daha düşük ve difüzyonlu yanma fazının daha yüksek seyretmesidir. **Şekil 5'**de, 4 farklı yük (12.5, 25, 37.5 ve 50 Nm) ve 2 farklı devir sayısında (1500 ve 2000 d/dak) BSFC değerleri görülmektedir. **Şekil 5.a** incelendiğinde tüm yüklerde en düşük BSFC'nin D100 yakıtında gerçekleştiği görülmektedir (12,5 Nm'de 359,88 g/kWh, 25 Nm'de 259,81 g/kWh, 37,5 Nm'de 238,87 g/kWh ve 50 Nm'de 232,92 g/kWh). BSFC değerleri arasındaki en büyük fark 12,5 Nm yükte dizel yakıt ile B20Bu20 arasında gerçekleşirken, en düşük fark ise 37,5 Nm yükte dizel yakıt ile B20Bu20 karışımı arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, düşük yüklerde daha belirgin olmakla beraber, GNPs katkılı karışımların aynı orandaki karışım oranına sahip yakıtlara göre daha az yakıtın tüketildiği görülmektedir.

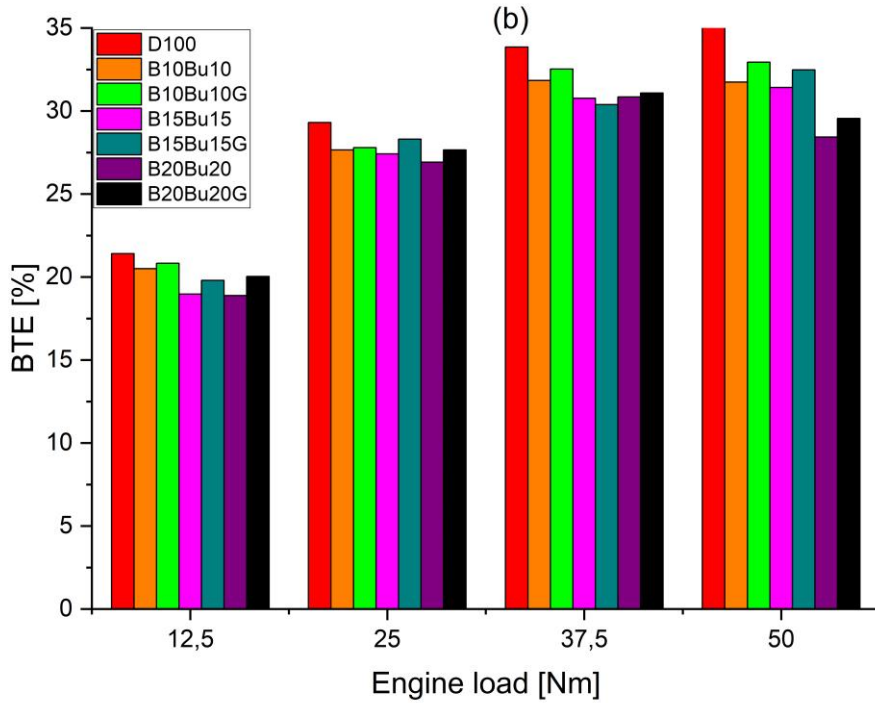
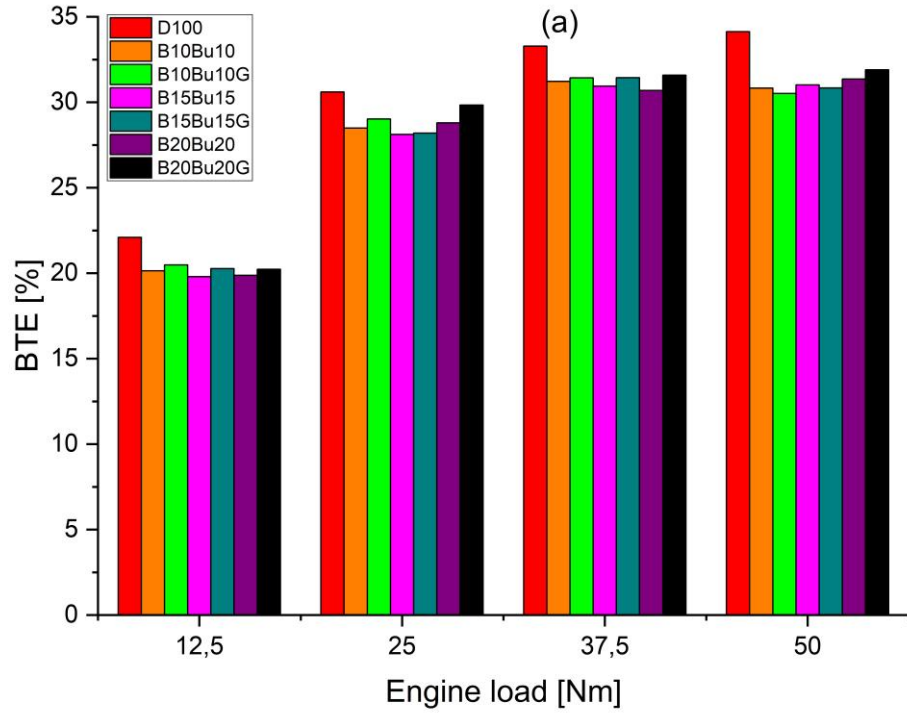


Şekil 5. Yakıt karışımlarının farklı yüklerdeki BSFC değerleri a) 1500 d/dak b) 2000 d/dak

Şekil 5.b'de, 2000 d/dak ve 37,5 Nm yükte D100 yakıtından sonra en düşük 2. BSFC değeri B10Bu10 (257,03 g/kWh) iken, en yüksek BSFC değeri ise B20Bu20 yakıt karışımında (280,41 g/kWh) gözlenmiştir. Bu bilgilere ilaveten, 2000 d/dak için B10Bu10 B15Bu15 ve B20Bu20 karışımlarına GNPs ilavesi sırasıyla tüm yük şartları için ortalama olarak 12.5 Nm yükte %3.49, 25 Nm yükte %1.75, 37.5 Nm yükte %0.19 ve 50 Nm yükte %3.24 oranında bir artışa sebep olmuştur. **Tablo 5**'ten elde edilen sonuçlar, karışımlara biyodizel ve bütanol eklenmesinin kalorifik değerin azalmasına sebep olduğunu göstermektedir. BSFC değeri, ilgili motor devrindeki efektif güç ve karışımların ısı değeri ile doğrudan ilişkilidir. Bunun anlamı ise, BSF'nin daha yüksek olmasına sebep olmaktadır.

Fren Termal Verimi (BTE)

Şekil 6'da, tüm test numuneleri için 2 farklı devir sayısında (1500 ve 2000 d/dak) ve 4 farklı yükte (12,5, 25, 37,5 ve 50 Nm) BTE'nin nasıl değiştiği görülmektedir. **Şekil 6** incelendiğinde tüm yüklerde ve her iki devir sayısında en yüksek BTE değerinin D100 yakıtı ile (12,5 Nm'de %22.09, 25 Nm'de %30.59, 37,5 Nm'de %33,28 ve 50 Nm'de %34.13) elde edildiği görülmektedir. D100 yakıtı kıyasla ortalama olarak, en düşük BTE değerleri 1500 d/dak'da 12,5 Nm yükte % 10,36 değeri ile B15Bu15 yakıt karışımında gözlenmiştir. 2000 d/dak'da dizel yakıtı nazaran en düşük BTE değeri ise B20Bu20 yakıtında %19,05'lik bir azalmayla görülmüştür. Ayrıca D100 yakıtından sonra en yüksek 2. BTE değerleri, 1500 ve 2000 d/dak'de sırasıyla ortalama %7,26 ve %6,21'lik farklarla B10Bu10G yakıt örneğinde (1500 d/dak'da %20.48, 2000 d/dak'da %32.94) kaydedildi.



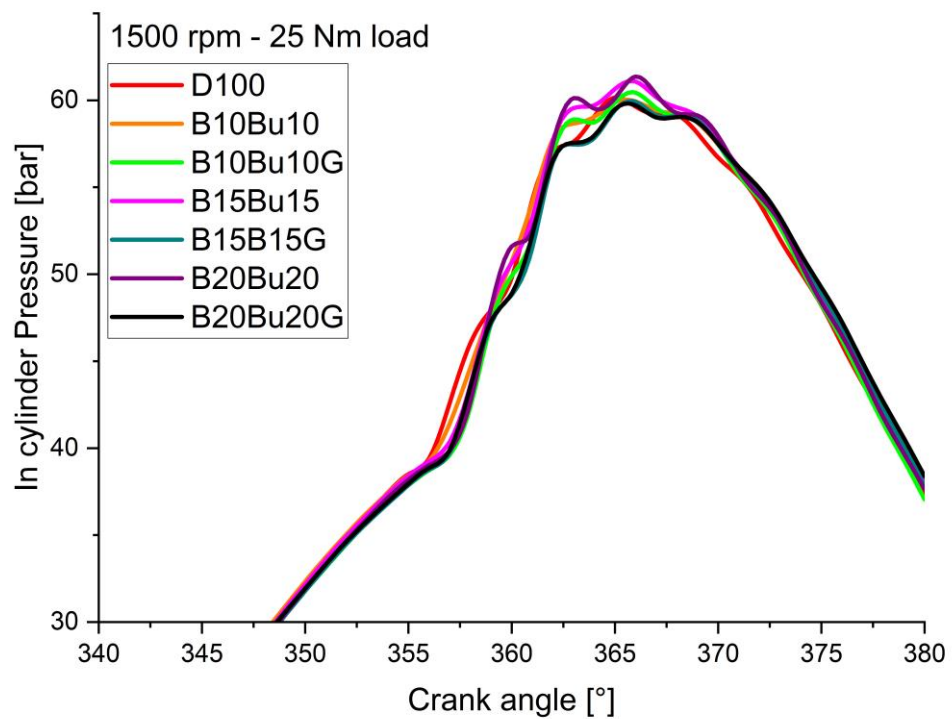
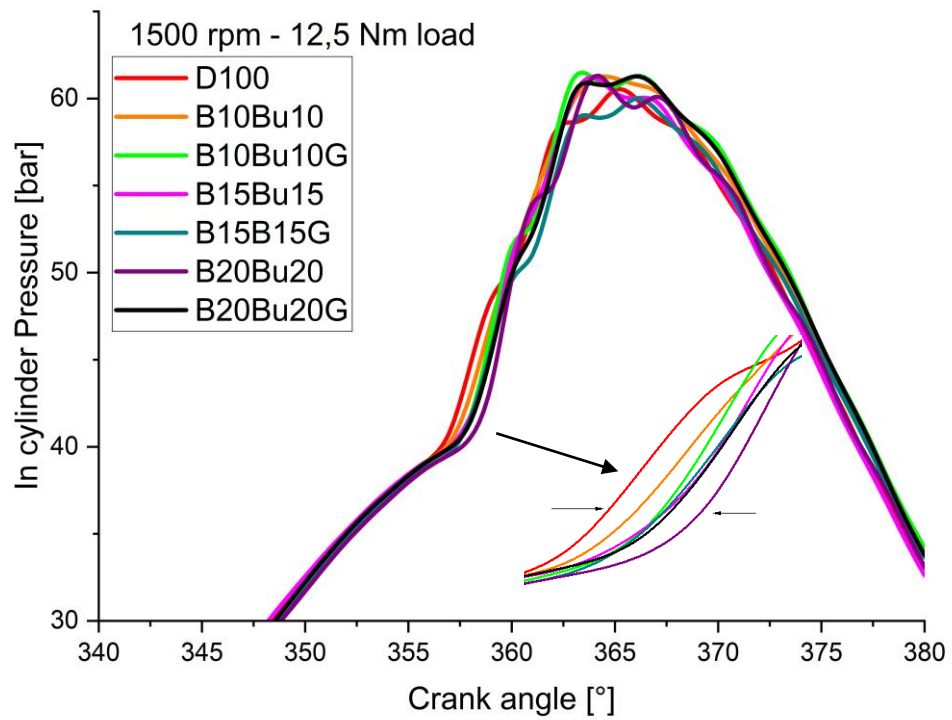
Şekil 6. Motor Fren Termal Verimi (BTE) a) 1500 d/dak b) 2000 d/dak

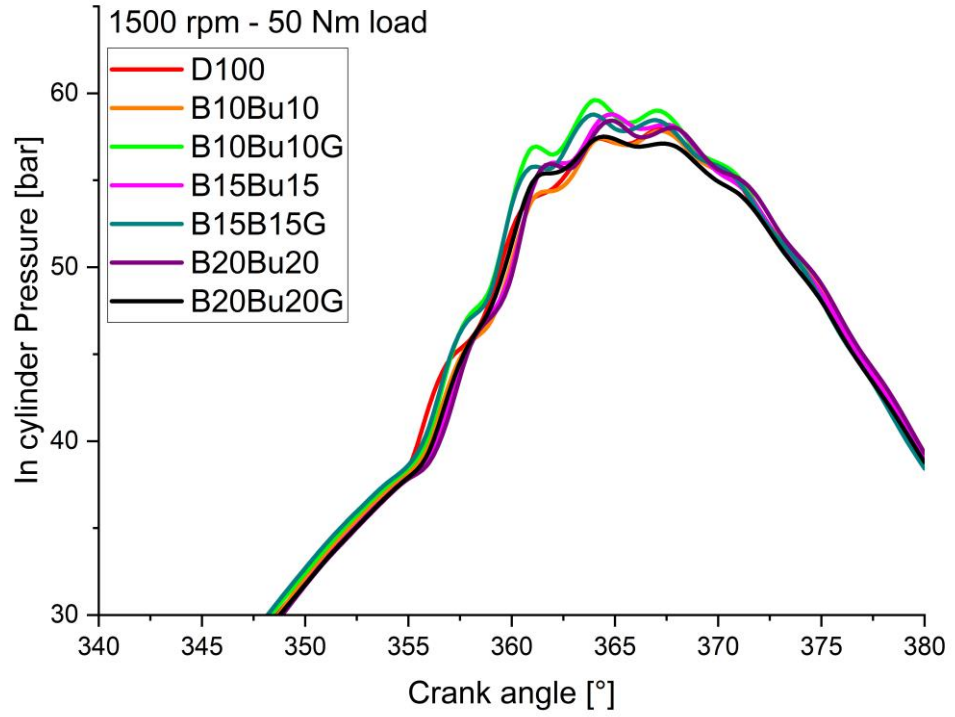
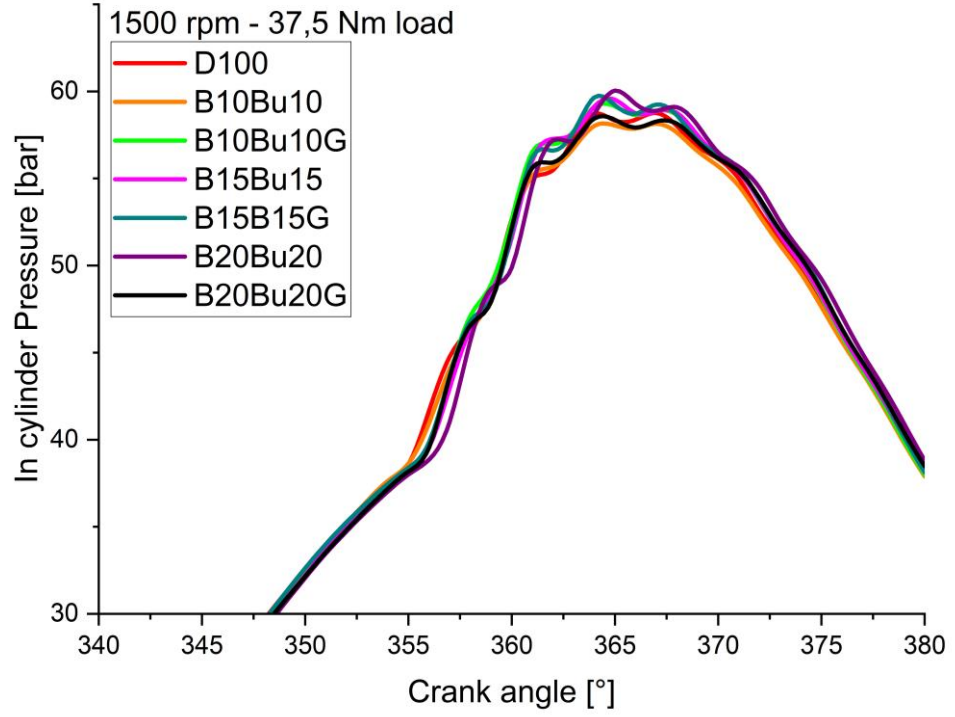
Bu bilgilere ilaveten, 2000 d/dak'da B10Bu10 B15Bu15 ve B20Bu20 karışımlarına GNPs ilavesi sırasıyla tüm yük şartları için ortalama olarak 12.5 Nm yükte %4.00, 25 Nm

yükte %2.14, 37.5 Nm yükte %0.55 ve 50 Nm yükte %3.70 oranında bir azalmaya sebep olmuştur.

Silindir içi basınç verileri

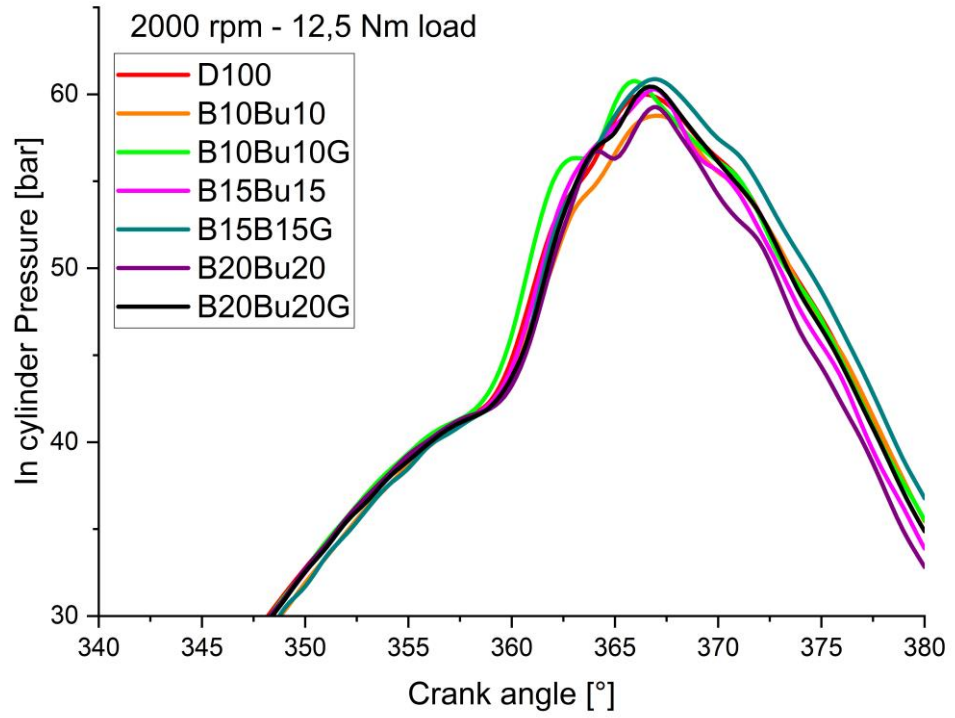
Şekil 7'de 1500 d/dak'daki ve 12,5, 25, 37,5 ve 50 Nm yüklerdeki silindir içi basınçların değişimi görülmektedir. Silindir içindeki maksimum basınç (P_{max}), 12,5 Nm yükte (61,30 bar) değeri ile B20Bu20 test yakıtında gözlemlendi. Bunun ana nedeni B20Bu20 yakıtının setan indisinin diğer yakıt karışımlarına göre düşük olmasıdır (**Tablo 6**). B20Bu20 enjektörde püskürtüldüğü anda yanmaya başlamamış, tutuşma gecikmesi sonrasında aniden yandığında P_{max} değerine ulaşılmıştır. Buna, setan indisi düşük olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi zamanının uzaması ile silindiriçi basınçta ani bir artışın meydana gelmesi sebep olabilir (Karagöz, Ağbulut, & Sarıdemir, 2020; Kumar, Kerihuel, Bellettre, & Tazerout, 2006). **Şekil 7.a** incelendiğinde, B20Bu20 yakıtı GNP's ilavesinin tutuşma gecikmesinin azalttığı açıkça görülmektedir. Yakıt karışımları içerisinde tutuşma gecikmesi süresi en kısa ve setan sayısı en yüksek olan yakıt D100 yakıtıdır. Ayrıca, tüm test yakıtlarında basınç artış hızı ($dP/d\alpha$) değerine bakıldığında, yakıtın silindir içine püskürtüldüğü andan görünür alev cephesi oluşana kadar geçen sürede en yüksek basınç artış hızının D100 yakıtında görüldüğünü, en düşüğü B20Bu20 yakıtında görülmüştür. B20Bu20 yakıtının silindir içi P_{max} değerleri D100 yakıtına göre 12,5, 25, 37,5 ve 50 Nm yüklerde sırasıyla %1.30, %1.98, %2,18 ve %0.84 daha yüksek olmuştur.

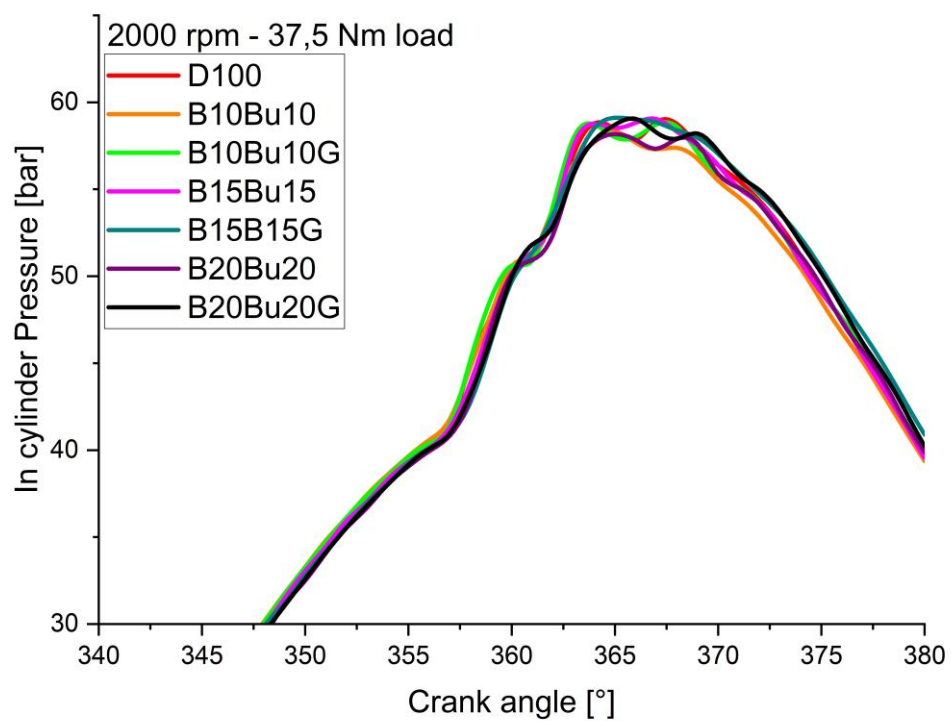
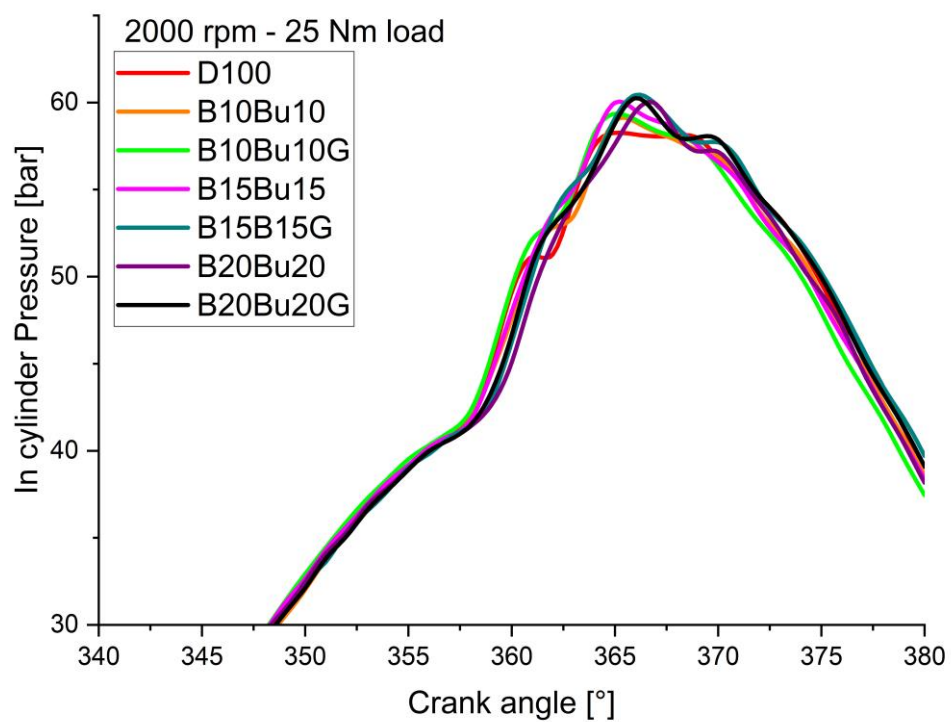


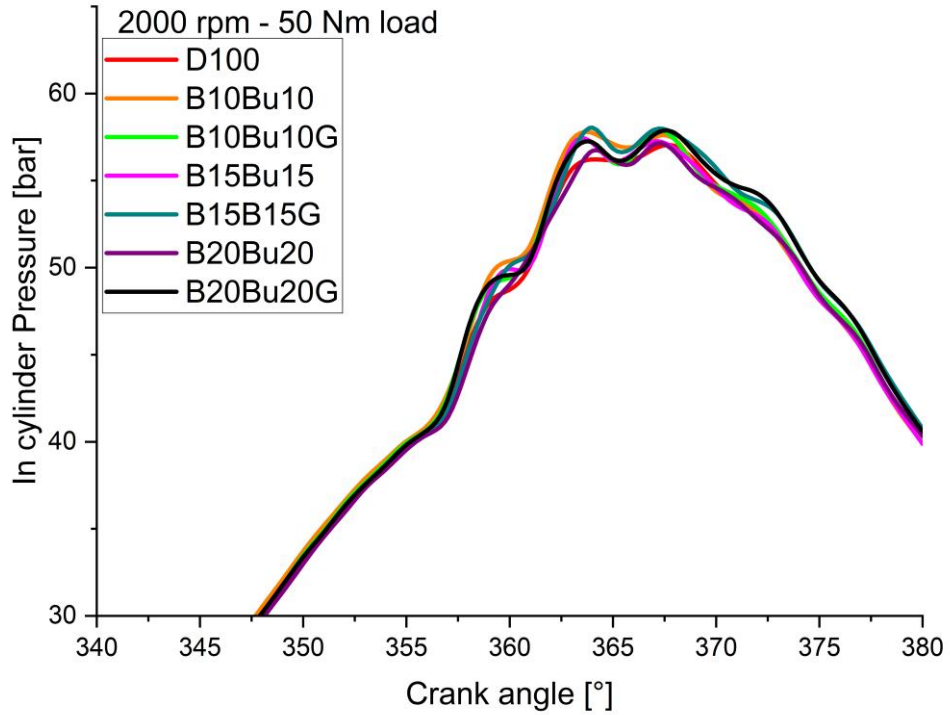


Şekil 7. 1500 d/dak - 12,5, 25, 37,5 ve 50 Nm yükte krank açısına göre silindir içi basınç değişimi

Şekil 8, sırasıyla 12.5, 25, 37.5 ve 50 Nm yükte 2000 d/dak'da silindir içi basıncın değişimlerini göstermektedir. 2000 d/d'de ve tüm yüklerde silindirdeki P_{max} değerlerine B15Bu15G yakıtı ile ulaşılmıştır (12.5 Nm'de 60.87 bar, 25 Nm'de 60.43 bar, 37.5 Nm'de 59.11 bar ve 50 Nm'de 58.04 bar). Ayrıca, tüm yüklerde B10Bu10G yakıt karışımının enjektörden püskürtüldüğü andan itibaren yanmaya başladığı ve tutuşma gecikmesi süresinin çok kısaldığı görülmektedir.





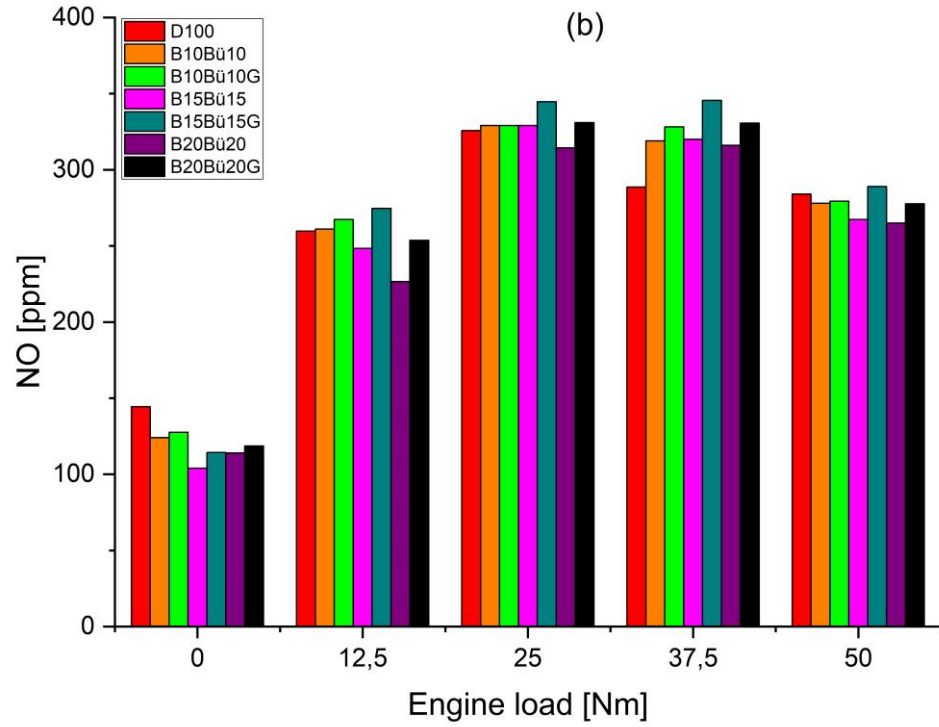
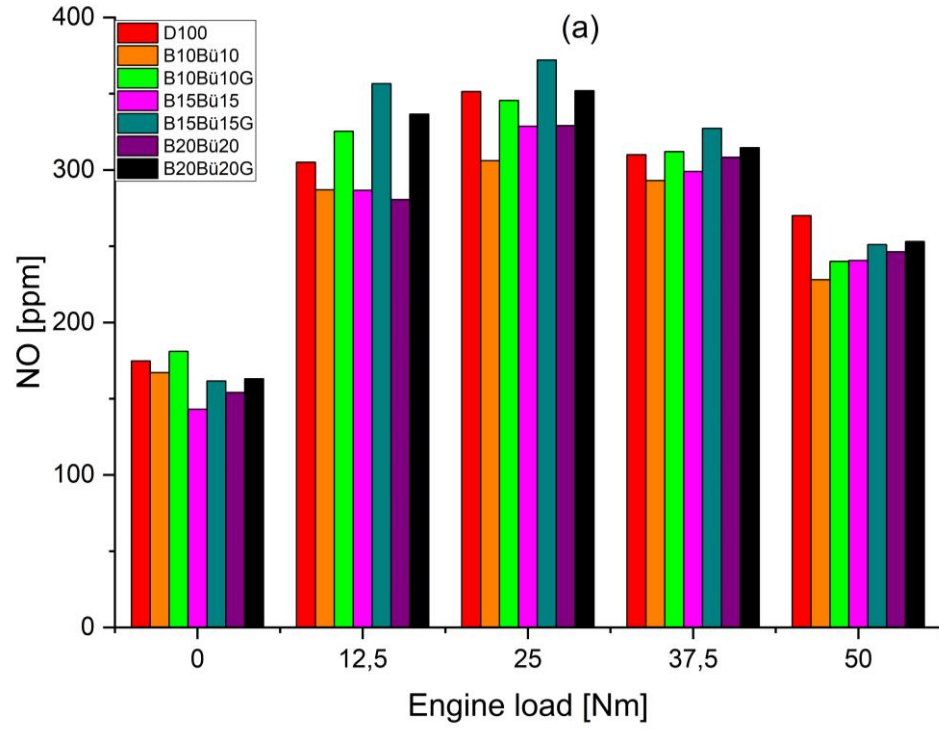


Şekil 8. 2000 d/dak - 12,5, 25, 37,5 ve 50 Nm yükte krank açısına göre silindir içi basınç değişimi

Emisyon Analizi

NO_x emisyonları

Şekil 9, 1500 ve 2000 d/dak'da tüm yükler için NO_x emisyonlarının değişimini göstermektedir. Yanma odasında NO_x oluşumunun ana nedeni yanma süresi, yüksek sıcaklık ve yüksek O₂ konsantrasyonudur. NO_x oluşumunun ana kaynağı, emme zamanında silindir içerisine alınan atmosferdeki N₂'dir. Zeldovich mekanizmasına göre, yanma sürecinde havadaki O₂ ile N₂ atomları yüksek sıcaklıkta reaksiyona girerek NO_x oluştururlar. **Şekil 9.a**'da en yüksek NO_x oluşumunun B15Bu15G yakıt numunesinde (25 Nm'de 356,6 ppm) oluşurken, en düşük NO_x oluşumunun B15Bu15 yakıt numunesinde (12.5 Nm'de 143 ppm) meydana geldiği görülmektedir. Bu bilgilere ilaveten, 1500 d/dak'da B10Bu10, B15Bu15 ve B20Bu20 karışımlarına GNPs ilavesi sırasıyla tüm yük şartları için ortalama olarak 0 Nm yükte %9.07, 12.5 Nm yükte %19.24, 25 Nm yükte %11.04, 37.5 Nm yükte %5.99 ve 50 Nm yükte %4.10 oranında bir artışa sebep olmuştur.



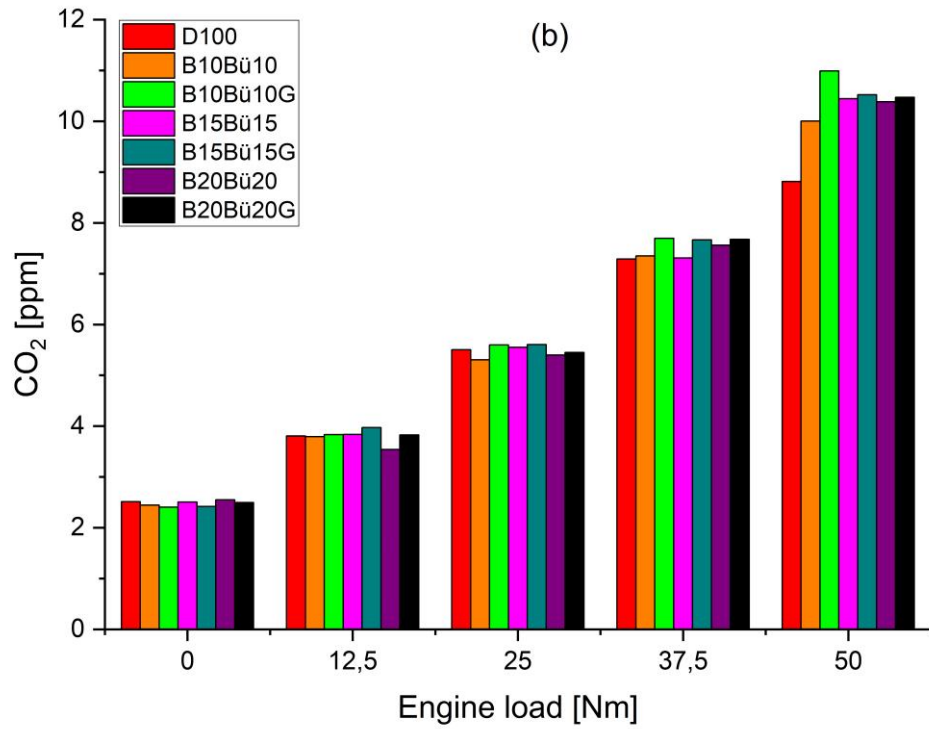
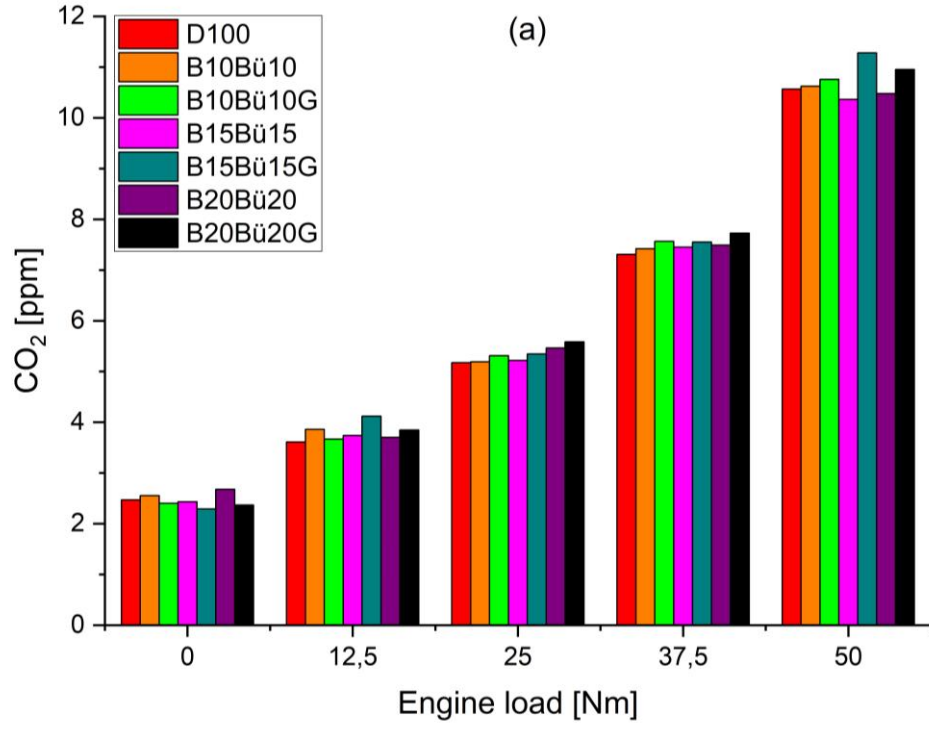
Şekil 9. Motor yüklerine ve test yakıtlarına göre NO_x emisyonundaki değişimler.
a) 1500 d/dak b) 2000 d/dak

Şekil 9.b'de en yüksek NO_x oluşumunun B15Bu15G yakıt numunesinde (50 Nm'de 345,6 ppm) oluşurken, en düşük NO_x oluşumunun B15Bu15 yakıt numunesinde (12.5 Nm'de 104 ppm) meydana geldiği görülmektedir. Bu bilgilere ilaveten, 2000 d/dak'de B10Bu10, B15Bu15 ve B20Bu20 karışımlarına GNPs ilavesi sırasıyla tüm yük şartları için ortalama olarak 0 Nm yükte %5.58, 12.5 Nm yükte %8.32, 25 Nm yükte %3.35, 37.5 Nm yükte 5.16 ve 50 Nm yükte % 5.16 oranında bir artışa sebep olmuştur.

CO₂ emisyonları

CO₂ emisyonları sera gazı etkisi yaratarak küresel ısınmaya neden olur. Emisyon miktarını yakıtta bulunan karbon içeriği belirler. CO₂ emisyonu tam yanma reaksiyonu ürünü olup, yanma iyileştikçe miktarı artmaktadır. Yakıtın hava ile tamamen yanması ne kadar yüksek olursa, CO₂ emisyonları da o kadar yüksek olur. CO emisyonu, yanma reaksiyonunun tam gerçekleşmediğini ve ortamda yeterince O₂ olmadığını işaret eder. **Şekil 10'**da, 2 farklı devir sayısı ve 5 farklı yükteki CO₂ emisyonlarının değişimleri görülmektedir. **Şekil 10.a'**dan, 0 Nm ve 12.5 Nm yük hariç tüm yüklerde en yüksek CO₂ emisyonunun B20Bu20G yakıt karışımında gerçekleştiği görülmektedir. 1500 d/dak'da B10Bu10, B15Bu15 ve B20Bu20 karışımlarına GNPs ilavesi sırasıyla tüm yük şartları için ortalama olarak 0 Nm yükte %7.82 azalma, 12.5 Nm yükte %3.06, 25 Nm yükte %2.32, 37.5 Nm yükte 2.14 ve 50 Nm yükte % 4.89 oranında bir artışa sebep olmuştur.

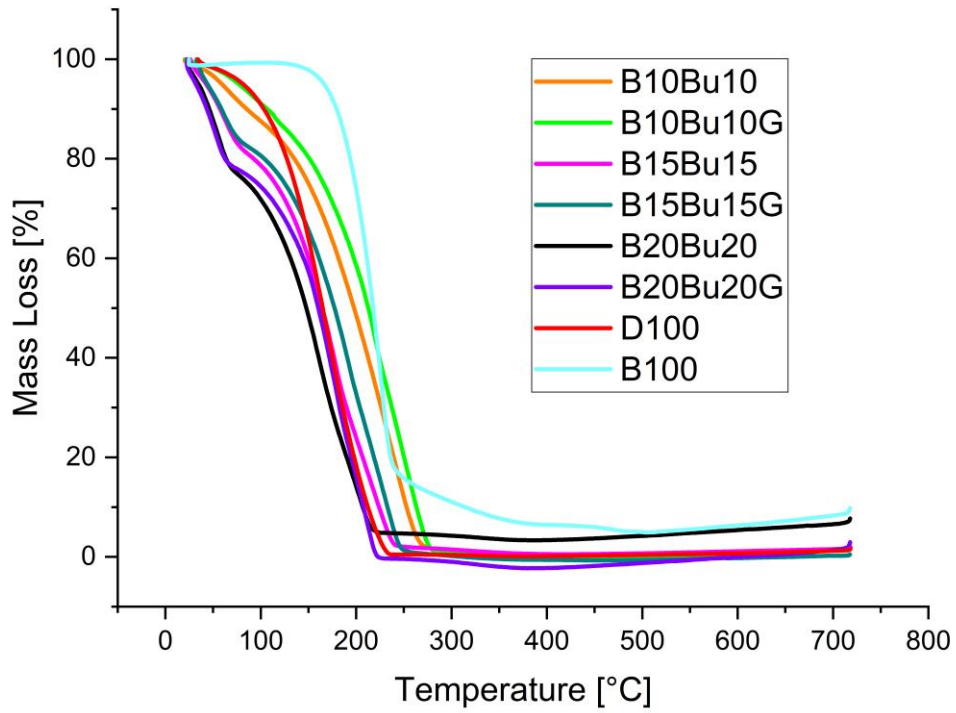
Şekil 10.b'den, en yüksek CO₂ emisyonu % 19.34'lik bir artışla 50 Nm yükte B10Bu10G yakıt karışımında gözlenmiştir. 2000 d/dak'da B10Bu10, B15Bu15 ve B20Bu20 karışımlarına GNPs ilavesi sırasıyla tüm yük şartları için ortalama olarak 0 Nm yükte %2.44 azalma, 12.5 Nm yükte % 4.21, 25 Nm yükte %1.21 azalma, 37.5 Nm yükte 3.71 ve 50 Nm yükte % 3.81 oranında bir artışa sebep olmuştur.



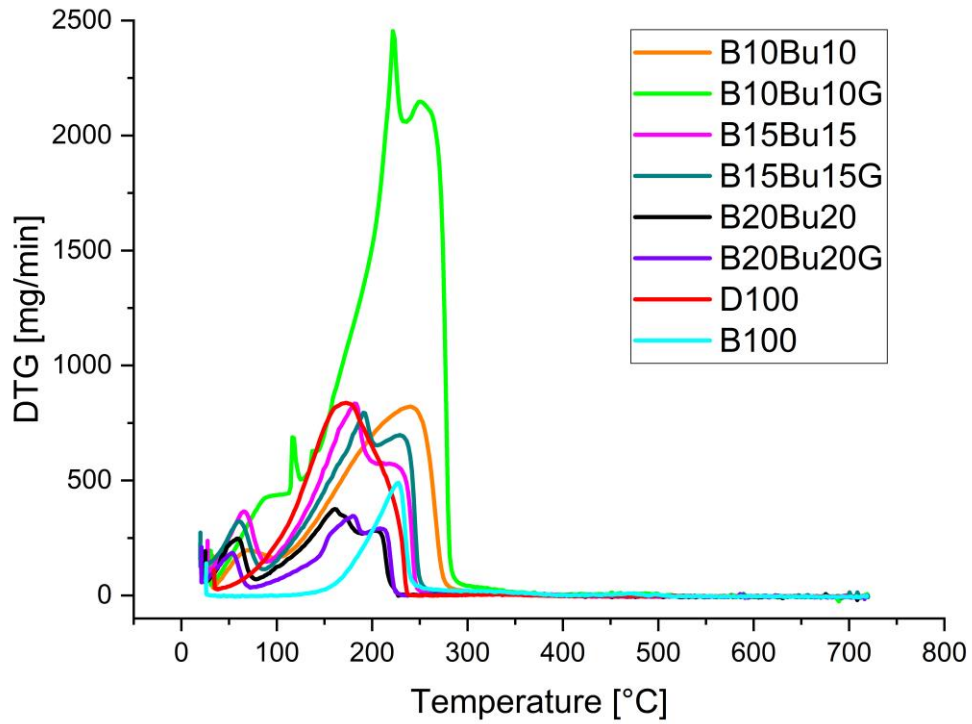
Şekil 10. Motor yüklerine ve test yakıtlarına göre CO₂ emisyonundaki değişimler.
a) 1500 d/dak b) 2000 d/dak

TGA Analizi

Hazırlanan yakıt karışımlarının termal stabilitesi, 20–750 °C sıcaklık aralığında ve N₂ ortamında termogravimetrik analiz yapılarak araştırıldı. Termogramları **Şekil 11 ve 12**'de gösterilmektedir. TGA ile termal ve oksidatif stabilitesini karakterize edilmiştir. TGA ve DrTGA termogram grafiklerinden (**Şekil 11 ve 12**) atık kızartma yağı biyodizeli, dizel ve bütanol karışımları için 20–250 °C sıcaklık aralığında tek sürekli bir adımda oksidatif bozulmanın gerçekleştiği açıkça görülmektedir. Bu sıcaklık aralığında tüm karışımlar için yaklaşık olarak % 90,17–99,58 seviyelerinde bir kütle kaybı meydana gelmiştir. **Tablo 8**'de termal bozunmanın başladığı sıcaklıklar ve kütle kayıpları ayrıntılı olarak görülmektedir.



Şekil 11. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının TGA Analizi (kütle kaybı ve sıcaklığın değişimi)



Şekil 12.B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının Derivatif Termogravometrik (DTG) Analizi

Tablo 8. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının TGA Sonuçları

Numune adı	Isıtma hızı (°C/dak.)	Sıcaklık aralığı (°C)	Termal bozunma başlangıç sıcaklığı (°C)	Kuru hava şartlarında kütle kaybı (%)
D100	10	36–236	99,43	98,84
B10Bu10	10	23-265	92,21	98,28
B10Bu10G	10	35-246	74,67	99,59
B15Bu15	10	28-238	71,79	98,05
B15Bu15G	10	41-277	45,39	99,49
B20Bu20	10	25-219	67,82	92,26
B20Bu20G	10	25-223	59,75	97,04
B100	10	136-237	161,31	90,17

DSC Analizi

D100, B10Bu10, B10Bu10G, B15Bu15, B15Bu15G, B20Bu20, B20Bu20G ve B100 yakıt karışımlarının kristalizasyon sıcaklıklarını tespit edilmiş ve **Tablo 9'**da sunulmuştur. Bu bilgilere göre B100 yakıtının kristalizasyon sıcaklığı en düşük iken, Dizel yakıtı Bütanol ve

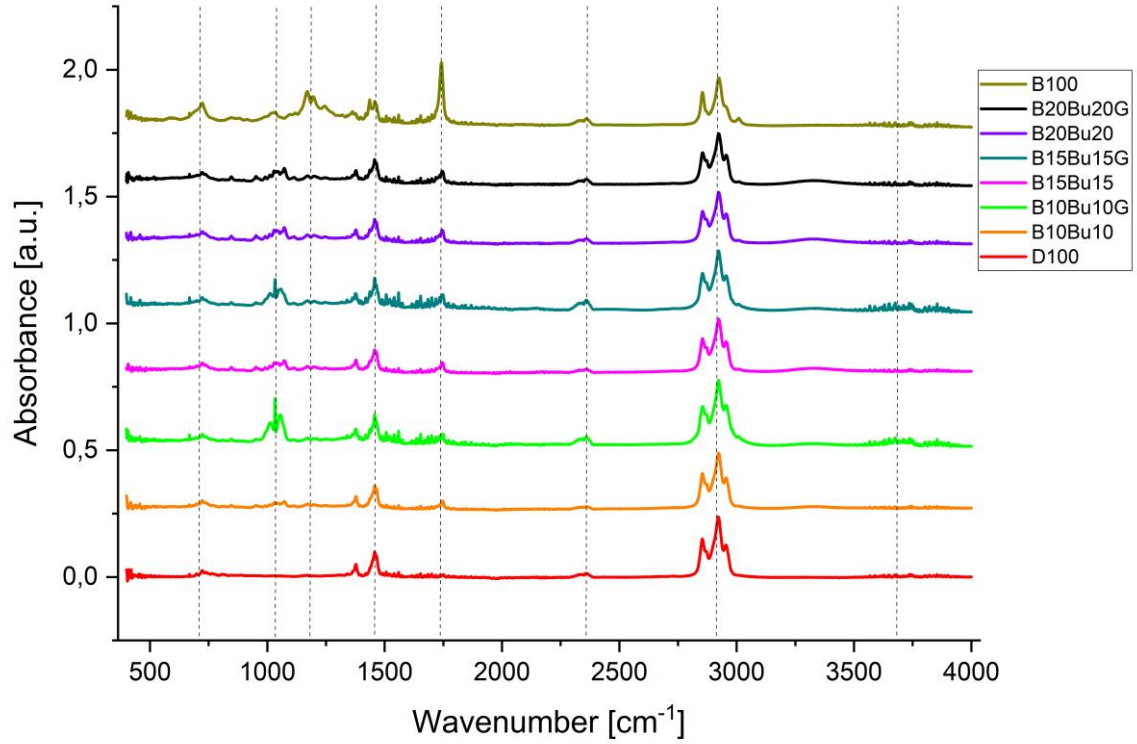
GNPs ilavesi ile kristalleşme sıcaklığının D100 yakıtına yakın seyrettiği görülmektedir. Dizel yakıtı benzer özellikler gösteren yakıt karışımlarının enjektör ve yakıt hattında kullanımının herhangi bir probleme sebep olmayacağı söylenebilir.

Tablo 9. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının Kristalizasyon Başlangıç Sıcaklıkları

Numune	Kristalizasyon başlangıç sıcaklıkları (°C)
D100	-5,57
B10Bu10	-5,49
B10Bu10G	-3,84
B15Bu15	-5,22
B15Bu15G	-5,60
B20Bu20	-5,54
B20Bu20G	-5,39
B100	-7,21

FT-IR Analizi

Atık kızartma yağı biyodizeli, dizel, bütanol ve GNPs karışımlarının kimyasal bağ yapılarını incelemek için FT-IR analizleri yapıldı. Tüm numunelere ait FT-IR spekturumları **Şekil 13**'de gösterilmiştir. Bu spekturumlar incelendiğinde, 3690-3700 cm^{-1} arasındaki yaygın pik O-H alkollerine ait gerilimleri gösterirken, 2923 cm^{-1} civarındaki piklerin C-H metilen gruplarını ait bağ yapısına aittir. 2854.7 cm^{-1} 'deki piklerin alifatik - CH_2 gruplarına ait bağ yapısına aittirler. 1740.8 cm^{-1} civarındaki piklerin C=O bağlarını, 1458.0 cm^{-1} civarındaki piklerin C-H (in CH_2) bağ yapısına, 1436.6 cm^{-1} civarındaki piklerin =C-H (cis-) bending yapısına, 1196.7 cm^{-1} ile 1166.7 cm^{-1} civarındaki keskin pikler C-O alkoksi gruplarına (-C-O stretching or -O- CH_2 -C), 1035.3 cm^{-1} civarındaki pikler CC(=O)-O ester bağının eksenel deformasyonunu, 716.8 cm^{-1} civarındaki piklerin ise C-H ve CH_2 metilen gruplarının varlığına işaret ettiğini söyleyebiliriz.



Şekil 13. D100, B10Bu10, B10Bu10G, B15Bu15, B15Bu15G, B20Bu20, B20Bu20G ve B100 Yakıt Karışımlarının Kızılöztesi Spekturumları (FR-IR)

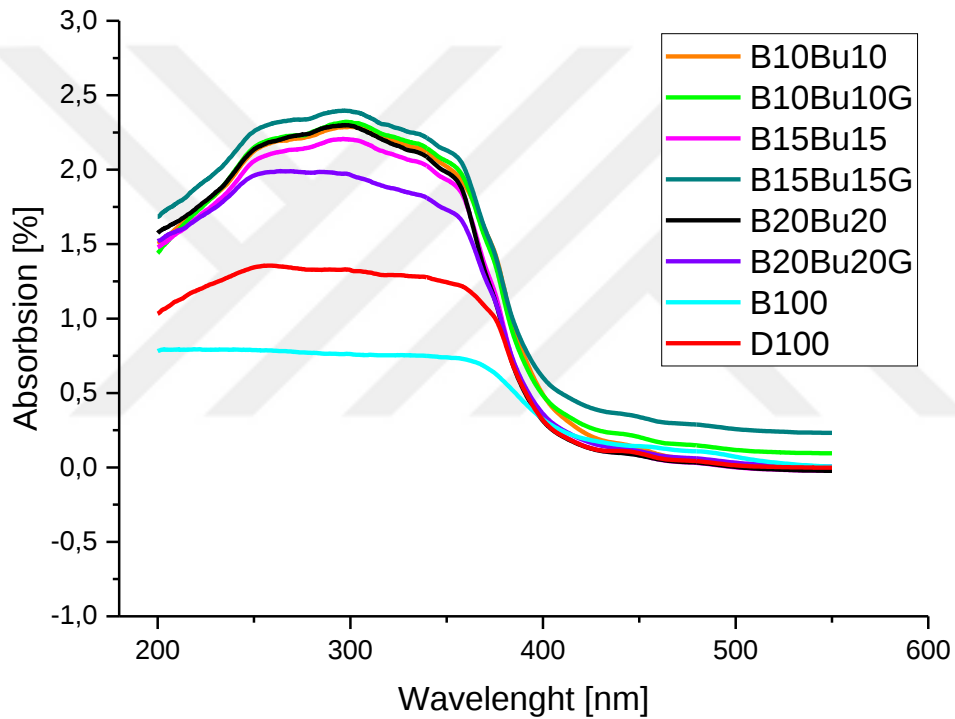
Tablo 10. D100, B10Bu10, B10Bu10G, B15Bu15, B15Bu15G, B20Bu20, B20Bu20G ve B100 Yakıtlarının Fonksiyonel Grup Frekansları

Dalgaboyu [cm ⁻¹]	Fonksiyonel gruplar ve titreşim tipleri
3690-3700	O-H grupları- Gerilme
2923	C-H alkenleri – Asimetrik gerilme
2854.7	-CH ₂ metilenleri – Simetrik gerilme
1740.8	C=O esterleri – Gerilme
1458	C-H metilen ve metil grupları- Eğilme
1436.6	=C-H (cis-) bending
1196.7-1166.7	C-O alkoksi esterleri – Gerilme
1135	CC(=O)-O ester bağının eksenel deformasyonu
722	=C-H ve -(CH ₂) _n metilen grupları - Eğilme

uv-VIS Analizi

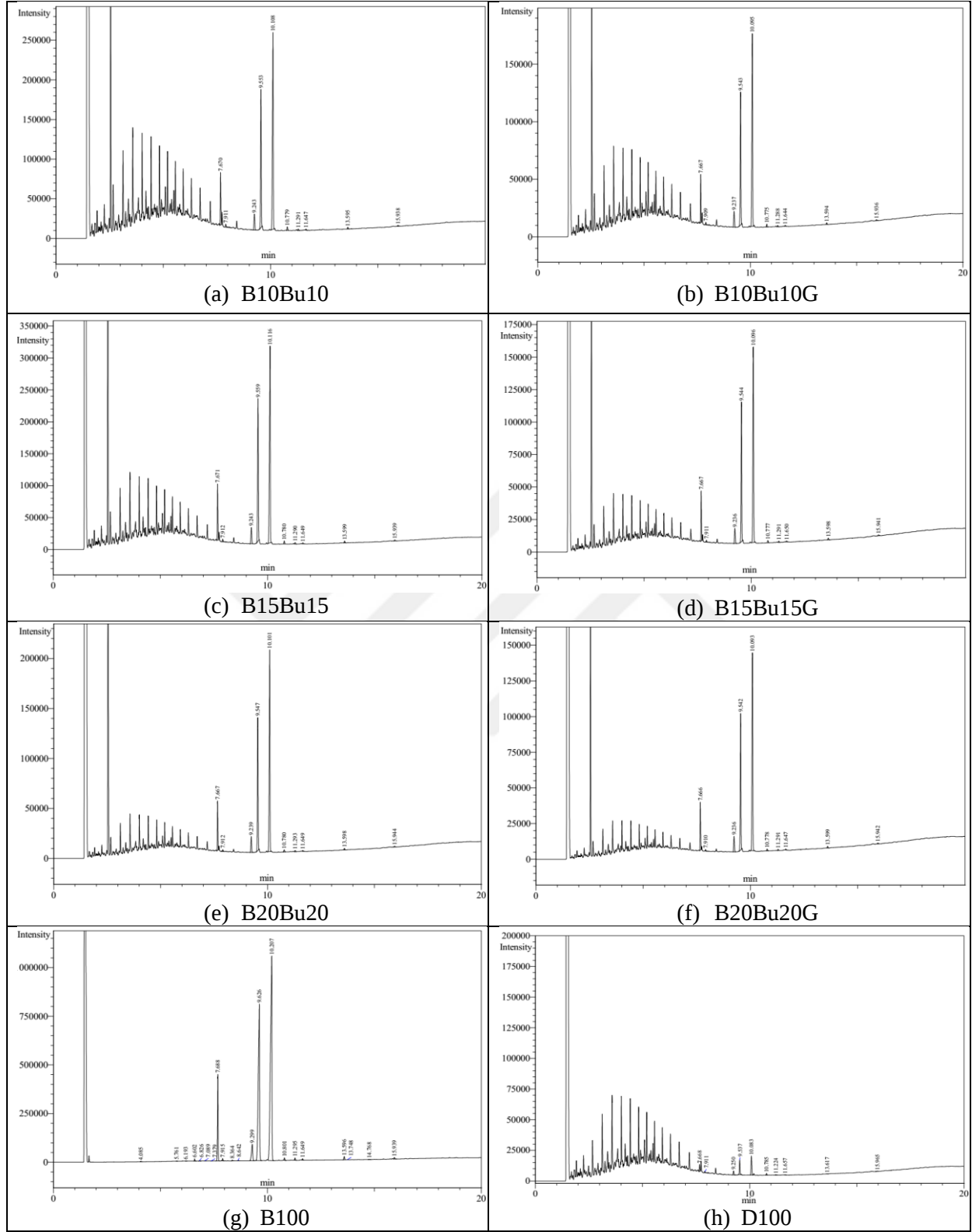
Maddelerin ışığı absorblama yeteneğine göre değişimi izlenmiş ve değişimler belirlenmiştir. Bu amaçla tüm numunelerin 200-600 nm aralığında absorbans ölçümleri yapılmış ve **Şekil 14**'de verilmiştir.

D100 ve B100 Biodizel ve Eurodizel numunelerinin absorbans ölçümleri yapıldığında en aşağıda yer alırken, Biodizel ve Eurodizel'in (%10, %15 ve %20) katkılamalarının miktarı arttıkça absorbanslarında artış meydana gelirken, grefen oksitin ilave edilmesi ile 297 nm de belirgin bir pik vermiştir. GNPs'nin karışım içerisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 14. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının UV-VIS spektrumları

GC-FID Analizi



Şekil 15. B100, D100, Bütanol ve GNPs Karışımlarının GC-FID spekturumları

Şekil 15'de, GC-FID ile elde edilen diagram verilmiştir. B10Bu10 numunesi en yüksek pik göstermesinin yanısıra diğer tüm GNPs katkılı biyodizel numunelerinin yakın olarak en yüksek pik alanına sahip oldukları, katkısız olan D100 ve B100 numunelerinin ise en düşük pik alanına sahip oldukları **Şekil 15**'de görülmektedir. Bunun sebebinin, GNPs katkılamaı ile C kaynağı miktarı arttığı ve FID analizi ile hem intensitesinin hem de pik alanının artmasıyla doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Literatür ile de elde edilen bulgular uyumludur (Talebian-Kiakalaieh, Amin, & Mazaheri, 2013).

Biyodizel, Dizel, Butanol ve GNPs karışımlarına ait yağ asidi bileşenleri **Tablo 11**'de verilmiştir.



Tablo 11. GC-FID analizine göre Biyodizel, Dizel, Butanol ve GNPs Karışımlarının % Cinsinden Yağ Asidi Bileşenleri

Nu.	Bileşin adı	B10Bu10	B10Bu10G	B15Bu15	B15Bu15G	B20Bu20	B20Bu20G	D100	B100
1	Palmitic Acid	9,0854	8,8951	9,0875	8,9479	8,9602	8,9670	10,0641	9,0179
2	Palmitoleic Acid	0,6921	0,6297	0,5035	0,4383	0,4190	0,3397	3,1068	0,2192
3	Stearic Acid	4,3197	4,2960	3,9725	3,9727	3,8752	3,8418	8,7689	3,4252
4	Oleic Acid	32,6847	32,9863	32,8864	33,0567	32,9422	33,2279	29,5514	33,9839
5	Linoleic Acid	51,1708	51,1431	51,6856	51,7663	52,0460	51,9836	41,4008	51,4759
6	alfa-Linolenic Acid	0,7942	0,6968	0,6210	0,5624	0,5288	0,4681	3,9286	0,2944
7	Arachidic Acid	0,3121	0,3051	0,3017	0,3114	0,3080	0,3086	0,9454	0,3017
8	cis-11-Eicosenoic Acid	0,2660	0,2419	0,2229	0,2172	0,2189	0,2154	0,6895	0,1569
9	Behenic Acid	0,4533	0,5029	0,4648	0,4696	0,4559	0,4403	0,1996	0,4360
10	Lignoceric Acid	0,2218	0,3031	0,2541	0,2574	0,2458	0,2076	1,3449	-
11	Caprylic Acid	-	-	-	-	-	-	-	0,0399
12	Lauric Acid	-	-	-	-	-	-	-	0,0058
13	Tridecanoic Acid	-	-	-	-	-	-	-	0,0149
14	Myristic Acid	-	-	-	-	-	-	-	0,1739
15	Myristoleic Acid	-	-	-	-	-	-	-	0,0315
16	Pentadecanoic Acid	-	-	-	-	-	-	-	0,0247
17	cis-10-Pentadecanoic Acid	-	-	-	-	-	-	-	0,0076
18	Heptadecanoic Acid	-	-	-	-	-	-	-	0,0888
19	cis-10-Heptadecanoic Acid	-	-	-	-	-	-	-	0,0517

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizelin, bütanol ve dizel yakıt karışımlarına GNPs eklenmesinin içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması araştırılmıştır. Deneyler 2 farklı devir sayısı ve 5 farklı motor yükünde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın ana bulguları aşağıda verilmektedir:

1. Çalışmada kullanılan tüm test numuneleri direkt enjeksiyonlu tabii emişli bir dizel motorda sorunsuz bir şekilde kullanılır.
2. Tüm deneylerde vuruntu sınırına yaklaşılmadı.
3. BSFC değerleri arasındaki en büyük fark 12,5 Nm yükte dizel yakıt ile B20Bu20G arasında gerçekleşirken, en düşük fark ise 37,5 Nm yükte dizel yakıt ile B20Bu20 karışımı arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, düşük yüklerde daha belirgin olmakla beraber, GNPs katkılı karışımların aynı orandaki karışım oranına sahip yakıtlara göre daha az yakıtın tüketildiği görülmektedir.
4. D100 yakıtından sonra en yüksek 2. BTE değerleri, 1500 ve 2000 d/dak'da sırasıyla ortalama %7,26 ve %6,21'lik farklarla B10Bu10G yakıt örneğinde (1500 d/dak'da %20.48, 2000 d/dak'da %32.94) kaydedildi.
5. Silindirdeki maksimum basınç (P_{max}), 1500 d/dak ve 12,5 Nm yükte (61,30 bar) B20Bu20 yakıt numunesi ile kaydedildi. Bunun ana nedeni B20Bu20 yakıtının setan indisinin diğer yakıt karışımlarına göre düşük olmasıdır. B20Bu20 enjektörde püskürtüldüğü anda yanmaya başlamamış, tutuşma gecikmesi sonrasında aniden yandığında P_{max} değerine ulaşılmıştır.
6. En yüksek NO_x oluşumunun B15Bu15G yakıt numunesinde (1500 d/dak. ve 25 Nm'de 356,6 ppm) oluşurken, en düşük NO_x oluşumunun B15Bu15 yakıt numunesinde (2000 d/dak ve 0 Nm'de 104 ppm) meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, her iki devir sayısında da B10Bu10, B15Bu15 ve B20Bu20 karışımlarına GNPs ilavesi NO_x oluşumunda bir artışa sebep olmuştur.
7. 0 Nm ve 12.5 Nm yük hariç tüm yüklerde en yüksek CO_2 emisyonunun B20Bu20G yakıt karışımında gerçekleşmiştir. Tüm yük ve devir sayılarında B10Bu10, B15Bu15 ve B20Bu20 karışımlarına GNPs ilavesi CO_2 emisyonlarında bir artışa sebep olmuştur.

KAYNAKLAR

- Aalam, C. S., Saravanan, C. G., & Kannan, M. (2015). Experimental investigations on a CRDI system assisted diesel engine fuelled with aluminium oxide nanoparticles blended biodiesel. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3), 351–358. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2015.04.009>
- Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Mohammadi, P., Mirzajanzadeh, M., Ardjmand, M., & Rashidi, A. (2016). Effect of an emission-reducing soluble hybrid nanocatalyst in diesel/biodiesel blends on exergetic performance of a DI diesel engine. *Renewable Energy*, 93, 353–368. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2016.02.077>
- Appavu, P., Ramanan M, V., & Venu, H. (2019). Quaternary blends of diesel/biodiesel/vegetable oil/pentanol as a potential alternative feedstock for existing unmodified diesel engine: Performance, combustion and emission characteristics. *Energy*, 186. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2019.115856>
- Athar, T. (2015). Smart precursors for smart nanoparticles. *Emerging Nanotechnologies for Manufacturing*, 444–538. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-28990-0.00017-8>
- Barabás, I., Todoru, A., & Bldean, D. (2010). Performance and emission characteristics of an CI engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol blends. *Fuel*, 89(12), 3827–3832. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2010.07.011>
- Chrzanowski, W., & Dehghani, F. (2013). Standardised chemical analysis and testing of biomaterials. *Standardisation in Cell and Tissue Engineering: Methods and Protocols*, 166-197a. Retrieved from <https://doi.org/10.1533/9780857098726.2.166>
- D'Silva, R., Binu, K. G., & Bhat, T. (2015). Performance and Emission Characteristics of a C.I. Engine Fuelled with Diesel and TiO₂ Nanoparticles as Fuel Additive. *Materials Today: Proceedings*, 2(4–5), 3728–3735. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2015.07.162>
- El-Seesy, A. I., Hassan, H., & Ookawara, S. (2018). Effects of graphene nanoplatelet addition to jatropha Biodiesel–Diesel mixture on the performance and emission characteristics of a diesel engine. *Energy*, 147, 1129–1152. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.01.108>
- Fayyazbakhsh, A., & Pirouzfard, V. (2016). Investigating the influence of additives-fuel on diesel engine performance and emissions: Analytical modeling and experimental validation. *Fuel*, 171, 167–177. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2015.12.028>
- GROENEWOUD, W. M. (2001). THERMOGRAVIMETRY. *Characterisation of Polymers by Thermal Analysis*, 61–76. Retrieved 6 April 2023 from <https://doi.org/10.1016/B978-044450604-7/50003-0>
- Hasan, M. M., & Rahman, M. M. (2017). Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 938–948. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.03.045>
- Hoseini, S. S., Najafi, G., Ghobadian, B., Ebadi, M. T., Mamat, R., & Yusaf, T. (2020). Performance and emission characteristics of a CI engine using graphene oxide (GO) nano-particles additives in biodiesel-diesel blends. *Renewable Energy*, 145, 458–465. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.06.006>
- Imdadul, H. K., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Zulkifli, N. W. M., Alabdulkarem, A., Kamruzzaman, M., & Rashed, M. M. (2016). A comparative study of C4 and C5 alcohol treated diesel-biodiesel blends in terms of diesel engine performance and exhaust

- emission. *Fuel*, 179, 281–288. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2016.04.003>
- Karagöz, M., Ağbulut, Ü., & Sarıdemir, S. (2020). Waste to energy: Production of waste tire pyrolysis oil and comprehensive analysis of its usability in diesel engines. *Fuel*, (275), 117844. Retrieved 12 October 2022 from <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117844>
- Kim, H., & Choi, B. (2010). The effect of biodiesel and bioethanol blended diesel fuel on nanoparticles and exhaust emissions from CRDI diesel engine. *Renewable Energy*, 35(1), 157–163. Retrieved 22 February 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2009.04.008>
- Krishna, S. M., Abdul Salam, P., Tongroon, M., & Chollacoop, N. (2019). Performance and emission assessment of optimally blended biodiesel-diesel-ethanol in diesel engine generator. *Applied Thermal Engineering*, 155, 525–533. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2019.04.012>
- Kumar, M. S., Kerihuel, A., Bellettre, J., & Tazerout, M. (2006). Ethanol animal fat emulsions as a diesel engine fuel - Part 2: Engine test analysis. *Fuel*, 85(17–18), 2646–2652. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2006.05.023>
- Lahane, S., & Subramanian, K. A. (2015). Effect of different percentages of biodiesel-diesel blends on injection, spray, combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine. *Fuel*, 139, 537–545. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2014.09.036>
- Mesri Gundoshmian, T., Heidari-Maleni, A., & Jahanbakhshi, A. (2021). Evaluation of performance and emission characteristics of a CI engine using functional multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs-COOH) additives in biodiesel-diesel blends. *Fuel*, 287. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2020.119525>
- Mirzajanzadeh, M., Tabatabaei, M., Ardjmand, M., Rashidi, A., Ghobadian, B., Barkhi, M., & Pazouki, M. (2015). A novel soluble nano-catalysts in diesel–biodiesel fuel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions. *Fuel*, 139, 374–382. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2014.09.008>
- Mohammed, M. N., Atabani, A. E., Uguz, G., Lay, C. H., Kumar, G., & Al-Samaraae, R. R. (2020). Characterization of Hemp (*Cannabis sativa* L.) Biodiesel Blends with Euro Diesel, Butanol and Diethyl Ether Using FT-IR, UV-Vis, TGA and DSC Techniques. *Waste and Biomass Valorization*, 11(3), 1097–1113. Retrieved 6 April 2023 from <https://doi.org/10.1007/S12649-018-0340-8/FIGURES/7>
- Özgür, T., & Özcanli & Kadir Aydin, M. (2015). Investigation of Nanoparticle Additives to Biodiesel for Improvement of the Performance and Exhaust Emissions in a Compression Ignition Engine. *International Journal of Green Energy*, 12(1), 51–56. Retrieved 22 February 2023 from <https://doi.org/10.1080/15435075.2014.889011>
- Öztürk, E., Can, Ö., Usta, N., & Yücesu, H. S. (2020). Effects of retarded fuel injection timing on combustion and emissions of a diesel engine fueled with canola biodiesel. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(6), 1466–1475. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.06.008>
- Prabu, A., & Anand, R. B. (2016). Emission control strategy by adding alumina and cerium oxide nano particle in biodiesel. *Journal of the Energy Institute*, 89(3), 366–372. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.JOEI.2015.03.003>
- Prusty, K., Barik, S., & Swain, S. K. (2019). A Corelation Between the Graphene Surface Area, Functional Groups, Defects, and Porosity on the Performance of the Nanocomposites. *Functionalized Graphene Nanocomposites and Their Derivatives: Synthesis, Processing and Applications*, 265–283. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814548-7.00013-1>
- Şahin, M. (2015). *Quantitative Analysis of MDMA With GC/FID Method Validation*. Namık

Kemal University.

- Sathish, T., Ağbulut, Ü., George, S. M., Ramesh, K., Saravanan, R., Roberts, K. L., ... Hoang, A. T. (2023). Waste to fuel: Synergetic effect of hybrid nanoparticle usage for the improvement of CI engine characteristics fuelled with waste fish oils. *Energy*, 275, 127397. Retrieved 19 April 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2023.127397>
- Saxena, V., Kumar, N., & Saxena, V. K. (2017). A comprehensive review on combustion and stability aspects of metal nanoparticles and its additive effect on diesel and biodiesel fuelled C.I. engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 563–588. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.11.067>
- Sethuraman, N., Karthikeyan, D., Vinodraj, S., Thamizhvel, R., & Kumarasamy, G. (2022). Performance and emission characteristics on CI engine by using waste cooking oil and waste transformer oil as substitute fuel with coconut shell as a catalyst. *Materials Today: Proceedings*, 72, 2469–2475. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.457>
- Shaafi, T., & Velraj, R. (2015). Influence of alumina nanoparticles, ethanol and isopropanol blend as additive with diesel-soybean biodiesel blend fuel: Combustion, engine performance and emissions. *Renewable Energy*, 80, 655–663. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2015.02.042>
- Shekofteh, M., Gundoshmian, T. M., Jahanbakhshi, A., & Heidari-Maleni, A. (2020). Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with functionalized multi-wall carbon nanotubes (MWCNTs-OH) and diesel–biodiesel–bioethanol blends. *Energy Reports*, 6, 1438–1447. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2020.05.025>
- Shimamoto, G. G., & Tubino, M. (2016). Alternative methods to quantify biodiesel in standard diesel-biodiesel blends and samples adulterated with vegetable oil through UV–Visible spectroscopy. *Fuel*, 186, 199–203. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2016.08.076>
- Singh Rajpoot, A., Choudhary, T., Chelladurai, H., & Kumar Patel, N. (2023). Effect of graphene nanoparticles on the behavior of a CI engine fueled with Jatropha biodiesel. *Materials Today: Proceedings*. Retrieved 19 April 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.03.785>
- Sivaramakrishnan, K. (2018). Investigation on performance and emission characteristics of a variable compression multi fuel engine fuelled with Karanja biodiesel–diesel blend. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(2), 177–186. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.EJPE.2017.03.001>
- Talebian-Kiakalaieh, A., Amin, N. A. S., & Mazaheri, H. (2013). A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil. *Applied Energy*, 104, 683–710. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2012.11.061>
- Vairamuthu, G., Sundarapandian, S., Kailasanathan, C., & Thangagiri, B. (2016). Experimental investigation on the effects of cerium oxide nanoparticle on Calophyllum inophyllum (Punnai) biodiesel blended with diesel fuel in DI diesel engine modified by nozzle geometry. *Journal of the Energy Institute*, 89(4), 668–682. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.JOEL.2015.05.005>
- Venu, H., Raju, V. D., Lingesan, S., & Elahi M Soudagar, M. (2021). Influence of Al₂O₃ nano additives in ternary fuel (diesel-biodiesel-ethanol) blends operated in a single cylinder diesel engine: Performance, combustion and emission characteristics. *Energy*, 215. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2020.119091>
- Wu, Q., Xie, X., Wang, Y., & Roskilly, T. (2018). Effect of carbon coated aluminum nanoparticles as additive to biodiesel-diesel blends on performance and emission characteristics of diesel engine. *Applied Energy*, 221, 597–604. Retrieved from

<https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2018.03.157>

Yesilyurt, M. K., Aydin, M., Yilbasi, Z., & Arslan, M. (2020). Investigation on the structural effects of the addition of alcohols having various chain lengths into the vegetable oil-biodiesel-diesel fuel blends: An attempt for improving the performance, combustion, and exhaust emission characteristics of a compression ignition engine. *Fuel*, 269. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2020.117455>

