



## Effect of MWCNT added biodiesel, n-octanol blend on the performance, combustion and noise level of a single cylinder CRDI diesel engine

Güven Demirtaş<sup>1,2\*</sup>, Cenk Sayın<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Institute of Pure and Applied Sciences, Marmara University, 34722, Istanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Akdağmadeni Vocational School, Yozgat Bozok University, 66300, Yozgat, Türkiye

<sup>3</sup>Department of Mechanical Engineering, Marmara University, 34722, Istanbul, Türkiye

### Highlights:

- The effect of adding nanoparticle to the biodiesel/n-octanol mixture was investigated
- All experiments were carried out on a CRDI engine at different engine loads
- The results were improved by adding MWCNT to the blended fuel

### Keywords:

- Nanoparticle
- Multi-walled carbon nanotubes
- CRDI
- Engine noise
- Combustion

### Article Info:

Research Article

Received: 01.10.2023

Accepted: 08.08.2024

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1369457

### Correspondence:

Author: Güven Demirtaş  
e-mail: guven.demirtas@yobu.edu.tr  
phone: +90 537 931 7118

### Graphical/Tabular Abstract

In this experimental study, pure diesel fuel, pure biodiesel, a mixture of 95% biodiesel and 5% n-octanol by volumetric, a mixture forming by adding 100 ppm MWCNT nanoparticles to 95% biodiesel and 5% n-octanol by volumetric were tested. A diesel engine with a single-cylinder CRDI system was used in the study. The effect of MWCNT additive on the performance, combustion and noise level of the test engine was investigated at a constant speed of 1500 rpm and under four different load conditions (25%, 50%, 75% and 100%). It has been observed that the addition of nanoparticles improves engine performance. No significant change was found in combustion characteristics. It has been determined that the noise level has decreased. Table A. shows the engine torque, brake specific energy consumption (BSEC), combustion efficiency (CE), maximum in-cylinder gas pressure (MCGP), maximum heat release rate (MHRR) and engine noise level (EN) values of MWCNT-added and blended fuel.

**Table A.** Performance, combustion and noise values of B95O5 and B95O5100MWCNT depending on engine load

Load	Parameters	B95O5	B95O5100MWCNT
25%	Torque (Nm)	21,819	22,023
	BSEC (MJ/kWh)	15,298	14,869
	CE (%)	99,83	99,84
	EN (dB)	91,363	92,152
50%	Torque	35,092	35,261
	BSEC	13,248	12,810
	CE	99,81	99,82
	EN	95,453	90,372
75%	MCGP (bar)	106,22	104,996
	MHRR (J/°)	88,646	75,726
	Torque	62,444	61,829
	BSEC	10,860	10,253
100%	CE	99,79	99,80
	EN	90,444	89,617
	Torque	76,960	87,316
	BSEC	11,635	10,727
100%	CE	99,76	99,76
	EN	88,361	85,109

**Purpose:** The purpose of this study is to improve engine performance and noise resulting from the use of pure biodiesel.

**Theory and Methods:** Fuel mixtures were prepared volumetrically. Surfactant material was used for the stability of nanoparticles in the fuel. Nanoparticles were dispersed in the fuel using an ultrasonic bath. The experimental study was carried out at a constant speed of 1500 rpm under four different load conditions (25%, 50%, 75% and 100%).

**Results:** The high surface area/volume ratio and high thermal conductivity of MWCNT contribute to the rapid evaporation of the fuel. It has been observed that the negative effects of n-octanol addition to pure biodiesel on engine performance, combustion and noise level are reduced by MWCNT additive.

**Conclusion:** Engine performance parameters has been improved with the addition of MWCNT to low ratio n-octanol and high ratio biodiesel mixture fuel



## MWCNT katkılı biyodizel, n-oktanol karışımının tek silindirli CRDI bir dizel motorun performans, yanma ve gürültü düzeyine etkisi

Güven Demirtaş<sup>1,2\*</sup>, Cenk Sayın<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 66300, Yozgat, Türkiye

<sup>3</sup>Marmara Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Biyodizel/n-oktanol karışımına nanopartikül eklenmesinin etkisi araştırıldı
- Tüm deneyler CRDI motor üzerinde farklı motor yüklerinde gerçekleştirildi
- Karışımli yakıtta MWCNT eklenerek sonuçlar iyileştirildi

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 01.10.2023

Kabul: 08.08.2024

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1369457

### Anahtar Kelimeler:

Nanopartikül,  
çok duvarlı karbon nanotüp,  
CRDI,  
motor gürültüsü,  
yanma

### ÖZ

Günümüzde dizel motorlar, tarım ve taşımacılık gibi çeşitli sektörlerde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, dizel yakıtına olan talep hala devam etmektedir. Dizel yakıtın kullanımı sonucunda çevreye salınan kirletici gazlar ve daha sıkı hale gelen egzoz emisyonları gibi çeşitli sorunlar araştırmacıları alternatif yakıt arayışına yöneltmiştir. Araştırmacılar, sürdürülebilir, çevreye daha az zarar veren biyodizel yakıtlar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Dizel motorlarda yüksek oranlı biyodizel kullanımının artırılabilmesi için çeşitli katkı maddelerinin etkilerinin araştırılmasına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, biyodizel, n-oktanol karışımına çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) katkısının common rail direk enjeksiyon (CRDI) sistemine sahip bir dizel motorun performans, yanma ve motor gürültüsü üzerine etkisi araştırılmıştır. Biyodizel hacimsel olarak %5 n-oktanol ilave edilerek B95O5 yakıtı oluşturulmuştur. Bu karışım yakıtta 100 ppm dozajda MWCNT eklenerek B95O5100MWCNT yakıtı elde edilmiştir. Deneysel çalışmada dört farklı test yakıtı, saf dizel (D100), saf biyodizel (B100), B95O5 ve B95O5100MWCNT kullanılmıştır. Deneysel çalışma, 1500 rpm sabit hızda dört farklı yük şartlarında (%25, %50, %75 ve %100) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, MWCNT katkılı yakıtın motor torku B95O5'e kıyasla yükselmiştir. Fren özgül enerji tüketimi (FÖET) ve yanma verimi MWCNT katkısı ile iyileştirilmiştir. Maksimum silindir gaz basıncı D100 ile sağlanırken, ısı dağılımı B95O5 ile maksimum değere ulaşmıştır. Motor gürültü düzeyi B95O5 ile çalışmada yükselmiştir. MWCNT ilavesi ile gürültü seviyesi azaltılmıştır.

## Effect of MWCNT added biodiesel, n-octanol blend on the performance, combustion and noise level of a single cylinder CRDI diesel engine

### H I G H L I G H T S

- The effect of adding nanoparticle to the biodiesel/n-octanol mixture was investigated
- All experiments were carried out on a CRDI engine at different engine loads
- The results were improved by adding MWCNT to the blended fuel

### Article Info

Research Article

Received: 01.10.2023

Accepted: 08.08.2024

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1369457

### Keywords:

Nanoparticle,  
multi-walled carbon  
nanotube,  
CRDI,  
engine noise,  
combustion

### ABSTRACT

Nowadays, diesel engines are intensely used in various sectors such as agriculture and transportation. Therefore, the demand for diesel fuel still continues. Various problems such as polluting gases released into the environment as a result of the use of diesel fuel and stricter exhaust emission norms have led researchers to search for alternative fuels. Researchers are focusing on biodiesel fuels that are sustainable and less harmful to the environment. In order to increase the use of high-rate biodiesel in diesel engines, there is a need to investigate the effects of various additives. In this study, the effect of multi-walled carbon nanotube (MWCNT) added to the biodiesel-n-octanol mixture on the performance, combustion and engine noise of a diesel engine with CRDI system was investigated. B95O5 fuel was created by adding 5% n-octanol by volume to biodiesel. By adding 100 ppm MWCNT to this mixture fuel, B95O5100MWCNT fuel was obtained. Four different test fuels, pure diesel (D100), pure biodiesel (B100), B95O5 and B95O5100MWCNT, were used in the experimental study. The experimental study was carried out under four different load conditions (25%, 50%, 75% and 100%) at a constant speed of 1500 rpm. According to the results, it was determined that the engine torque of B95O5100MWCNT fuel was higher than that of B95O5 fuel. Brake specific energy consumption (BSEC) and combustion efficiency were improved with MWCNT additive. While the maximum cylinder gas pressure was achieved with D100, the maximum heat release rate was reached with B95O5. Engine noise level was increased in operation with B95O5. The noise level was reduced with the addition of MWCNT.

## 1. Giriş (Introduction)

Ülkelerin enerji ihtiyaçları, nüfusun artması ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi nedenlerden dolayı hızla artmaktadır. Genellikle fosil yakıtların kullanıldığı, endüstri, tarım, ulaşım ve taşımacılık alanları, enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir [1, 2]. Dizel motorlar tarım, ulaşım, taşımacılık ve enerji üretim sektörlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır [3]. Bu nedenle, fosil yakıt türevi olan dizel yakıtına olan ihtiyaç devam etmektedir. Ancak, petrolün sınırlı rezervlere sahip olması, dizel yakıtının bulunabilirliği konusundaki endişeyi arttırmaktadır. Ayrıca, petrol esaslı yakıtların oluşturduğu zararlı gazlar çevreyi ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için araştırmacılar ilgisini biyodizel, alkol yakıtlar ve biyogaz gibi sürdürülebilir yakıt türlerine yöneltmiştir [4, 5]. Biyodizel, dizel yakıt özelliklerine en yakın alternatif yakıttır [6, 7]. Bu sayede, dizel motorlarda önemli bir yapısal değişikliğe ihtiyaç duyulmadan karışım halinde veya katkı maddeleri ile kullanılabilir [8]. Ancak, enerji yoğunluğunun dizel göre düşük olması, yakıt tüketimi, tork ve motor gücü gibi motor performans parametrelerini olumsuz yönde etkilemektedir [9]. Biyodizelin farklı yakıt harmanları ve katkı maddeleri ile kullanımına yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde, biyodizel katkı maddesi ilavesinin motor performansı ve yanma üzerindeki sorunları azaltabileceği vurgulanmıştır [10-12]. Biyodizel yakıtların yanma kalitesini arttırmak için kullanılan çözümler arasında biyodizel-alkol-dizel yakıt harmanları ve katkı maddesi olarak nanopartiküller yer almaktadır. Metanol ve etanol gibi kısa zincirli hafif alkoller biyodizel ile karışım halinde kullanılabilir. Ancak, bu alkollerin düşük ısı değeri, setan sayısı ve yoğunluğu dezavantajlarıdır. Ayrıca, yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olması benzinli motorlarda kullanım olanağı sağlamaktadır. Karbon sayısı üç ve daha üzeri olan yüksek alkoller dizel yakıtına daha yakın özelliklere sahiptir. Bu alkol grubundan olan n-oktanol yüksek ısı değere ve setan sayısına sahiptir. Ayrıca, düşük polarlığı sayesinde faz ayrışması olmadan biyodizel ile karışabilir [13, 14]. Dizel motorlarda, çeşitli yakıt ve yakıt karışımlarına nanopartikül ilavesinin motor performansı, yanma ve egzoz emisyonları üzerine etkileri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır [3, 5, 9, 15]. Nanopartiküllerin yüksek yüzey alanı/hacim oranı, karışım yakıtın ısı iletim miktarını arttırmaktadır. Silindir içerisine püskürtülen yakıt damlacıkları bünyesinde bulunan nanopartiküller ikincil yakıt atomizasyonu oluşturarak daha küçük zerrelere ayrılmasına yardımcı olmaktadır. Böylece, yakıtın buharlaşmasına katkı sağlamakta, daha homojen yakıt hava karışımı oluşturmada ve yakıtın reaktivitesini arttırmaktadır [16-19].

Shekofteh vd. dizel, biyodizel ve biyoetanol harmanına fonksiyonel MWCNTs-OH katkısının dizel motor performansına etkisini incelemişlerdir. Üçlü yakıt karışımına katkı maddesi ilavesinin motor torkunu iyileştirdiğini bildirmişlerdir [15]. Solmaz vd. dizel-biyodizel harmanına MWCNT katkısının direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda performans, yanma ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Biyodizel karışım yakıtına 100 ppm dozajda MWCNT ilavesinin yakıt özelliklerini ve silindir içi yanma reaksiyonlarını geliştirdiğini bildirmişlerdir. Bu sayede, motor performansının iyileştiğini vurgulamışlardır [20]. Alenezi vd. biyodizel-dizel karışım yakıtına 50, 100 ve 150 ppm dozda MWCNT ilavesinin tek silindirli bir dizel motorun yanma özelliklerine ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. 50 ppm MWCNT ilavesinin silindir içi sıcaklığı üzerinde daha etkili olduğu ve maksimum silindir içi basıncı sağladığını bildirmişlerdir [21]. Xuan vd. jatropha biyodizel ve n-heptanol karışım yakıtına farklı dozajlarda MWCNT katkısının bir dizel motorda kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Karışım yakıtına MWCNT ilavesinin, jatropha-n-heptanol karışımına kıyasla silindir içi basınç ve ısı salınım hızının %4 arttığını tespit etmişlerdir [22].

Lakshmi vd. biyodizel-dizel karışım yakıtına silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) nanopartikül ve aynı dozda dağıtıcı (dispersant) ilavesinin direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda titreşim ve gürültü düzeyine etkisini araştırmışlardır. Farklı dozda (50, 75 ve 100 ppm)  $\text{SiO}_2$  katkısının farklı enjeksiyon basınçlarındaki (180, 200, 220 ve 240 bar) etkilerini inceleyen araştırmacılar, nanopartikül ve dispersant ilavesinin gürültü ve titreşimi düşürdüğünü bildirmişlerdir. En düşük gürültü ve titreşimin 75 ppm dozajda nanopartikül ile aynı oranda ilave edilen dispersant karışımı ile elde edildiğini rapor etmişlerdir [23]. Kanimozhi vd. biyodizel karışım yakıtına bakır oksit nanopartikül ilavesinin direkt enjeksiyonlu bir dizel motorun performans ve emisyonlara etkisini araştırmışlardır. Bakır oksit katkısının motor devrinden bağımsız olarak motorun yanma ve performans karakteristiklerini iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. Nanopartikül katkılı karışım yakıtın, biyodizel karışım yakıtına kıyasla yanma gürültüsünde önemli ölçüde azalma olduğunu belirtmişlerdir [24]. Bir diğer nanopartikül çalışması, El-Seesy vd. tarafından araştırılan işlevselleştirilmiş MWCNTs'lerin katkı maddesi olarak kullanılmasıdır. Biyodizel-dekanol karışımına fonksiyonel MWCNT ilavesinin, biyodizel-dekanol karışım yakıtına kıyasla daha iyi motor performansı sağladığı belirtilmiştir. Karışım yakıtına 75 ppm fonksiyonel MWCNT katkısının yanmanın başlangıcını 3 krank mili açısı kadar ilerlettiğini ifade etmişlerdir. 75 ppm nanopartikül dozajının yanma ve emisyon açısından uygun miktar olduğu sonucuna varmışlardır [25]. El-Adawy, M. dizel-biyodizel karışım yakıtına çinko oksit nanopartikül ilavesinin motor performansı ve yanma özelliklerine etkisini araştırmıştır. Farklı motor hızlarında yaptığı çalışmada, biyodizelin yanma özelliklerini iyileştirdiğini bildirmiştir. Nanopartikül ilaveli D100, B20 ve B40 karışımlarının D100, B20 ve B40 karışımlarına kıyasla daha yüksek motor torku oluştuğunu gözlemlemiştir. Ayrıca, ısı dağılımı, tutuşma gecikmesi (TG) süresi ve silindir içi basıncın iyileştiğini rapor etmiştir [26]. Pulluri vd. biyodizel karışımı (B20) ile alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) nanopartikül katkısının sıkıştırma ateşlemeli bir motorun yanma, gürültü ve titreşimi üzerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  katkılı B20 karışımının silindir içi basıncı ve ısı dağılımı önemli ölçüde iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, gürültü ve titreşimi de önemli ölçüde azalttığına vurgu yapmışlardır. B20 karışımına 80 mg/l  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve 80mg/l dispersant ilavesinin diğer karışımlara göre en iyi yanma özelliklerini sağladığı, gürültü seviyesinin de 65,535 dB(A) ile en düşük seviyede olduğunu bildirmişlerdir [27].

Karışım yakıtlara MWCNT ilavesinin yoğunluk, ısı değeri, viskozite ve setan sayısı gibi yakıt özelliklerine etkileri olduğu literatür çalışmalarında rapor edilmiştir. Buna göre, MWCNT katkısının yakıtın yoğunluğunu arttırdığı bildirilmiştir [28,29]. Bir başka çalışmada, yakıt ve yakıt karışımlarına MWCNT katkısının kinematik viskozitede artışa neden olduğu belirtilmiştir [30]. Diğer bir çalışmaya göre yakıtlara nanopartikül ilavesinin setan sayısını yükselttiği [30, 31] ve ısı değeri arttırdığı ifade edilmiştir [31-34]. MWCNT katkısının yakıtların parlama noktasını arttırdığı [34], başka bir çalışmaya göre ise azalttığı rapor edilmiştir [29]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, yakıtın ve yakıtlarda kullanılan nanopartiküllerin türüne ve özelliklerine göre gürültü, motor performansı ve yanma sürecinin iyileştirilebileceği görülmektedir. CRDI enjeksiyon sistemine sahip dizel motorlarda, MWCNT ile katkılanmış yüksek oranlı biyodizel-alkol karışım yakıtı ile ilgili çok sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle, MWCNT nanopartikül katkılı yakıt karışımlarının dizel motorlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Motor testleri, biyodizel ve n-oktanol yakıt karışımının belirli bir yüzdesine 100 ppm dozda MWCNT ilave edilerek dört farklı yük koşulu altında gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtı sadece saf halde kullanılmıştır. Elde edilen veriler analiz edilerek motor performansı, yanma ve gürültü seviyesi tartışıldı. Çalışmamızın literatürdeki bu eksikliğin giderilmesine katkı sağlayacağını düşünüyoruz.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 2.1. Test Yakıtları ve Katkı Maddeleri (Test Fuels and Additives)

Biyodizel, DP Tarımsal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir. Test yakıtlarının hazırlanmasında deneysel çalışmanın amacına uygun olarak MWCNT nanopartikülü ve n-oktanol temin edilmiştir. n-oktanol MERCK'ten satın alınmıştır ve saflığı %99'un üzerindedir. D100, B100, n-oktanol ve B95O5'in bazı fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. B95O5'in özellikleri karışım oranına göre hesaplanmıştır. Deney yakıtları Şekil 1'de gösterilmiştir.

MWCNT, Nanografi Nano Teknoloji A.Ş.'den temin edilmiş olup, özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Yüzey aktif maddeler nanoyakıtın pH'ını etkilediği için nanopartikül süspansiyonunu iyileştirebilmektedirler [25]. MWCNT'nin yakıt karışımındaki stabilitesi için yüzey aktif madde olarak Sodyum Dodesil Sülfat (SDS) temin edilmiştir.

**Tablo 2.** MWCNT'nin özellikleri (Properties of MWCNT)

Parametreler	
Kimyasal formülü	C
Saflık (%)	>92
İç-diş çap (nm)	5-10
Uzunluk (µ)	1-3
Gerçek yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,4
Spesifik yüzey alanı (cm <sup>2</sup> /g)	290
Görünüm	Katı, siyah

### 2.2. Deney Düzenegi (Experimental Setup)

Literatür incelendiğinde, motor performansı açısından en uygun MWCNT dozunun, 100 ppm olduğu rapor edilmiştir. Sunil vd., Gad vd. yaptığı çalışmalarda motor performansı, yanma ve egzoz emisyonları açısından optimum CNT miktarının 100 ppm olduğu

belirtmişlerdir [35, 36]. Bu nedenle, çalışmaya 100 ppm MWCNT nanopartikülünün eklenmesine karar verilmiştir. Nanopartikül dozajı dört haneli hassas terazi ile ölçülmüştür.

Deneysel çalışmada, D100, B100, B95O5 ve B95O5100MWCNT içeren dört farklı test yakıtı kullanılmıştır. Nanopartikülün yakıt içerisinde topklanmasını önlemek ve homojen bir dağılım sağlamak amacıyla ultrasonikatör ile 30 dakika süreyle karıştırılmıştır. Şekil 2'de banyo tip ultrasonik karıştırıcı gösterilmiştir.



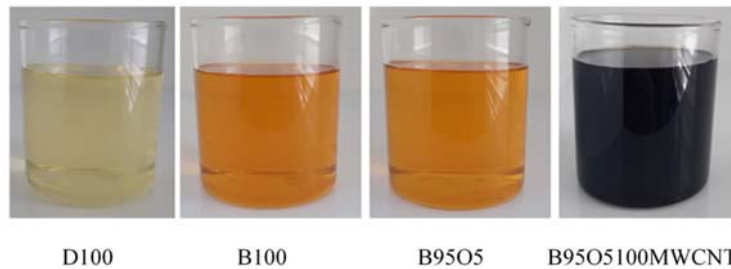
**Şekil 2.** Ultrasonik karıştırıcı (Ultrasonicator)

Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3'te gösterilmiştir. Test düzeneği tek silindri CRDI bir dizel motor, girdap akımı dinamometresi, elektronik kontrol ünitesi (ECU), hava-yakıt ölçüm üniteleri, motor yağı ve soğutma suyu şartlandırıcılarından oluşmaktadır. Deney motoru su soğutmalı olup, yardımcı sistemle şartlandırılarak yağ ve su sıcaklığı sabit tutulmaktadır. Tablo 3'te test ekipmanları ve doğrulukları verilmiştir. Deney motorunun teknik özellikleri ise Tablo 4'te verilmiştir.

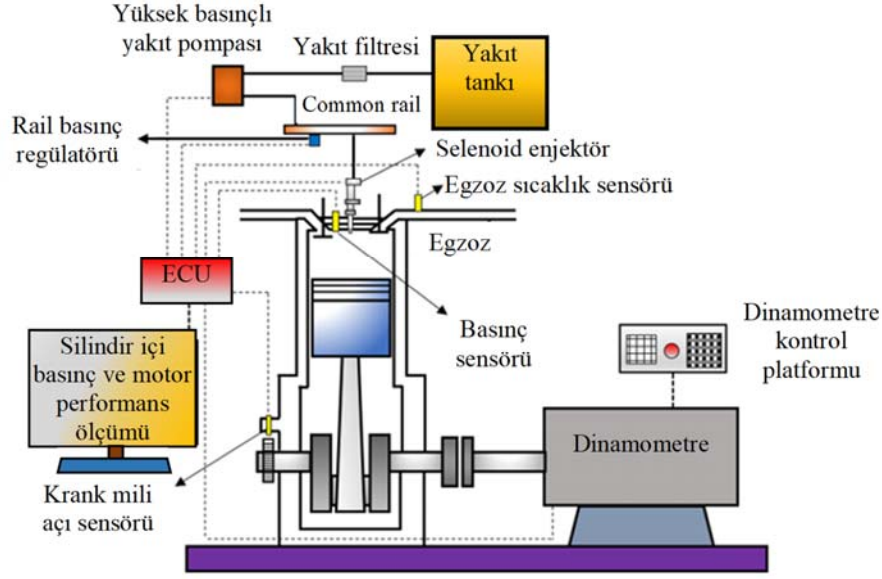
Testlere başlamadan önce motor yağı, soğutma suyu ve yakıt sıcaklıkları, sırasıyla 90°C, 70°C ve 20°C'ye şartlandırma ünitesi tarafından ulaştırılmıştır. Daha sonra motor, rejim sıcaklığına ulaşana

**Tablo 1.** Biyodizel ve n-oktanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri (Physical and chemical properties of biodiesel and n-octanol)

Parametreler	D100	B100	n-Oktanol	B95O5
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	820-845	883,70	830	881,02
Setan numarası	≥ 51	51,30	-	50,7
Alt ısı değer (MJ/kg)	42,612	39,54	39,55	39,54
Viskozite (mm <sup>2</sup> /s at 40°C)	2-4,5	4,367	5,6	-
Parlama noktası (°C)	≥55	171	86	-
Soğukta filtre tıkanma noktası (°C)	-	-2	-	-
Sülfür (mg/kg)	-	6,20	-	-
İyot değeri (g Iodine/100g)	-	109	-	-
Su içeriği (%)	0,02	0,020	-	-
Kaynama noktası (°C)	160	-	195	-



**Şekil 1.** Deney yakıtlarının görünümü (Appearance of experimental fuels)



Şekil 3. Deneş düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of the experimental setup)

Tablo 3. Test ekipmanları ve doğrulukları (Testing equipment and their accuracy)

Ölçüm	Ekipman	Doğruluk
Tork	HBM tork flanşı	$\pm 0,1\%$
Motor hızı	AVL enkoder	$\leq \pm 0,1$ CA
Enjeksiyon zamanlaması	Açı enkoder	$\pm 0,1$ CA
Silindir içi basınç	AVL Xion	0,05CA
Motor soğutma suyu ve yağ şartlandırıcısı	AVL-577	$\pm 1$ K
Yakıt tüketimi	AVL-735	$< 0,15\%$
Sıcaklık sensörleri	PT100 (K tipi)	$< \pm 1\%$

Tablo 4. Deneş motorunun teknik özellikleri (Technical specifications of the experimental engine)

Motor tipi	4 zamanlı, tek silindirli, sıkıştırma ile ateşlemeli
Motor hacmi	1120 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma oranı	16,4:1
Maksimum güç (1500 rpm)	50 kW
Maksimum tork (1400 rpm)	160 Nm
Yakıt sistemi	CRDI-1800 bar
Emme ve egzoz supap sayısı	2, 1

kadar çalıştırılmıştır. Dizel yakıtla yapılan ön deneylerde motorun maksimum torka 1500 rpm'de ulaştığı belirlenmiştir. Deneyler 1500 rpm sabit devirde ve dört farklı yükte (%25, %50, %75 ve %100) yapılmıştır. Deneşsel verilerin doğruluğu için her test üç kez tekrarlanmıştır. Bu çalışmada yük, test motorunun pedal konumunu temsil etmektedir. Tam yük, pedalın tam gaz konumunda olduğu anlamına gelir. Test sistemi, yakıt enjeksiyon zamanlamasını ve basınç haritalarını farklı yük ve hız koşullarına göre otomatik olarak ayarlamaktadır. Örneğin, bu test motorunda yakıt sistemi 1500 rpm motor devrinde ve %50 yük şartlarında 16 krank mili açısı (KMA), %75 yük şartlarında ise 17 KMA püskürtme zamanlamasına göre çalışmaktadır. Aynı zamanda enjeksiyon basıncı %50 yükte 900 bar iken, %75 yükte 1300 bar'a ulaşmaktadır.

### 3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

#### 3.1. Fren Torku (Brake Torque)

Şekil 4'te belirli bir gaz konumuna göre motor torkunun farklı yakıt türlerindeki değişimi gösterilmiştir. Tüm yakıt çalışmalarında yük

artışıyla birlikte motor torkunda artış gözlemlenmiştir. Örneğin, B100'ün %25, %50, %75 ve %100 yükteki tork değerleri sırasıyla, 23,626, 36,218, 62,687 ve 88,207 Nm'dir. Bu yükselme, yük artışıyla silindir içerisine daha fazla miktarda yakıtın püskürtülmesinden kaynaklanmaktadır. Bütün yakıtlar için, motor yükünün her bir yüzdesinde silindir içerisine hacimsel olarak eşit miktarda yakıt gönderilmektedir. Dolayısıyla, yakıtların ısı değerlerinin farklı oluşu, aynı yük yüzdesinde farklı tork değerleri sergilemesine neden olmuştur. B100, B95O5 ve B95O5100MWCNT ile elde edilen ortalama motor torku, D100'e göre sırasıyla %14,3, %17,1 ve %16,05 azalmıştır.

Çalışmada elde edilen maksimum tork, D100 ile tam yük şartlarında 103,78 Nm iken, en düşük B95O5 ile %25 yükte 21,82 Nm'dir. Tüm yük şartlarında D100 ile elde edilen tork değerlerinin, diğer yakıtlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun temel nedeni, D100'ün diğer test yakıtlarından daha yüksek enerji içeriğine sahip olmasıdır [37, 38]. Yakıtların yoğunluklarının yüksek olması, yüzey gerilimini arttırmaktadır [39]. Yüzey geriliminin yüksek olması yakıt atomizasyonunu olumsuz yönde etkilemektedir. Test motorunun

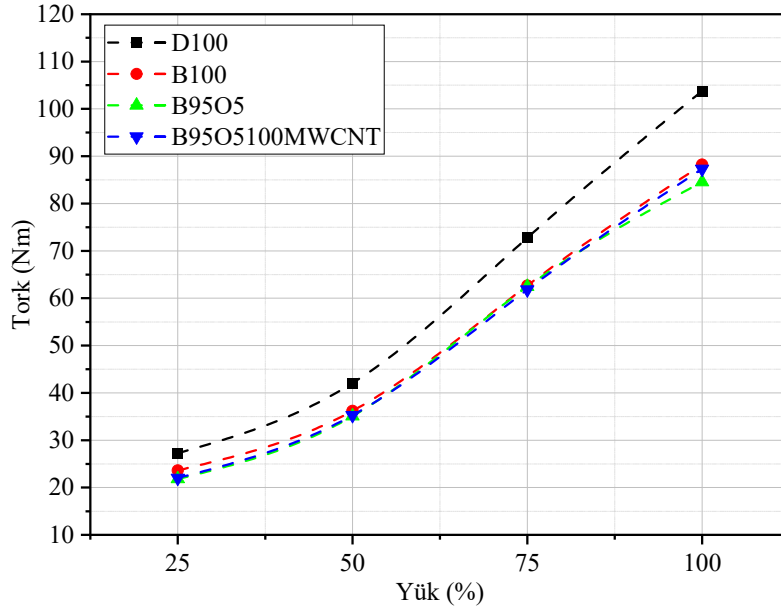
püskürtme basıncı ve enjeksiyon stratejisi, D100 yakıt özelliklerine göre belirlenmiş basınç haritalarına göre çalışmakta, farklı motor hızı ve yüküne bağlı olarak ECU tarafından optimize edilmektedir. D100'e göre optimize edilmiş püskürtme basıncının farklı viskozite ve yoğunluğa sahip yakıtlar için yetersiz olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla, test yakıtlarının yoğunlukları ve viskozitelerinin D100'e göre yüksek olması, püskürtülen yakıtın atomizasyon kalitesini kötüleştirir. Zayıf yakıt atomizasyonunun ise tork değerlerindeki azalmaya katkı sağladığı düşünülmektedir.

B100, B95O5 ve B95O5100MWCNT'den elde edilen torkun genellikle birbirine yakın olduğu görülmüştür. B95O5'e nanopartikül ilavesi ile torkta bir miktar artış gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Katkı maddesi olarak MWCNT'lerin yüksek termal iletkenlik özelliği ve

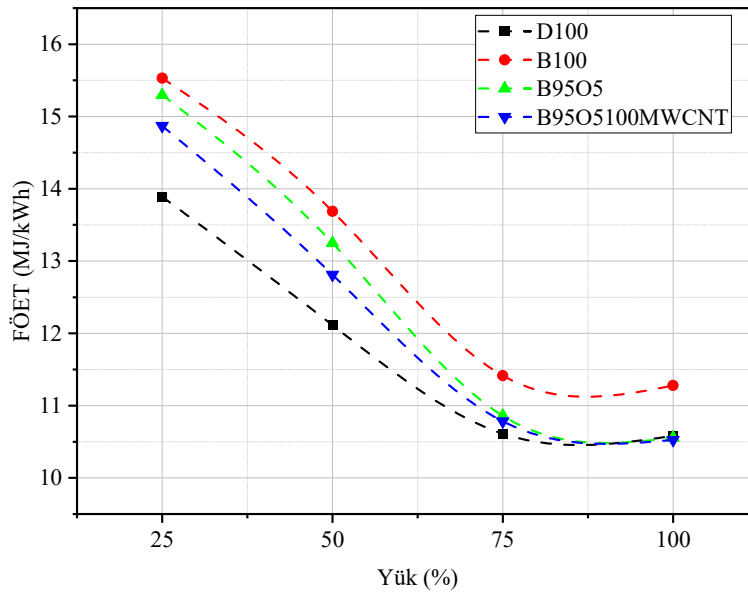
ikincil atomizasyon etkileri, yakıt damlacıklarının hızlı bir şekilde buharlaşmalarına sebep olmaktadır [40]. MWCNT'lerin bu özelliği, hava-yakıt karışımının homojenliğine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, TG süresini de bir miktar kısaltmaktadır. Homojen hava-yakıt karışımının etkisiyle kısalan TG süresi [41], yanma sürecini iyileştirmektedir. Bu etkilerin, torku artırdığı düşünülmektedir.

### 3.2. Fren Özgül Enerji Tüketimi (Brake Specific Energy Consumption)

FÖET birim zamanda birim efektif güç başına sarf edilen enerjidir [42]. Şekil 5'te motor yüküne bağlı olarak FÖET değişimi görülmektedir. Motor yükünün artışıyla birlikte, tüm test yakıtları için FÖET'nin azaldığı belirlenmiştir. Örneğin, D100'ün %25, %50, %75



Şekil 4. Motor torkunun yüküne bağlı değişimi (Variation of engine torque depending on load)



Şekil 5. Fren özgül enerji tüketiminin motor yüküne bağlı değişimi  
(Variation of brake specific energy consumption depending on engine load)

ve tam yükteki FÖET'si sırasıyla, 13,89, 12,11, 10,61 ve 10,58 MJ/kWh'tır. Silindir içi sıcaklıklarındaki artış, motor yükü ile doğru orantılıdır. Yükün artışıyla birlikte silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarı artmaktadır. Yanma işlemine daha fazla miktarda yakıtın dahil olması, silindir içi sıcaklıklarını arttırmaktadır. Ayrıca, yüke bağlı olarak ECU tarafından değiştirilen püskürtme basıncı, yakıt atomizasyonunu iyileştirdiğinden yanma sürecini de geliştirmektedir [28]. Bu etkilerin FÖET'yi azalttığı düşünülmektedir.

Maksimum FÖET B100 ile elde edilirken, minimum FÖET B95O5100MWCNT ile sağlanmıştır. B100'ün ısısal değerinin D100'e göre düşük olmasının yanı sıra viskozitesinin de yüksek oluşu, FÖET'yi arttırmaktadır [41]. D100 ile kıyaslandığında diğer test yakıtlarının ortalama FÖET değerleri B100 için %10, B95O5 için %5,58 ve B95O5100MWCNT için %3,79 artış göstermiştir. B95O5100MWCNT'nin FÖET değerleri, B100 ve B95O5'e göre iyileşmiştir. Biyodizel karışımında MWCNT varlığı, yüksek yüzey alanı/hacim oranı sayesinde yakıtın reaktivitesini artırmaktadır [43,44]. Artan reaktivite ise motor yüküne bağlı olarak yakıtın TG süresini kısaltmaktadır. Ayrıca, MWCNT'nin yanma hızını artırdığı Chen vd. tarafından yapılan çalışmada bildirilmiştir [45].

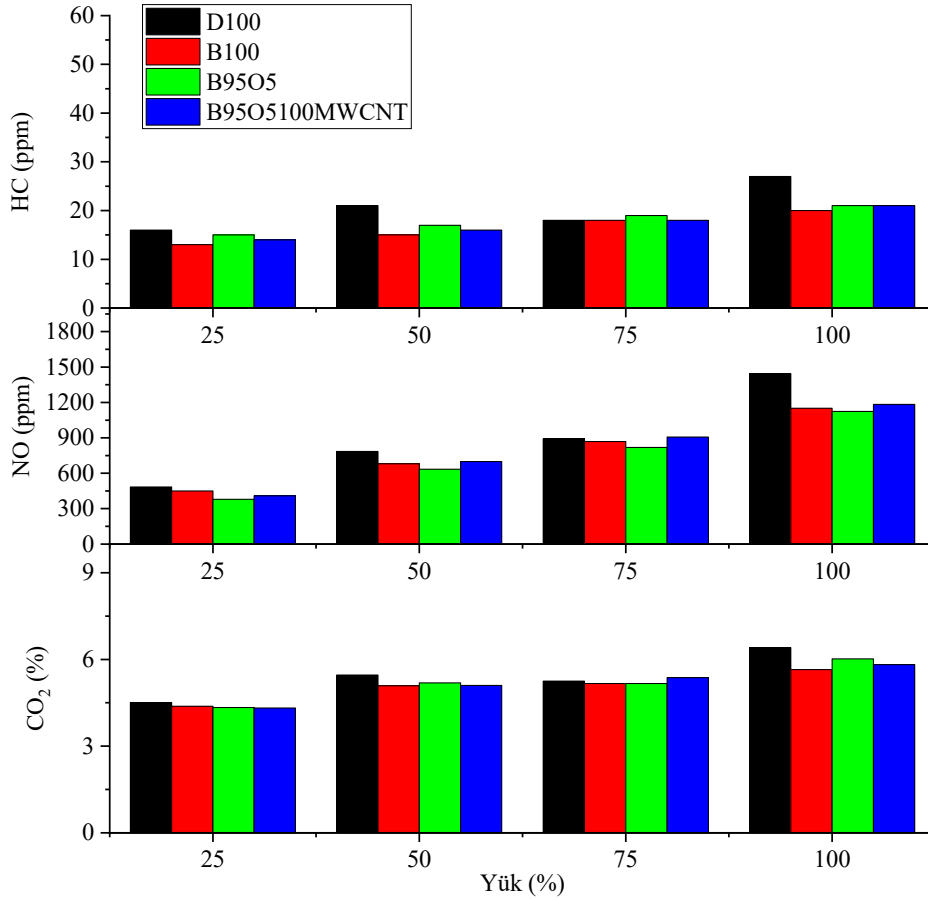
### 3.3. Yanma Verimi (Combustion Efficiency)

Tam yanma reaksiyonu sonucunda meydana gelen ürünlerin oluşum entalpilerinin toplamı yakıtın ısısal değerine eşittir. Yanma işlemi sonucunda eksik yanma ürünleri meydana geldiğinde, yakıtın tüm enerjisi açığa çıkmamaktadır. Egzoz emisyonlarında HC, CO ve NO

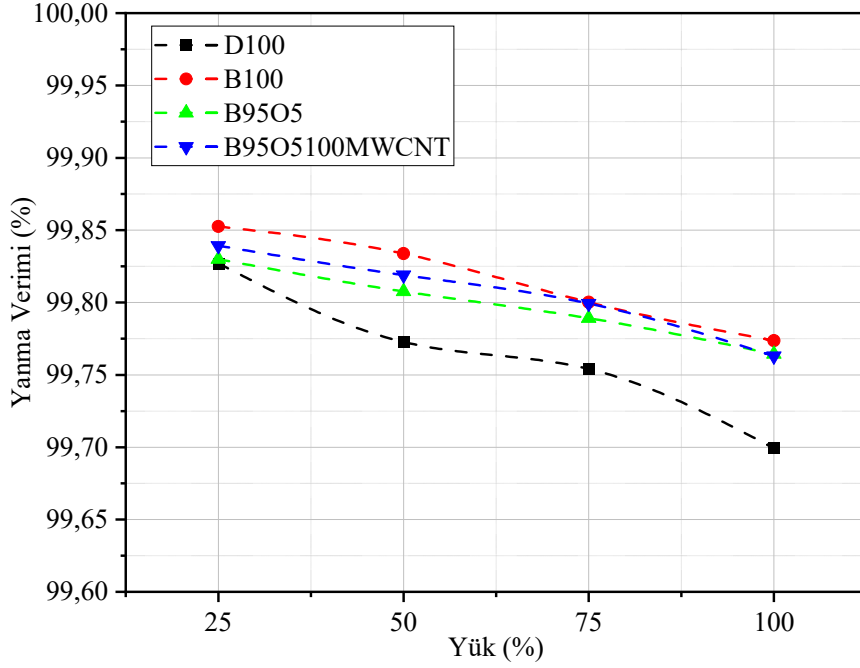
gibi bileşiklerin konsantrasyonlarındaki artış yanma verimini düşürmektedir [46]. Yakıtın alt ısısal değeri ile yanma reaksiyonu sonunda açığa çıkmayan enerji farkının, yakıtın alt ısısal değerine oranı yanma verimi olarak tanımlanmaktadır. Şekil 6'da yüke bağlı egzoz emisyonlarının değişimi verilmiştir. Motor yükü arttıkça D100, B100, B95O5 ve B95O5100MWCNT yakıtlarının HC ve NO emisyonları artmaktadır.

Şekil 7'de motor yüküne bağlı yanma verimi gösterilmiştir. Deney motorunun püskürtme basıncının yüksek olması, genel olarak tüm test yakıtları için yüksek yanma verimi sağlamıştır. Yük miktarı arttıkça tüm test yakıtları için yanma veriminin azaldığı belirlenmiştir. Artan yük ile birlikte, silindir içerisine daha fazla yakıt püskürtülmektedir. Düşük yüklerle kıyasla, yüksek yüklerde püskürtülen yakıtın daha fazla HC ve NO oluşturması yanma verimini düşürmektedir.

Yanma verimindeki ortalama yüzde değişimler D100 ile karşılaştırıldığında, B100 için %0,05, B95O5 için %0,03 ve B95O5100MWCNT için %0,04 artış kaydedilmiştir. En yüksek yanma verimi %99,85 ile B100 ile elde edilmiştir. En düşük yanma verimi ise D100 ile yaklaşık %99,70'tir. B100 ve B95O5'in oksijen içeriği yanma performansını iyileştirdiğinden dolayı D100'e göre yanma verimi daha yüksektir [47]. B95O5'in yanma verimi, MWCNT katkısı ile artırılmaktadır. Muhtemelen, nanopartiküllerin yüksek yüzey alanı/hacim oranının etkisiyle artan ısı iletkenliği, yakıtın daha hızlı buharlaşmasını ve homojen karışım oluşumunu sağlamaktadır [48]. Homojen karışım sayesinde yakıt, daha fazla oksijenle yanma sürecine iştirak ettiği için yanma verimi yükselmiştir.



Şekil 6. Motor yüküne bağlı egzoz emisyonları (Exhaust emissions depending on engine load)



Şekil 7. Yanma veriminin motor yüküne bağlı değişimi (Variation of combustion efficiency depending on engine load)

#### 3.4. Silindir Gaz Basıncı ve Isı Dağılımı (Cylinder Gas Pressure and Heat Release Rate)

%50 yük şartlarında ve sabit hızda tüm test yakıtlarının KMA'ya bağlı olarak silindir gaz basıncının değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir. D100'ün maksimum silindir içi gaz basıncının diğer test yakıtlarından daha yüksek olduğu görülmüştür. D100'ün maksimum silindir gaz basıncı 110,31 bar iken, B100 105,83 bar, B95O5 159,36 bar ve B95O5100MWCNT 158,09 bar olarak ölçülmüştür. CRDI motor, D100 yakıt özelliklerine göre ayarlanmış basınç ve avans haritalarına göre çalışmaktadır. Püskürtme basınç ve avansı, motorun farklı hız ve yük şartlarına göre ECU tarafından optimize edilmektedir. Ayrıca, D100'ün ısı değerinin yüksek oluşu ve yüksek enjeksiyon basıncının sağladığı iyileştirilmiş hava-yakıt karışımı, diğer karışım yakıtlardan daha yüksek maksimum silindir gaz basıncı sergilemesine katkı sağlamıştır [49].

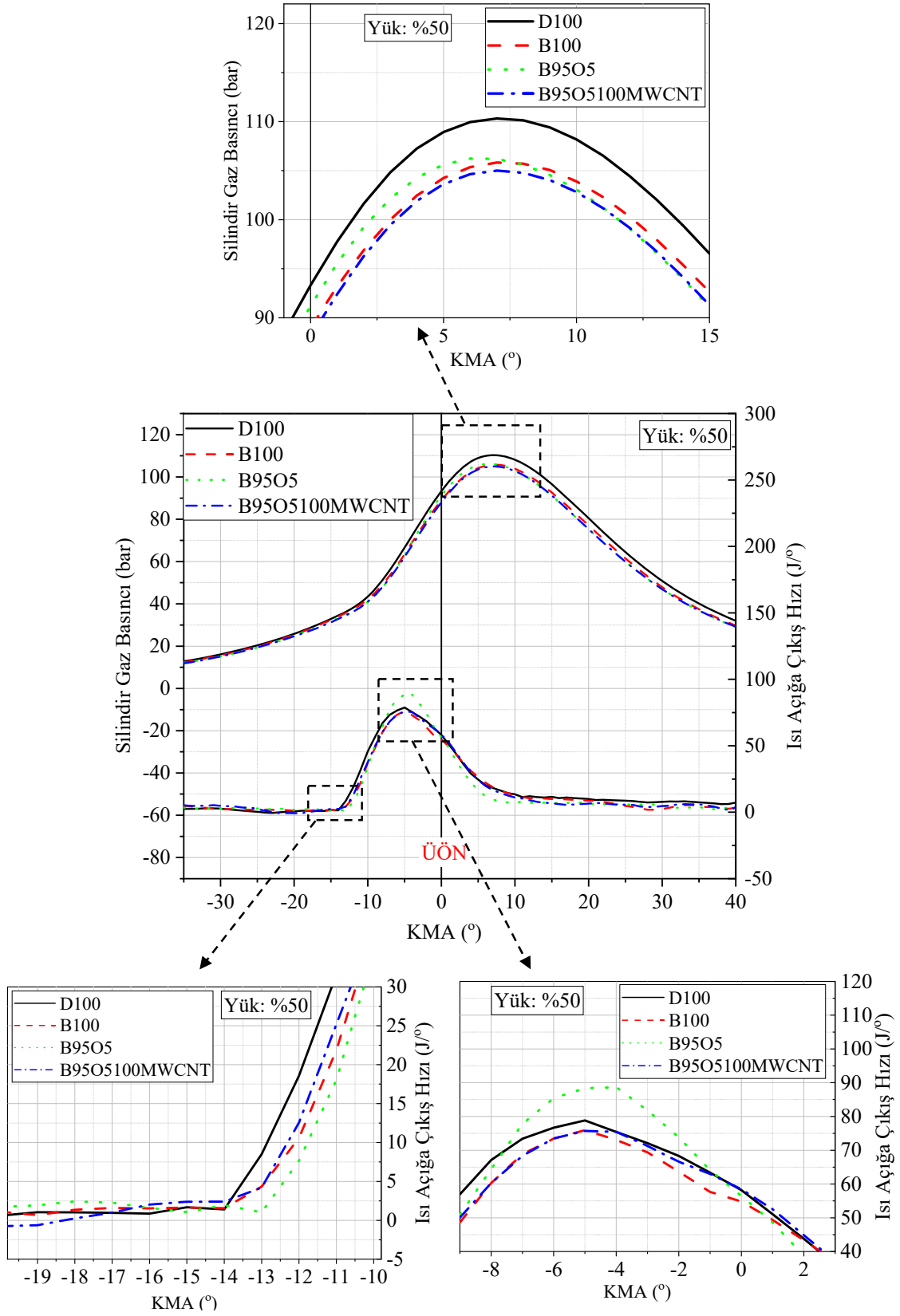
Maksimum silindir gaz basınçlarının konumu üst ölü noktaya (ÜÖN) ideal bir uzaklıkta olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, yakıtın iyi bir şekilde atomize olduğunu işaret etmektedir [50]. D100, B100 ve B95O5100MWCNT'nin maksimum silindir gaz basınçlarının konumu ÜÖN'den sonra 7 KMA iken, B95O5 için 6 KMA'dır. B95O5, B100 ve B95O5100MWCNT'den daha yüksek silindir gaz basıncı sergilemiştir. Silindir içi sıcaklıklarının artması, B95O5'in daha hızlı buharlaşmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. Ancak, B100'ün yüksek yoğunluğu, yakıtın atomizasyonu üzerinde olumsuz etkisi nedeniyle silindir gaz basıncı azalmıştır. Yakıt karışımına eklenen MWCNT, nano yakıtın yanma hızını arttırmaktadır. Bu etkiler, silindir gaz basıncının düşmesine neden olmaktadır. Literatür incelendiğinde benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir [51].

#### 3.5. Motor Gürültüsü (Engine Noise)

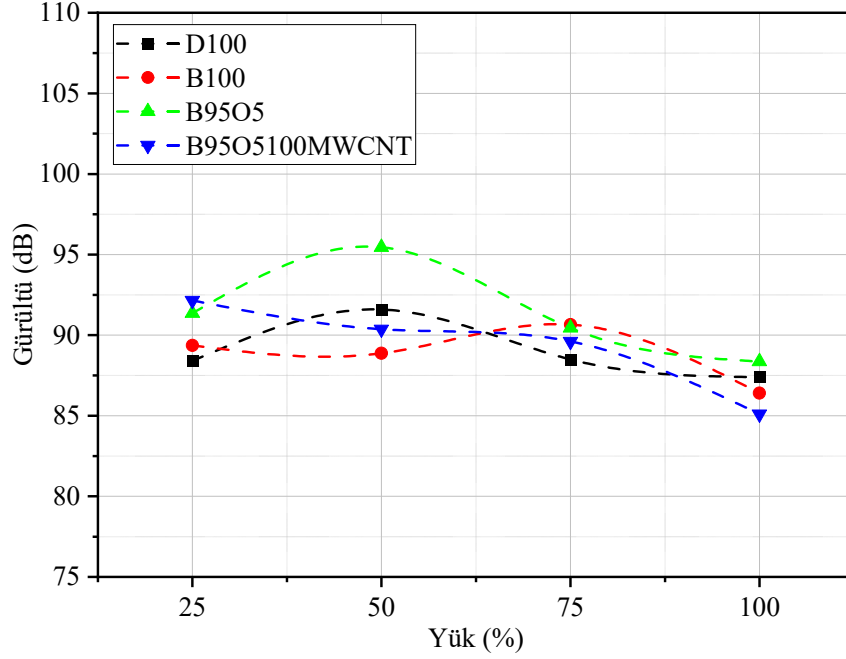
Motor gürültüsü genellikle yanma olayından, motorun mekanik bileşenlerinden ve aerodinamik etkilerden (hava girişi, egzoz ve fan) oluşmaktadır [52]. Silindir gaz basıncı, ısı dağılımı, yanma hızı ve TG süresi motor gürültüsünün oluşumuna önemli etkisi olan yanma

özellikleridir [53]. Şekil 9'da yüke bağlı motor gürültüsü gösterilmiştir. Motor yükünün artırılması, genellikle tüm test yakıtları için motor gürültüsünü azaltmıştır. Örneğin, B95O5100MWCNT'nin %25, %50, %75 ve tam yükteki gürültü düzeyi sırasıyla, 92,152, 90,372, 89,617 ve 85,109 dB'dir. Test motoru, CRDI sistemi ile donatılmıştır. Bu sistemde püskürtme karakteristikleri, motor hızına ve yük durumuna göre ECU tarafından değiştirilmektedir. Dolayısıyla püskürtme zamanlaması, çalışma şartlarında bağlı olarak ECU'ya programlanmış olan avans haritalarına göre arttırılmakta veya azaltılmaktadır. Örneğin, bu deney motorunda 1500 rpm sabit hızda %25, %50, %75 ve tam yük şartlarındaki püskürtme zamanlaması sırasıyla 15, 16, 17 ve 18 KMA'dır. Motor gürültü düzeyi yanma hızından da etkilenmektedir. Muhtemelen, yanma hızı ve püskürtme zamanlamasının değişimi, vuruntulu yanma eğilimini azaltmakta ve gürültü düzeyini düşürmektedir. Ayrıca, yük arttıkça TG süresi kısalmakta ve gürültü düzeyinin azalmasına katkı sağlamaktadır [54]. En yüksek motor gürültüsü %50 yükte B95O5 ile 95,453 dB iken, en düşük gürültü seviyesi MWCNT ilavesi ile tam yük şartlarında 85,103 dB olarak ölçülmüştür. B95O5 gürültü düzeyinin yüksek olması diğer test yakıtlarına kıyasla daha yüksek ısı dağılımı sergilemesinden kaynaklanmaktadır [55]. D100'e kıyasla diğer test yakıtlarının gürültü seviyelerinin % değişimi B100 için %0,16 düşerken, B95O5 için %2,74 ve B95O5100MWCNT için %0,38 artmıştır. B100'ün daha düşük gürültü düzeyi setan sayısının ve oksijen içeriğinin yüksek olmasının bir sonucu olarak daha verimli yanma ile birlikte vuruntunun azalmasından kaynaklanmaktadır [56]. Genel olarak B95O5 ile çalışmada diğer test yakıtlarına kıyasla daha yüksek gürültü düzeyi ölçülmüştür. B95O5'in TG süresinin daha uzun olması, yanmamış yakıt birikimine neden olmaktadır. Biriken yakıtın ani yanması daha yüksek gürültü düzeyine neden olmuştur [57]. MWCNT ilavesi ile yanma gürültüsü D100'e yaklaşmıştır. MWCNT katkısı, daha kısa TG süresi sağlamış ve daha az yakıt biriminden oluşmuştur. MWCNT, yakıtın reaktivitesini artırarak daha verimli yanma sağlamıştır. Ayrıca, silindir gaz basıncı ve ısı dağılımının maksimum değerleri azalmıştır. Belirtilen bu etkilerin bir sonucu olarak, gürültü düzeyi azalmıştır [4, 5, 58].





Şekil 8. %50 yükte silindir gaz basıncı ve ısı dağılımı (Cylinder gas pressure and heat release rate at 50% load)



Şekil 9. Gürültü düzeyinin motor yüküne bağlı değişimi (Change of noise level depending on engine load)

#### 4. Kısaltmalar (Abbreviations)

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum oksit
B20	: %80 dizel + %20 biyodizel
B40	: %60 dizel + %40 biyodizel
B95O5	: %95 dizel + %5 n-Oktan
B100	: %100 biyodizel
B95O5100MWCNT	: B95O5 + 100ppm MWCNT
CO	: Karbonmonoksit
CRDI	: Common rail direct injection
D100	: %100 dizel
dB	: Desibel
ECU	: Elektronik kontrol ünitesi
EGR	: Egzoz gazı resirkülasyonu
FÖET	: Fren özgül enerji tüketimi
HC	: Hidrokarbon
KMA	: Krank mili açısı
MWCNT	: Çok duvarlı karbon nanotüp
NO	: Azot monoksit
rpm	: Dakikadaki devir adedi
ppm	: Milyonda bir birim
SDS	: Sodyum dodesil sülfat
SiO <sub>2</sub>	: Silikon dioksit
TG	: Tutuşma gecikmesi
ÜÖN	: Üst ölü nokta

#### 5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, D100, B100, B95O5 ve B95O5100MWCNT test yakıtları olarak kullanılmıştır. MWCNT katkısının CRDI dizel bir motorda 1500 rpm sabit hızda dört farklı yük koşulunda (%25, %50, %75 ve %100) motor performansı, yanma ve motor gürültüsü üzerine etkisi araştırılmıştır. Araştırmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- MWCNT ile çalışmada, tüm yük koşullarında maksimum tork değerleri D100 ile elde edilmiştir. B100 ve B95O5'in ısı değerlerinin düşük olması nedeniyle daha düşük tork değerleri

sergilemiştir. MWCNT katkılı karışım yakıtın tork değerlerinde B95O5'e göre kısmi bir iyileşme gözlenmiştir.

- FÖET'de D100 ile en düşük değerlere sahiptir. B95O5, D100'e en yakın FÖET'i sergilemiştir. D100'e en yakın FÖET, B95O5100MWCNT çalışmasında elde edilmiştir.
- En yüksek yanma verimi B100 ile elde edilirken, en düşük yanma verimi D100 ile elde edilmiştir. Karışım yakıtına MWCNT ilavesi, yanma verimini arttırmıştır.
- Maksimum silindir gaz basıncı D100 ile meydana gelmiştir. Maksimum ısı dağılımı, B95O5 ile sağlanırken, minimum ısı dağılımı B100 ve B95O5100MWCNT ile oluşmuştur.
- Motor gürültü düzeyi B95O5 ile en yüksek seviyelerdedir. B95O5'e MWCNT ilavesi gürültü düzeyini azaltmıştır. Genel olarak B100, en düşük gürültü düzeyine sahiptir.

Sonuçlara göre, genel olarak CRDI dizel motorların motor performansı, yanma ve gürültü özellikleri, alternatif yakıt olarak kullanılacak biyodizel-n-oktanol karışımına MWCNT ilave edilerek iyileştirilebilmektedir. Bu karışım yakıtlar, dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir.

Pilot enjeksiyon sistemli CRDI motorlarda farklı enjeksiyon stratejileri (enjeksiyon basıncı ve avansı) uygulanarak MWCNT katkılı yakıtların atomizasyon ve yanma davranışları üzerine daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Benzer çalışmaların egzoz gaz resirkülasyonu (EGR), aşırı doldurma, partikül filtresi ve seçici katalitik indirgeme (SCR) gibi sistemlere sahip günümüz motorları için de yapılması gerekmektedir.

#### Kaynaklar (References)

- Chetia B., Debbarma S., Das B., An Experimental Investigation of Hydrogen-Enriched and Nanoparticle Blended Waste Cooking Biodiesel on Diesel Engine, International Journal of Hydrogen Energy, In press, 2023.
- Aslan F.B., Mürtezoğlu K., Melikoğlu M., Techno-economic analysis and calculation of environmental impacts of biodiesel production from animal fat wastes in Turkey, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 39 (4), 2077-2090, 2024.

3. Vellaiyan S., Subbiah A., Chockalingam P., Combustion, Performance, and Emission Analysis of Diesel Engine Fueled with Water-Biodiesel Emulsion Fuel and Nanoadditive, *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 33478-33489, 2018.
4. Shariff S.H., Vadapalli S., Sagari J., Influence of FeCl<sub>3</sub> Nanoparticle Dispersion in Cassia fistula Biodiesel Blend on the Analysis of Vibration and Noise Intensity of a Diesel Engine, *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 10, 1531-1539, 2022.
5. Sanatha K., Bhatti S.K., Jaikumar S., Influence of ZnO Nanoparticle Dispersed Baheda Oil Biodiesel Blend in Variable Compression Ratio Diesel Engine: Vibration and Noise Assessment, *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*, 102, 941-949, 2021.
6. Krishna A.M., Salam P.A., Tongroon M., Chollacoop N., Performance and Emission Assessment of Optimally Blended Biodiesel-Diesel-Ethanol in Diesel Engine Generator, *Applied Thermal Engineering*, 155, 525-533, 2019.
7. Nagappan B., Devarajan Y., Kariappan E., Philip S.B., Gautam S., Influence of Antioxidant Additives on Performance and Emission Characteristics of Beef Tallow Biodiesel-Fueled C.I Engine, *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 12041-12055, 2021.
8. Şimşek F., Investigation of the effects of ultrasonic bath application on the characteristic properties of biodiesel obtained from hazelnut oil, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39 (3), 1583-1595, 2024.
9. Gundoshmian T.M., Heidari-Maleni A., Jahanbakhshi A., 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, 119525, 2021.
10. Demirtaş G., Balki M.K., Sayın C., Effects of a CRDI Engine Running on Biodiesel, n-Octanol and Nanoparticle Blended Nanofuel on Performance, Emissions and Combustion, *Arabian Journal for Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s13369-023-08266-x>, 2023.
11. Hoang A.T., Le M.X., Nizeic Z., Huan, Z., Ağbulut Ü., Veza I., Said Z., Le A.T., Tran V.D., Nguyen X.P., Understanding Behaviors of Compression Ignition Engine Running on Metal Nanoparticle Additives-Included Fuels: A Control Comparison Between Biodiesel and Diesel Fuel, *Fuel*, 326, 124981, 2022.
12. Jaikumar S., Srinivas V., Rajasekhar M., Influence of Dispersant Added Nanoparticle Additives with Diesel-Biodiesel Blend on Direct Injection Compression Ignition Engine: Combustion, Engine Performance, and Exhaust Emissions Approach, *Energy*, 224, 120197, 2021.
13. Atabani A.E., Kulthoom A.S., Spectral, Thermoanalytical Characterizations, Properties, Engine and Emission Performance of Complementary Biodiesel-Diesel-Pentanol/Octanol Blends, *Fuel*, 282, 118849, 2020.
14. Ashok B., Nanthagopal K., Anand V., Aravind K.M., Jeevanantham A.K., Balusamy S., Effects of n-Octanol as a Fuel Blend with Biodiesel on Diesel Engine Characteristics, *Fuel*, 235, 363-373, 2019.
15. Shekofteh M., Gundoshmian T.M., Jahanbakhshi A., Heidari-Maleni A., 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, 2020.
16. Ealias A.M., Saravanakumar M.P., A Review on the Classification, Characterisation, Synthesis of Nanoparticles and Their Application. 14<sup>th</sup> ICSET IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 263, 032019, 2017.
17. Soudagar M.E.M., Nik-Ghazali N.N., Kalam M.A., Badruddin I.A., Banapurmath N.R., Akram N., The Effect of Nano-Additives in Diesel-Biodiesel Fuel Blends : A Comprehensive Review on Stability, Engine Performance and Emission Characteristics. *Energy Conversion and Management*, 178, 146-177., 2018.
18. Sezer İ., Effect of nano materials additives on fuel properties and combustion characteristics, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1) 115-136, 2019.
19. Sürer E., Solmaz H., Yılmaz E., Calam A., İpci D., Investigation of the effect of carbon nanotube addition to diesel biodiesel blend on engine performance and exhaust emissions, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (2), 1055-1064, 2023.
20. Solmaz H., Calam A., Yılmaz E., Şahin F., Ardebili S.M.S., Aksoy F., Evaluation of MWCNT as Fuel Additive to Diesel-Biodiesel Blend in a Direct Injection Diesel Engine, *Biofuels*, 14, 147-156, 2022.
21. Alenezi R.A., Norkhizan A.M., Mamat R., Erdiwansyah, Najafi G., Mazlan M., Investigating The Contribution of Carbon Nanotubes and Diesel-Biodiesel Blends to Emission and Combustion Characteristics of Diesel Engine, *Fuel*, 285, 119046, 2021.
22. Xuan T., Abdullah A.S., He Z., Mujtaba M.A., Veza I., El-Seesy A.I., Enhancement of the Applicability of Jatropha Biodiesel in a Diesel Engine Using n-Heptanol and Multiwalled Carbon Nanotube Additives, *International Journal of Ambient Energy*, <https://doi.org/10.1080/01430750.2023.2224336>, 2023.
23. Lakshmi R.V., Jaikumar S., Srinivas V., Rajasekhar M., Vibration and Noise Study on the Direct Injection Compression Ignition Engine Running with Nanoparticle Dispersed Abrus Precatorius Biodiesel Blend, *Silicon*, 14, 4887-4897, 2022.
24. Kanimozhi B., Karthikeyan L., Praveenkumar T.R., Alharbi S.A., Alfarraj S., Gavurova, B., Evaluation of Karanja and Safflower Biodiesel on Engine's Performance and Emission Characteristics along with Nanoparticles in DI Engine, *Fuel*, 352, 129101, 2023.
25. El-Seesy A.I., Waly M.S., El-Batsh H.M., El-Zoheiry R.M., Enhancement of the Waste Cooking Oil Biodiesel Usability in the Diesel Engine by Using n-Decanol, Nitrogen-Doped, and Amino Functionalized Multi-Walled Carbon Nanotube, *Energy Conversion Management*, 277, 116646, 2023.
26. El-Adawy M., Effects of Diesel-Biodiesel Fuel Blends Doped with Zinc Oxide Nanoparticles on Performance and Combustion Attributes of a Diesel Engine, *Alexandria Engineering Journal*, 80, 269-281, 2023.
27. Pulluri G.K., Balaram Padal K.T., Sagari J., Experimental Investigation on a Compression Ignition Engine Operating with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles and Schleicher Oleosa Biodiesel: Combustion, Vibration, and Noise Approach, *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 8, 499-509, 2023.
28. Tomar M., Kumar N., Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes and Alumina Nano-Additives in a Light Duty Diesel Engine Fueled with Schleicher Oleosa Biodiesel Blends, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100833, 2020.
29. Sateesh K.A., Yaliwal V.S., Banapurmath N.H., Soudagar M.E.M., Yunus Khan T.M., Harari P.A., El-Shafay A.S., Mujtaba M.A., Elfaskhany A., Kalam M.A., Effect of MWCNTs Nano-Additive on a Dual-Fuel Engine Characteristics Utilizing Dairy Scum Oil Methyl Ester and Producer Gas. *Case Studies in Thermal Engineering*, 42, 102661, 2023.
30. El-Seesy A.I., Hassan H., Investigation of the Effect of Adding Graphene Oxide, Graphene Nanoplatelet, and Multiwalled Carbon Nanotube Additives with n-Butanol-Jatropha Methyl Ester on a Diesel Engine Performance. *Renewable Energy*, 132, 558-574, 2019.
31. Ooi J.B., Kau C.C., Manoharan D.N., Wang X., Tran M.V., Hung Y.M., Effects of Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Combustion, Performance, and Emission Characteristics of a Single-Cylinder Diesel Engine Fueled with Palm-Oil Biodiesel-Diesel Blend. *Energy*, 281, 128350, 2023.
32. El-Seesy A.I., Waly M.S., He Z., El-Batsh H.M., Nasser A., El-Zoheiry R.M., Enhancement of the Combustion and Stability Aspects of Diesel Methanol-Hydrous Methanol Blends Utilizing n-Octanol, Diethyl Ether, and Nanoparticle Additives. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133673, 2022.
33. Atege M.R., Arslan E., Krisa D., Al-Samarrae R.R., Abut S., Ünalın S., Atabani A.E., Kahraman N., Akansu S.O., Kaya M., Sarıkoç S., Kıvrak H.D., Comparative Investigation of Multi-Walled Carbon Nanotube Modified Diesel Fuel and Biogas in Dual Fuel Mode on Combustion, Performance, and Emission Characteristics. *Fuel*, 313, 123008, 2022.
34. Ramalingam S., Babu M.N., Devarajan Y., Babu M.D., Varuvel E.G., Environmental and Energy Valuation of Wasterderived Cymbopogon Martini Methyl Ester Combined with Multi-Walled Carbon (MWCNTs) Additives in Hydrogen-Enriched Dual Fuel Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, In Press, 2023.
35. Sunil S., Chandra Prasad B.S., Kotresh M., Kakkeri S., Studies on Suitability of Multiwalled CNT as Catalyst in Combustion on a CI Engine Fueled with Dairy Waste Biodiesel Blends, *Materials Today Proceedings*, 26, 613-619, 2019.
36. Gad M.S., Abdel Aziz M.M., Kayet H., Performance, Emissions and Exergy Analyses of Adding CNTs to Various Biodiesel Feedstocks, *Propulsion and Power Research*, 11, 511-526, 2022.
37. Tran V.D., Le A.T., Hoang A.T., An Experimental Study on the Performance Characteristics of a Diesel Engine Fueled with ULSD-

- Biodiesel Blends, *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 10, 183-190, 2021.
38. Örs I., Sarıkoç S., Atabani A.E., Ünalan S., Akansu S.O., The Effects on Performance, Combustion and Emission Characteristics of DICl Engine Fuelled with TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Addition in Diesel/Biodiesel/n-Butanol Blends, *Fuel*, 234, 177-188, 2018.
  39. Esteban B., Riba J.R., Baquero G., Puig R., Rius A., Characterization of the Surface Tension of Vegetable Oils To Be Used as Fuel in Diesel Engines, *Fuel*, 102, 231-238, 2012.
  40. Basha J.S., Impact of Carbon Nanotubes and Di-Ethyl Ether as Additives with Biodiesel Emulsion Fuels in a Diesel Engine-An Experimental Investigation, *Journal of the Energy Institute*, 91, 289-303, 2018.
  41. Raju V.D., Kishore P.S., Nanthagopal K., Ashok B., An Experimental Study on the Effect of Nanoparticles with Novel Tamarind Seed Methyl Ester for Diesel Engine Applications, *Energy Conversion and Management*, 164, 655-666, 2018.
  42. Srinidhi C., Madhusudhan A., A Diesel Engine Performance Investigation Fuelled with Nickel Oxide Nano Fuel-Methyl Ester, *International Journal of Renewable Energy Research*, 7, 676-681, 2017.
  43. Basha J.S., Anand R.B., The Influence of Nano Additive Blended Biodiesel Fuels on the Working Characteristics of a Diesel Engine, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 35, 257-264, 2013.
  44. Gad M.S., Jayaraj S., A Comparative Study on the Effect of Nano-Additives on the Performance and Emissions of a Diesel Engine Run on Jatropha Biodiesel, *Fuel*, 267, 117168, 2020.
  45. Chen A.F., Adzmi M.A., Adam A., Othman M.F., Kamaruzzaman M.K., Mrwan A.G., Combustion Characteristics, Engine Performances and Emissions of a Diesel Engine Using Nanoparticle-Diesel Fuel Blends with Aluminium Oxide, Carbon Nanotubes and Silicon Oxide, *Energy Conversion and Management*, 171, 461-477, 2018.
  46. Putrasari Y., Lim O., A Study on Combustion and Emission of GCI Engines Fueled with Gasoline-Biodiesel Blends, *Fuel*, 189, 141-154, 2017.
  47. Nabi M.N., Rasul M.G., Anwar M., Mullins B.J., Energy, Exergy, Performance, Emission and Combustion Characteristics of Diesel Engine Using New Series of Non-Edible Biodiesels, *Renewable Energy*, 140, 647-657, 2019.
  48. Sürer, E., Dizel-Biyodizel Karışımına Metalik Esaslı Karbon Nanotüp Katkı Maddesi İlavésinin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2020.
  49. Prasad K.B., Meduri O., Raju V.D., Azmeera A.K., Venu H., Subramani L., Soudagar M.E.M., Effect of Split Fuel Injection Strategies on the Diverse Characteristics of CRDI Diesel Engine Operated with Tamarind Biodiesel, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-19, 2020.
  50. Sayın C., Gumuş M., Canakci M., Effect of Fuel Injection Pressure on the Injection, Combustion and Performance Characteristics of a DI Diesel Engine Fueled with Canola Oil Methyl Esters-Diesel Fuel Blends, *Biomass and Bioenergy*, 46, 435-446, 2012.
  51. El-Seesy A.I., Hassan H., Investigation of the Effect of Adding Graphene Oxide, Graphene Nanoplatelet, and Multiwalled Carbon Nanotube Additives with n-Butanol-Jatropha Methyl Ester on a Diesel Engine Performance, *Renewable Energy*, 132, 558-574, 2019.
  52. Wu G., Ge J.C., Choi N.J., A Comprehensive Review of the Application Characteristics of Biodiesel Blends in Diesel Engines, *Applied Sciences*, 10, 8015, 2020.
  53. Ağbulut Ü., Karagöz M., Sarıdemir S., Öztürk A., Impact of Various Metal-Oxide Based Nanoparticles and Biodiesel Blends on The Combustion, Performance, Emission, Vibration and Noise Characteristics of a CI Engine, *Fuel*, 270, 117521, 2020.
  54. Sarıdemir S., Ağbulut Ü., Pamuk Tohumu Metil Ester-Dizel Karışımları Yakıtlı Motorun Yanma, Performans, Titreşim ve Gürültü Özellikleri, *Biyoyakıtlar*, 13, 201-210, 2019.
  55. Patel C., Lee S., Tiwari N., Agarwal A.K., Lee C.S., Park S., Spray Characterization, Combustion, Noise and Vibrations Investigations of Jatropha Biodiesel Fuelled Genset Engine, *Fuel*, 185, 410-420, 2016.
  56. Jaikumar S., Bhatti S.K., Srinivas V., Emission and Vibration Characteristics of Niger Seed Oil Biodiesel Fueled Diesel Engine, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 13, 5862-5874, 2019.
  57. Varadappan A.M.S., Sundaram A.G., Effect of Diesterol Blends on the Noise Vibration and Harshness of a Genset Engine, *Materialstodays Proceedings*, 90, 86-95, 2023.
  58. Pulluri G.K., Balaram Padal K.T., Sagari J., Vibration and Noise Assessment of a Diesel Engine Fueled with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles Dispersed Schleichera Oleosa Biodiesel, *International Journal of Environmental Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04652-4>, 2022.