



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

# Dizel motorlarda performans ve egzoz emisyonlarının n-hexadecane katkı maddesi ile iyileştirilmesi

*Improvement of performance and exhaust emissions in diesel engines by addition of n-hexadecane material*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Mehmet ÇELİK

*ORCID:* 0000-0002-3390-1716

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Çelik M., “Dizel motorlarda performans ve egzoz emisyonlarının n-hexadecane katkı maddesi ile iyileştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 701-706, (2018).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.382994

# Dizel Motorlarda Performans ve Egzoz Emisyonlarının n-hexadecane Katkı Maddesi ile İyileştirilmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mehmet ÇELİK\***

Niğde Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Niğde Ömer Halisdemir, Türkiye

(Geliş/Received : 23.09.2017 ; Kabul/Accepted : 05.10.2017)

## ÖZ

Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri; motor performansı ve emisyonları önemli ölçüde etkilemektedir. Yakıt kalitesini arttırmak, daha iyi yanma ve emisyonları azaltmak için yakıt içerisinde çeşitli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bu katkı maddeleri hidrokarbonların daha iyi yanması için katalitik bir etki oluşturur. Bu çalışmada, dizel yakıtına ilave edilen n-hexadecane katkı maddesi değişen yakıt özelliklerinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisi incelenmiştir. Deneyler sonucunda n-hexadecane ilave edilen yakıtların viskozitesi azalırken setan sayısı artmaktadır. Yakıt özelliklerinde ki bu iyileşme, yakıtın silindir içerisine püskürtüldüğünde daha iyi atomize olmasına ve yanma kalitesinin artmasına neden olmaktadır. Deneyler sonucunda en iyi iyileşme %16 n-hexadecane (DHD16) oranında elde edilmiştir. 2800 1/min'de dizel yakıtına göre (D0) güç %1.06 artarken, özgül yakıt tüketimi %2.38 azalmaktadır. Karbon monoksit (CO) emisyonu %10.24, hidrokarbon (HC) emisyonu %19.31, is emisyonu %19.96 azalmaktadır. Yanma kalitesinin iyileşmesi ısı yayılımının yükselmesine sebep olurken azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonu %6.66 artırmıştır. Setan sayısındaki artışa bağlı olarak maksimum silindir basıncı artmış tutuşma gecikmesi azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** n-hexadecane, yakıt katkıları, egzoz emisyonları, dizel motorlar, motor performansı.

## Improvement of Performance and Exhaust Emissions in Diesel Engines by Addition of n-hexadecane Material

### ABSTRACT

Physical and chemical properties of fuels significantly affect engine performance and emissions. Various additives are added to the fuel to improve fuel quality, better combustion and reduce emissions. These additives create a catalytic effect for better combustion of hydrocarbons. In this study, the effect of varying fuel properties on engine performance and exhaust emissions of n-hexadecane additive added to diesel fuel was investigated. As a result of the experiments, while the viscosity of n-hexadecane added fuels decreased, the cetane number increased. This improvement in fuel properties leads to better atomization and increased combustion quality when fuel is injected into the fuel cylinder. As a result, the best improvement was obtained at 16% n-hexadecane (DHD16) ratio. At 2800 1/min, the power increases by 1.06% compared to diesel fuel (D0) while the brake specific fuel consumption decreases by 2.38%. Carbon monoxide (CO) emission decreases by 10.24%, hydrocarbon (HC) emission decreases by 19.31% and smoke emission decreases by 19.96%. Improvement of combustion quality caused increase of heat emission while nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) increased the emission by 6.66%. Due to the increase in cetane number, the maximum cylinder pressure increased and the ignition delay decreased.

**Keywords:** n-hexadecane, fuel additives, exhaust emissions, diesel engines, engine performance

### 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dizel motorlar yüksek ısı verim, dayanıklılık, yakıt ekonomisi ve sağlamlıklarından dolayı tarım, ulaşım ve sanayi gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Bu tür avantajlarına rağmen PM, is ve NO<sub>x</sub> gibi zararlı emisyonlardan dolayı çevresel kaygıları arttırmaktadır. İnsan sağlığı açısından tehlikeli olduğundan bu emisyonlar ile ilgili düzenlemeler tüm dünyada giderek daha sıkı hale gelmektedir. Ayrıca, yüksek talep ve lüks tüketim fosil yakıt rezervlerinin tükenmesine yol açmıştır [1-2].

Sınırlı seviyedeki enerji üretimi, artan enerji talebi, fosil yakıtların tükenmesi, küresel ısınma, olumsuz çevresel etkileri ve sıkı emisyon standartları araştırmacıları dizel yakıt kalitesini iyileştirme üzerine çalışmalara teşvik etmiştir. Dizel motorlardan kaynaklı emisyonları ve yakıt tüketimin azaltmak için dünya çapında önemli araştırmalar yapılmaktadır [3]. Dizel motorlarda yakıt-hava karışımı, oksidasyon, silindir içerisindeki gazların türbülansı, yanan gazların silindir duvarlarına ısı transferi, atomizasyon ve buharlaşma özellikleri yanma verimini etkiler [4]. Yakıtın viskozitesi, moleküler yapı ve enerji içeriğindeki farklılıkları yanma işlemini değiştirebilir. Viskozite yakıtın moleküler yapısını ve

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : mehmetcelik@ohu.edu.tr

enerji içeriğindeki farklılıkları etkilediğinden yanma sürecini değiştirebilir [5]. İyi bir atomizasyon yanma odası içinde ince yakıt damlacıklarına yol açarak, daha yüksek verim ve daha düşük emisyon oluşumuna önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır [6-7]. Tutuşma, yanma ve kirlenici emisyon oluşumu atomizasyon özelliklerinden etkilenir [6].

Yakıtın fiziksel özelliklerini iyileştirmek, daha iyi yanma ve zararlı egzoz gazlarını azaltmak için yakıt içerisine çeşitli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bu katkı maddeleri hidrokarbonların daha iyi yanması için katalitik etki oluşturmaktadır [8]. Petrol ürünlerinde kullanılan katkı maddeleri genellikle petrol bazlı hammaddelerden elde edilirler. Katkı maddelerinin tür ve yapıları, ne kadar gerektiği kullanılacağı ürünlere göre değişir. Dizel motor emisyonlarındaki azalma ve motor verimliliğini iyileştirme yakıt katkı maddeleri

sağlanarak sabit motor çalışma sıcaklığında 6 farklı devirde yapılmıştır. Motor deneyleri; Antor 3LD510 dizel motorunda yapılmış, motor yüklemeye donanımı olarak Net Fren marka motor dinamometresi kullanılmıştır. Motorun yüklenmesi anındaki değerler, 1 gr hassasiyetinde, 0–200 kg aralığında ölçüm yapabilen CAS marka SBA 200L model yük hücresi kullanılarak okunmuştur. Dinamometrenin devir ölçüm aralığı 0-6500 1/min ve tork ölçüm aralığı 0-450 Nm'dir. Motor test düzeneği Şekil 1'de görülmektedir. Deney motoru teknik özellikleri Çizelge 2'de görülmektedir. Test sürecinde egzoz emisyonlarının ölçümü için Bosch-BEA 350 model emisyon ölçüm cihazı ve duman emisyonu ölçümü için Bosch RTM 430 model duman ölçüm kiti kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Chemical and physical properties of the test fuels)

	Setan Sayısı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Viskozite (mm <sup>2</sup> /s, 40 °C)	Alt Isıl Değer (MJ/kg)	Ref.
Dizel (D0)	52.1	0.838	2.40	41.30	---
DHD8	55.2	0.826	2.33	42.10	---
DHD16	57.9	0.802	2.29	42.92	---
n-hexadecane	100	0.759	2.21	---	[10-11]

kullanılarak elde edilebilir. Yakıt katkılarının kullanımının dizel motor performansına etkileri birçok araştırmacı tarafından çalışılmış ve umut verici sonuçlar elde edilmiştir [4]. Dizel yakıtlar, esas itibarıyla, düz alkanlar (aynı zamanda n-alkanlar olarak da bilinir), dallanmış alkanlar (aynı zamanda izoalkanlar olarak da bilinir), siklo-alkanlar (sikloalkanlar gibi) gibi çeşitli temel yapısal sınıflara ayrılabilen farklı türde hidrokarbon türlerinin kompleks karışımlarını ve aromatik bileşiklerini içerir [9]. Tüm bu sınıflar arasında düz alkanlar, genellikle sıvı yakıtların en sık bileşenidir. Bununla birlikte, kısa zincirli vekil yakıt modellerinin, gerçek yakıtların yanma kinetiklerini yeteri kadar temsil edemediği görülmüştür. Bu sebeple, n-dodekan, n-tetradekan ve n-hexadecane (HD) gibi uzun zincirli, düzalkanlar için yedek modeller, karşılaştırılabilir kaynama aralığından ötürü dizel yakıtlar için geliştirilmiştir [9]. Bu çalışma da dizel yakıt (D0) içerisine hacimce %8 (DHD8) ve %16 (DHD16) oranlarında n-hexadecane katkı maddeleri ilave edilmiştir. n-hexadecane (n-C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>), dizel yakıt termodinamik özelliklerini modellemek için referans yakıt olarak yaygın olarak kullanılır [10]. Dizel yakıtı içerisine n-hexadecane katkı maddesi ilave edilerek yakıt özelliklerinin ve buna bağlı performans ve emisyon karakteristiklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHODS)

n-hexadecane setan sayısı 100'dür [11]. Katkı maddesi ilave edilen yakıtların özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Motor deneyleri kararlı çalışma koşulları

**Çizelge 2.** Deney motoru teknik özellikleri (Technical specification of the test engine)

Model	3 LD 510
Motor tipi	Dört zamanlı, Direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi, cm <sup>3</sup>	510
ÇapxStrok, mm	85x90
Sıkıştırma oranı	17.5:1
Maksimum motor devri	3300 1/min
Maksimum motor torku	32.8 Nm
Maksimum motor gücü	9 kW
Soğutma şekli	Su soğutmalı



**Şekil 1.** Deney düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of the experimental setup)

Silindir basıncı ölçüm sistemi, silindir basınç sensörü, amplifikatör, enkoder, veri toplama kartı, sinyal koşullandırıcı ve filtresi elemanlarından oluşmaktadır. Silindir içi basıncın ölçülmesinde Kistler marka 6052C model piezoelektrik basınç sensörü kullanılmıştır. Silindir basıncı, motorun her bir çevrimi için, bir iş çevrimi boyunca her 1°KA aralığında 720 °KA boyunca alınan silindir içi basınç verilerinin ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Silindir içi basınç verileri en az 50 çevrimin ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Silindir içi basınç verileri 1°KA aralıklarla alınmakta ve dijital sinyallere çevrilmektedir. Dijital sinyallere çevrilen basınç verilerinin türevi alındığında ısı dağılımı hesabında gürültü ortaya çıkmaktadır. Bu gürültünün önlenmesi amacıyla basınç verileri aşağıda belirtilen fonksiyon ile filtrelenmektedir. Yapılan çalışmada ısı dağılımı 4. dereceden filtreleme işlemine tabi tutulmuştur. Silindir içi basınç sinyalleri Eş. 1’de ki Taylor serisi formatında 4. seriyeye göre açılabilir.

$$\begin{aligned}
 P_{i+2} &= P_i + \frac{2P'_i d\theta}{1!} + \frac{2^2 P''_i d\theta^2}{2!} + \frac{2^3 P'''_i d\theta^3}{3!} + \frac{2^4 P''''_i d\theta^4}{4!} + \dots \\
 P_{i+1} &= P_i + \frac{P'_i d\theta}{1!} + \frac{P''_i d\theta^2}{2!} + \frac{P'''_i d\theta^3}{3!} + \frac{2^4 P''''_i d\theta^4}{4!} + \dots \\
 P_i &= P_i \\
 P_{i-1} &= P_i - \frac{P'_i d\theta}{1!} - \frac{P''_i d\theta^2}{2!} - \frac{P'''_i d\theta^3}{3!} - \frac{2^4 P''''_i d\theta^4}{4!} - \dots \\
 P_{i-2} &= P_i - \frac{2P'_i d\theta}{1!} - \frac{2^2 P''_i d\theta^2}{2!} - \frac{2^3 P'''_i d\theta^3}{3!} - \frac{2^4 P''''_i d\theta^4}{4!} - \dots
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dört adet düğüm noktasına göre fonksiyonun 1. merteye türevi Eş. 2’de ki gibi olmaktadır.

$$P_i = \frac{P_{i-2} - 8P_{i-1} + 8P_{i+1} - P_{i+2}}{12d\theta}
 \tag{2}$$

Sonuçta elde edilen verilerde meydana gelen gürültüyü azaltmak amacıyla filtreleme işlemi uygulanmıştır. Deneysel ölçüm sırasında silindir basınç algılayıcısından gelen veriler, silindir hacminin anlık değişimi, yanma ve silindir duvarına ısı transferi gibi faktörlerden etkilenmektedir ve yanma, grafik üzerine etki eden en önemli faktörlerdir. Basınç verileri ısı yayılımı oranı hesaplanmak için kullanılmıştır. Isı yayılım oranını termodinamiğin birinci yasası uygulanarak tek bölgeli yanma modeline göre Eş.3 ile hesaplanmıştır.

$$\frac{dQ_{net}}{dt} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{dt} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{dt}
 \tag{3}$$

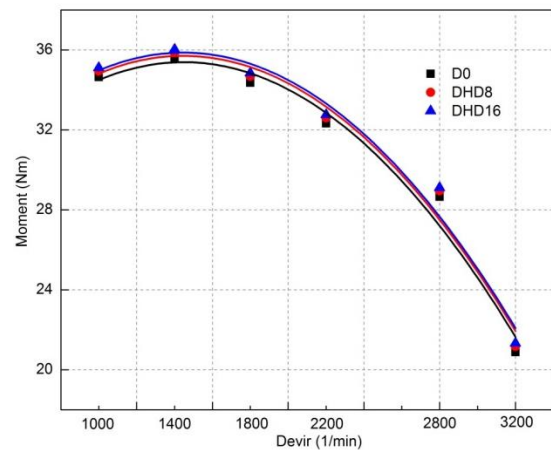
$dQ_{net}/dt$ ; net ısı yayılım oranı, k; özgül ısıların oranını ifade etmektedir. Termik verim ve motor gücü ısı transferinden etkilenmektedir. Emme supabı kapanışı ile egzoz supabı açılışı arasında geçen süre boyunca, ısı yayılımı analizi ile silindir içerisindeki olgular incelenirken ısı transferinin göz önünde bulundurulması gerekli olmaktadır. Newton’un soğuma yasasına göre içten yanmalı motorlar için ısı transferi Eş. 4 ile hesaplanır.

$$\frac{dQ_{ht}}{d\theta} = h_c A_g (T_g - T_w) \left( \frac{1}{\epsilon_n} \right) \quad (J^\circ KA)
 \tag{4}$$

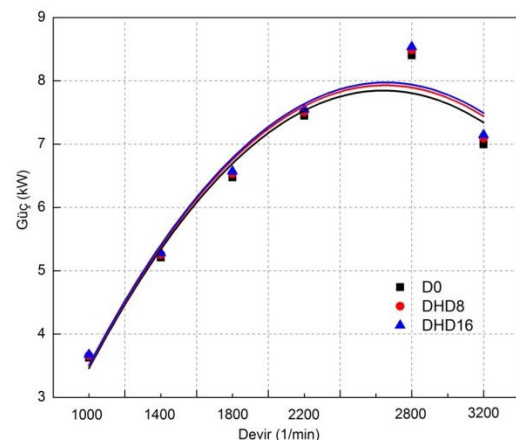
$h_c$ ; ısı transfer katsayısı ( $W/m^2K$ ),  $A_g$ ; krank açısına bağlı anlık yanma odası yüzey alanı ( $m^2$ ),  $T_g$ ; silindire giren dolgu sıcaklığı ( $K$ ),  $T_w$ ; silindir duvar sıcaklığı ( $K$ ), n; devir ( $1/min$ )’ dir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

Şekil 2 ve Şekil 3’de dizel yakıtı içerisinde n-hexadecane ilave edilen yakıtların moment ve güç grafikleri görülmektedir. Maksimum moment 1400 1/min’de elde edilmiştir. Dizel yakıtında maksimum moment 35.54 Nm olurken D0 yakıtına göre DHD8 yakıtında %0.92 DHD16 yakıtında %1.37 artış meydana gelmiştir. Maksimum güç 2800 1/min’de elde edilmiştir. Maksimum güç D0-DHD8 ve DHD16 yakıtlarında sırasıyla 8.40 – 8.49 ve 8.53 kW elde edilmiştir. Dizel motorlarda moment ve özgül yakıt tüketimini etkileyen yakıt özellikleri; alt ısıl değer, viskozite ve yoğunluktur [12]. n-hexadecane ilave edilen yakıtların motor gücü ve momentinin yüksek olması, iyi atomizasyon ve artan yanma verimliliğinin sonucu olarak düşünülebilir.



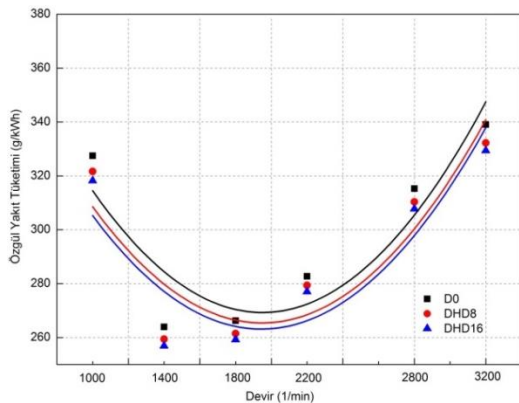
Şekil 2. Motor momentinin motorun devir sayısı ile değişimi (tam yük) (Change of engine torque with engine speed-full load)



Şekil 3. Motor gücünün motorun devir sayısı ile değişimi (tam yük) (Change of engine power with engine speed-full load)

Şekil 4' de katkı maddesi ilave edilen yakıtların özgül yakıt tüketimi grafiği görülmektedir. Minimum özgül yakıt tüketimi maksimum momentin elde edildiği 1400 1/min'de elde edilmiştir. 1400 1/min'de D0 yakıtında 263.92 g/kWh olurken DHD8 yakıtında 259.44 g/kWh DHD16 yakıtında 256.92 g/kWh olmuştur. Özgül yakıt tüketimindeki maksimum azalma 3200 1/min'de DHD16 yakıtında %2.85 olmuştur. Yakıt içerisine n-hexadecane katkı maddesi ilavesi viskoziteye, yoğunluğu azaltırken ısı değer, setan sayısını arttırmaktadır. Yakıt özelliklerinin iyileşmesi yakıtın; silindir içerisindeki nüfuzunu ve atomizasyonunu olumlu yönde etkilerken hava/yakıt karışımının da iyileşmesine neden olur. Püskürtülen yakıtın daha iyi yanmasını özellikle de buharlaşma özelliğini dengeler. Bu da özgül yakıt tüketiminin olumlu şekilde etkiler [13].

Şekil 5' de silindir basıncı ve ısı yayılımı grafiği görülmektedir. Silindir gaz basıncı grafiği incelendiğinde maksimum silindir gaz basıncı DHD16 yakıtında 96.59 bar ve üst ölü noktadan 7 °KA sonra meydana gelmiştir. Isı yayılımı grafiğinde ise maksimum ısı yayılımı DHD16 yakıtında 0.0307 kJ/°KA meydana gelirken D0 yakıtında 0.2713 kJ/°KA, DHD8 yakıtında 0.2860 kJ/°KA olmuştur. Isı yayılım oranı dizel motorlarda yanma sürecini karakterize etmek için önemli bir parametredir [14].

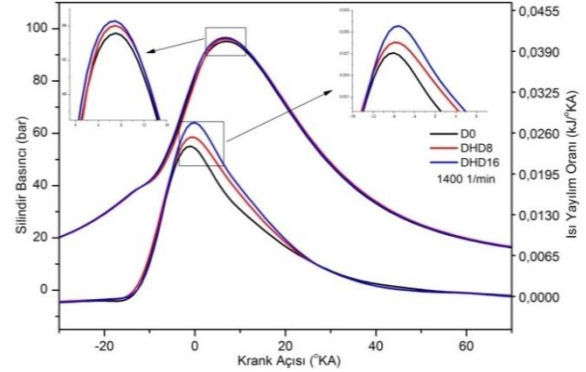


Şekil 4. Özgül yakıt tüketiminin motorun devir sayısı ile değişimi (tam yük) (Change of brake specific fuel consumption with engine speed-full load)

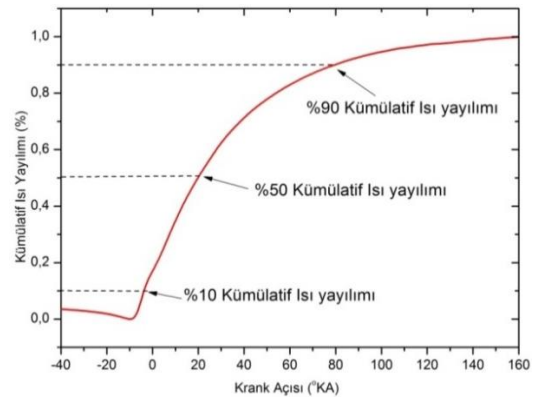
Tüm test yakıtlarında maksimum ısı yayılımı hemen hemen aynı krank açısında meydana gelmiştir. Viskozite yakıtın moleküler yapısını ve enerji içeriğindeki farklılıkları etkilediğinden yanma işlemi değiştirebilir. n-hexadecane ilave edilen yakıtların viskozite ve yoğunluğunda olumlu yönde iyileşme olduğu görülmektedir. Bu püskürtme esnasında daha küçük yakıt damlacıklarına sebep olacağından maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranı artar [5]. n-hexadecane ilave edilen yakıtlarda tutuşma gecikmesinin kısaltılmasıyla yanma daha erken başlayacağından maksimum ısı yayılımı artmaktadır. Daha yüksek setan sayılı yakıtlar genel olarak daha düşük tutuşma gecikmesine sebep olurlar [15]. Basınç grafikleri incelendiğinde silindir gaz

basınçlarındaki artışın güç grafiği ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Şekil 6'da kümülatif ısı yayılımı eğrisi üzerinde ki parametrelerden ilki yanma süresinde ilk alev oluşum zamanını belirten yanma başlangıcıdır. Yanma başlangıcı silindir basıncının ikinci derece türevinin sıfır olduğu nokta göz önüne alınarak belirlenebilir [16].



Şekil 5. Silindir içi gaz basıncının ve ısı yayılım oranının krank açısı ile değişimi (Variation in-cylinder gas pressure and heat release of rate with crank angle)

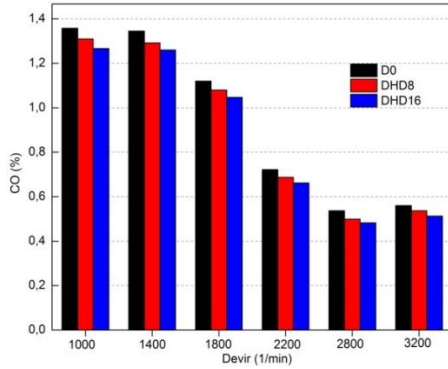


Şekil 6. Kümülatif ısı yayılım oranı (Cumulative heat release phase graphics)

Yanma süresi kümülatif ısı yayılım eğrisinden tahmin edilmektedir. Yanmanın başlangıcı ile %90 ısının çıktığı nokta arasındaki süre yanma süresidir [1]. Maksimum momentin elde edildiği 1400 1/min'de tutuşma gecikmesi D0 yakıtında 13 °KA olurken n-hexadecane ilave edilen DHD8 ve DHD16 yakıtlarında sırasıyla 12 ve 10 °KA olmuştur. Yine n-hexadecane ilave edilen yakıtlarda minimum yanma süresi DHD16 yakıtında meydana gelmiştir. Yakıtın viskozite ve yoğunluğunun azalması ile yakıt-hava karışım oranını reaksiyon hızı artar buda yanma süresini azaltır [17]. n-hexadecane ilave edilen yakıtlarda püskürtülen yakıtın daha geniş alana nüfuz etmesini sağlar. Bu yanma sırasında yakıtın hava ile daha iyi karışmasına fırsat verir ve yanma daha kısa sürede tamamlanarak art yanma safhasına sarkmaz [18].

CO oluşumu yanmanın kalitesi ile bağlantılıdır ve eksik yanma ile artış eğilimindedir [19]. CO'nun oluşumu yakıtın fiziksel-kimyasal özelliklerine bağlı olarak

değişir [21]. Şekil 7 ve Şekil 8’ de n-hexadecane ilave edilen yakıtların CO ve HC emisyonu grafikleri görülmektedir. 1400 1/min’de D0 yakıtına göre CO emisyonlarında DHD8 yakıtında %3.94 DHD16 yakıtında %6.31 azalma meydana gelmiştir. HC emisyonunda ise D0 yakıtında 353 ppm olurken D0 yakıtına göre DHD8 yakıtında %10.19 DHD16 yakıtında %18,41 azalma meydana gelmiştir. 2800 1/min’de CO ve HC emisyonlarında maksimum azalma %16 n-hexadecane ilave edilen DHD16 yakıtında sırasıyla %10.24 ve %19.31 olmuştur. n-hexadecane ilave edilen yakıtlarda viskozite ve yoğunluğun iyileşmesi, setan sayısındaki artışa bağlı olarak buharlaşma hızı arttığından yanma ve püskürtme kalitesi daha iyi olur. Yanma hızı artarak daha yüksek yanma sıcaklıklarına ulaşılır. Bunun sonucunda CO ve HC emisyonu azalır [21-22].

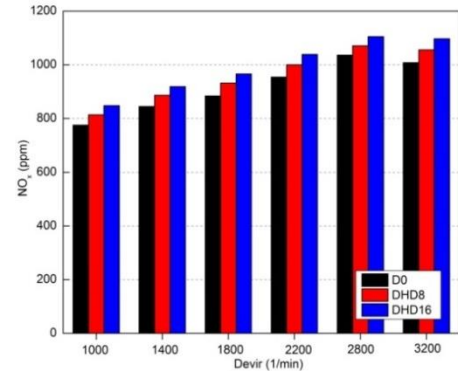


Şekil 7. Yakıt türüne göre karbon monoksit emisyonları değişimi (Change of fuel type carbon monoxide emissions)

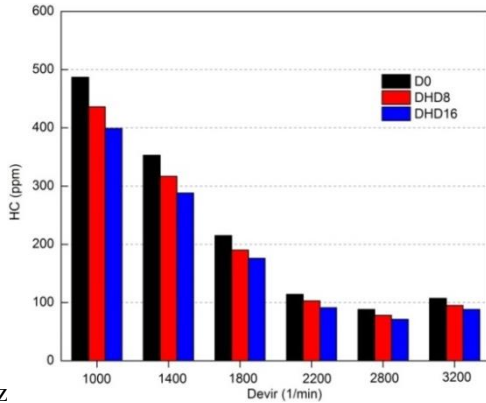
Şekil 9’da n-hexadecane ilave edilen yakıtların NO<sub>x</sub> emisyonları grafiği görülmektedir. Devir artışıyla birlikte NO<sub>x</sub> emisyonları artarken maksimum gücün elde edildiği 2800 1/min’den sonra silindir içerisinde yanma süresi kısaldığı için NO<sub>x</sub> emisyonları tekrar azalma eğilimi olmuştur.

Maksimum momentin elde edildiği 1400 1/min’de D0 yakıtına göre NO<sub>x</sub> emisyonunda ki artış DHD8 ve DHD16 yakıtlarında sırasıyla %4.97 ve %8.75 olmuştur. n-hexadecane oranının artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarının da arttığı görülmektedir. Devir artışıyla birlikte silindir içerisinde hava-yakıt konsantrasyonu artacağından yanma odasında ortalama gaz ısısının yükselmesine neden olur buda NO<sub>x</sub> emisyonunu artırır. n-hexadecane ilave edilen yakıtlarda tutuşma gecikmesindeki azalmaya bağlı olarak yanma daha iyi tamamlanacağından silindir içi sıcaklıkta artmaktadır. Silindir içi sıcaklığın artması hidrokarbon oksidasyonunu artırır ve maksimum silindir basıncı ve ısı yayılımı arttığından NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış meydana gelmektedir.

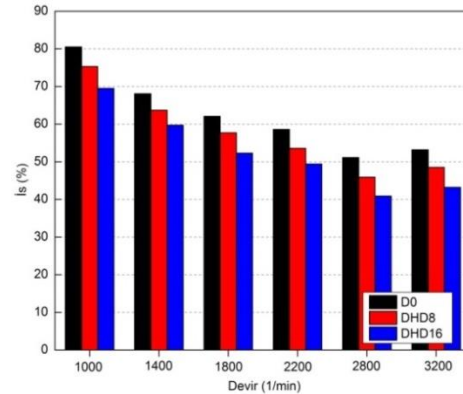
Şekil 10’da n-hexadecane ilave edilen yakıtların is emisyonları grafiği görülmektedir. Yakıt içerisinde n-hexadecane oranının artmasıyla is emisyonları azalmaktadır. Minimum is emisyonu 2800 1/min’de meydana gelmektedir. D0 yakıtına göre is emisyonlarında azalma DHD8 yakıtında %10.17 olurken DHD16 yakıtında %19.96 olmuştur. Yakıt içerisine n-hexadecane ilavesi ile viskozite ve yoğunluğunun iyileştirilmesi ile is emisyonlarının da azaldığı görülmektedir. Viskozite ve yoğunluğun iyileşmesi yakıt atomizasyonunu ve yanma kalitesini olumlu etkilemektedir. Böylece yanma prosesi esnasında oluşan is partiküllerinin oksidasyon sıcaklığı düşer ve bunun sonucunda is emisyonlarında azalmalar olur [20].



Şekil 9. Yakıt türüne göre azot oksit emisyonları değişimi (Change of fuel type nitrogenoxides emissions)



Şekil 8. Yakıt türüne göre hidrokarbon emisyonları değişimi (Change of fuel type hydrocarbon emissions)



Şekil 10. Yakıt türüne göre is emisyonları değişimi (Change of fuel type smoke emissions)

#### 4. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Dizel yakıt içerisinde karıştırılan n-hexadecane yüzdesinin artmasıyla viskozite ve yoğunluğun azaldığı altı ısı değer ve setan sayısının arttığı görülmüştür. Viskozite ve yoğunluktaki azalma silindir içerisinde püskürtülen yakıtın daha küçük damlacık çapına sahip olmasına neden olur. Yakıt damlacıklarının buharlaşması için gerekli sürenin kısılması ve silindir içerisinde yakıt hava karışımının daha iyi olmasını sağlar. Buda yanma ve emisyon karakteristiklerini iyileştirerek moment ve gücün artmasına özgül yakıt tüketiminin azalmasına neden olur. NO<sub>x</sub> emisyonları harici diğer emisyonların azalmasını sağlar. Yakıt içerisinde ilave edilecek n-hexadecane karışım yüzdesinin sınırı yakıt özelliklerini etkilediği için yakıtın kullanılabilirliği açısından da çok önemlidir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kaimal V.K. and Vijayabalan P., “A detailed study of combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil and its blends”, *Energy Conversion and Management*, 105: 951-956, (2015).
- [2] Du J., Sun W., Guo L., Xiao S., Tan M., Li G. and Fan L., “Experimental study on fuel economies and emissions of direct-injection premixed combustion engine fueled with gasoline/diesel blends”, *Energy Conversion and Management*, 100: 300-309, (2015).
- [3] Çelik M., Solmaz H. and Yücesu H.S., “Examination of the effects of organic based manganese fuel additive on combustion and engine performance”, *Fuel Process. Technol.* 139: 100-107, (2015).
- [4] Shahabuddin M., Liaquat A.M., Masjuki H.H., Kalam M.A. and Mofiruj M., “Ignition delay, combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel”, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 21: 623-632, (2013).
- [5] Mangus M., Kiani F., Mattson J., Tabakh D., Petka J., Depcik C., Peltier E. and Stagg-Williams S., “Investigating the compression ignition combustion of multiple biodiesel/ULSD (ultra-low sulfur diesel) blends via common-rail injection”, *Energy*, 89: 932-945, (2015).
- [6] Ghasemi A., Barron R.M. and Balachandar R., “Spray-induced air motion in single and twin ultra-high injection diesel sprays”, *Fuel*, 121: 284-297, (2014).
- [7] Agarwal A.K., Som S., Shukla P.C., Goyal H. and Longman D. “In-nozzle flow and spray characteristics for mineral diesel, Karanja, and Jatropha biodiesels”, *Applied Energy*, 156: 138-148, (2015).
- [8] Lenin M.A., Swaminathan M.R. and Kumaresan G., “Performance and emission characteristics of a DI diesel engine with a nano-fuel additive”, *Fuel*, 109: 362-365, (2013).
- [9] Poon H.M., Pang K.M., Ng H.K., Gan S. and Schramm J., “Development of multi-component diesel surrogate fuel models – Part I: Validation of reduced mechanisms of diesel fuel constituents in 0-D kinetic simulations”, *Fuel*, 180: 433-441, (2016).
- [10] Wang X., Wang X. and Chen J., “Experimental investigations of density and dynamic viscosity of n-hexadecane with three fatty acid methyl esters”, *Fuel*, 166: 553-559, (2016).
- [11] Parmar S., Pant K.K., John M., Kumar K., Pai S.M. and Newalkar B.L. “Hydroisomerization of n-hexadecane over Pt/ZSM-22 framework: Effect of divalent cation exchange”, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 404-405: 47-56, (2015).
- [12] Öztürk E., “Performance, emissions, combustion and injection characteristics of a diesel engine fueled with canola oil-hazelnut soapstock biodiesel mixture”, *Fuel Process. Technol.* 129: 183-191, (2015).
- [13] Çaynak S., Gürü M., Biçer A., Keskin A. and İçingür Y., “Biodiesel production from pomace oil and improvement of its properties with synthetic manganese additive”, *Fuel*, 88: 534-538, (2009).
- [14] Tesfa, B., Mishra, R., Zhang, C., Gu, F. and Ball, A.D. “Combustion and performance characteristics of CI engine runnin with biodiesel”, *Energy*, 51: 101-115, (2013).
- [15] Challen B. and Baranescu R., “Diesel Engine Reference Book, Second edition”, McFarland, ISBN: 0-7506-2176-1, (1984).
- [16] Avinash A., Natarajan S. and Mahalakshmi N.V., “Lean homogenous combustion of E-diesel using external mixture formation technique”, *Alexandria Engineering Journal*, 54: 271-279, (2015).
- [17] Liu H., Wang Z., Wang J., He X., Zheng Y., Tang Q. and Wang J., “Performance, combustion and emission characteristics of a diesel engine fueled with polyoxymethylene dimethyl ethers (PODE3-4)/diesel blends”, *Energy*, 88: 793-800, (2015).
- [18] Ashraful A.M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Rashedul H.K., Sajjad H. and Abedin M.J., “Influence of anti-corrosion additive on the performance, emission and engine component wear characteristics of an IDI diesel engine fueled with palm biodiesel”, *Energy Convers. Manag.* 87: 48-57, (2014).
- [19] Oliveira A., Morais A.M., Valente O.S. and Sodré J.R., “Combustion characteristics, performance and emissions from a diesel power generator fueled by B7-ethanol blends”, *Fuel Process. Technol.* 139: 67-72, (2015).
- [20] Keskin A., Ocakoğlu K., Reşitoğlu I.A. and Gürü M., “Influence of titanium based fuel additive on diesel engine performance and emission”, *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.* 28 (3): 671-676, (2013).
- [21] Venu H. and Madhavan V., “Influence of diethyl ether (DEE) addition in ethanol-biodiesel-diesel (EBD) and methanol-biodiesel-diesel (MBD) blends in a diesel engine”, *Fuel*, 189: 377-390, (2017).
- [22] An H., Yang W.M., Maghbouli A., Li J., Chou S.K., Chua K.J., Wang J.X. and Li L., “Numerical investigation on the combustion and emission characteristics of a hydrogen assisted biodiesel combustion in a diesel engine”, *Fuel*, 120: 186-194, (2013).