





# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Stabilize Yakıt Kullanımının Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunun NO Emisyon Oluşumuna Etkilerinin İncelenmesi

 Vezir AYHAN <sup>a,\*</sup>,  İdris CESUR <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Makina Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Makina Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [vayhan@subu.edu.tr](mailto:vayhan@subu.edu.tr)

DOI : 10.29130/dubited.575123

### ÖZET

Dizel motorlarının çalışma prensibi gereği sıkıştırma oranları ve hava fazlalık katsayıları yüksektir. Bu sayede termik verimleri ve özgül yakıt tüketimleri düşüktür. Sıkıştırma oranının yüksek olması sonucunda yanma sonucu silindir içi gaz sıcaklığı oldukça yüksek seviyelere ulaşmaktadır. İçten yanmalı motorlarda azot oksit emisyonlarının oluşmasına neden olan en önemli faktörler silindir içi ulaşılan maksimum sıcaklık ve hava fazlalık katsayısıdır. Dizel motorlarında bu faktörlerin her ikisinin de yüksek olması azot oksit oluşum miktarını arttırmaktadır. Dizel motorlarında silindir içi maksimum gaz sıcaklığının düşürülmesi ve NO emisyonlarının azaltılması için uygulanan en etkili yöntemlerden biri motor silindirine suyun gönderilmesidir. Bu çalışmada, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı kütle oranlarında emülsiyon yakıt kullanımının NO oluşum hızına etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı kütle oranlarında emülsiyon yakıt kullanımının NO oluşum hızına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, emülsiyon yakıt kullanımının NO oluşum hızını azalttığı ve NO emisyonlarında yakıt içerisindeki su oranı arttıkça azalmaların da arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Emülsiyon Yakıt, Dizel Motor, NO, NO Oluşumu

## Investigation of the Effects of the Use of Stabilized Emulsion Fuel on the NO Emission Formation of a DI Diesel Engine

### ABSTRACT

Due to the operating principle of diesel engines, compression ratios and excess air coefficient are high. By this means, their thermal efficiency and specific fuel consumption are low. As a result of the high compression ratio, gas temperature which in the cylinder reaches to very high levels. The most important factors that cause the formation of nitrogen oxide emissions in internal combustion engines are the maximum temperature and excess air coefficient within the cylinder. Both of these factors in diesel engines increase the amount of nitrogen oxide formation. In diesel engines, one of the most effective methods for reducing the maximum gas temperature

inside the cylinder and reducing NO emissions is to send water to the engine cylinder. In this study, the effects of different fuel absorption rates on the rate of NO formation were investigated in a direct injection diesel engine. At the same time, the effects of using emulsion fuel on NO emissions were examined as a result of experimental studies. As a result of the study, it was determined that the use of emulsion fuel decreases speed of NO formation and the decreases NO emissions as the ratio of water in the fuel increases.

*Keywords: Emulsion Fuel, Diesel Engine, NO, NO Formation*

## I. GİRİŞ

**S**on yıllarda içten yanmalı motorlardan salınan emisyonlar hava kirliliği açısından tehlikeli boyutlara ulaşmaya başlamıştır. Araştırmacılar ve üreticiler tarafından emisyonların azaltılması konusunda pek çok çalışma yapılmaktadır. Dizel motorları sağladıkları yüksek verim ve düşük yakıt tüketim avantajları nedeni ile birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dizel motorlarının çalışma prensibi gereği yüksek hava fazlalık katsayısı ve sıkıştırma oranı ile çalışmaktadırlar. Bu çalışma prensipleri gereği egzozdan salınan NO<sub>x</sub> (Azot oksit) değerleri buji ateşlemeli motorlara göre çok daha yüksektir. NO<sub>x</sub> emisyonları silindir içi sıcaklığı yüksek değerlere ulaştığında yüksek değerlerde oluşmakta iken is emisyonları ise yanma odası içerisinde lokal zengin karışım bölgelerinde meydana gelmektedir[1,2].

Bundan dolayı, NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması için silindir içi sıcaklığın düşürülmesi gerekmektedir [3-6]. Dizel motorlarından salınan NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması için üç temel yöntem altında farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu temel yöntemler yanma öncesi, yanma esnasında ve yanma sonrası olarak sınıflandırılmaktadır. Yanma öncesi alınan tedbirler, yakıtta katkı maddelerinin katılması, alternatif yakıt kullanımı, giriş havasının nemlendirilmesi vb. şeklindedir. Yanma esnasında ise, yapısal değişikliklerle birlikte, direkt su enjeksiyonu, püskürtme karakteristik değişimi, püskürtme avansının değişimi, EGR(egzoz gazı geri gönderimi) gibi uygulamalardır. Yanma sonrası ise, egzoz devresinde alınan silindirden çıkan gazların tekrar tepkimeye sokulması prensibine dayanan SCR (seçici katalitik dönüştürücü) ve NO<sub>x</sub> katalizörleri gibi ilave sistemlerle yapılan işlemlerdir [7-8].

Yukarıda sayılan yöntemlerden birçoğu NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltırken motor performans parametrelerini ve diğer kısmi eksik yanma ürünü olan emisyonları olumsuz etkilemektedir. Motora suyun gönderilmesi en etkili NO<sub>x</sub> azaltma yöntemlerinden biridir [9-13]. Özellikle emülsiyon yakıt kullanımında motor performansında dikkate değer bir azalma olmaksızın NO<sub>x</sub> emisyonlarında önemli ölçülerde azalmalar sağlanmaktadır. Su, ısı rezervinin yüksek olması nedeni ile yanma sonu silindir içi sıcaklığın azalmasını sağlamakta ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşum hızını düşürerek egzoz edilen miktarın azalmasını sağlamaktadır [14-17]. Aynı zamanda suyun buharlaşma ısısının yüksek olması nedeniyle su yakıttan daha erken buharlaşarak yakıtın çok daha küçük parçacıklara ayrılmasını sağlamaktadır. Stabilize emülsiyon yakıtlarda su merkezde suyun dışını emülgatör olarak kullanılan yüzey aktif madde sarmakta ve dışta yakıt bulunmaktadır. Suyun erken buharlaşması etkisiyle yakıtı küçük parçacıklara bölmesi işlemi literatürde mikro patlamalar şeklinde ifade edilmiştir [18-19]. Bu etkilerden dolayı, su kullanımında yanma veriminin arttığı ve performans parametrelerinde kötüleşme miktarı meydana gelmediği gibi bazı çalışmalarda iyileşmelerin olduğu ifade edilmiştir [11-19].

Ayhan, tek silindir direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı oranlarda emülsiyon yakıt kullanımının motor performans ve emisyon karakteristiklerine etkisini incelemiştir. Tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda emülsiyon yakıtların içerisindeki su oranı arttıkça NO<sub>x</sub> miktarının önemli oranda azaldığını tespit etmiştir. Emülsiyon yakıtların motor moment ve gücünü bir miktar azalttığını, efektif verimi ise iyileştirdiğini tespit etmişlerdir [5].

Ayhan ve Tunca, bir dizel motorunda farklı alternatif yakıt katkılı stabilize emülsiyon yakıt kullanımının etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Emülsiyon yakıtta kullanılan her bir alternatif yakıt ve su oranı karışımları için deneyleri tekrarlı olarak gerçekleştirmişlerdir. Performansı ve emisyon karakteristikleri açısından her bir yakıtın optimum karışım oranını tespit etmişlerdir. Emülsiyon yakıt çalışmaları sonucunda optimum oranın %10 su içerikli olan E10 ile elde edildiğini tespit etmişlerdir [6].

Bu çalışmada, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda stabilize emülsiyon yakıt kullanımının NO emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Aynı zamanda emülsiyon yakıt kullanımı durumunda silindir içi adyabatik alev sıcaklığı ve NO oluşum hızına etkileri teorik olarak irdelenmiştir.

## II. MATERYAL METOT

### *A. DENEYSEL ÇALIŞMALAR*

Deneysel çalışmalar direkt enjeksiyonlu, tek silindirli bir dizel motoru ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 1’ de deney motorunun özellikleri verilmiştir.

*Tablo 1. Deney motoru teknik özellikleri*

Motor Tipi	Süper Star
Piston Çapı [mm]	108
Strok[mm]	110
Silindir Sayısı	1
Güç, 2200d/d[kW]	13
Enjektör Açma Basıncı[bar]	175
Sıkıştırma Oranı	17
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon
Piston Tipi	Çanak Piston

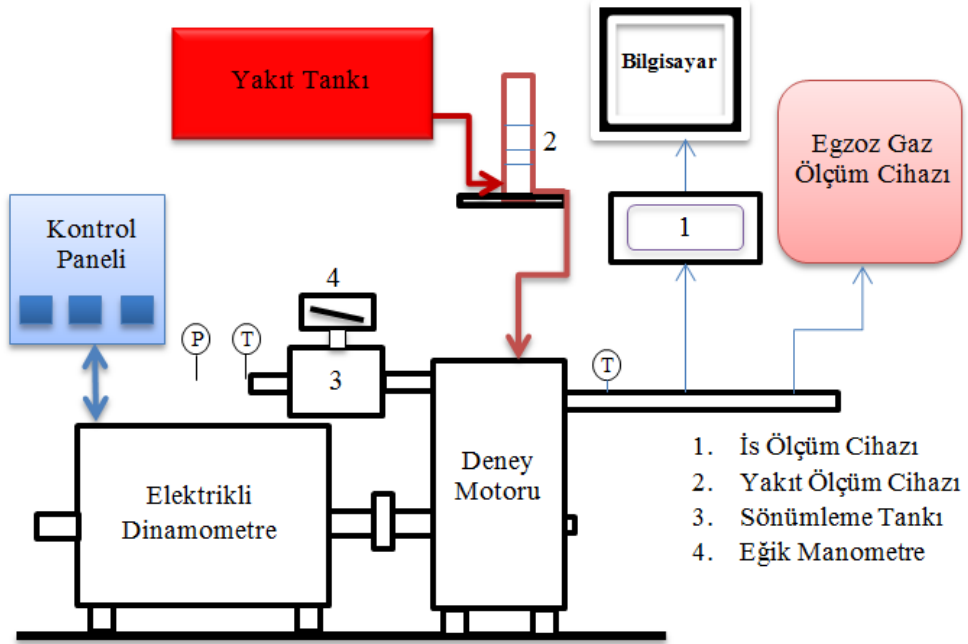
Motor elektrikli tip bir dinamometreye bağlanmıştır. Dinamometre kuvvet koluna ise S tipi bir yük hücresi bağlanarak motorun güç değerleri tespit edilmiştir. Şekil 1’ de deney düzeneğinin şematik şekli görülmektedir. Deneyler farklı motor devirlerinde ve tam yük şartlarında gerçekleştirilmiştir. Tablo 2’ de kullanılan cihazların hata oranları verilmiştir.

Yakıt sarfiyatı hacimsel tip yakıt ölçüm sistemi ile ölçülmüştür. Emisyon ölçümlerinde Bosh BAE 060 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Deneylere başlamadan önce motorun rejim sıcaklığına gelmesi

sağlanmıştır. Deneyler esnasında su sıcaklığı soğutma sistemi şartlandırma sistemi ile kontrol altında tutulmuştur. Deneyler ilk olarak tekrarlı olarak dizel yakıtı ile gerçekleştirilerek motor standart değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra farklı oranlarda emülsiyon yakıtlar motorda kullanılmış ve standart şartlarda deneyler tekrarlanmıştır.

**Tablo 2.** Cihazların hata oranları

Parametreler	Sistematik Hata, ±
Yük, kg	0,1
Motor devri, d/d	1,0
Sıcaklık, °C	1
Yakıt tüketimi, s	0,01
NO, ppm	Ölçülen değerin %5'i
İs emisyonu, %	% 1



**Şekil 1.** Deney düzeneği şematik şekli

## B. EMÜLSİYON YAKITLARIN HAZIRLANMASI

Çalışmada kullanılan emülsiyon yakıtlarda yoğunluk farkından dolayı ayrışmaların önlenmesi için stabilizatör (emülgatör) kimyasal kullanılmıştır. Emülgatör olarak kullanılan Span 80 suda çözünmeyen ve kimyasal yapısı  $C_{24}H_{44}O_6$  şeklinde olan bir maddedir. Emülsiyon yakıtlar %5, %10 ve %15 kütle oranlarında hazırlanmıştır ve her bir karışımda %2 kütle oranında emülgatör kullanılmıştır ( E5 için: %5 su + %2 emülgatör + %93 dizel, STD: %100 dizel yakıtı) . Emülsiyon yakıtlar hazırlanırken yakıtın içerisine katılacak su ve emülgatör miktarları hassas terazi ile tartılarak karışım oluşturulmuş ve mekanik karıştırıcı ile bir saat karıştırılmıştır. Tablo 3' de kullanılan yakıtların kimyasal yapıları ve özellikleri verilmiştir.

**Tablo 3.** Kimyasal yakıtların özellikleri

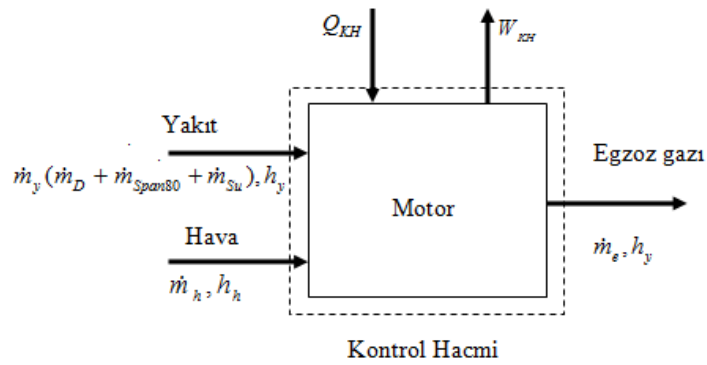
Özellik	Dizel	Span 80	Su
Kapalı Formülü	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>	C <sub>24</sub> H <sub>44</sub> O <sub>6</sub>	H <sub>2</sub> O
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	825-840	986	1000

### C. ADYABATİK ALEV SICAKLIĞININ HESAPLANMASI

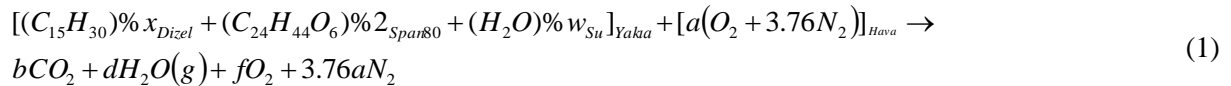
İçten yanmalı motorlarda NO oluşumunu etkileyen en önemli faktörler;

- 1) Silindir içi maksimum sıcaklık
- 2) Silindire alınan Oksijen ve Azot miktarı
- 3) Reaksiyon süresidir.

Üçüncü madde (reaksiyon için verilen zaman) her devir için değişken ve müdahale edilebilir bir durum değildir. Hava/yakıt oranına göre değişen oksijen ve azot konsantrasyonu önemli parametrelerden biri olmakla birlikte, dizel motorlarında hava kısılsız olarak alındığı için, alınan hava miktarı devir sayısına göre bir miktar değişmektedir. Aynı devirde çalışan bir motorda HFK' nın değişmesi için silindire gönderilen yakıt miktarının değişmesi gerekmektedir. Yakıt miktarının kısılması motordan elde edilen gücün doğrudan değişmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı, NO emisyonlarının azaltılmasında en etkili yol silindir içi sıcaklığı azaltmaktır. Dizel motorlarında silindir içi sıcaklığının azaltmanın en etkili yöntemlerden biri motora suyun gönderilmesidir. Aşağıda standart motor ve emülsiyon yakıt kullanılması durumunda hesaplanan ve NO emisyon oluşum hızında meydana gelen değişimler görülmektedir. NO oluşum hızının hesaplanması için adyabatik alev sıcaklığı hesaplanmıştır. Adyabatik alev sıcaklığının hesaplanması için, dizel motorlarında meydana gelen fakir karışımla yanma reaksiyonu (tam yanma reaksiyonu) açık sisteme uyarlanmıştır. Şekil 2' de açık sistemin şematik şekli verilmiştir. Motoru dizel ve emülsiyon yakıt kullanımı için kullanılan tam yanma reaksiyon Denklem 1' de verilmiştir.



**Şekil 2.** Termodinamik açık sistem



Reaksiyonlar adyabatik şartlarda gerçekleştiği için sistemden ısı giriş çıkışı yoktur ( $Q_{cv} = 0$ ) ve sisteme iş-giriş çıkışı da yoktur ( $W_{cw} = 0$ ). Reaksiyona girenlerin (yakıt ve hava) oluşum entalpileri ve ürünlerin entalpi eşitliği aşağıdaki (denklem 2) gibidir.

Kütle dengesi;

Toplam  $M_g =$  Toplam  $M_ç$

Açık sistemler için 1. Yasa

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \dot{m} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right) = \dot{Q}_ç + \dot{W}_ç + \sum_ç \dot{m} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (2)$$

Adyabatik sistemde ısı ve iş girişi olmadığından denklem aşağıdaki gibi olmuştur.

$$H_G = H_U \quad (3)$$

Burada,  $H_G$ ; sisteme girenlerin ve  $H_U$ ; sistemden çıkan ürünlerin toplam entalpi değerleridir. Denklem 3' de girenlerin ve ürünlerin toplam entalpi değişimleri verilmiştir.

$$\sum_G n_i (\bar{h}_{ol}^o + \Delta \bar{h})_i = \sum_U n_j (\bar{h}_{ol}^o + \Delta \bar{h})_j \quad (4)$$

Burada,  $\bar{h}_{ol}^o$  oluşum entalpisini,  $\Delta \bar{h} = (\bar{h} - \bar{h}^o)$  ise girdilerin ve ürünlerin duyulur entalpi değerlerini göstermektedir. Adyabatik alev sıcaklığı  $H_G$  ve  $H_U$ ' nin birbirine eşitlenmesi ile hesaplanmaktadır.

Tablo 2' de çalışmada kullanılan yakıtlar için hesaplanan adyabatik alev sıcaklıkları ve standart duruma göre meydana gelen değişimler verilmiştir.

#### D. NO OLUŞUM HIZININ HESAPLANMASI

Motordan salınan NOx (yaklaşık% 85) emisyonunun büyük kısmı NO emisyonudur. Bu nedenle literatürde verilen adyabatik sıcaklığa göre NO oluşum hızı aşağıdaki şekilde hesaplanır [13].

$$\frac{d\chi_{NO}}{dt} = \frac{6.58 \times 10^{18}}{T} e^{\left(\frac{-69,090}{T}\right)} \chi_{N_{2,e}} \sqrt{\chi_{O_{2,e}}} \quad (5)$$

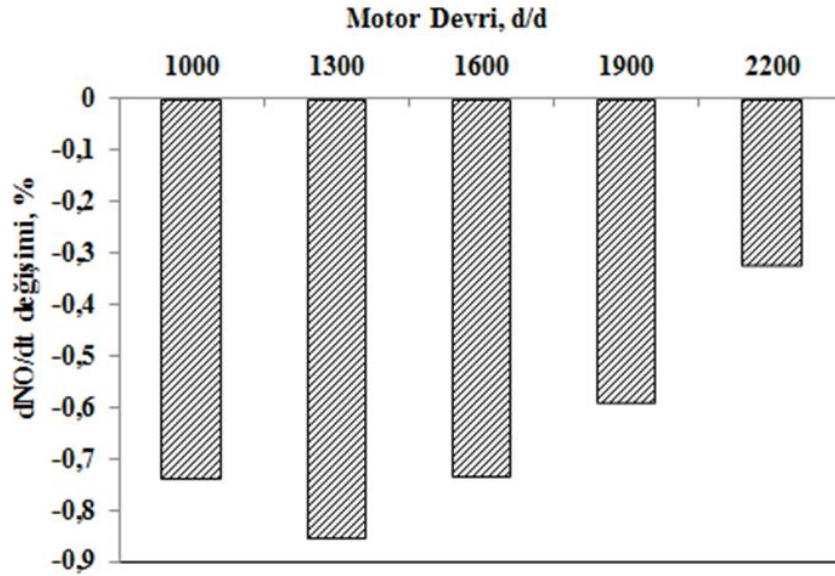
Bu çalışma için T'nin adyabatik sıcaklık olduğu yerlerde,  $\chi_i$  O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>'nin mol oranıdır. Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra, elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı gibi, adyabatik sıcaklık ve NO oluşum oranı su oranındaki artışla azalmıştır.

### III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Motorda tam yük şartlarında dizel ve emülsiyon yakıt kullanımı durumunda meydana gelen değişimler aşağıda verilmiştir. Tablo 4’ de standart ve E10 yakıt kullanımı durumunda farklı devirler için ölçülen hava fazlalık katsayılarına bağlı olarak hesaplanan adyabatik alev sıcaklığı, azot ve oksijen için molar oranlar, NO oluşum hızı ve emülsiyon yakıt kullanımında standart duruma göre NO oluşum hızında meydana gelen değişimler görülmektedir (Şekil 3).

**Tablo 4.** Dizel ve E10 emülsiyon yakıt adyabatik alev sıcaklığı, NO oluşum hızı ve standart duruma göre reaksiyon değişim oranları

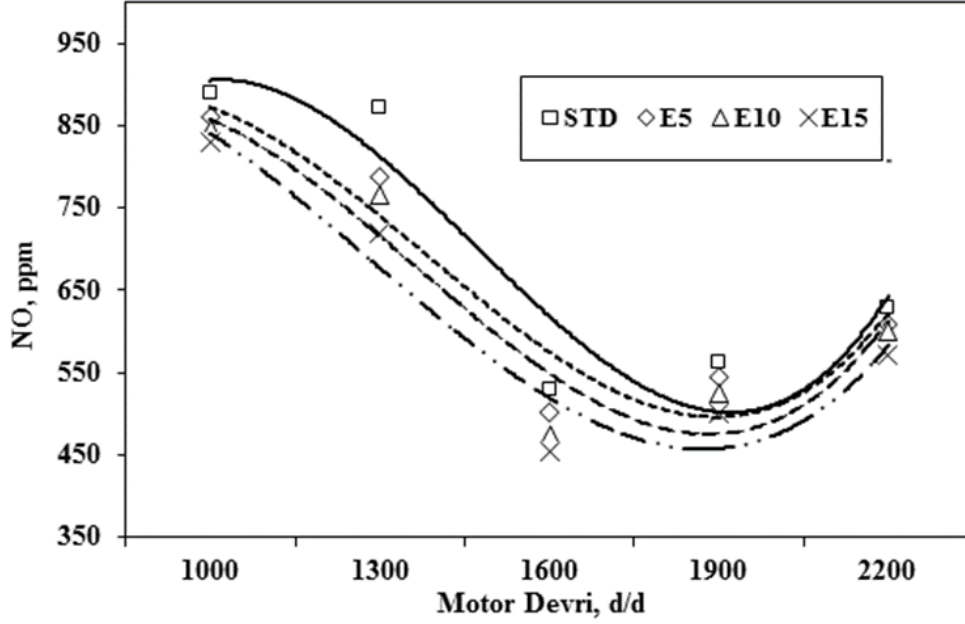
Yakıt	Devir, d/d	Su/Yakıt (kmol/kmol)	T, K	X, O2	X, N2	dX, NO/dt	% Değişim
STD	1000	0	1834,01	0,07033	0,75553	0,00416	
STD	1300	0	1908,78	0,06212	0,75351	0,0154	
STD	1600	0	2018,88	0,0499	0,7505	0,08384	
STD	1900	0	2108,81	0,03979	0,74801	0,27447	
STD	2200	0	2161,99	0,03375	0,74653	0,5074	
E10	1000	1,5307	1803,14	0,07366	0,74858	0,0023	-0,74613
E10	1300	1,5307	1702,14	0,06162	0,74654	0,0013	-0,85039
E10	1600	1,5307	1932,85	0,05938	0,74425	0,02253	-0,73125
E10	1900	1,5307	2041,13	0,04727	0,74058	0,11256	-0,58991
E10	2200	1,5307	2129,38	0,03727	0,73755	0,34452	-0,321



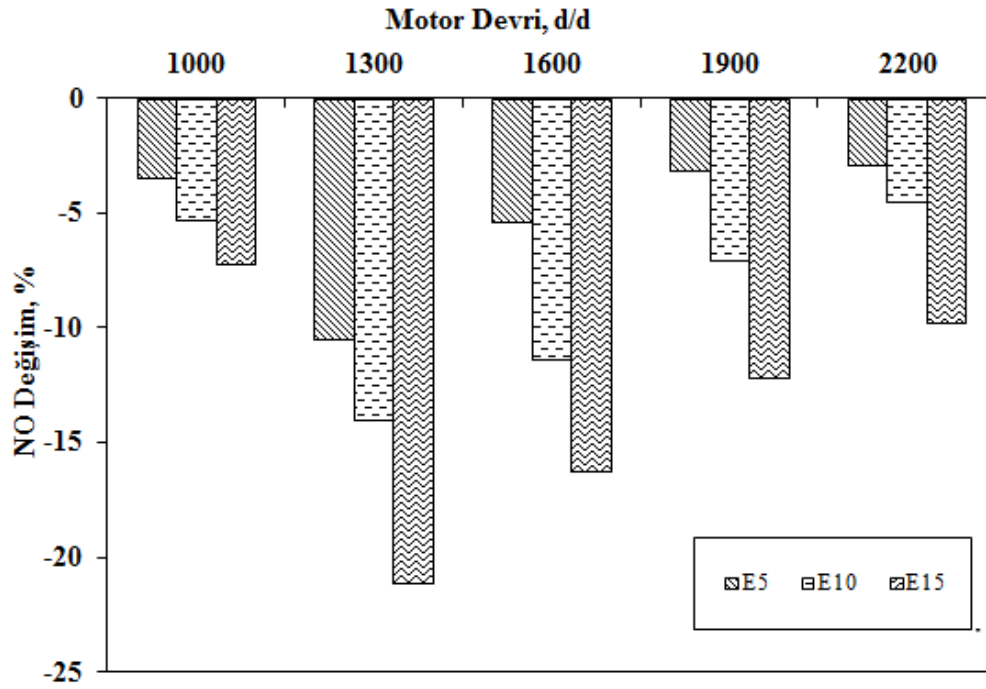
**Şekil 3.** E10 yakıtı kullanımında dNO/dt oluşum oranında dizel yakıtına göre değişim oranları

Şekil 4 ve Şekil 5’de STD motor ve motorda farklı oranlarda emulsife yakıt kullanılması durumunda NO emisyonlarının değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi motorda emülsiyon yakıt kullanılması durumunda tüm oranlarda NO emisyonlarında azalmalar görülmüştür. Maksimum azalma miktarı 1300 d/d’da E15 emülsiyon yakıt kullanılması durumunda ortalama %22 oranındadır. Dizel

motorlarında NO emisyonlarını artıran en önemli etken yanma odasında oluşan yüksek sıcaklıklardır. Yanma odası sıcaklıklarının artması NO oluşumunu hızlandıran en büyük etkidir. Motorda yakıt olarak emülsiyon yakıt kullanılması durumunda; suyun ısıl kapasitesinin yakıta göre fazla olması ve nedeniyle yanma odası içi sıcaklıklarının azalmasıdır. Bu etki yanma sonu sıcaklıklarının düşmesine ve buna bağlı olarak NO emisyonu oluşum hızını yavaşlatmaktadır. Yavaşlayan yanma hızı NO emisyonlarında azalmalara neden olmaktadır.



Şekil4. STD ve farklı oranlarda emülsiyon yakıtlar için ölçülen NO değerleri



Şekil 5. STD verilere göre farklı oranlarda emülsiyon yakıt kullanımında NO azalma miktarları



## IV. SONUÇ

Bu çalışmada, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı kütleli oranlarda emülsiyon yakıt kullanımının NO emisyonu ve NO oluşum hızına etkileri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir;

1. Dizel motorlarında yakıt olarak emülsiyon yakıt kullanılması durumunda NO oluşum hızı azaldığı ve buna bağlı olarak NO emisyonlarında azalmalar olduğu,

2. Deneysel çalışma sonucunda ise; yakıt içerisinde farklı oranlarda su katılması durumunda NO emisyonlarında azalmalar tespit edilmiştir. Maksimum azalma miktarı E15 oranında elde edilmiştir. NO emisyonlarında, emülsiyon yakıt kullanımı durumunda %21' lere varan oranlarda azalmalar elde edilmiştir.

## V. KAYNAKLAR

[1] J. E. Dec, "Advanced compression-ignition engines – understanding the incylinder processes," *In: Proc. Combust. Inst.*, vol. 32, pp. 2727–2742, 2009.

[2] K. Akihama, Y. Takatori, K. Inagaki, S.Sasaki, A.M. Dean, A.M., "Mechanism of the smokeless rich diesel combustion by reducing temperature," *SAE paper* No 2001-01-0655. 2001.

[3] D.Ganesh, G.Nagarajan, "Homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion of diesel fuel with external mixture formation", *Energy*, vol. 35, pp. 148–157, 2010.

[4] G. Kokkulunk, E. Akdogan, V. Ayhan, "Prediction of emissions and exhaust temperature for direct injection diesel engine with emulsified fuel using ANN," *Turkish Journal Of Electrical Engineering And Computer Sciences*, vol. 21, pp. 2141-2152, 2013.

[5] V. Ayhan, "The Effects of Emulsified Fuel on the Performance and Emission of Direct Injection Diesel Engine," *Journal of Energy Engineering*, vol. 139, p. 91, 2013.

[6] V.Ayhan, S.Tunca, "Experimental investigation on using emulsified fuels with different biofuel additives in a DI diesel engine for performance and emissions", *Applied Thermal Engineering*, pp.841-854 -2018.

[7] V. Ayhan, "Bir dizel motoruna buhar enjeksiyonunun NOx ve is emisyonlarına etkisinin araştırılması", Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Sakarya, 2009.

[8] V. Ayhan, "Direkt enjeksiyonlu bir dizel motoruna buhar ve farklı yöntemlerle su gönderiminin performans ve NOx emisyonlarına etkilerinin incelenmesi," *SAÜ Fen Bil Der.*, c. 20, s. 3, ss. 463-471, 2016.

- [9] G. Rideout, N. Meyer, "Study of the Effects of Multiple Emissions Reduction Technologies on the Exhaust Emissions of Marine Diesel Engines ", *Marine Vessel Exhaust Emission Program*, Transportaion Development Center, Canada, 2003.
- [10] N.Samec, R.W.Dibble, J.Y. Chen, A. Pagon, "Reduction of NOX and Soot Emission by Water Injection During Combustion in a Diesel Engine", *FISITA* Seoul, Korea, 2000.
- [11] N.Samec, R.W.Dibble, "The Strategies for Reducing Emission from Heavy Duty Diesel Vehicles", *Urban Transport* , Cambridge, UK, 2000.
- [12] A. Lif, K. Holmberg, "Water-in-Diesel Emulsions and Related Sytems", *Advanges in Colloid and Interface Science*, pp. 231-239, 2006.
- [13] J. P. Mello, A. M. Mellor, " NOx emissions from direct injection diesel engines with water/steam dilution", *SAE paper* 1999-01-0836.
- [14] F.Bedford, C. Rutland, P.Dittrich, A.Raab, F.Wireleit, "Effects of Direct Water Injection on DI Diesel Engine Combustion", *SAE paper* 01-2938,2000.
- [15] M.Y.E.Selim, S.M. Elfeky, "Effects of diesel/water emulsion on heat flow and thermal loading in a precombustion chamber diesel engine", *Applied Thermal Engineering*, vol. 21, pp. 1565-1582, 2001.
- [16] M.Christensen, B.Johansson, "Homogeneous charge compression ignition with water injection", *SAE paper*, 1999-01-0182.
- [17] K.P. Duffy, A.M. Mellor, "Further developments on a characteristic time model for NOx emissions from diesel engines", *SAE paper* 982460, 1992.
- [18] C.A.Canfield, "Effects of Diesel-Water Emulsion Combustion on Diesel Engine NOx Emissions" , *Master of Science, University of Florida*, 1999.
- [19] F.L.Dryer,"Water addition topactical combustion system sconceptsand applications,"*16th Symposium International on Combustion, TheCombustionInstitute*, pp. 321–336, 1976.