

TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORA DİREKT SU ENJEKSİYONUNUN PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Vezir AYHAN^{1*}, Yılmaz Mert ECE²

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Sakarya, Türkiye

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Otomotiv
Mühendisliği, Sakarya, Türkiye
vayhan@sakarya.edu.tr

Özet-Bu çalışmada direkt enjeksiyonlu, tek silindirli, su soğutmalı bir dizel motorda, direkt su enjeksiyonunun motor performans parametreleri ve emisyonlar üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Su, tam yük şartlarında yanma odasına yakıtın kütleli olarak %10, %20, %30 ve %40'ı olacak şekilde silindir kapağına yerleştirilmiş su enjektörü aracılığıyla püskürtülmüştür. Su enjektörünün püskürtme miktarı ve püskürtme başlangıç açısı bir elektronik kontrol ünitesi ile gerçekleştirilmiştir. Standart motor performans parametreleri, emisyon değerleri, tam yük şartlarında sadece dizel yakıtın kullanılmasıyla elde edilmiş, daha sonra tüm veriler karşılaştırılarak her iki yöntemde de motor performans ve emisyon değerlerinde meydana gelen değişimler karşılaştırılmıştır. Direkt su enjeksiyonu uygulaması sonucunda NO_x emisyonlarındaki maksimum düşüş miktarının 1200 d/d için %40 su ile yapılan deneyde %38 olduğu tespit edilmiştir. Direkt su enjeksiyonu sonucunda motor gücünde maksimum %6'lık bir güç artışı tespit edilmiş, bununla beraber özgül yakıt sarfiyatında ise maksimum %8,5 oranında azalmalar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Motor performansı, su enjeksiyonu, direkt su enjeksiyonu, NO_x, emisyon

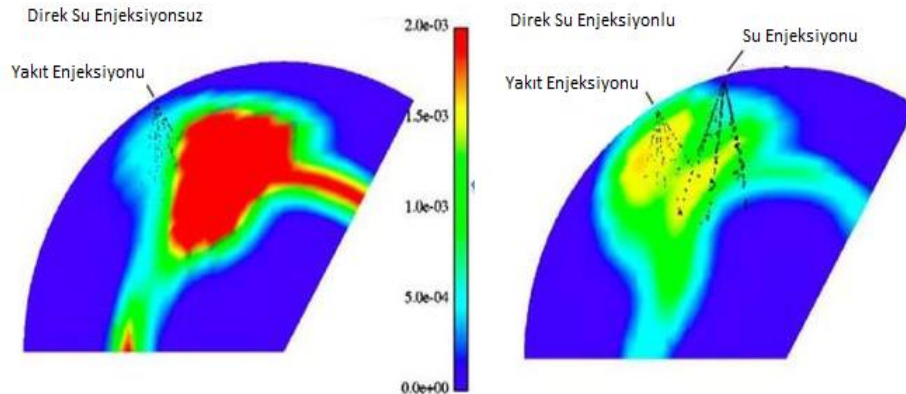
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIRECT WATER INJECTION ON PERFORMANCE AND EMISSIONS IN A SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE

Abstract-In this study, the effects of direct water injection on engine performance parameters and emissions are investigated experimentally in a single cylinder, water cooled, direct injection diesel engine. Water was sprayed into the combustion chamber under full load conditions by means of a water injector located on the cylinder head, with a mass of 10%, 20%, 30% and 40% of the fuel. The spray nozzle and spray start angle of the water injector were carried out by an electronic control unit. Standard engine performance parameters, emission values are obtained by using only diesel fuel under full load conditions. Then, all the data were compared and the changes in motor performance and emission values were compared in both methods. As a result of direct water injection, the maximum decrease in NO_x emissions was found to be 38% in the experiment with 40% water for 1200 rpm. As a result of direct water injection, a maximum power increase of 6% was detected in the engine power, however, in the case of specific fuel consumption, a maximum reduction of 8.5% was detected.

Key Words: Engine performance, water injection, direct water injection, NO_x, emission

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Benzinli motorlara kıyasla daha yüksek verime sahip olmaları, özgül yakıt sarfiyatlarının düşük olması, dizel motorların halen kara ve deniz taşımacılığında tercih sebebi haline getirmektedir. Ancak dizel motorların yüksek sıkıştırma oranına sahip olmaları ve çok daha fakir karışımla çalışmaları sebebiyle egzoz edilen azot oksit (NOx) emisyonlarının miktarı fazladır. Regülasyonların ve standartların günden güne daha da katı hale gelmesi ile bu emisyonların azaltılması otomotiv endüstrisi için hayati bir önem kazanmıştır. NOx emisyonlarının içten yanmalı motorlarda oluşumunun temel nedeni; yanma odası içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklardır. Yanma odası sıcaklığı 1800 K'nin üzerine çıktığı anda NOx emisyonunun miktarında ciddi artış gözlemlenmektedir. Bu oluşum mekanizması çerçevesinde NOx emisyonlarını azaltmak için yanma odasında oluşan bu yüksek sıcaklığın düşürülmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda (Mello ve Mellor, 1999) (Duffy ve Mellor, 1998) (Psota ve ark. 1997) (M. Christensen ve Johansson. 1999) içten yanmalı motorlarda yanma odasına su gönderildiğinde yanma sonu sıcaklıkların azaldığı ve bu sebeple NOx emisyonlarında azalmalar olduğu belirtilmektedir. Ancak yanma odasındaki yüksek sıcaklık, aynı zamanda içten yanmalı motorlarda verim artışı anlamına gelmektedir. Bu sebeple yanma odasındaki sıcaklığı düşürmek performans ve diğer emisyonlar üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilmektedir. Dizel motorlarda, gerçek ve teorik çevrimlerinde ki verim, yanma sıcaklığının yükselmesi ile egzoz üzerindeki atık ısının azlığı ve düşük egzoz sıcaklığı ile orantılıdır. Tüm bu mekanizmalar düşünüldüğünde NOx emisyonlarıyla beraber CO, HC ve is emisyonlarının da azaltılması büyük önem taşımaktadır çünkü CO, HC ve is emisyonlarını okside eden mekanizmalar NOx emisyonlarını arttırmaktadır. Bunlarla beraber performansın ve yakıt sarfiyatının da dikkate alınması gerekmektedir. Wang, C. ve H., Chen J. T., (1996) yaptıkları çalışmalarda suyun yüzey gerilmesinin yakıtla göre daha az olmasından dolayı yanma sırasında suyun silindir içerisinde mikro patlamalara sebep olarak karışım oranını iyileştirdiği ve yanma verimini arttırdığını belirlemiştir.



Şekil 1. Analizde, direkt su enjeksiyonun silindir içi sıcaklığı düşürdüğü görülmektedir. (In the analysis, it is seen that direct water injection reduces the temperature inside the cylinder.)

NOx emisyonları kontrol için birden fazla yöntem vardır. Bunlar temelde; 'yakıtta', 'yanmada' ve 'yanma sonrasında' yapılan yöntemler olarak ayrılabilir. Yakıtla ilgili çalışmalar; 'alternatif yakıtlar', 'yakıt katkıları', 'düşük azotlu yakıtlar', 'emülsif yakıtlar' dır. Yanma sonrasında ki kontrol yöntemleri ise egzoz devresinde kullanılan 'SCR' ve 'katalistler'dir. Yanma sırasındaki kontrol yöntemleri ise; 'yanma optimizasyonu', 'buhar püskürtme', 'elektronik gaz resürkülasyonu (EGR)', 'su püskürtme' ve 'süpürme havası' dır. Direkt su enjeksiyonu yanma sırasında uygulanan yöntemler başlığı altında değerlendirilmektedir.

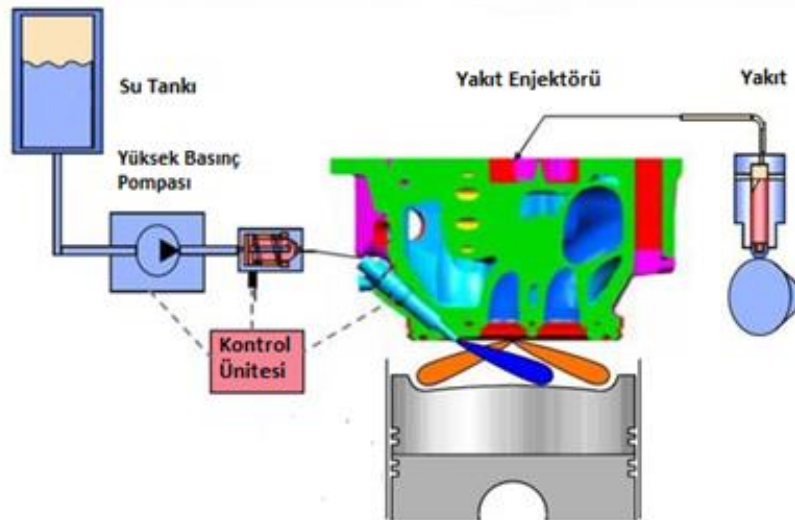
2. YÖNTEM (METHOD)

Deneylerde kullanılan motor; tek silindirli, dört zamanlı, doğal emişli, direkt püskürtmeli, su soğutmalı ve çanak pistonlu SuperStar marka dizel motordur. Deneylerde KEMSAN marka elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Motorun ürettiği gücün tespiti, dinomometre koluna 0,01 kg hassasiyetinde bir S tipi loadcell bağlanarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerden önce loadcell'in kalibrasyon işlemleri hassas bir şekilde yapılmıştır. Emisyon ölçümü, BOSCH marka gaz analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz; CO₂, CO, NO, O₂ ve HC gazlarının miktarlarını ppm (milyonda bir) ve yüzde (%) olarak ölçmektedir.

Tablo 1. Superstar test motoru özellikleri. (Superstar test engine specifications.)

Piston Çapı [mm]	108
Strok [mm]	110
Silindir Sayısı	1
Strok Hacmi [dm ³]	1
Güç, 2200 d/d, [kW]	10
Enjektör Açma Basıncı [bar]	175
Püskürtme Avansı [Krank Açısı]	34
Sıkıştırma Oranı	17,5

Püskürtme sistemi, motordan devir, üst ölü nokta ve açı bilgilerini alarak eş zamanlı çalışmaktadır. Deneylerde püskürtülecek olan su ve dizel yakıt oranının hassas olarak belirlenebilmesi için ilave enjektörün çalışma parametreleri tespit edilmiştir. Bunlar; su basıncı (sabit 100 bar), voltaj değeri ve enjektör açma-kapama süresidir. Su basıncı SIEMENS marka direkt enjeksiyon sistemi pompasının 3,5 kw'lık elektrik motoru tarafından özel yapım flanş aracılığıyla tahriklenmesiyle sağlanmış basınç değeri basınç regülatörü ile 100 barda sabit olarak ayarlanmıştır. Volt ve enjektör açma/kapama değerleri ilave enjektöre bağlanan özel yapım enjektör kontrol ünitesi aracılığıyla belirlenmiş, parametreler taranarak ilave enjektörün püskürttüğü su miktarı kütesel olarak 0,01 gr hassasiyette hassas terazi aracılığıyla tespit edilmiştir. 20 Volt akımla, 0,7 milisaniyeden itibaren enjektörün püskürtme miktarı 500 pals yani 500 tekrar için taranmış. Elde edilen yakıt hassas terazide ölçülünerek 1 pals'de ki yakıt miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra dizel motorun bir çevrimde püskürttüğü dizel yakıt miktarı hesaplanarak, bu miktarın %10, %20, %30, %40 karşılık gelen su miktarını elde etmek için gerekli volt ve enjektör açılma süreleri tespit edilmiştir.

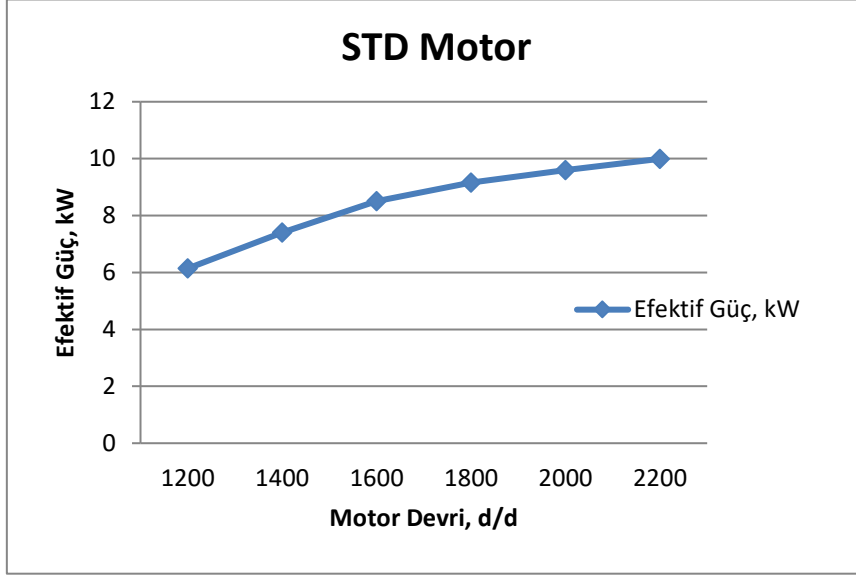


Şekil 2. Direkt su enjeksiyonunun çalışma mekanizması. (The mechanism of direct water injection.)

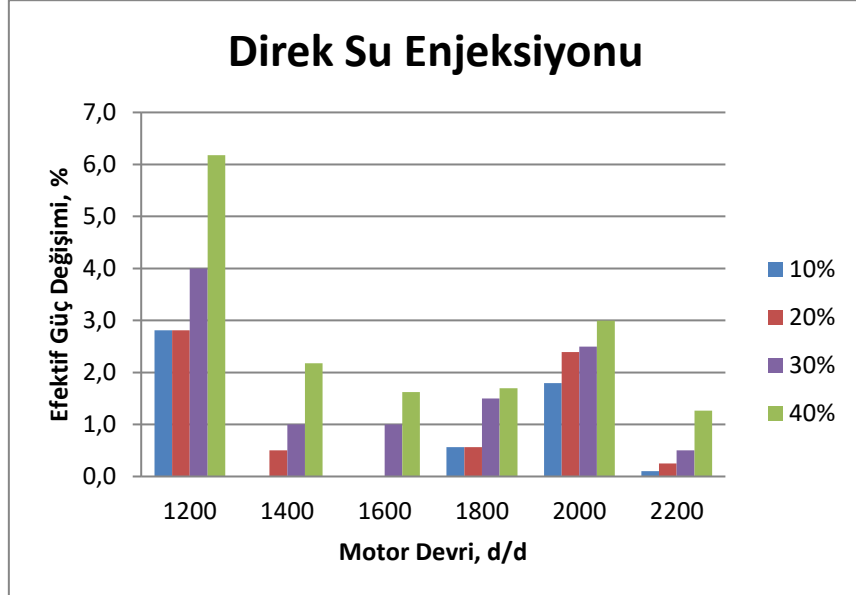
3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1 Efektif Güç Değeri (Effective Power Value)

Efektif güç değeri standart koşullarda 2200 d/d civarlarında maksimum 10 kW olarak ölçülmüştür. Direkt su enjeksiyonu için maksimum artış miktarı 1200 d/d 'da %40 su deneyinde %6 olarak tespit edilmiştir. Wang, C. ve H., Chen J. T., (1996) yaptıkları çalışmalarda suyun, yüzey gerilmesinin yakıtta göre daha küçük olması sebebiyle yanma sırasında suyun silindir içerisinde mikro patlamalara sebep olarak karışım oranını iyileştirdiği ve yanma verimini arttırdığı vurgulanmaktadır. Efektif güçte tespit edilen bu artışların bu sebeple olduğu söylenebilir.



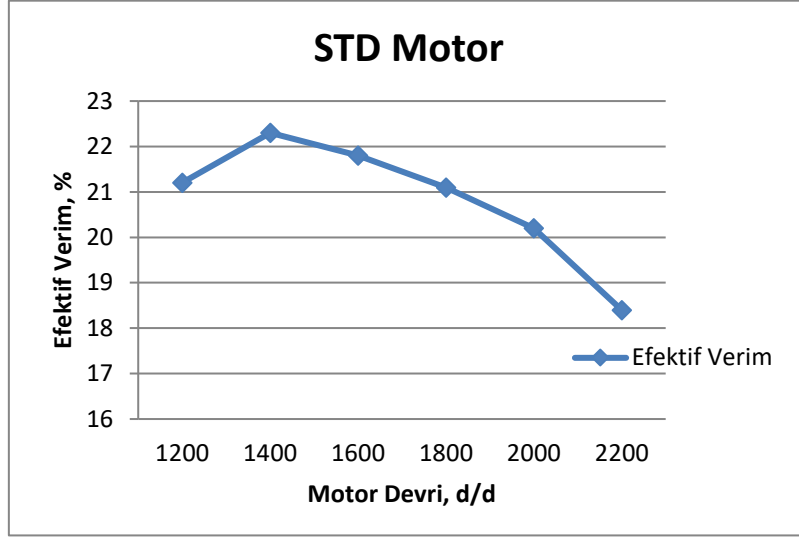
Şekil 3. Standart motor efektif güç değişimi. (Standard engine effective power change.)



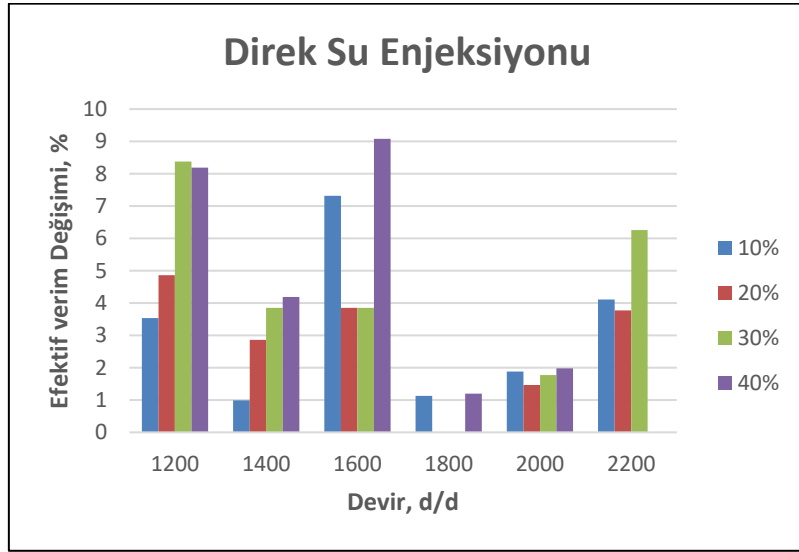
Şekil 4. Direkt su enjeksiyonuyla efektif gücün STD' a göre değişimi (The change of effective power with direct water injection according to STD condition.)

3.2 Efektif Verim (Effective Efficiency)

Standart koşullarda efektif verimdeki değişim görülmektedir. Motor devriyle ters orantılı bir eğilim gösteren grafikte maksimum verim 1400 d/d' da %22,3 olarak tespit edilmiştir. Direkt su enjeksiyonu uygulanmasıyla maksimum artış 1600 d/d 'da %40 su deneyinde, %9 olarak tespit edilmiştir.



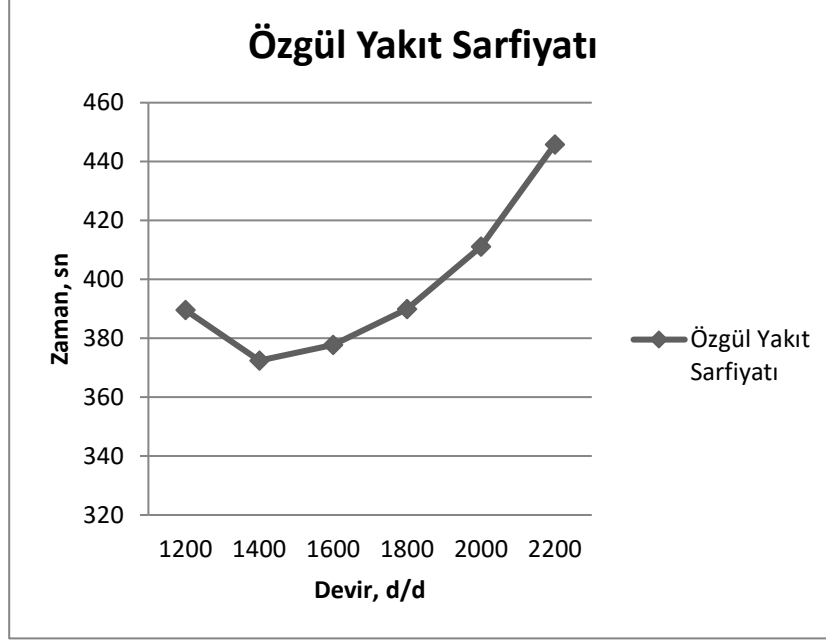
Şekil 5. Standart motor efektif verim değişimi. (Standard motor effective efficiency change.)



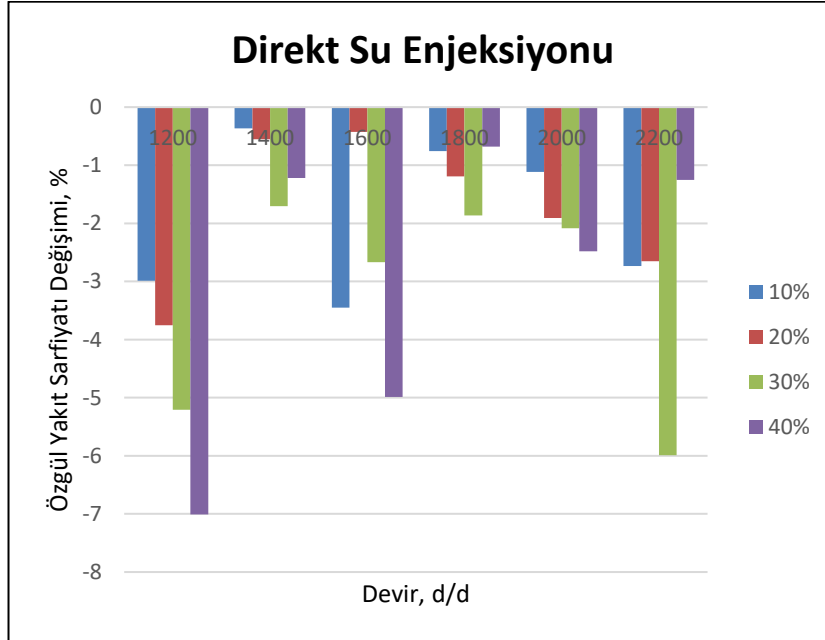
Şekil 6. Direkt su enjeksiyonuyla efektif verimin STD' a göre değişimi. (The change of effective efficiency with direct water injection according to STD condition.)

3.3 Özgül Yakıt Sarfiyatı (Specific Fuel Consumption)

Motorun, 25 gr olarak ölçeklenmiş dizel yakıtı tüketme süresi, yakıt sarfiyatını ölçme metodu olarak kullanılmıştır. Özellikle 1600 d/d 'da %40 su deneyinde yaklaşık %8,5 oranında bir düşüş olduğu tespit edilmiştir.



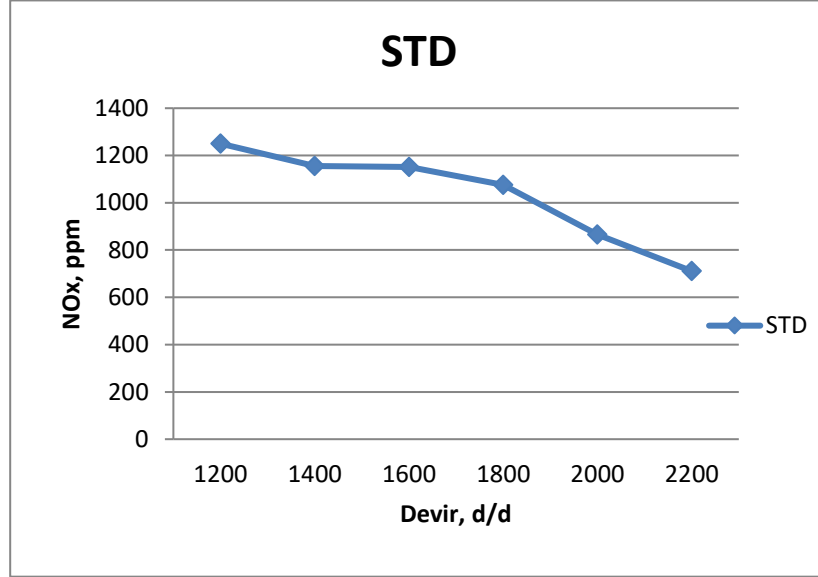
Şekil 7. Standart motor özgül yakıt sarfiyatı değişimi. (Standard engine specific fuel consumption change.)



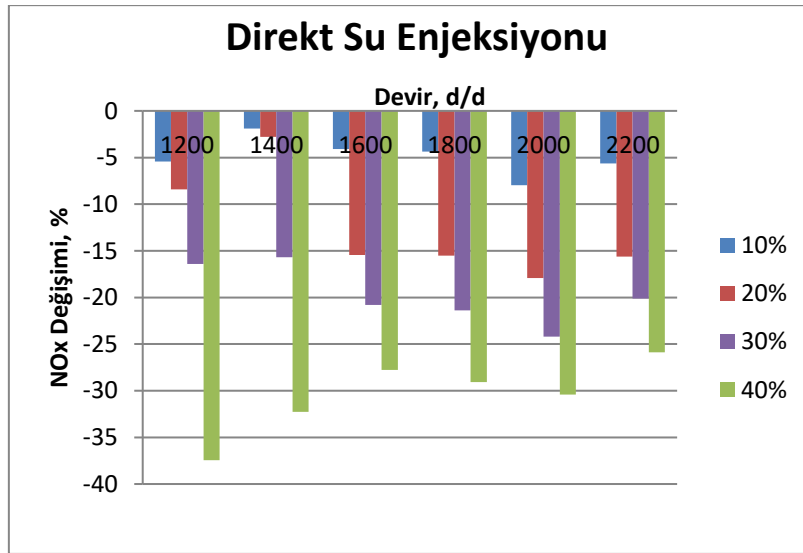
Şekil 8. Direkt su enjeksiyonuyla özgül yakıt tüketiminin STD' a göre değişimi. (The change of specific fuel consumption with direct water injection according to STD condition.)

3.4 NOx Emisyonları (NOx Emissions)

Standart koşullarda NOx miktarının değişim eğrisi görülmektedir. Motor devriyle ters orantılı bir eğilim gösteren grafikte maksimum NOx miktarı 1200 d/d 'da 1250 ppm olarak tespit edilmiştir. Direkt su enjeksiyonu uygulanmasıyla tüm devirlerde ve tüm su oranlarında kayda değer bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Maksimum düşüş 1200 d/d 'da %40 su deneyinde, %38 oranında tespit edilmiştir.



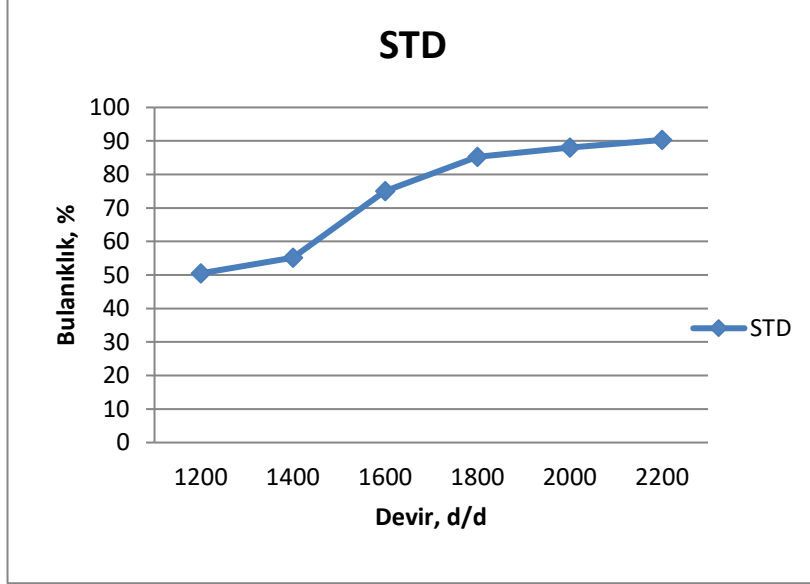
Şekil 9. Standart motor NOx emisyonları değişimi. (Standard engine NOx emissions change.)



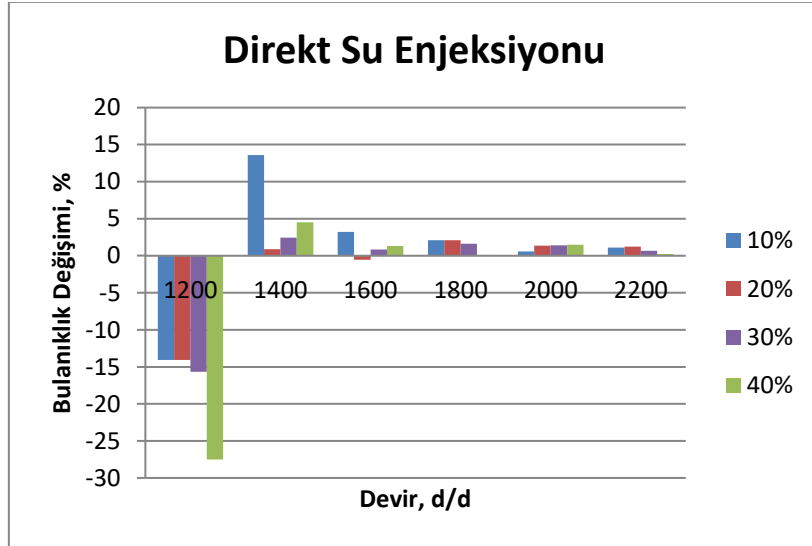
Şekil 10. Direkt su enjeksiyonuyla NOx emisyonlarının STD' a göre değişimi. (The change of NOx emissions with direct water injection according to STD condition.)

3.5 Bulanıklık (%) Değerleri (Turbidity (%) Values)

Standart koşullarda bulanıklıktaki değişimin motor devriyle doğrusal bir orantıda olduğu görülmektedir. 2200 d/d 'da maksimum %90 olarak tespit edilmiştir. Direkt su enjeksiyonu deneylerinde maksimum düşüş, 1200 d/d 'da %40 su deneyinde yaklaşık %28 olarak tespit edilmiştir.



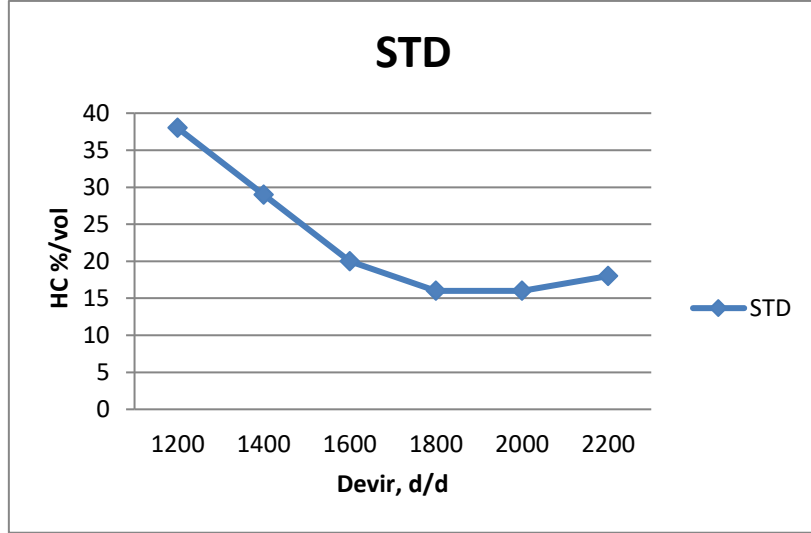
Şekil 11. Standart motor bulanıklık emisyonları değişimi. (Standard engine turbidity emissions change.)



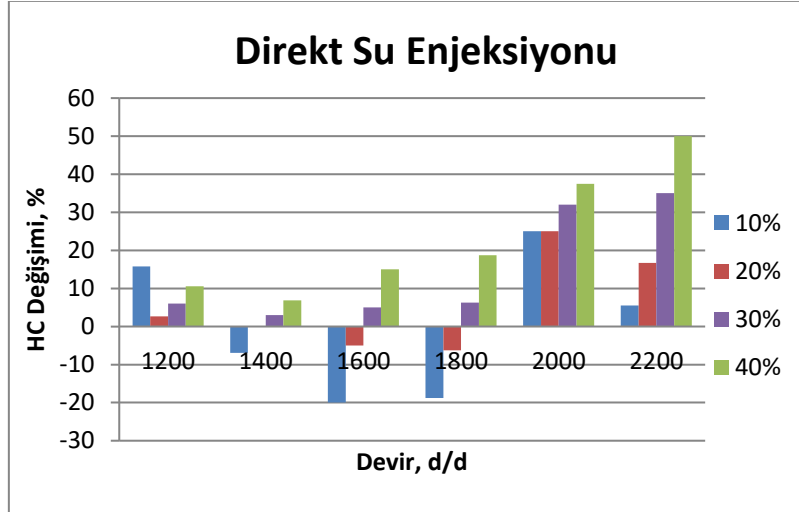
Şekil 12. Direkt su enjeksiyonuyla bulanıklık emisyonlarının STD' a göre değişimi. (The change of turbidity emissions with direct water injection according to STD condition.)

3.6 HC Emisyonları (HC Emissions)

Standart koşullarda HC emisyonlarının değişim eğrisi Şekil 9'daki gibidir. 2000 d/d 'dan sonra artış eğilimi gösterse de öncesinde motor devriyle ters orantılı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Direkt su enjeksiyonu deneylerinde ise 1600 d/d' de %10 su deneyinde ve 1800 d/d 'da %10 su deneyinde dikkate değer yaklaşık %20 oranında azalma olduğu tespit edilmiş. Gönderilen su oranı arttıkça HC emisyonlarında ciddi yükselmeler olduğu ve aynı şekilde devir sayısı ile beraber artışın doğrusal bir orantıda olduğu tespit edilmiştir. Maksimum artış 2200 d/d 'da %40 su deneyinde standart koşullara göre %50 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 13. Standart motor HC emisyonları değişimi. (Standard engine HC emissions change.)



Şekil 14. Direkt su enjeksiyonuyla HC emisyonlarının STD' a göre değişimi. (The change of HC emissions with direct water injection according to STD condition.)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, dizel motorlardan kaynaklanan emisyonların direkt su enjeksiyonu yöntemi ile azaltılması ve motor performans verileri üzerine etkisinin incelenmesi üzerinde durulmuştur. Bu nedenle, direkt enjeksiyonlu, tek silindirli bir dizel motorunda farklı oranlarda direkt su enjeksiyonu gönderilmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda tespit edilen bulgular aşağıdaki gibidir;

- 1.Motorda direkt su enjeksiyonu kullanımında maksimum %6'lık bir güç artışı tespit edilmiş, bununla beraber özgül yakıt tüketiminde ise maksimum %7,5'luk bir düşüş tespit edilmiştir.
- 2.Özellikle 1200 d/d' da direkt su enjeksiyonunun efektif güç, NOx ve bulanıklık değerleri üzerinde ciddi miktarda iyileşmelere sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple suyun özellikle düşük devirlerde yanmayı iyileştirici bir etkisi olduğu söylenebilmektedir.
- 3.NOx emisyonlarında, standart koşullara göre maksimum %38 oranında düşüş olduğu tespit edilmiştir.
- 4.NOx emisyonları azaltılırken performans ve yakıt sarfiyatının iyileştirilmesi hedefine ulaşılmıştır.
- 5.NOx emisyonlarını azaltan mekanizmanın HC emisyonlarını yükseltmesinden kaynaklı, HC emisyonlarında maksimum 2200 d/d' da %50 oranında artış tespit edilmiştir.
- 6.Sisteme getirdiği yüksek basınç pompası, enjektör gibi ek parçaların, yüksek maliyetlerinden dolayı diğer NOx azaltma teknikleri karşısında rekabetçiliğini azaltmaktadır.

5.KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1].Sarvia, A., Kilpinenb, P., Zevenhovena, R., (2009) "Emissions from large-scale medium-speed diesel engines: 3.Influence of direct water injection and common rail", FUEL PROCESSING TECHNOLOGY 222-231.
- [2]. Arabaci, E., İçingür, Y., Solmaz, H., Uyumaz, A.,Yılmaz, E., (2015) "Experimental investigation of the effects of direct water injection parameters on engine performance in a six-stroke engine", Energy Conversion and Management 98 89–97
- [3]. Mello, J.P. and Mellor, A.M., (1999) NOx emissions from direct injection diesel engines with water/steam dilution, SAE paper 1999-01-0836.
- [4]. Duffy, K.P. and Mellor, A.M., (1998) Further developments on a characteristic time model for NOx emissions from diesel engines, SAE paper 982460.
- [5]. Lif, A. And Holmberg K., (2006) "Water-in-diesel emulsions and related sytems, Advanges incolloid and interface science", 231-239.
- [6]. M.A. Psota, W.L. Easley, T.H. Fort, Mellor A.M., (1997) Water injection effects on NOx emissions for engines utilizing diffusion flame combustion, SAE Trans. J. Engines 106 1835–1843 (SAE 971657, Section 3).
- [7]. Christensen, M. and Johansson, B., (1999) Homogeneous charge compression ignition with water injection, SAE paper 1999-01-0182.
- [8]. Tunca, S., Ayhan, V., Çay, Y., Cesur, İ., (2017) "Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Stabilize Emülsife Yakıt Kullanımının Etkilerinin İncelenmesi"Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Türkiye, V. AYHAN/APJES 5-3 41-48.
- [9]. Ayhan, V., (2016) "Direkt enjeksiyonlu bir dizel motoruna buhar ve farklı yöntemlerle su gönderiminin performans ve NOx emisyonlarına etkilerinin incelenmesi", SAÜ Fen Bil Der 20. Cilt, 3. Sayı, s. 463-471.

- [10]. Ayhan, V., (2009) “Bir dizel motoruna buhar enjeksiyonunun NO_x ve is emisyonlarına etkisinin araştırılması”, Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Sakarya.
- [11]. Ayhan, V., (2013) “Effects of emulsified fuel on the performance and emission of direct injection diesel engine.”, Journal of Energy Engineering, vol.139, pp. 91-98.
- [12]. Mingrui, W., Sa, N. T., Turkson, R. F., Jinping, L., Guanlun, G. (2017) "Water injection for higher engine performance and lower emissions", Journal of the Energy Institute 90 285-299.
- [13]. Wang, C. H., Chen J. T. ,(1996); "An experimental investigation of the burning characteristics of water-oil emulsions" , Int. Commun Heat Mass Transfer 23(6):823-34.
- [14]. Şahin, Z., Tuti, M., Durgun, O., (2014) "Experimental investigation of the effects of water adding to the intake air on the engine performance and exhaust emissions in a DI automotive diesel engine", Fuel 115 884–895.