Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi
Cilt: 13, No: 3, 2016 (31-40)

Electronic Journal of Machine Technologies
Vol: 13, No: 3, 2016 (31-40)

TEKNOLOJİK ARAŞTIRMALAR

www.teknolojikarastirmalar.com
e-ISSN:1304-4141

Makale
(Article)

Termal Bariyer Kaplı Bir Buji Ateşlemeli Motora Su Enjeksiyonunun Motor Performans ve Egzoz Emisyonları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

İdris CESUR
Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Sakarya/TÜRKİYE
icesur@sakarya.edu.tr

Geliş Tarihi:19.08.2016
Kabul Tarihi:01.10.2016

Özet

Bu çalışmada, termal bariyer kaplı buji ateşlemeli bir motora farklı oranlarda su enjeksiyonun motor performans ve egzoz emisyonları üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Su emme manifolduna, emme zamanında motor yakıt sarfiyatının %10, %20 ve %30 kütlesel oranlarında elektronik kontrollü püskürtme sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Termal bariyer kaplama (TBK) için piston tepesi 4 mm genişliğinde ısı rezerv özelliği yüksek Y_20_3 seramik malzeme ile kaplanmıştır. Termal bariyer kaplama sonucunda standart motor verilerine göre performans parametrelerinde iyileşmeler, HC emisyonlarında dikkate değer oranda azalma gözlemlenirken kaplama ile artan silindir içi sıcaklık nedeniyle NOx emisyonlarında artmaların olduğu tespit edilmiştir. Artan NOx emisyonlarının azaltılması için motora farklı oranlarda su enjeksiyonu gerçekleştirilmiştir. Motor deneyleri tam yük şartlarında 1600, 2000, 2400, 2800, 3200 ve 3600 d/d motor hızlarında aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Termal bariyer kaplı motora su enjeksiyonu yapılması durumunda, standart duruma göre hem motor performans ve hem de emisyon değerlerinde iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir. Termal bariyer kaplamalı motora su enjeksiyonu yapılması durumunda standart motor verilerine göre döndürme momenti ve efektif güçte % 4.6 artma, özgül yakıt sarfiyatında % 4.5, HC emisyonlarında % 30, ve NOx emisyonlarında ise % 26 oranında azalmaların olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termal bariyer kaplama, Su enjeksiyonu, Motor performansı, Egzoz emisyonları.

Investigation of the Effects of Water Injection to a SI Engine with the Thermal Barrier Coated Piston on Performance and Emissions

Abstract

In this study, the effects of different ratio water injected to a SI engine with thermal barrier coated on engine performance and exhaust emissions has been investigated experimentally. The water, using an electronically controlled injection system at the intake time is carried out into the engine intake manifold at rate of 10%, 20% and 30% of engine fuel mass. The piston crown was coated at the 4mm width with high heat reserve characterized Y_20_3 ceramic material for thermal barrier coatings. As a result of the thermal barrier coating, the engine performance parameters is improvement according standard engine date, to decreases considerable rate at the HC emissions and. NOx emissions was increased due to increased temperature inside the cylinder with thermal barrier coated piston. The water injection was carried out to engine in different ratio for reducing the increased NOx emissions. Engine test at full load conditions in 1600, 2000, 2400, 2800, 3200 and 3600 rev/ min was carried out in the engine speed gradually. In case the

Bu makaleye atıf yapmak için
Cesur İ., "Termal Bariyer Kaplı Bir Buji Ateşlemeli Motora Su Enjeksiyonunun Motor Performans ve Egzoz Emisyonları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2016, 13(3) 31-40*

How to cite this article
Cesur İ., "Investigation of the Effects of Water Injection to a SI Engine with the Thermal Barrier Coated Piston on Performance and Emissions", *Electronic Journal of Machine Technologies, 2016, 13(3) 31-40*

thermal barrier coated engine water injection, based on the standard condition and is identified as both engine performance improvements in both emissions. In case of thermal barrier coated engine to the water injection done, engine torque and effective power increase 4.6% according standard engine date. Specific fuel consumption, HC emission and NOx emissions sequentially decreases 4.5%, 30% and 26%.
Keywords : Thermal Barrier Coated, Water injection, Engine performance, Exhaust Emissions.

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda, araştırmalar katı emisyon standartlarını sağlamak için motorlardan salınan zararlı emisyonları azaltmaya yöneliktir. Fakat bu zararlı emisyonları azaltırken bir taraftan da motor performansı ve yakıt sarfiyatını kötüleştirmemek gerekmektedir. Motorlarda performansı arttırmanın bir yolu termik verimi arttırmaktır. Yanma odası sıcaklığını arttırmak termik verimi artırmaktadır. Yanma odası sıcaklıklarının artması HC emisyonlarında bir azalmaya sebep olurken NOx emisyonlarında ise artmaya neden olmaktadır. Bu sebeple çalışmalar hem performans parametrelerin iyileştirilmesi hem de egzoz emisyonlarının azaltılması yönünde olmaktadır [1-3].

Buji ateşlemeli motorlardan çevreye salınan kirletici bileşenlerin en önemlileri, kısmi eksik yanma ürünleri olan CO ve HC emisyonlarıdır. HC emisyonlarını tetikleyen bir kaç oluşum mekanizması vardır. Bu oluşum mekanizmalarından en önemlisi ise alev sönme bölgeleridir. Alev sönme bölgelerini azaltmak amacıyla piston üzerine seramik kaplama yöntemi uygulanmaktadır[4-10]. Buji ateşlemeli motorlarda yanma odasının tamamının seramik malzeme ile kaplanması durumunda artan yanma odası sıcaklıklarına bağlı olarak vuruntu temayülü artmaktadır. Bu nedenle, yanma odasının tamamının kaplanması yerine kısmi kaplama uygulamaları kullanılmaktadır[4-10]. Bu sayede motor performansında iyileşmeler olurken, HC emisyonlarında da azalmalar meydana gelmektedir.

Literatürde HC emisyonlarını azaltmak amacıyla yapılan birçok çalışma mevcuttur. Çalışmalarda, piston tepesinin kısmi termal bariyer kaplanması sonucunda; efektif güçte artmalar, özgül yakıt sarfiyatında azalmalar ve HC emisyonlarında kayda değer oranlarda azalmaların olduğu vurgulanmaktadır. Bazı çalışmalarda ise kaplama ile meydana gelen vuruntuyu gidermek için alkol+benzin karışımları kullanılmış ve bu sayede performansta iyileşmeler olurken HC emisyonlarında azalmalar olmuştur. [4-6].

Termal bariyer kaplama ile bu avantajlar elde edilmiş olsa da artan yanma odası sıcaklıkları nedeniyle NOx emisyonlarının artması önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle kaplama ile birlikte alev sönme bölgelerinden kaynaklanan HC emisyonlarının azaltılması sağlanırken, aynı zamanda NOx emisyonlarını azaltmak için yanma odası sıcaklıkları düşürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, hem HC hem de NOx emisyonlarının azaltılması amacıyla termal bariyer kaplama uygulaması ile motor emme manifolduna su enjeksiyonu birlikte kullanılmıştır.

Buji ateşlemeli motorlarda, su farklı yöntemlerle motora gönderilmektedir. Bunlardan birincisi, suyun emme manifolduna enjeksiyonu, diğer bir yöntem yakıt içerisine farklı oranlarda karıştırılması ve üçüncü ve son yöntem olarak silindir içerisine direkt enjeksiyon yöntemidir. Direkt enjeksiyon yönteminde önemli yapısal değişikliklere ve pahalı sistemlere ihtiyaç duyulması, yakıt içerine su karıştırılmasında ise faz ayrışması nedeni ile emme manifolduna püskürtme işlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Suyun içten yanmalı motorlarda kullanılması üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, motora su gönderimi ile birlikte silindir içi sıcaklıkların düştüğü ve NOx emisyonlarında önemli oranlarda azalmaların elde edildiği görülmektedir. Çalışmalarda aynı zamanda suyun yanma verimini arttırdığı vurgulanmaktadır. Yanma veriminin artmasının nedenin silindir içerisine gönderilen suyun buharlaşma esnasında yakıt ile havanın daha iyi karışmasına katkı sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir [11-17].

Soysal ve ark., tek silindirli bir benzin motoruna emme havası içerisine farklı oranlarda su

püskürtülmesinin motor performans ve egzoz emisyonları üzerine etkilerini değişen yük ve devir durumları için deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, tam gaz konumunda % 6,25 su püskürtme oranında efektif güçte ortalama %7 artma, özgül yakıt sarfiyatında, CO ve HC emisyonlarında ise sırasıyla %6, %30 ve %25 oranlarında azalmaların olduğunu belirlemişlerdir[18]. Ozcan ve ark., LPG ile çalışan buji ateşlemeli bir motora farklı kütlesel oranlarda su püskürtülmesinin motor performansı ve açığa çıkan ısı değişimi üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler sonucunda % 50 su oranında, termik efektif verimde %2.7 oranında artmaların olduğunu, ÖYS' da ise yaklaşık % 4 oranında azalmanın olduğunu tespit etmişlerdir. Deneysel çalışma bulgularına dayanarak hesapladıkları motor ısı dağılımında ise, su püskürtülmesi durumunda kayıp ısının azaldığını saptamışlardır[19].

Bu çalışmada, piston dış yüzeyden merkeze doğru 4 mm genişliğinde ısı rezervi yüksek olan Y_2O_3 seramik malzemesi kaplanması ve motorun emme manifolduna farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda motor performans ve egzoz emisyonları üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler standart motor verileri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

2. MALZEME ve METOT

Deneylerde, çift silindirli, elektronik püskürtmeli, doğal emişli, dört stroklu, su soğutmalı Lombardini marka buji ile ateşlemeli bir benzin motoru kullanılmıştır. Tablo 1' de deney motorunun teknik özellikleri ve şekli, Şekil 1' de ise deney düzeneğinin şekli verilmiştir.

Tablo 1. Deney motoru ve teknik özellikleri

Motor Tipi	Lombardini
Piston Çapı [mm]	72
Strok [mm]	62
Silindir Sayısı	2
Strok Hacmi [dm^3]	0,505
Güç, [kW]	15
Sıkıştırma Oranı	10,7
Soğutma Tipi	Su
Yakıt Tipi	Enjeksiyonlu

Deney Motoru





Şekil 1. Deney düzeneği

Deneylerde, 20 kW güç yutma kapasitesine sahip KEMSAN marka bir elektrikli dinamometre ile motor yüklenmiştir. Motor tarafından üretilen gücün tespiti için dinamometre koluna 0,01 kg hassasiyetinde S tipi Loadcell bağlanmıştır. Emisyon ölçümü için MRU Delta 1600 L marka egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Cihaz CO, CO_2, NO, NOx ve HC gazlarının egzozdaki miktarlarını yüzde (%) ve ppm (milyonda bir) olarak vermektedir.

Piston üst yüzeyine, piston tepesinden merkeze doğru 4 mm genişliğinde ve 0.5 mm kalınlığında Y_20_3 seramik malzeme kaplanmıştır. Seramik kaplama öncesi kaplanacak yüzey temizlenmiş daha sonra seramik kaplamanın metalik malzemeye uygun şekilde bağlanması için metalik malzeme pürüzlendirilmiştir. Uygun şekilde pürüzlendirilme kum püskürtülerek yapılmıştır. Kaplama kalınlığının 0, 20 mm' sini ara yüz (Ni-Al tozu) geriye kalan 0,30 mm' sini de seramik malzeme (Y_2O_3 tozu) oluşturmaktadır.

Motora su enjekte etmek için elektronik kontrollü püskürtme sistemi geliştirilmiştir. Püskürtme sistemi, motorun farklı noktalarından bilgi alarak (motor devri, açı ve üst ölü nokta bilgisi) gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. Püskürtme sistemi, motorun yakıt sarfiyatı değerlerinin farklı kütlesel oranlarında püskürtme yapmaktadır. Su enjektörleri, motor emme supabının tam arkasına püskürtme yapacak şekilde manifolda konumlandırılmıştır. Motora su enjeksiyonu, 3 bar basınç altında ve yakıt sarfiyatının %10, %20 ve %30 kütlesel oranlarında gerçekleştirilmiştir.

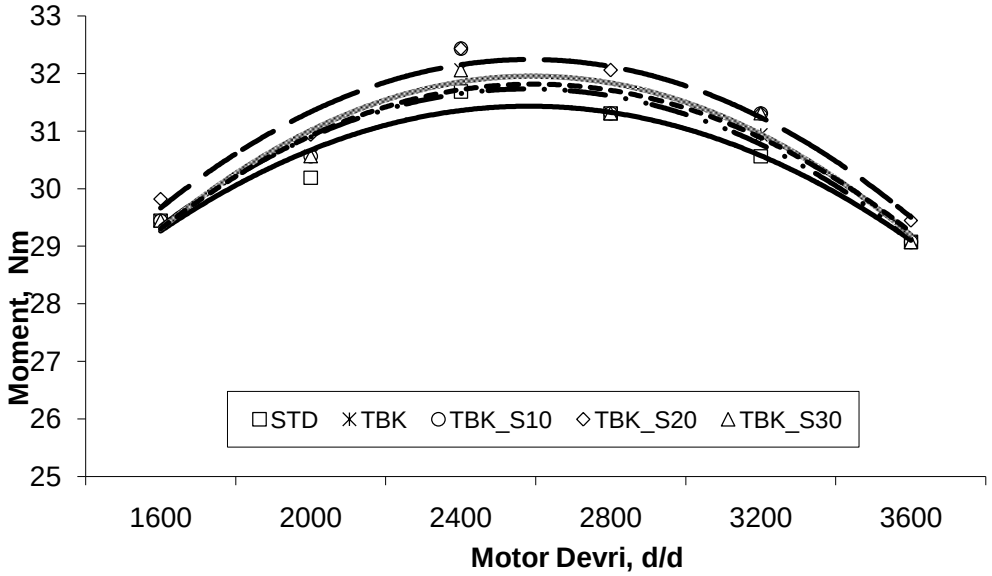
Deneyler gaz kelebeğinin tam açık olduğu konumunda 1600, 2000, 2400, 2800, 3200 ve 3600 d/d ' da gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma açısından deneyler ilk önce benzin yakıtı ile standart (STD) ve kaplamalı pistonda gerçekleştirilmiştir. Daha sonra TBK pistona farklı oranlarda su, motor emme zamanında ve emme supabı açık iken motor yakıt sarfiyatının farklı kütlesel oranlarında enjekte edilmiştir. Her bir su püskürtme oranı için deneyler tekrarlanmış olup motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve TARTIŞMA

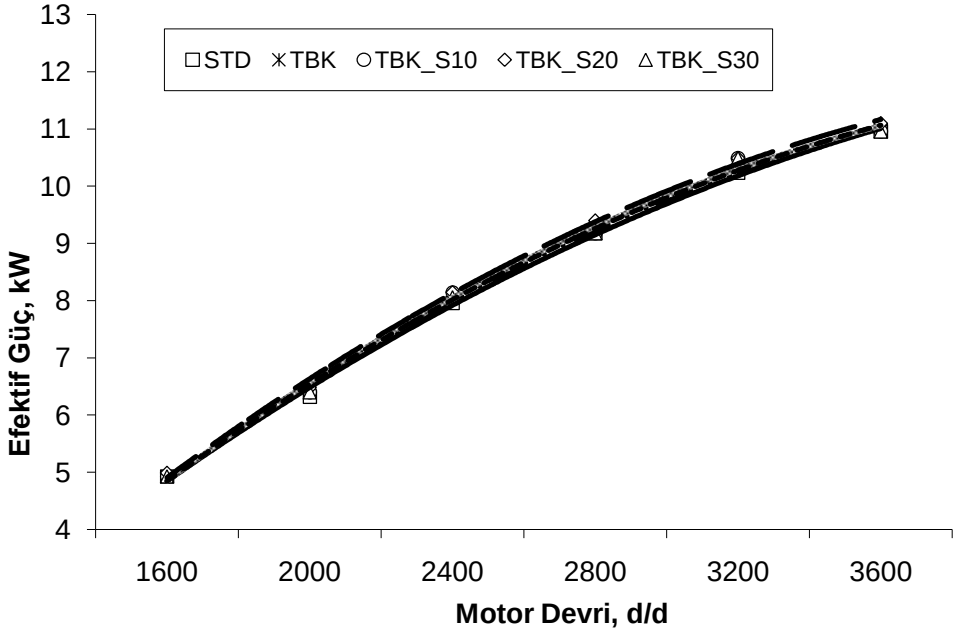
3.1 Motor Performans Parametreleri

Şekil 2 ve 3.'de motora farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda motor momenti ve efektif güçteki değişim görülmektedir. Kısmi seramik kaplı piston motorda kullanılması durumunda, STD motor verilerine göre tüm motor devirlerinde artmaların olduğu görülmektedir. TBK pistonda maksimum artma oranı 3200 d/d' da % 1,2 olarak tespit edilmiştir. Güçteki ve momentteki artışın nedeni, ısı kayıplarının azalması ve yanma veriminin artmasından kaynaklanmaktadır.

TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda hem STD motor verilerine hem de TBK piston verilerine göre motor momenti ve efektif güçte artmaların olduğu gözlenmiştir. Efektif güçte ve motor momentindeki maksimum artış oranı % 20 su püskürtme oranında elde edilmiştir. Bu püskürtme oranı için maksimum artış oranı 2800 d/d 'da %2,32' dir. Momentteki minimum değişim ise 1600 d/d' da % 1,25 olarak tespit edilmiştir. Moment ve güçteki artışın nedeni, silindir içerisine gönderilen su damlacıklarının buharlaşması esnasında yakıt hava karışımının daha iyi karışmasına olanak sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

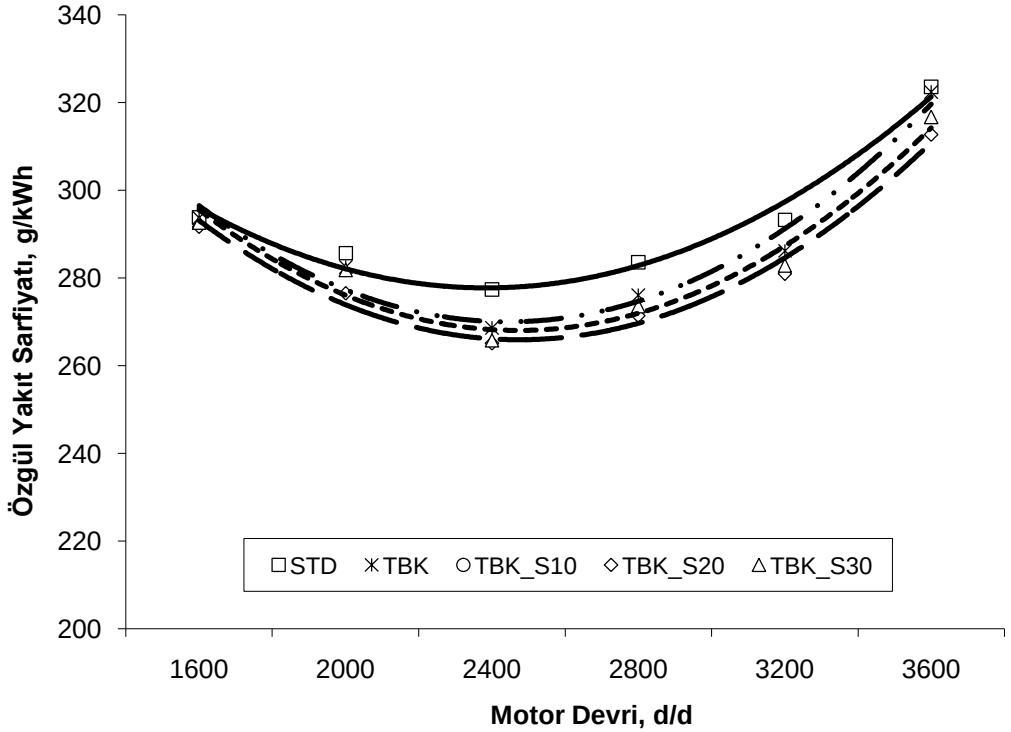


Şekil 2. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda motor momentindeki değişim



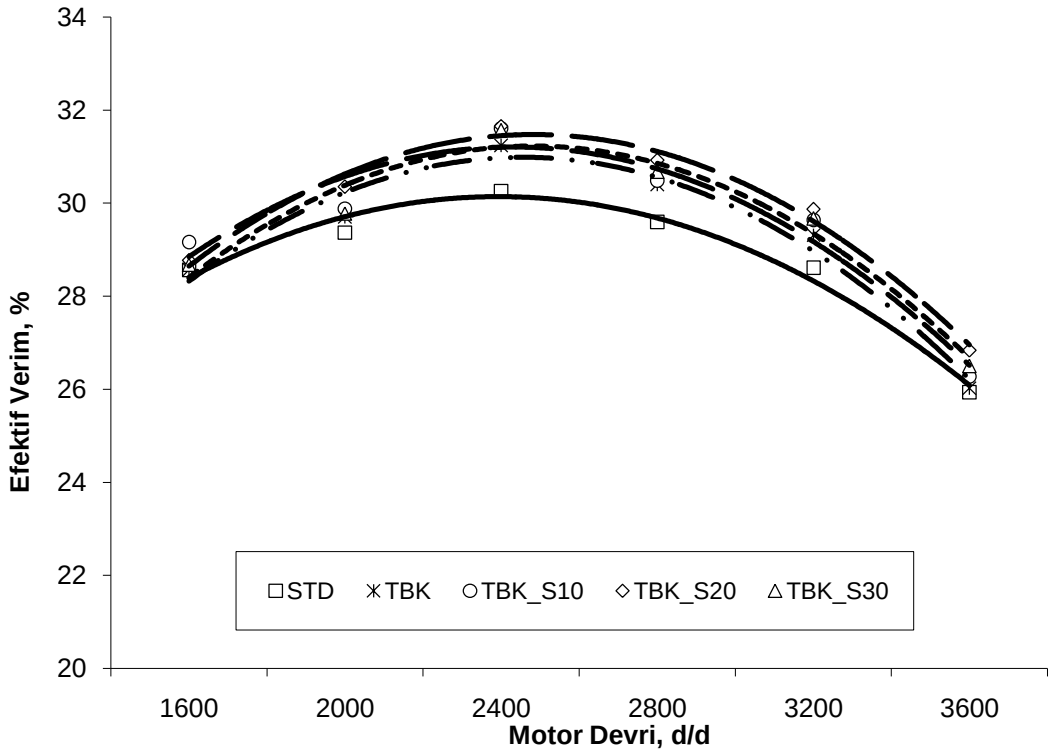
Şekil 3. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda efektif güçteki değişim

Şekil 4.'de motora farkı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumdan özgül yakıt sarfiyatındaki (ÖYS) değişim görülmektedir. Motorda TBK piston kullanılması durumunda tüm devir aralıklarında azalmalar meydana gelmiştir. Maksimum azalış oranı 2400 d/d' da % 3,25' dir. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda ise ÖYS 'de tüm devirler için iyileşmeler tespit edilmiştir. En iyi sonuç % 20 su enjeksiyonunda elde edilmiş ve maksimum azalma oranı 2400 d/d ' da % 4, 6' dır.



Şekil 4. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda ÖYS 'deki değişim

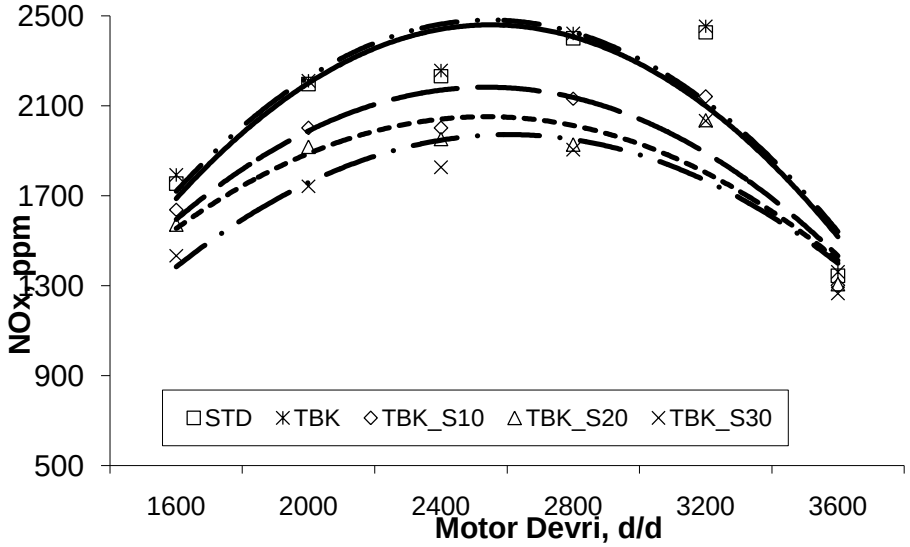
Şekil 5' de motorda TBK piston kullanılması ve farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda efektif verimdeki değişim görülmektedir. Motorda TBK piston kullanılması ve TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda tüm devir aralılarında efektif verimde iyileşmeler gözlenmiştir. Efektif verimdeki maksimum iyileşme % 20 su enjeksiyonu durumunda elde edilmiştir. Bu püskürtme oranı için maksimum artış oranı 2400 d/d' da % 4,4' dir.



Şekil 5. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda efektif verimdeki değişim

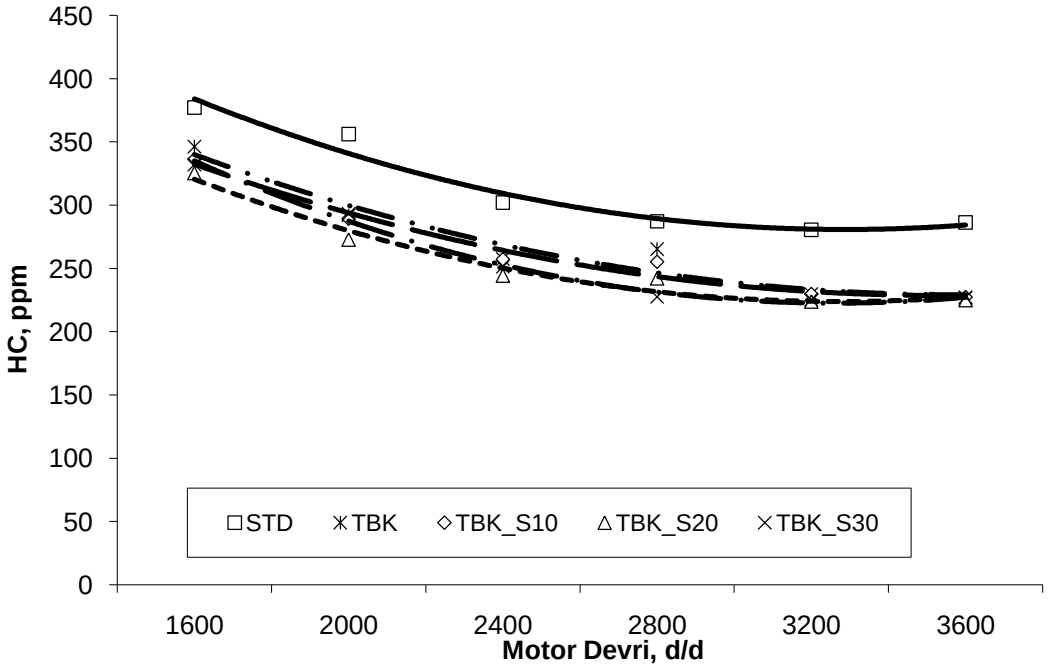
3.2 Egzoz Emisyonları

Şekil 6' da motorda TBK piston kullanılması ve farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda NOx emisyonlarındaki değişim görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, TBK kaplı pistonda NOx emisyonları tüm devir aralıklarında artmalar olmaktadır. Artan yanma odası sıcaklıkları NOx emisyonlarını tetikleyen ana etkenlerden biridir. STD duruma göre TBK pistonda maksimum artma 1600 d/d' da % 2,52 dir. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda minimum NOx değeri %30 su enjeksiyonunda elde edilmiştir. %30 su enjeksiyonu yapılması durumunda STD duruma göre maksimum azalma miktarı 2800 d/d' da %26 olarak tespit edilmiştir. Motorlarda NOx emisyonlarının oluşumunu etkileyen en önemli faktör silindir içerisinde ulaşılan yüksek sıcaklıklardır. STD duruma göre piston tepesine ısı kapasitesi yüksek seramik malzeme ile kaplanması sonucu yanma odası sıcaklıklarının artması NOx oluşumunu hızlandırmaktadır. Motora su gönderildiğinde ise, suyun ısıl kapasitesinin yüksek olmasından dolayı STD duruma göre silindir içi maksimum sıcaklığı da düşmektedir. Silindire su gönderilmesi durumunda yanma ürünlerinin özgül ısılarına bağlı olarak ısıl kapasiteleri artmaktadır. Yanma ürünlerinin ısıl kapasitesinin artması silindir içi maksimum yanma sıcaklığının azalmasına neden olmaktadır. Bu durum NOx emisyonu oluşum hızını yavaşlattığından dolayı NOx emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır.



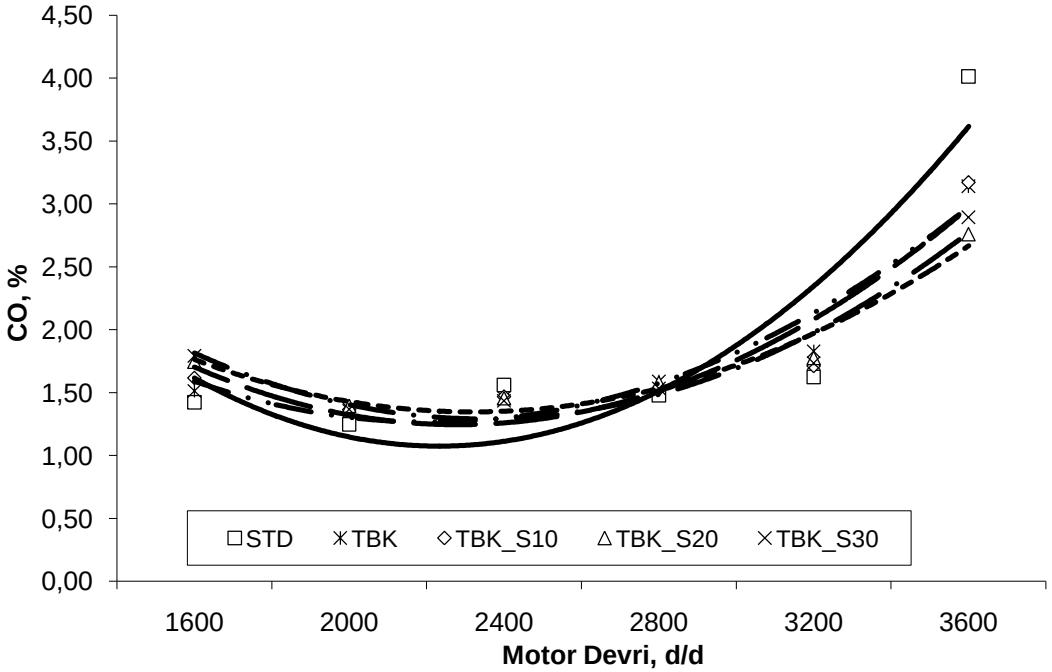
Şekil 6. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda NOx emisyonlarındaki değişim

Şekil 7' de motorda TBK piston kullanılması ve farklı oranlarda su püskürtülmesi durumunda HC emisyonlarındaki değişim görülmektedir. STD duruma göre TBK pistonda HC emisyonları kayda değer oranlarda azalmalar olmaktadır. Maksimum azalma miktarı 3200 d/d' da %22 olarak tespit edilmiştir. HC emisyonların azalma nedenleri, yanma odası içerisinde TBK piston ile silindir cidarına yakın yüzeylerde oluşan ısı rezervi ile yanma odasında meydana gelen alev sönme bölgelerinin azalması ve oksidasyon reaksiyonlarını hızlandırarak HC emisyonlarını azaltmaktadır. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması duruma ise tüm devirlerde azalmalar görülmektedir. Maksimum azalma oranı %20 su enjeksiyonu yapılması durumunda 2000 d/d' da % 30 oranındadır. Su enjeksiyonu ile yanma veriminin iyileşmesi HC emisyonlarında azalmalara neden olmaktadır.



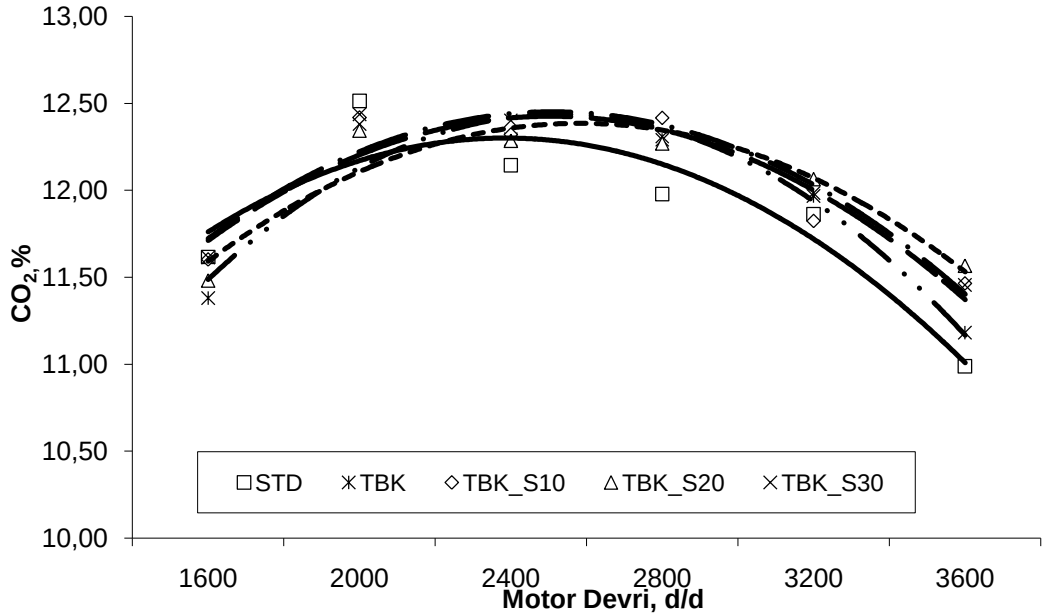
Şekil 7. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda HC emisyonlarındaki değişim

Şekil 8'de CO emisyonlarının değişimi görülmektedir. TBK pistonda STD duruma göre düşük devirlerde(1600,2000 d/d) artma olurken yüksek devirlerde (2400-3600d/d) azalmalar olmaktadır. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda da aynı trend görülmektedir. Minimum CO değeri %20 su enjeksiyonu yapılması durumunda elde edilmiştir.



Şekil 8. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda CO emisyonlarındaki değişim

Şekil 9'da CO_2 emisyonlarının değişimi görülmektedir. TBK pistonda STD duruma göre düşük devirlerde(1600,2000 d/d) azalma olurken yüksek devirlerde (2400-3600d/d) artmalar olmaktadır. TBL pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda da aynı trend görülmektedir. Maksimum CO_2 değeri %20 su enjeksiyonu yapılması durumunda elde edilmiştir.



Şekil 9. TBK pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda CO_2 emisyonlarındaki değişim

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, piston üst yüzeyine Y_20_3 seramik malzeme kaplanması ve bu pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda motor performans parametreleri ve egzoz emisyonları üzerindeki değişim araştırılmıştır . Piston üst yüzeyi seramik malzeme ile kaplanması durumunda motor performans parametrelerinde iyileşmeler gözlenmiştir. Egzoz emisyonları açısından ise HC emisyonları azalırken, NOx emisyonları artmaktadır. Motora farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda hem motor performans parametrelerinde hem de egzoz emisyonlarında iyileşmeler tespit edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda; döndürme momenti ve efektif güçte STD duruma göre % 20 su enjeksiyonu yapıldığında 3200 d/d ' da % 4,65 artma, özgül yakıt sarfiyatında ise 2400 d/d ' da % 4,6 oranında azalmalar görülmüştür. NOx emisyonlarında ise STD duruma göre % 30 su enjeksiyonu yapıldığında 2800 d/d' da % 26 oranında azalma tespit edilirken HC emisyonlarında ise maksimum azalma oranı % 20 su enjeksiyonu durumunda 2000 d/d' da % 30' dur.

5. KAYNAKLAR

1. Cesur İ., 2013, "Kısmi Yalıtılmış Bir Buji Ateşlemeli Motorda Buhar Enjeksiyonu Etkilerinin İncelenmesi", SAÜ, FBE, Doktora Tezi.
2. Parlak, A., 2000, "Aşırı Doldurmalı Seramik Kaplı Bir Dizel Motorunda Optimum Püskürtme Avansı ve Sıkıştırma Oranının Deneysel Olarak İncelenmesi", SAÜ, FBE, Doktora Tezi.
3. Parlak, A., 2005, "The effect of Heat Transfer on Performance of The Diesel Cycle and Exergy of The Exhaust Gas Stream in a LHR Diesel Engine at The Optimum Injection Timing", Energy Conversion and Management 46,167–179.

4. Assanis, DN., Badillo, E., 1990, "The Effect of Thin Ceramic Coating on Spark-Ignition Engine Performance", SAE Paper, 900903.
5. Poola, RB., Nagalingam, B., Gopalakrishnan, K.V., 1994, "Performance of Thin-Ceramic-Coated Combustion Chamber with Gasoline and Methanol as Fuels in A Two-Stroke SI Engine", SAE Paper, 941911.
6. Parlak A., Ayhan V., Deniz C., Kolip A., Koksal S., 2008, "Effects of M15 Blend on Performance and Exhaust Emissions of Spark Ignition Engine with Thermal Barrier Layer Coated Piston", Journal of The Energy Institute, Vol.81 (2)97-1001.
7. Cerit, M., Ayhan, V., Parlak, A., Yaşar, H., 2011, "Thermal Analysis of a Partially Ceramic Coated Piston: Effect on Cold Start HC Emission in a Spark Ignition Engine", Applied Thermal Engineering 31, 336-341.
8. Chan, SH., Khor, KA., 2000, " The Effect of Thermal Barrier Coated Piston Crown on Engine Characteristics", Journal of Materials Engineering and Performance Volume 9(1)103-109.
9. Chan, SH., 2001, " Performance and Emissions Characteristics of a Partially Insulated Gasoline Engine" , Int. J. Therm. Sci., 40, 255–261.
10. Rameshe- Kumar, C., Nagarajan, G., 2012, "Performance and Emission Characteristics of a Low Heat Rejection Spark Ignited Engine Fuelled With E20", Journal of Mechanical Science technology, Volume 26,(4), 1241-1250.
11. Bedford F., Rutland C., Dittrich P., Raab A. and Wirbeleit F., 2000, " Effects of Direct Water Injection on DI Diesel Engine Combustion", SAE paper 2000-01-2938.
12. Mello J.P., Mellor A.M., 1999, "NOx emissions from direct injection diesel engines with water/steam dilution", SAE paper 1999-01-0836.
13. Christensen M., 1999, "Johansson B., Homogeneous charge compression ignition with water injection", SAE paper 1999-01-0182.
14. Duffy K.P., Mellor A.M., 1998, "Further developments on a characteristic time model for NOx emissions from diesel engines", SAE paper 982460.
15. Psota M.A., Easley W.L., Fort T.H., Mellor A.M., 1997, "Water injection effects on NOx emissions for engines utilizing diffusion flame combustion", SAE Trans. J. Engines 106, 1835–1843.
16. Kohketsu S., Mori K., Sakai K., 1996, "Reduction of exhaust emission with new water injection system in a diesel engine", SAE paper 960033.
17. Wang, Y., Lin, L., Roskilly, A. P., Zeng, S., Huang, J., He, Y., Hunang X., Hunag, H., Wei, H., Shangping G, L. S., Yang, J., 2007, "An Analytic Study of Applying Miller Cycle to Reduce NOX Emission from Petrol Engine", Applied Thermal Engineering 27,1779–1789.
18. Soysal D., Durgun O., 2010, "Benzin Motorlarında Emme Havasına Su Eklenmesinin Motor Performansına Ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", 11. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, Saraybosna.
19. Ozcan H., Soylemez M.S., 2006, "Thermal balance of a LPG fuelled four stroke SI engine with water addition", Energy Conversion and Management 47, 570-581.