

Received: November 16, 2017  
Accepted: January 17, 2018

## MgO-ZrO<sub>2</sub> Termal Bariyer Çemberli Bir Buji Ateşlemeli Motora Su Fumigasyonun Etkilerinin İncelenmesi

İdris CESUR<sup>1\*</sup>, İbrahim ÖZSERT<sup>1</sup>, Yusuf ÇAY<sup>1</sup>, Aslan ÇOBAN<sup>1</sup>, Faruk YALÇIN<sup>2</sup>, Vezir AYHAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Makina Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 54187, Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup>Makina Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 54187, Sakarya, Türkiye

### Özet

Buji ateşlemeli motorlarda en önemli kirletici emisyonlardan biri kısmi eksik yanma ürünü olan HC emisyonlarıdır. Silindir içerisinde HC emisyonlarının oluşmasına neden olan birçok farklı kaynak olmakla birlikte silindir cidarına yakın soğuk bölgeler (alev sönme bölgeleri) ana kaynaklardır. Çalışmada alev sönme bölgelerinden kaynaklanan HC emisyonlarının azaltılması için piston başında ısı rezervi yüksek MgO-ZrO<sub>2</sub> seramik malzeme ile termal bariyer çember (TBC) oluşturulmuştur. TBC sonucunda silindir içerisinde sıcaklıklar arttığundan vuruntu temayülü ve NOx emisyonları olumsuz yönde etkilenmektedir. Bunun önlenmesi için çalışmada motor emme manifolduna su fumigasyonu tekniği uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda standart motor verilerine göre TBC'li motorda HC emisyonlarında önemli miktarda azalma, motor momenti, efektif gücü, özgül yakıt sarfiyatı ve efektif verimde iyileşmelerin olduğu, NOx emisyonlarında ise artmaların olduğu gözlemlenmiştir. Motora yakıt tüketiminin farklı kütle oranlarında (%10, 20 ve 30) su fumigasyonu gerçekleştirildiğinde, standart motor verilerine göre, HC ve NOx emisyonları ve motor performans parametrelerinde iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** T Termal bariyer çember, HC, NOx, Su enjeksiyonu, Motor performans.

## Investigation of the Effects of Water Fumigation on a SI Engine with MgO-ZrO<sub>2</sub> Thermal Barrier Layer

İdris CESUR<sup>1\*</sup>, İbrahim ÖZSERT<sup>1</sup>, Yusuf ÇAY<sup>1</sup>, Aslan ÇOBAN<sup>1</sup>, Faruk YALÇIN<sup>2</sup>, Vezir AYHAN<sup>1</sup>

### Abstract

One of the most important pollutant emissions in spark-ignition engines is partial incomplete combustion product HC emissions. Many different sources causing HC emissions in the cylinder, the cold zones (flame retarding zones) close to the cylinder wall are the main sources. In the study, a thermal barrier layer (TBL) with a high heat reserve MgO-ZrO<sub>2</sub> ceramic material was formed at the piston head to reduce the HC emissions from the flame extinction zones. As a result of the TBL, the knocking tendency and the NOx emissions are affected negatively because the temperatures inside the cylinder increase. In the study attempting to prevent this, a water fumigation technique has been applied. As a result of experimental studies, it has been observed that significant reductions in engine emissions, engine torque, effective power, specific fuel consumption and improvements in effective efficiency and increase in NOx emissions are observed in the HC emissions from standard engines compared to standard engine data. When water fumigation is performed at different mass ratios (10, 20, and 30%) of motor fuel consumption, HC and NOx emissions and engine performance parameters are improved compared to standard engine data.

**Key Words:** Thermal barrier layer, HC, NOx, Water injection, Engine performance.

## 1. Giriş

Gelişen teknoloji, nüfus artışı ve yaşam standartlarının gelişmesine bağlı olarak, dünya genelinde ve ülkemizde taşıt sayısı her geçen gün artmaktadır. Bununun sonucunda motorlu taşıtlardan salınan toplam kirletici emisyon miktarları artmaktadır. Hava kirliliğinin artması çevre sağlığını ulusal ve uluslararası ölçekte tehdit etmeye başlamıştır[1]. Bu problemin önlenmesi için devletler, taşıtlardan salınan emisyon değerlerine yasal sınırlandırmalar getirmektedir. Motor üreticileri ve araştırmacılar farklı yöntemler ile bu emisyon standartların sağlanabilmesi için yoğun Ar-Ge çalışmaları yapmaktadır.

Motorlu taşıt kirletici emisyonlarının büyük bir bölümü yanma sonucu oluşmaktadır [2]. Benzin ve dizel motorlarda kullanılan hidrokarbon (HC) kökenli yakıtların, ideal koşullarda hava ile tam yanması sonucu oluşan ürünler arasında karbondioksit (CO<sub>2</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O) ve azot bileşikleri (NO<sub>x</sub>) bulunmaktadır. Ancak uygulamada ideal koşulların sağlanamaması nedeniyle tam yanma gerçekleşmemekte ve kirletici bileşenler oluşmaktadır. Egzoz gazında bulunan en etkin, zararlı ve yoğun bileşenler karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), NO<sub>x</sub> ve partikül maddelerdir [3,4].

Buji ateşlemeli motorların çalışma prensibi gereği dizel motorlarına göre daha zengin karışım oranlarında çalışması gerekmektedir. Bu durum motordan salınan kısmi eksik yanma ürünü olan HC ve CO emisyonlarının yüksek oranda salınmasına neden olmaktadır. Emisyonların azaltılması için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar yanma öncesi, yanma esnasında ve yanma sonrası alınan tedbirler olarak özetlenmektedir. Yanma öncesi alınan tedbirler yakıt kalitesinin artırılması, yakıtta farklı katkı maddelerin katılması vb. şeklindedir. Yanma esnasında alınan tedbirler ise yapısal konstrüktif iyileştirmelerdir. Yanma sonrası uygulanan yöntemler ise egzoz devresi üzerine eklenen katalitik indirgeyiciler, oksidasyon katalizörleri ile sağlanmaktadır[1].

Buji ateşlemeli motorlarda HC emisyonlarının oluşmasına sebep olan bir değer önemli kaynak ise piston dış cidar bölgesine yakın alev sönme bölgeleridir. Bu bölgelerde soğutma suyunun etkisiyle sıcaklık değerleri düşmektedir. Buji bölgesinden yanmaya başlayan hava-yakıt karışımı bu soğuk bölgelerde alevin sönmesi sonucu yanmamakta ve egzoz zamanında silindirden atılmaktadır. Bunun önüne geçmek için içten yanmalı motorlarda seramik kaplama yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yanma odasının tamamının veya piston tepesinin kaplanması buji ateşlemeli motorlarda vuruntu oluşumuna neden olmaktadır. Bundan dolayı piston tepesi farklı kalınlık ve malzemelerle kısmi olarak kaplanmaktadır[2,5-12]. Piston tepesine termal bariyer çember oluşturulduğunda alev sönme bölgelerinde meydana gelen yanma sonlanmaları giderildiğinden HC emisyonlarında dikkate değer oranlarda azalmalar sağlanmaktadır[2,5,7,12]. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak yanma verimi artmakta ve motor performans parametrelerinde iyileşmeler sağlanmaktadır. Ancak silindir içerisinde yüksek sıcaklıkların meydana gelmesi özellikle yüksek yük şartlarında motorda vuruntuya sebep olmakla birlikte NO<sub>x</sub> emisyonlarının artmasına neden olmaktadır[12]. Vuruntu oluşumunun önlenmesi için sıkıştırma oranının düşürülmesi veya yakıtta oktan sayısı yüksek katkıları karıştırılarak yapılan çalışmalar mevcuttur[2,5,7]. Ancak bu çalışmalarda vuruntu önlenememektedir. Artan NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması için silindir içi ulaşılan yüksek sıcaklık değerlerinin düşürülmesi gerekmektedir. Bundan dolayı termal bariyer kaplamalı motorlarda vuruntu kontrolü ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının düşürülmesi için buhar ve su enjeksiyonu yöntemleri kullanılmaktadır[12]. Su motor silindirine üç farklı yöntemle gönderilmektedir. Bunlardan biri fumigasyon yöntemidir. Bu yöntemde su emme kanalına yerleştirilmiş bir enjektörle giriş havası içerisine karıştırılmak suretiyle yanma odasına gönderilmektedir. İkinci yöntem emülsife yakıt kullanımudur. Emülsife yakıtlar genellikle faz ayrışmasını önlemek için yüzey aktif madde kullanılarak yakıt içerisine suyun karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Diğer yöntem ise silindir içerisine suyun direkt enjeksiyonudur. Su kullanımının en

büyük avantajı silindir içerisinde oluşan yüksek sıcaklıkları düşürerek NO<sub>x</sub> emisyonlarında dikkate değer oranda azalma sağlamasıdır[1,12-15].

Soysal ve ark., tek silindirli bir benzin motoruna emme havası içerisine su püskürtmüşlerdir. Deneysel çalışmalarını farklı yük ve devir durumlarında gerçekleştirmişlerdir. Motora % 6,25 oranında su enjeksiyonu yapıldığı durumda tam yük şartlarında HC emisyonlarında %25 oranında azalma, efektif güçte %7 artma, özgül yakıt sarfiyatında %6 ve CO emisyonlarında ise %30 oranında azalmaların olduğunu belirlemişlerdir[18]. Cesur, termal bariyer çemberli bir benzin motorunda vuru kontrolü için buhar enjeksiyonu tekniğini kullanmıştır. Çalışması sonucunda standart duruma göre termal bariyer kaplamalı motora buhar enjeksiyonu ile HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalmalar motor moment ve efektif güçte ise iyileşmeler elde edilmiştir[12].

Bu çalışmada, piston tepesine ısı rezervi yüksek MgO-ZrO<sub>2</sub> seramik malzemesi kullanılarak termal bariyer çember oluşturulmuştur. Termal bariyer piston tepesinde dış kısımda 4 mm bir çember şeklinde uygulanmıştır. Seramik kaplama sonucu oluşan vuru kontrolü ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması amacı ile motor emme havası içerisine farklı oranlarda su fumigasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler Motor performans parametreleri ve emisyon karakteristikleri açısından standart veriler ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışma

Deneyler 2 silindirli, buji ateşlemeli, 4 zamanlı, elektronik kontrollü, su soğutmalı ve sıralı püskürtme sistemine sahip Lombardini marka bir motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir.

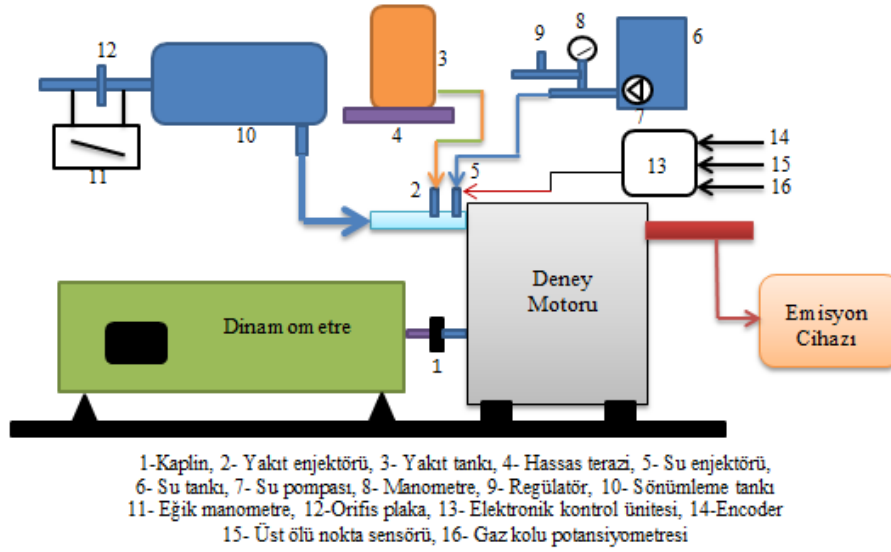
**Tablo1.** Deney motoru teknik özellikleri

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

Deneysel çalışmalar için motor, 20 kW’ lık elektrikli bir dinamometreye bağlanmıştır. Motor momentinin tespiti için dinamometre kuvvet koluna 0,01 kg hassasiyetinde S tipi yük hücresi bağlanmıştır. Deney düzeneğinin şematik şekli Şekil 1’ de görülmektedir.

Deneyler tam yük şartlarında, 1600, 2000, 2400, 2800, 3200 ve 3600 d/d motor hızlarında aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak motor standart verilerinin tespiti için deneyler standart piston ve benzin kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra TBC piston motora montaj edilmiş ve standart şartların gerçekleştirildiği şartlarda deneyler tekrarlanmıştır. Sonraki adımda, TBC pistonlu motora bir çevrimde püskürtülen yakıtın farklı kütle oranlarında (%10,20 ve 30) su enjeksiyonu gerçekleştirilerek deneyler yapılmıştır. Su enjeksiyonu elektronik kontrollü bir püskürtme sistemi aracılığı ile motor emme manifolduna, emme supabı açık konumda ve piston üst ölü noktadan alt ölü noktaya doğru hareketi esnasında gerçekleştirilmiştir. Bu sayede supap arkasında su birikmeleri

önlenecek korozyon riski minimize edilmeye çalışılmıştır. Püskürtme sistemi 3 bar basınç altında çalışacak şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 1. Deney düzeneği

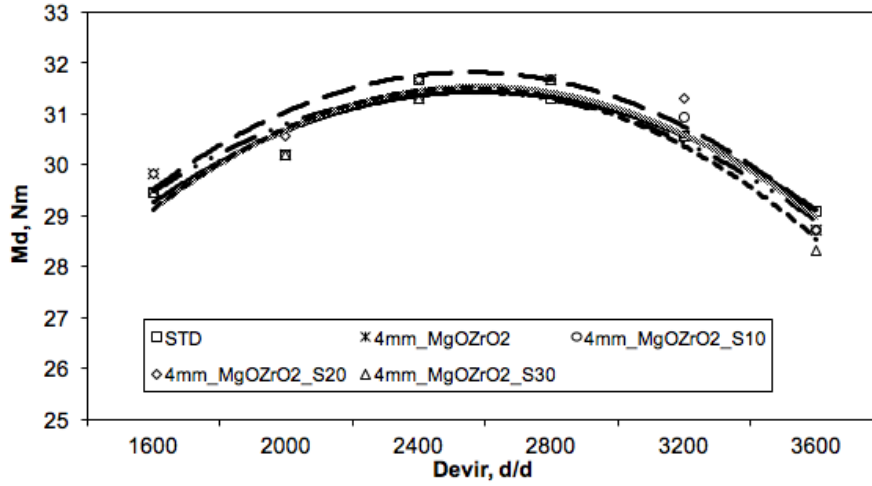
Termal bariyer çemberli piston eldesi için, piston üst yüzeyi kaplama uygulanacak kısım 0.5 mm derinliğinde ve 4 mm genişliğinde talaş kaldırma ile boşaltılmıştır. Kaplama öncesi kaplanacak yüzey seramik malzemenin sağlıklı bir şekilde bağlanabilmesi için kumlama işlemine tabi tutularak yüzey pürüzlendirilmesi yapılmıştır. Kaplama işlemi plazma kaplama tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Kaplama kalınlığının 0, 20 mm" sini ara yüz (Ni-Al tozu) geriye kalan 0,30 mm" sini de seramik malzeme (MgO-ZrO<sub>2</sub>) oluşturmaktadır.

Yakıt sarfiyatının ölçümünde 0.01 gr hassasiyetinde hassas terazi sistemli kütleli debi metre kullanılmıştır. Soğutma sistemi kapalı devre bir sistemdir ve deneyler esnasında soğutma suyu çıkış sıcaklığı 80°C ' de sabit tutulmuştur. Emisyon ölçümü için CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarını ölçebilen MRU Delta 1600 L marka egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır.

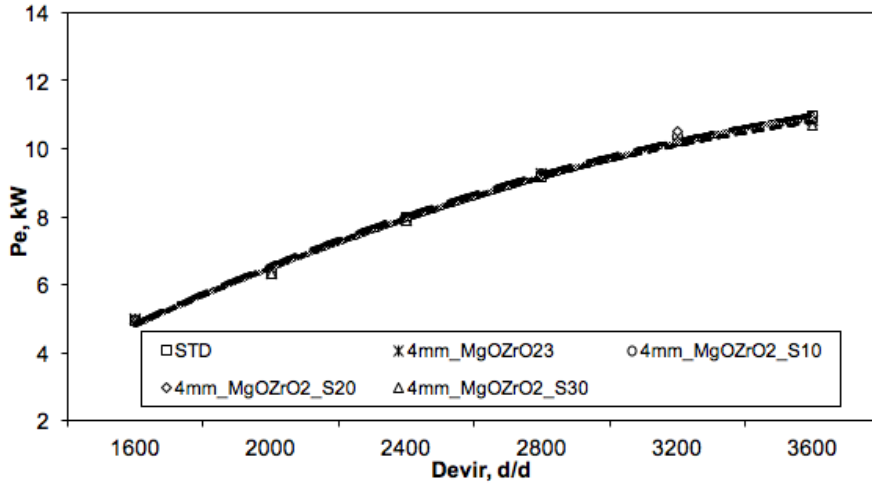
### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 2 ve 3.'de piston üzerine 4mm genişliğinde MgO-ZrO<sub>2</sub> kaplanması ve bu motora motora farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda motor momenti ve efektif güçteki değişim görülmektedir. TBÇ (Termal Bariyer Çember) kaplı piston motorda kullanılması durumunda, STD motor verilerine göre tüm motor devirlerinde artmaların olduğu görülmektedir. TBÇ pistonda maksimum artma oranı 1600 d/d' da % 1,2 olarak tespit edilmiştir. Güçteki ve momentteki artışın nedeni, ısı kayıplarının azalması ve yanma veriminin artmasında kaynaklanmaktadır.

TBÇ pistonu farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda hem STD motor verilerine hem de TBÇ 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 3200 d/d 'da %2,38' dür. Moment ve güçteki artışın nedeni, silindir içerisine gönderilen su damlacıklarının buharlaşması esnasında yakıt hava karışımının daha iyi karışmasına neden olduğu düşünülmektedir.

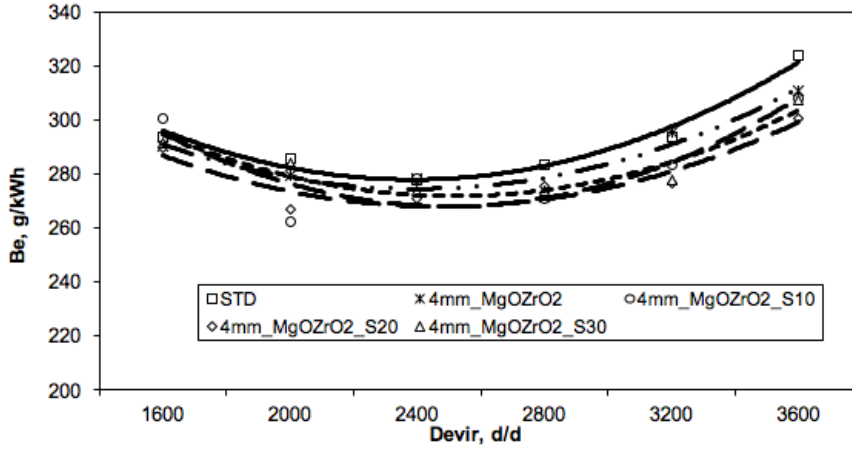


Şekil 2. TBC pistonu farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda motor momentindeki değişim



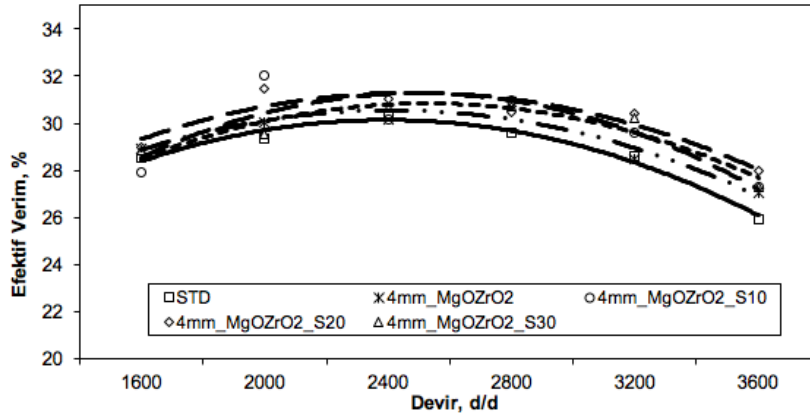
Şekil 3. TBC pistonu farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda efektif güçteki değişim

Şekil 4.'de TBC kaplı motora farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumundan özgül yakıt sarfiyatındaki (ÖYS) değişim görülmektedir. Motorda TBC piston kullanılması durumunda tüm devir aralıklarında azalmalar meydana gelmiştir. Maksimum azalış oranı 2800 d/d' da % 4,1' dir. TBC pistonu 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 3200 d/d ' da % 4, 8' dir.



Şekil 4. TBC pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılmaması durumunda ÖYS 'deki değişim

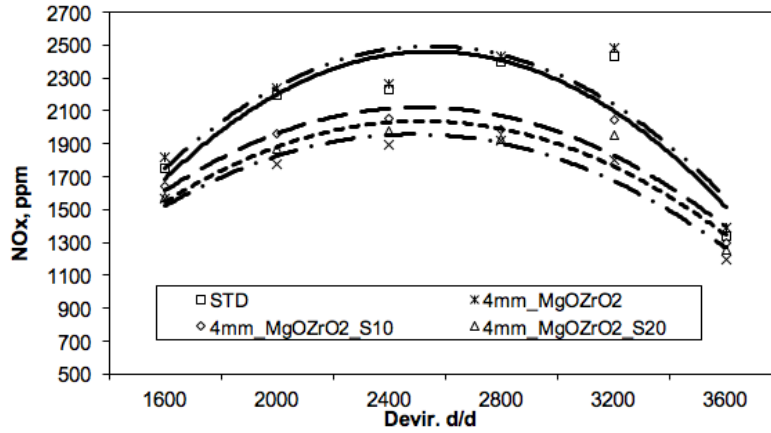
Şekil 5' de motorda TBC piston kullanılması ve farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılmaması durumunda efektif verimdeki değişim görülmektedir. Motorda TBC piston kullanılması ve TBC pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılmaması durumunda tüm devir aralıklarında efektif verimde iyileşmeler gözlenmiştir. Efektif verimdeki maksimum iyileşme % 20 su enjeksiyonu durumunda elde edilmiştir. Bu püskürtme oranı için maksimum artış oranı 3200 d/d' da % 4,2' dir.



Şekil 5. TBC pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılmaması durumunda efektif verimdeki değişim

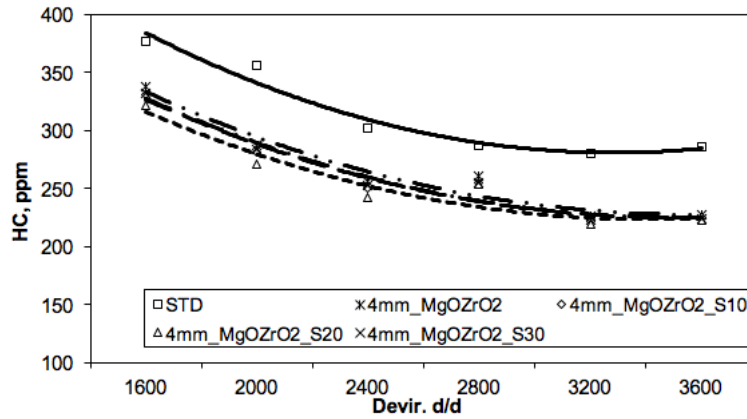
Şekil 6' da motorda TBC piston kullanılması ve farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılmaması durumunda NOx emisyonlarındaki değişim görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, TBC kaplı pistonda NOx emisyonları tüm devir aralıklarında artmalar olmaktadır. Artan yanma odası sıcaklıkları NOx emisyonlarını tetikleyen ana etkenlerden biridir. STD duruma göre TBC pistonda maksimum artma 1600 d/d' da % 3.6 dır. TBC pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılmaması durumunda minimum NOx değeri %30 su enjeksiyonunda elde edilmiştir. %30 su enjeksiyonu yapılmaması durumunda STD duruma göre maksimum azalma miktarı 2800 d/d' da %25,2 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 ısı kapasitesinin yüksek olmasından dolayı STD duruma göre silindir içi maksimum sıcaklığı da düşmektedir. Silindire su gönderilmesi durumunda yanma ürünlerinin özgül ısılarına bağlı olarak ısı kapasiteleri artmaktadır. Yanma ürünlerinin ısı kapasitesinin artması silindir içi maksimum yanma sıcaklığının azalmasına neden

olmaktadır. Bu durum NO<sub>x</sub> emisyonu oluşum hızını yavaşlattığından dolayı NO<sub>x</sub> emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır.



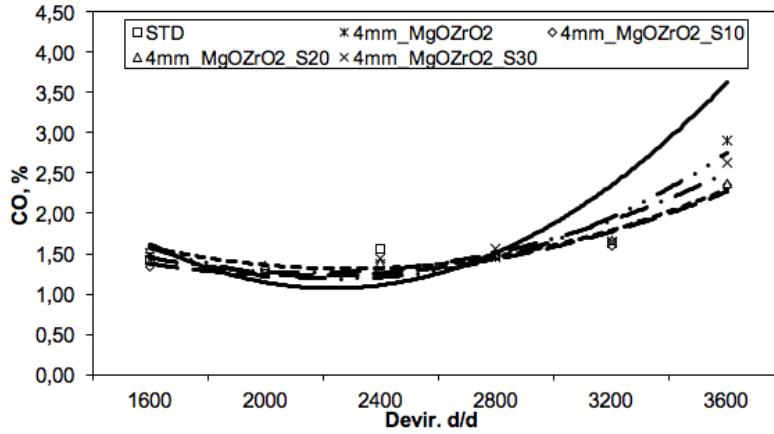
Şekil 6. TBC pistonu farklı oranlarda su enjeksiyonu yapıldığında NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki değişim

Şekil 3.7' de motorda TBC piston kullanılması ve farklı oranlarda su püskürtülmesi durumunda HC emisyonlarındaki değişim görülmektedir. STD duruma göre TBK pistonu HC emisyonları kayda değer oranlarda azalmaktadır. Maksimum azalma miktarı 3200 d/d' da %26 olarak tespit edilmiştir. HC emisyonlarının azalma nedenleri, yanma odası içerisinde TBC piston ile silindirin yakın yüzeylerde oluşan ısı rezervi ile yanma odasında meydana gelen alev sönmeye bölgelerinin azalması ve oksidasyon reaksiyonlarını hızlandırarak HC emisyonlarını azaltmaktadır. TBC pistonu farklı oranlarda su enjeksiyonu yapıldığında ise tüm devirlerde azalmalar görülmektedir. Maksimum azalma oranı %20 su enjeksiyonu yapıldığında 1600 d/d' da %31,1 oranındadır. Su enjeksiyonu ile yanma veriminin iyileşmesi HC emisyonlarında azalmalara neden olmaktadır.



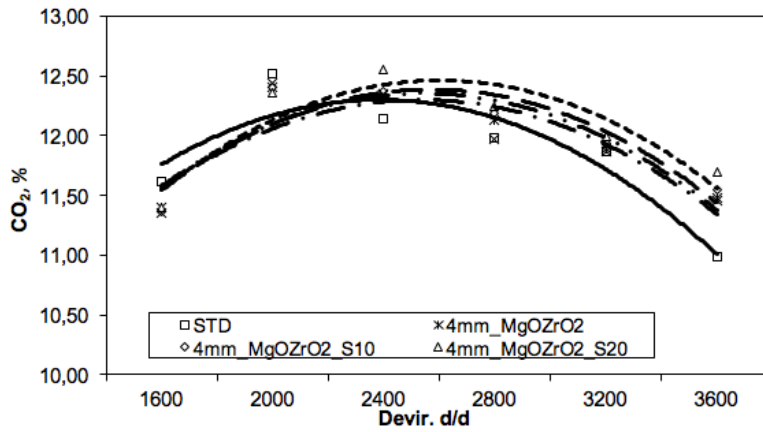
Şekil 7. TBC pistonu farklı oranlarda su enjeksiyonu yapıldığında HC emisyonlarındaki değişim

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



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

Şekil 9’da CO<sub>2</sub> emisyonlarının değişimi görülmektedir. TBC pistonda STD duruma göre düşük devirlerde (1600,2000 d/d) azalma olurken yüksek devirlerde (2400-3600d/d) artmalar olmaktadır. TBC pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda da aynı trend görülmektedir. Maksimum CO<sub>2</sub> değeri %20 su enjeksiyonu yapılması durumunda elde edilmiştir.



Şekil 9. TBC pistona farklı oranlarda su enjeksiyonu yapılması durumunda CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki değişim

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, piston üst yüzeyine MgO-ZrO<sub>2</sub> 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, NO<sub>x</sub> 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 % 2,38 artma, özgül yakıt sarfiyatında ise 2800 d/d ‘ da % 4,1 oranında azalmalar görülmüştür. NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise STD duruma göre % 30 su enjeksiyonu yapıldığında 2800 d/d’ da % 25,2 oranında azalma tespit edilirken HC emisyonlarında ise maksimum azalma oranı % 20 su enjeksiyonu durumunda 1600 d/d’ da % 31,1’ dir.



## 5. Kaynaklar

- [1] V. Ayhan., 2009, “Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun NO<sub>x</sub> Ve İS Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması”, SAÜ, FBE, Doktora Tezi.
- [2] V. Ayhan, “Metanol-Benzin Karışımlarının MgO-ZrO<sub>2</sub> Termal Bariyer Çemberli Bir Motorda Performans ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz, 2006.
- [3] Y. WANG, L. LIN, A.P. ROSKILLY,S. ZENG, J.HUANG, Y. HE, X. HUANG, H.HUANG, H.WEI, L.S. SHANGPING, “ An Analytic Study of Applying Miller Cycle to Reduce NO<sub>x</sub> Emission from Petrol Engine”, Applied Thermal Engineering 27, p., 1779–1789, 2007.
- [4] J.STOKES,T.H LAKE, M.J.CHRISTIE, I.DENBRATT, “Improving the NO<sub>x</sub> / Fuel Economy trade-off for Gasoline Engines with the C CVS Combustion System”, SAE Paper No:940482, 1994.
- [5] A. Parlak, V. Ayhan, “Effect of using a piston with a thermal barrier layer in a spark ignition engine”, Journal of the Energy Institute 2007 VOL 80 NO 4, 223-228.
- [6] D.N. Assanis, E. Badillo, E., “The Effect of Thin Ceramic Coating on Spark-Ignition Engine Performance”, SAE Paper, 900903, 1990.
- [7] A.Parlak, V.Ayhan, C.Deniz, A.Kolip,S. Koksals, “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)97-1001,2008.
- [8] R.B.Poola B.Nagalingam, K.V.Gopalakrishnan, “Performance of Thin-Ceramic-Coated Combustion Chamber with Gasoline and Methanol as Fuels in A Two-Stroke SI Engine”, SAE Paper, 941911,1994.
- [9] 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.
- [10] S.H. Chan, K.A. Khor, “ The Effect of Thermal Barrier Coated Piston Crown on Engine Characteristics”, Journal of Materials Engineering and Performance Volume 9(1)103-109, 2000.
- [11] Chan, SH., 2001, “ Performance and Emissions Characteristics of a Partially Insulated Gasoline Engine” , Int. J. Therm. Sci., 40, 255–261.
- [12] İ.Cesur, “Kısmi Yalıtılmış Bir Buji Ateşlemeli Motorda Buhar Enjeksiyonu Etkilerinin İncelenmesi”, SAÜ, FBE, Doktora Tezi,2013.
- [13] A.Vezir,”Direkt enjeksiyonlu bir dizel motoruna buhar ve farklı yöntemlerle su gönderiminin performans ve NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkilerinin incelenmesi”, SAÜ Fen Bil Der 20. Cilt, 3. Sayı, s. 463-471, 2016.
- [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] N.SAMEC, B.KEGL, R.W. DIBBLE, “ Numerical and Experimental Study of Water/Oil Emulsified Fuel Combustion in a Diesel Engine”, Fuel 81, 2035–44, 2002.
- [16] D. Soysal, O.Durgun, “Benzin Motorlarında Emme Havaına Su Eklenmesinin Motor Performansına Ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, 11. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, Saraybosna,2010.