

	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	<b>e-ISSN: 2147-835X</b> <b>Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/saufenbilder">http://dergipark.gov.tr/saufenbilder</a></b>		
	<u>Geliş/Received</u> 23.11.2016 <u>Kabul/Accepted</u> 08.06.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.268005	

## Yeni bir yanma odasına sahip benzin motorunda farklı sıkıştırma oranlarının ve ateşleme avanslarının performans ve emisyonlara etkisi.

Abdurrahman Demirci<sup>\*1</sup>, Hüseyin Emre Doğa<sup>2</sup>, Ömer Cihan<sup>3</sup>, Osman Akın Kutlar<sup>4</sup>,  
Rafiq Mehdiyev<sup>5</sup>, Hikmet Arslan<sup>6</sup>

### ÖZ

Günümüzde içten yanmalı motorların (İYM) geleceği hakkında farklı görüşler vardır. İYM' lerin eski bir teknoloji olduğunu söyleyenlere rağmen İYM' ler ile ilgili çok sayıda yeni çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde benzin motorları için başlıca araştırma konuları, yakıt tüketiminin azaltılması ve egzoz emisyonlarının iyileştirilmesidir. Bu makalenin başlıca amacı, tek silindri, su soğutmalı, emme manifolduna püskürtmeli, buji ateşlemeli bir motorda, tasarlanmış olan yeni bir yanma odası geometrisi ile motorun farklı hava fazlalık katsayılarında denenmesi ile yüksek lambda değerlerinde çalıştırılmasıdır. Yeni bir yanma odası bu motor için tasarlanmış ve üç farklı sıkıştırma oranında üretilmiştir. Yeni yanma odasından beklenen, motorun daha fakir karışımlarla düzgün olarak çalışmasını mümkün kılmasıdır. Bu sayede özgül yakıt tüketim değeri ve NO emisyonları azalacağı beklenmektedir. Deneysel yedi farklı hava fazlalık katsayısında (1,0; 1,10; 1,20; 1,30; 1,45; 1,60 ve 1,70), üç farklı sıkıştırma oranında (10,5; 12 ve 14), tam yük koşullarında ve 2500 devir/dakika sabit motor hızında gerçekleştirilmiştir. Deneysel yakıt miktarı, ateşleme avansı ve gaz keleşinin konumuna laboratuvarımızda geliştirilen bir elektronik kontrol ünitesi ile kumanda edilmiştir. Motor fakir karışımlarla çalıştığı zaman NO emisyonu azalmaktadır. Bu emisyonlar azaldığı zaman NO gazını dönüştüren ilave donanımlara olan ihtiyaç azalacaktır. Deneysel sonuçlarına göre sıkıştırma oranının artması ve ateşleme avansının azaltılması sonucunda ortalama efektif basınçta hafif bir azalma olurken NO emisyonları büyük oranda azalmıştır. Bununla beraber buji ile ateşlemeli motorlarda uygun yanma odası tasarımı ile fakir karışımlarda (HFK>1,45) çevrimler arası değişimin çok azaldığı ve motorun düzenli bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Buji ateşlemeli motor, Fakir karışım, Yanma odası geometrisi, Sıkıştırma oranı, NO emisyonu, Özgül yakıt tüketimi.

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi, İstanbul – abdemirci@itu.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi, İstanbul – edogan@itu.edu.tr

<sup>3</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi, İstanbul – ocihan@itu.edu.tr

<sup>4</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi, İstanbul – kutlar@itu.edu.tr

<sup>5</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi, İstanbul – mehdiyev@itu.edu.tr

<sup>6</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi, İstanbul – arslanh@itu.edu.tr

## The effects of different compression ratios and spark advances on the performance and emissions of a spark ignition engine with a new combustion chamber

### ABSTRACT

Nowadays, there are different ideas about the future of internal combustion engines. Despite the thoughts about internal combustion engines that are old technology, there have been many new researches about internal combustion engines. Reduction of fuel consumption and improving of the exhaust emissions are the main research topics in the spark ignition engines in the present day. The aim of this paper is to examine experimentally the effect of different compression ratios and excess air coefficients with a new designed chamber geometry on the performance and exhaust emissions of a single cylinder, which is water-cooled, port fuel injection and spark ignition engine. A new combustion chamber geometry was designed and three same combustion chamber geometries with different compression ratios were manufactured. It is expected from the combustion chamber shapes to run the engine properly in the lean mixtures. So, the decrease of fuel consumption and the decrease of NO emission are predicted. The experiments were tested at seven different excess air coefficients (1.0; 1.10; 1.20; 1.30; 1.45; 1.60 and 1.70), three different compression ratios (10.5; 12 and 14), different spark advances, wide open throttle (WOT) and the constant speed, 2500 rpm. The amount of fuel, spark advance and throttle condition were electronically controlled using an engine control unit (ECU) which is designed in the our laboratory by us. While the engine was running with lean mixtures, NO emissions decreased. When NO emissions are reduced, it will decrease the need for NO catalyst. Experimental results show that increasing of compression ratio and decreasing of spark advance led to decreasing of NO emissions substantially at nearly mean effective pressure values. In addition, the cycle-to-cycle variations are reduced at the lean mixtures (EAC>1.45) with the suitable combustion chamber geometry on the spark ignition engines and the engine remained stable.

**Keywords:** Spark ignition (SI) engine, Lean mixture, Combustion chamber geometry, Compression ratio, NO emissions, Break specific fuel consumption

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Her geçen gün emisyon standartlarının sıkılaştırılması ile birlikte tüketiciler de araç performanslarının iyileşmesini ve yakıt tüketiminin azalmasını beklemektedirler. Bu nedenle yıllardır bu istekleri ve şartları sağlamak için İYM'lar üzerine araştırmalar devam etmektedir. Motor performansının iyileştirilmesi ve zararlı emisyonların azaltılması için yapılan çalışmalar arasında en ümit verici araştırma konularından birisi motorun fakir karışımlarda çalıştırılmasıdır. Böylece zararlı emisyonların azalması ile birlikte özgül yakıt tüketimi de azalacaktır. Motorun fakir karışımlarda düzgün çalışmasını etkileyen en önemli parametrelerden biri yanma odası geometrisidir [1-7].

Ateşleme anında ve sıkıştırma zamanında yanma odasındaki türbülans seviyesini etkileyen en önemli parametreler, swirl ve tumble akış hareketleridir. Bu akış hareketlerinin daha fazla olması yanma odasındaki türbülans seviyesini artıracaktır. Türbülans seviyesinin belirli bir

değere kadar artırılmasının yanma üzerinde olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Seksenlerde bu konu üzerine birçok çalışma yapılmışken günümüzde bu konu üzerine yeterince çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu konu günümüz teknolojisi ile araştırılmalıdır.

Buji ile ateşlemeli bir motorda yanma olayını etkileyen yanma odası geometrisi sanki boyutlu bir model kullanılarak Paulos ve Heywood tarafından araştırılmıştır. Farklı yanma odası geometrileri ve farklı buji konumları göz önüne alınarak on farklı yanma odası geometrisi incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda yanma odası geometrisinin yanma süresini önemli bir şekilde etkilediği vurgulanmıştır. Buji konumunun yanma odası geometrisinin kenar kısmından merkezine taşınmasının yanma süresini kısalttığı gözlemlenmiştir. Yanma odası geometrisinin değişmesi yanma süresini kısaltmış, ısı verimi artırmış ve ısı kayıplarını azaltmıştır. Yanma hızı türbülans şiddeti artırılarak, artırıldığında ısı kayıpları artmış ve ısı verim düşmüştür [8].

Bir diğer çalışma da, buji ile ateşlemeli bir motorun fakir karışımlarda çalışması için piston

kafasına swirl tipi bir yanma odası tasarlanmış ve denenmiştir. Deneyler dizel motordan buji ile ateşlemeli motora dönüştürülmüş bir motorda gerçekleştirilmiştir. Araştırmalarda iki farklı yanma odası mukayese edilmiştir. Bu yanma odalarından birisi yaygın olarak kullanılan heron tipi ve diğeri yeni tasarlanan tornado tipi yanma odası geometrileridir. Yanma odası geometrileri farklı sıkıştırma oranlarında test edilmiştir. Tornado yanma odası geometrisinin swirl hareketi oluşturarak motorun daha fakir karışımlarda çalışmasına imkan sağladığı gözlemlenmiştir. Fakir karışımlarda yakıt tüketiminin azaldığı gözlemlenmiştir. Tornado geometrisinin CO ve NOX emisyonlarını da azalttığı tespit edilmiştir. Swirl hareketi sıkıştırma zamanında oluşturulduğundan hacimsel verim aynı kalmıştır [9].

Wolanski ve Mehdiyev çift döngülü yanma odası olarak isimlendirdikleri yeni bir yanma odası tasarlamışlardır. Yanma odası geometrisinin etkisi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Çift döngülü yanma odasına sahip motorun çok fakir karışımlarda çalışabildiği gözlemlenmiştir. Motorun fakir karışımlarda çalışmasının karışımın kademeleştirilmesi ile sağlandığı belirtilmiştir. İdeal durumlarda özgül yakıt tüketiminin %10-15 azaldığı ve gücün bütün durumlarda %5-7 arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte yanmamış hidrokarbon (CHX) emisyonları 20-50 ppm değerlerini aşmamış ve CO emisyonları %0,2-0,3 arasında kalmıştır. Maksimum NOX emisyon değerleri nominal koşullarda 1000-1200 ppm değerlerini aşmamıştır [10].

Diğeri bir çalışma da, bir dizel motorunda çevre için zararlı egzoz emisyonlarından NO emisyonunu azaltmak için dizel motor dolgusuna buhar ve farklı yöntemlerle su ilave edilmiştir. Ayhan tarafından yapılan çalışmada su ve buhar ilavesinin NO emisyonlarını azalttığı gözlemlenmiştir [11].

Farklı bir çalışma da, buji ile ateşlemeli bir motor için farklı sıkıştırma oranları saf metanol ve benzin kullanılarak karşılaştırılmıştır. Deneyler tek silindri bir motorda, stokiyometrik karışım için 8:1, 8,5:1, 9:1 ve 9,5:1 sıkıştırma oranlarında yapılmıştır. Saf metanolün kullanılması durumunda sıkıştırma oranının artması ile özgül yakıt tüketimi azalmış, ortalama efektif basınç ve ısıl verim artmıştır. Zararlı egzoz emisyonları açısından metanolün daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir [12].

Ravi ve Porpatham tarafından yapılan çalışmada LPG yakıtı kullanılan buji ile ateşlemeli bir motorda piston geometrisi değiştirilerek squish miktarları değiştirilmiştir. Squish geometrisinin değiştirilmesi ile motorun daha fakir karışım bölgelerinde LPG ile stabil olarak çalışmasını sağlamışlardır. Squish geometrisinin %30 olduğu durumlarda HFK değerinin 1,66 değeri için motor stabil olarak çalışmıştır ve bu koşullarda NO emisyonu %30 civarında azaltılmıştır [13].

Buji ile ateşlemeli motorlarda yakıt tüketiminin azaltılmasının ve motorun stabil çalışmasını sağlamanın yollarından biriside çevrimsel farklılıkların azaltılmasıdır. Pan ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, emme manifolduna püskürtmeli buji ile ateşlemeli bir motorlarda EGR, emme manifoldu basıncı ve sıkıştırma oranının etkisini deneysel ve teorik olarak araştırmışlardır. EGR oranının artması ile yanma olayının kötüleşmesinin bir göstergesi olan çevrimsel farklılıklar artmıştır. Sıkıştırma oranının ve emme manifoldu basıncının artırılması ile çevrimsel farklılıkların azaldığı gözlemlenmiştir [14].

Literatür araştırmasından elde edilen bilgiler ile buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan iki farklı yanma tekniği vardır. Bunlardan birincisi klasik stokiyometrik yanmadır. Bu yanma türünde zararlı egzoz gazı emisyonlarının azaltılması için pahalı ve verimli bir üç yollu katalitik konvektöre ihtiyaç duyulmaktadır. İkinci yanma türü olan fakir yanma tekniği ise karbon salınımını ve bazı kirleticileri azaltmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar stokiyometrik karışım ile fakir karışıma nazaran daha stabil çalışmaktadır. Fakat enerji dönüşüm oranı açısından bakıldığında, fakir karışım ile dönüşüm veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Motorun çok fakir karışımlar ile çalıştırılması durumunda silindir içerisindeki sıcaklıklar azaldığından NO emisyonları da azalmaktadır. Fakir karışımın önündeki en büyük engellerden birisi motorun düzensiz çalışmasına neden olan yanma gerçekleşmeden kaçırılan çevrimlerdir. Yanma odası geometrisi vb. değişkenler ile bu durum iyileştirilerek motor fakir karışımlar ile daha stabil çalışır hale getirilebilir.

Bu çalışmanın amacı, fazla güç kaybı olmadan motoru yüksek sıkıştırma oranlarında ve fakir karışımlarda çalıştırmak ve böylece güç kayıpsız NO emisyonlarını azaltmaktır. Bunun için yeni bir yanma odası geometrisi tasarlanarak farklı

sıkıştırma oranlarında ve farklı ateşleme avanslarında denenmiştir.

## 2. DENEY DÜZENİĞİ (EXPERIMENTAL SETUP)

Deneyle İstanbul Teknik Üniversitesi'nin motorlar laboratuvarında yapılmıştır. Deneylelerde dizel motordan benzin yakıtı ile çalışabilir hale getirilmiş tek silindri Antor 3LD 450 marka motor kullanılmıştır [15]. Daha detaylı bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Bu motor bir gaz kelebeği ve elektronik kontrol ünitesi ilavesi ile buji ateşlemeli motor haline dönüştürülmüştür. Ateşleme bujisi dizel enjektörünün yerine takılmıştır. Bujinin konumu yanma odasının merkezine çok yakın olacak şekildedir. Bu motor üzerinde yapılan bir yüksek lisans çalışması ile ateşleme ve püskürtme donanımlarına kumanda eden küçük bir kontrol ünitesi tasarlanıp imal edilmiştir. Burada sürücü kart olarak Arduino Mega 2560 kullanılmıştır [16]. Yakıt püskürtme basıncı 1 bar ve yakıt püskürtme açısı emme üst ölü noktasından 5 KMA sonra olacak şekilde seçilmiştir. Ateşleme bobini dolma süresi 5ms'dir. Dizel yakıtlı durumda motor 10 BG (3000 devir/dakika) güç ve 30 N.m (1800 devir/dakika) moment üretmektedir. Antor 3LD 450 motoruna ait pistonlar üzerinde oyuk olmaksızın düz olarak üretilmiştir. Tasarlanan yeni yanma odaları talaşlı imalat yöntemi ile istenen sıkıştırma oranlarına uygun olarak pistonlar üzerine işlenmiştir. Ham piston ve işlenmiş pistona ait resimler Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Motor özellikleri (Engine Specifications)

Sıkıştırma oranı	10,5:1, 12:1, 14:1
Silindir sayısı	1
Motor hacmi	454 cm <sup>3</sup>
Çap	80 mm
Stroke	85 mm
Biyel kolu uzunluğu	145 mm



Şekil 1. Ham (Solda) ve işlenmiş (sağda) pistonlar (Rough and manufactured pistons)

Motor deneylelerinde eddy-current bir motor freni kullanılmıştır, Dinamometre kuvveti yük hücresi ile ölçülmüştür. Yük sensörünün hassasiyeti  $\pm 0,02\%$ 'dir. Motor devir sayısı indüktif bir hız sensörü ile ölçülmüştür. Yakıt ölçümünde AVL 733S yakıt tüketimi ölçüm sistemi kullanılmıştır. Sistemin hassasiyeti 0,08 kg/h'dir. Egzoz emisyonlarını (CO<sub>2</sub>, THC, HC, CO ve NO) ölçmek için egzoz gazı doğrudan egzoz ölçüm cihazlarına bağlanmıştır. Egzoz gazları ve HFK iki farklı cihaz (Bosch BEA 350 ve Horiba Mexa 7500) kullanılarak ölçülmüş ve hesap edilmiştir. Dinamometreye OTAM tarafından geliştirilen bir yazılım ile kumanda edilmektedir. Bütün bilgiler; egzoz gazı ve yağlama yağı sıcaklığı, gaz kelebeğinin pozisyonu, emme ve egzoz manifoldu basınçları ve diğer birçok sensör bilgisi OTAM yazılımı ile toplanmıştır. Her deney noktasında 90 s süresince bu bilgiler kaydedilmiştir. Deneyleler esnasında soğutma suyu sıcaklığı 72 °C de sabit tutulmuştur. Ayrıca her noktada azami momentin elde edildiği ateşleme avansı değeri tespit edilmiştir. Buna ilave olarak her noktada ateşleme avansı MBT (Maximum Brake Torque for Minimum Spark Advance, En büyük moment için

gerekli minimum ateşleme avansı)'den 2-4 KMA daha az yapılarak değişimler incelenmiştir. MBT'nin elde edilmesi için verilen ateşleme avansı maksimum avans ve maksimum avansın 4 KMA ertelenerek elde edilen avans ise optimum olarak isimlendirilmiştir. Optimum avans, fazla güç düşüşüne neden olmadan NO emisyonlarını azaltmak için denenmiştir. Deney sonuçları özet olarak Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı sıkıştırma oranlarında performans ve emisyon değerlerinin özeti (The summary values of performance and emission values for different compression ratios)

		MR_10,5			MR_12		
$\lambda$		1	1,45	1,60	1	1,45	1,60
NO	ppm	1684	607	257	2290	1063	560
ÖYT	g/kWh	298	264	269	287	260	264
THC	ppmC	4670	2880	3074	2963	2673	3553
HC	ppm	625	325	330	271	285	364
CO	%	1,566	0,060	0,071	0,826	0,064	0,079
OEB	Bar	8,97	7,29	6,56	9,30	7,30	6,62

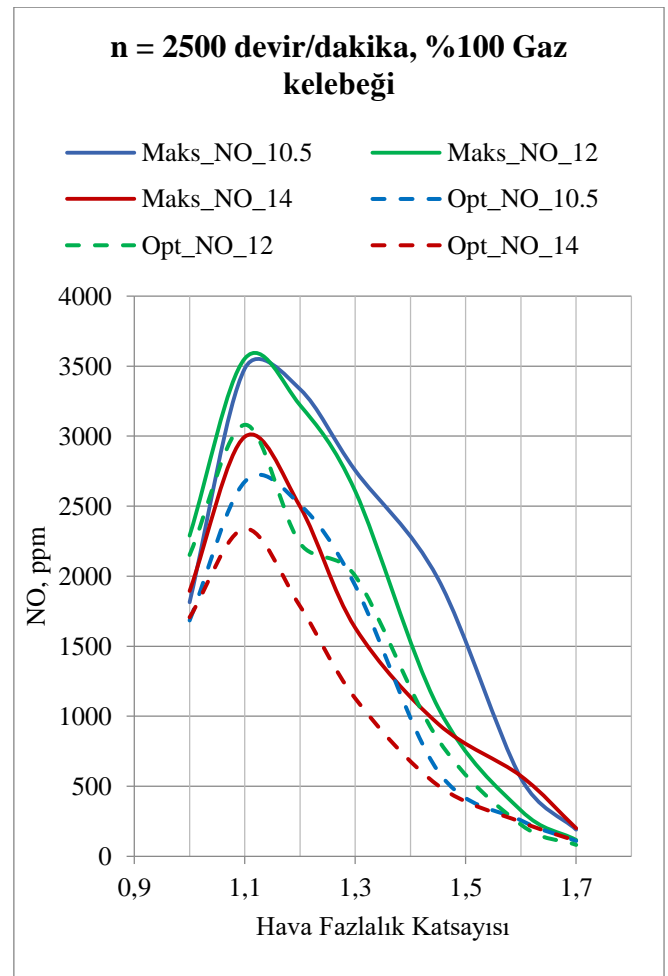
  

		MR_14		
$\lambda$		1	1,45	1,60
NO	ppm	1895	946	573
ÖYT	g/kWh	291	261	263
THC	ppmC	3192	2890	3560
HC	ppm	281	296	348
CO	%	0,945	0,083	0,127
OEB	Bar	9,42	7,31	6,72

### 3. SONUÇLAR (RESULTS)

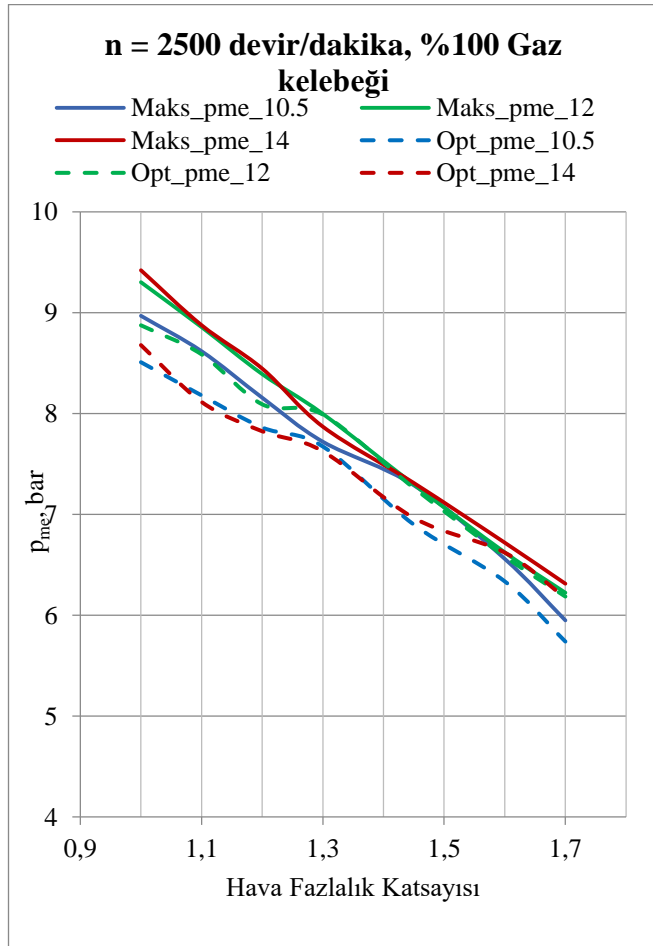
NO emisyonlarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi Şekil 2'de verilmiştir. NO emisyonları HFK'nın 1,1 olduğu bölgede en yüksek değerlerine ulaşmıştır. Bu noktadan sonra HFK'nın artması ile NO emisyonları azalmıştır. Silindir içi sıcaklıkların NO emisyonu üzerinde büyük etkisi vardır. Karışım fakirleştikçe silindir içi sıcaklıklar azalır. Bunun anlamı silindir içindeki gerekli olandan daha fazla olan hava da ısıtıldığı için silindir içi sıcaklıklar azalmaktadır. Bu sebeple HFK'nın 1,45 değeri stokiometrik koşullar ile karşılaştırıldığında NO emisyonlarının oldukça azaldığı görülür. HFK (hava fazlalık katsayısı) 1,3 değerinden az olduğu zaman MR\_14 ve MR\_12 (kısmen) pistonlarında vuruntu ortaya çıkmıştır. Bu sorunu gidermek için ateşleme avansı azaltılmıştır. Ateşleme avansının azaltılması silindir içerisindeki sıcaklığın düşmesini ve NO emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Motor HFK 1,7 olduğunda bile düzgün olarak çalışmaktadır. HFK 1,45 den 1,6 değerine

geldiğinde NO emisyonu 1000 den 500 ppm e inmiştir. Fakir bölgede çalışırken ( $\lambda = 1,45$ ) tüm pistonlarda NO emisyonları stokiometrik şartlara göre %50-60 azalmıştır. Motorun 10,5 sıkıştırma oranında stokiometrik karışım ile çalışması yerine yüksek sıkıştırma oranında ( $\epsilon = 14$ )  $\lambda = 1,45$  değeri tercih edildiği zaman NO emisyonlarında %48 azalma olmuştur. Şekilde gösterilen maksimum ve optimum değerleri deneylerde kullanılan maksimum ateşleme avansı değerini ve bu ateşleme avansı değerinin düşürülerek minimum NO emisyonunun elde edilmesi için tercih edilen optimum avans değerini göstermektedir. Bütün hava fazlalık katsayılarında ateşleme avansının azaltılması NO emisyonlarının azalmasına neden olmuştur. MR\_14 pistonu için HFK'nın 1,45 değerinde ateşleme avansının maksimum değerden optimum değere alınması NO emisyonlarını %53 düşürmüştür. Fakat NO emisyonlarındaki değişime bakarak bir sonuca varmak doğru değildir. Bu sebeple OEB ve ÖYT değerlerindeki değişimde göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 2. Farklı sıkıştırma oranlarında NO emisyonlarının HFK'ya göre değişimi (NO emission for different compression ratios)

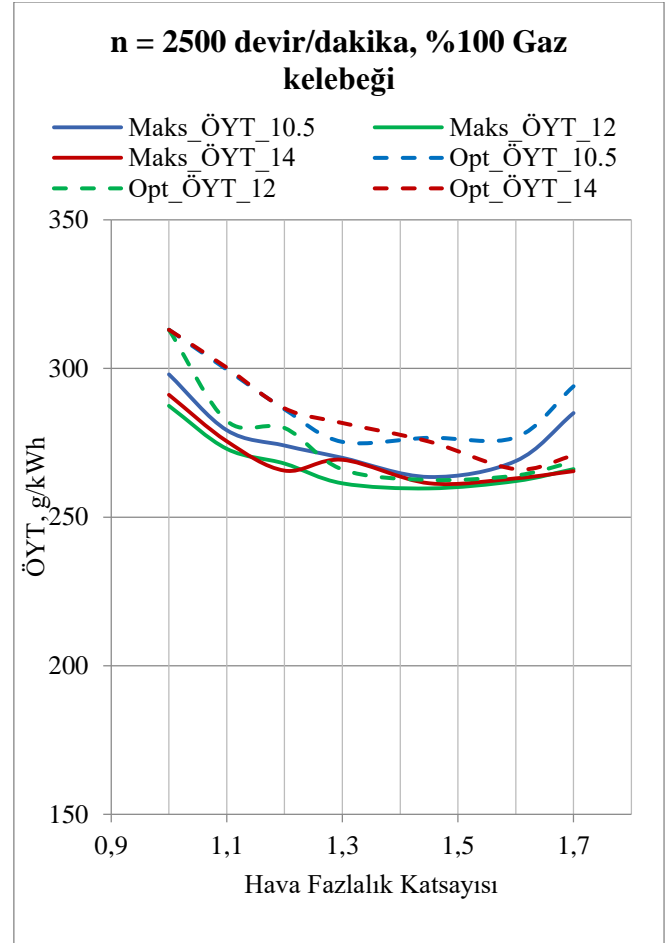
Ortalama efektif basınç (OEB) değerinin HFK'ya göre değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Beklenildiği gibi sıkıştırma oranının artması OEB değerini artırmıştır. MR\_14 pistonunda vuruntu sebebiyle ateşleme avansı belli bir değerden sonra artırılmamıştır. Vuruntudan kaçınmak için 4-6 KMA daha az avans verilmiştir. Buna rağmen stokiometrik şartlarda sıkıştırma oranının 10,5 den 14 e yükseltilmesi OEB değerinin %5 artmasını sağlamıştır. Fakat sıkıştırma oranının 10,5 den 14'e yükselip HFK'nın 1,0'den 1,45'e gelmesi durumunda OEB % 18 azalmaktadır. Bu beklenen bir durumdur çünkü gaz keleşinin tam açık olduğu durumda karışımı fakirleştirmek için daha az yakıt gönderilmektedir. Ateşleme avansının maksimum değerinden optimum değerine değiştirilmesi OEB değerinin düşmesine neden olmuştur. MR\_14 pistonu için karışım fakirleştikçe maksimum ve optimum avanslar için aradaki fark azalmıştır. HFK'nın 1 değerinde OEB azalma miktarı %8,5'dir.



Şekil 3. Ortalama efektif basınç değerinin değişimi (Variation of break mean effective pressure)

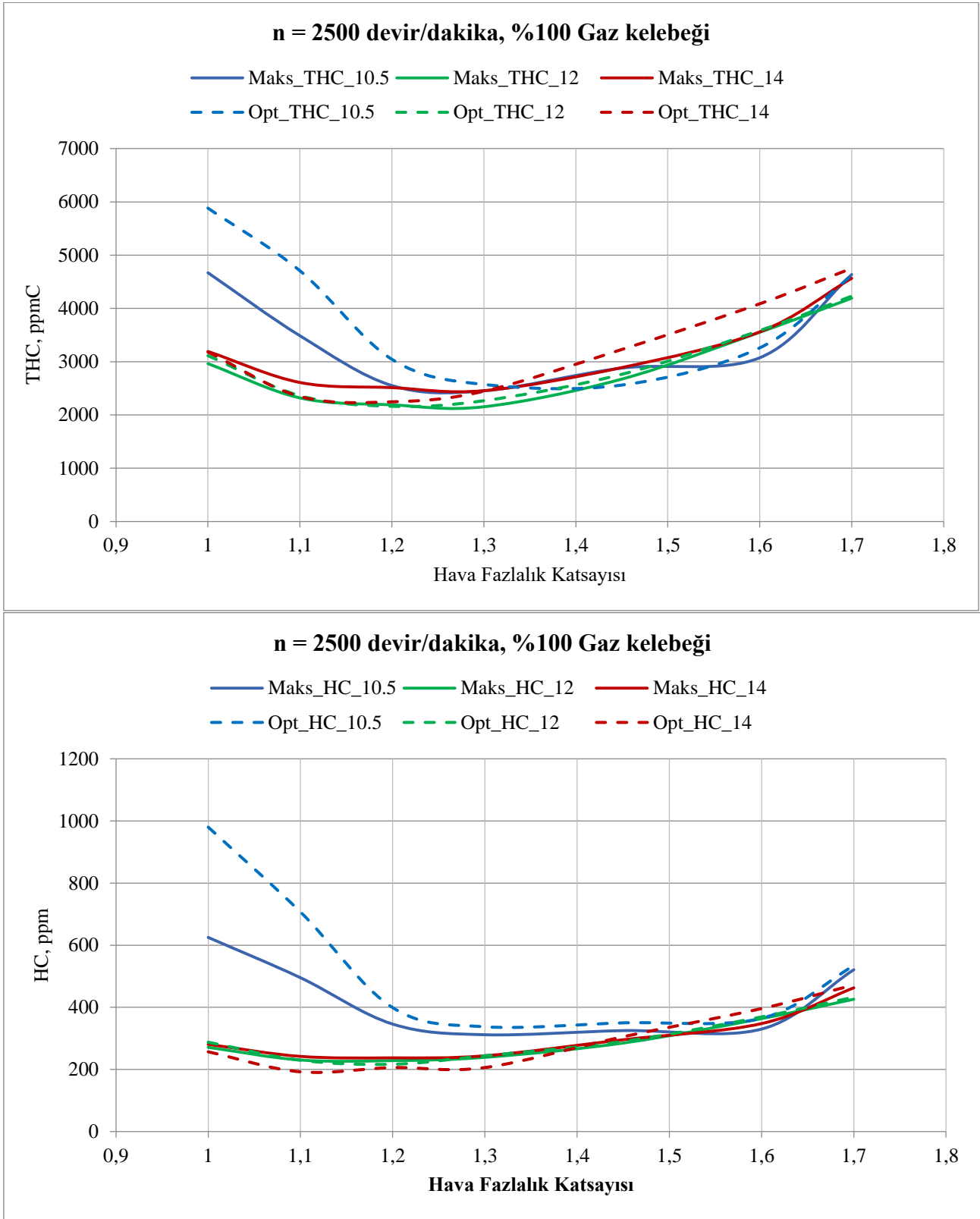
Hava fazlalık katsayısının 1,60 değerinde avans değerinin en yüksek değerinden optimum değerine değiştirilmesi durumunda OEB azalması yalnızca %2'dir. Bu şartlarda NO emisyonunun azalması ise %57'dir.

Deney sonuçlarına göre normal sıkıştırma oranında stokiometrik karışımla ( $\epsilon = 10,5$ ;  $\lambda = 1,0$ ) çalışma yerine yüksek sıkıştırma oranında fakir karışımla ( $\epsilon = 14$ ;  $\lambda = 1,45$ ) çalışma durumunda ortalama efektif basınçtaki azalma tam olarak karşılanamamıştır. Fakat orijinal dizel motor ile mukayese yapılırsa aynı OEB değerleri elde edilmiştir.



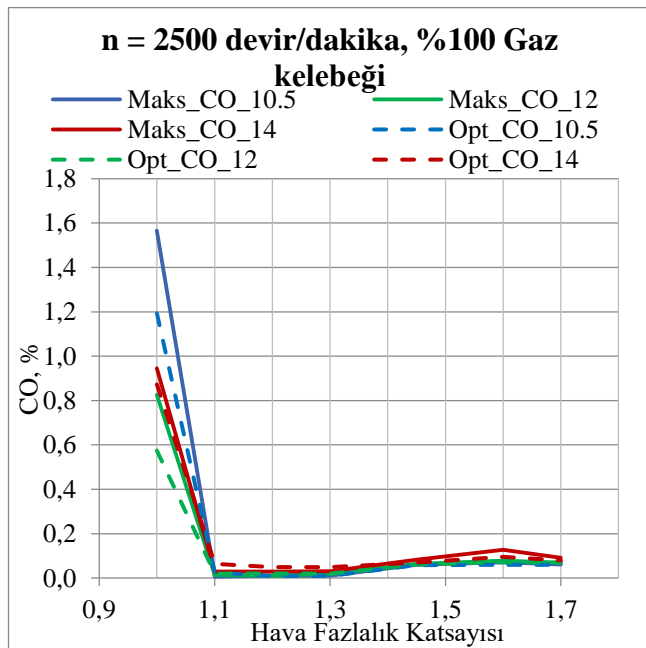
Şekil 4. Farklı sıkıştırma oranlarında ÖYT'nin HFK'ya göre değişimi (Variation of BSFC according to excess air coefficient)

Özgül yakıt tüketimi (ÖYT) sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. Stokiometrik şartlarda MR\_14 pistonu %2,5 daha az yakıt tüketmektedir. En düşük ÖYT değeri MR\_12 pistonu ile elde edilmiştir. Sıkıştırma oranının 10,5 den 14 e yükselip HFK'nın 1,0'den 1,45 gelmesi durumunda ÖYT % 13 azalmaktadır. Ortalama efektif basınçtaki % 18'lik azalma özgül yakıt tüketimindeki %13 lük azalma ile birlikte düşünüldüğü zaman yapılması düşünülen değişikliğin olumlu sonuçlar verdiği söylenebilir. MR\_14 pistonu için HFK'nın 1 değerinde ateşleme avansının en yüksek değerinden optimuma değiştirilmesi durumunda ÖYT %7 artmıştır.



Şekil 5. Farklı sıkıştırma oranlarında THC (üstte) ve HC emisyonlarının (altta) HFK'ya göre değişimi (Variations of THC (above) and HC (bottom) at different compression ratios according to excess air coefficient)

HC emisyonlarını ölçmek için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bosch BEA 350 egzoz gazı ölçüm cihazı nondispersive infrared dedektörüne sahiptir. Bu cihaz ile yapılan ölçümlerde HC emisyonları ppm birimine göre ölçülmüştür. Fakat Horiba 7500 cihazı (alev ionization dedektörü ) kullanır. Bu usulde toplam emisyonlar (THC) ppmC biriminde gösterilir. Deneyler göstermiştir ki ölçüm yöntemi farklılığından dolayı THC emisyonları HC emisyonlarından her zaman çok daha fazla olmuştur. THC ve HC emisyonlarının değişimi Şekil 5’de verilmiştir. MR\_10,5 diğer pistonlar ile karşılaştırıldığı zaman özellikle HFK'nın 1,5 değerine kadar daha yüksek THC emisyonuna sahiptir. Tüm çalışma şartlarında THC emisyonları ile HC emisyonları aynı değişim eğilimini göstermektedir. Her iki emisyon MR\_14 ve MR\_12 pistonları benzer THC emisyon değerine sahiptir. En düşük THC emisyonu HFK'nın 1,3 değerinde elde edilmiştir. Eğer 10,5 sıkıştırma oranında HFK = 1,0 şartları ile 14 sıkıştırma oranı HFK = 1,45 durumlarını karşılaştırırsak %20 oranında THC emisyonlarında azalma sağlanmıştır. Fakat  $\lambda = 1,6$  olduğumda stokiyometrik şartlara göre THC emisyonlarında %12 artış olmaktadır.

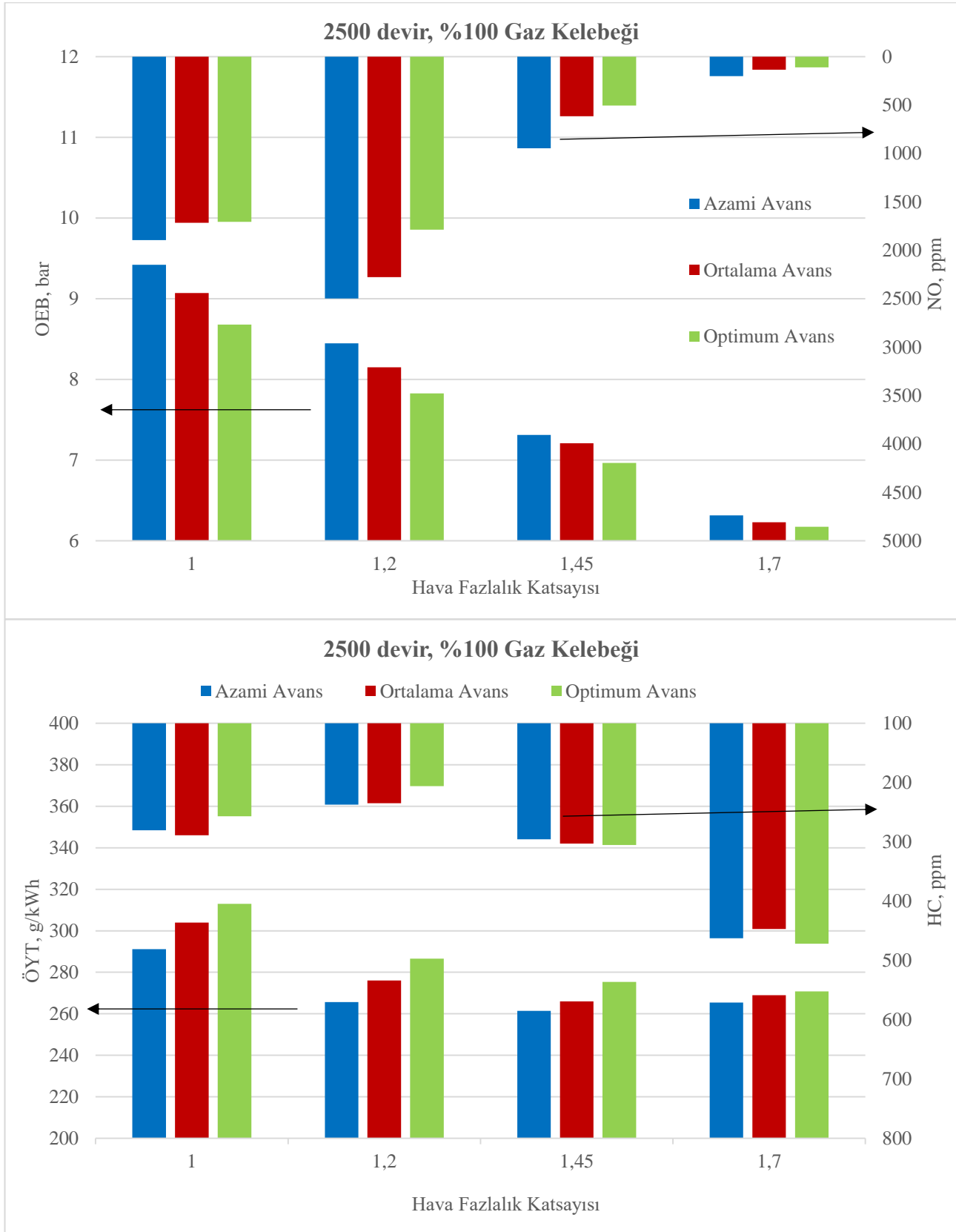


Şekil 6. CO emisyonlarının hava fazlalık katsayısına göre değişimi (Variation of CO emissions according to excess air coefficient)

İçten yanmalı motorlarda CO emisyonları genellikle HFK'nın değerine bağlıdır [17]. Deneylerde elde edilen sonuçları göre CO emisyonunun değişimi Şekil 6 da verilmiştir.  $\lambda = 1,0$  değerinde oldukça yüksek CO değerleri olmasına rağmen  $\lambda = 1,1$  değerinden sonra önemli derecede azalmalar görülmektedir. HFK'nın artışı ile CO emisyonları azalmaktadır fakat bu etki  $\lambda > 1,45$  değerinden sonra hafif bir yükselme olmuştur. CO emisyonlarının HFK ya bağlı olarak değişimi THC emisyonları ile benzerdir. Ateşleme avansının ertelenmesi, HFK'nın 1 değerinde CO emisyonları bütün sıkıştırma oranlarında azalmıştır. Diğer hava fazlalık katsayısı değerlerinde ateşleme avansının ertelenmesi CO emisyonlarında ciddi bir değişime neden olmamıştır.

Şekil 7’de OEB, ÖYT, NO ve HC performans ve emisyon parametrelerinin ateşleme avansı ve HFK’ya göre değişimi MR\_14 pistonu için gösterilmiştir. HFK değerinin artması ile ateşleme avansın OEB üzerindeki etkisi azalmıştır. HFK'nın 1 değerinde ateşleme avansının en yüksek değerinden optimum değerine geciktirilmesi OEB’ni %8 azaltmış ve HFK'nın 1,45 değeri için ateşleme avansının geciktirilmesi ise OEB’ni yalnızca %4 azaltmıştır. Aynı grafik üzerinde gösterilen NO emisyonlarının ateşleme avansının geciktirilmesi ile değişimi HFK'nın düşük değerlerinde çok az, yüksek değerlerinde çok fazladır. Stokiyometrik karışım için ateşleme avansı en yüksek değerinden optimum değerine geciktirildiğinde NO emisyonlarındaki azalma %5 iken HFK'nın 1,45 değerinde azalma %47 olmuştur. Motorun HFK'nın 1 değerinde azami avans ile çalıştırmak yerine HFK'nın 1,45 değerinde optimum avans ile çalıştırılması durumunda OEB’de %26 kayıp görülürken NO emisyonlarında %73 iyileşme görülmüştür. Ateşleme avansının geciktirilmesi ÖYT’ni artırmıştır. HC değerleri ise ateşleme avansının değiştirilmesi ile farklı HFK değerlerinde farklı değişimler göstermiştir.





Şekil 7. OEB, ÖYT, NO ve HC değerlerinin ateşleme avansı ve HFK'ya göre değişimi (Variation of PME, BSFC, NO and HC values)

#### 4. DEĞERLENDİRMELER (CONCLUSION)

-Deney sonuçlarına göre  $\lambda = 1,45-1,60$  çalışma şartlarında, stokiyometrik koşula göre NO emisyonları ve ÖYT değeri belirgin şekilde düşmüştür.

- Fakir karışımlar ile çalışma sebebiyle ortaya çıkan ortalama efektif basınç kaybı, sıkıştırma oranının artırılması ile bir miktar karşılanabilir.

- Sıkıştırma oranının 10,5'den 14' e ve HFK'nın 1,0 dan 1,45'e yükseltilmesi durumunda %18 OEB kaybı olmuştur.

- HFK'nın 1,0 dan 1,45'e artırılması durumunda MR\_12 ve MR\_14 pistonlarında NO emisyonları %50-60, THC emisyonlarında da %11 oranında azalma olmuştur.

- Sıkıştırma oranının 10,5 den 14'e ve HFK'nın 1,0 dan 1,45'e yükseltilmesi durumunda özgül yakıt tüketimi değeri %13 azalmıştır.

- MR\_14 pistonunda HFK'nın 1,3 değerinden sonra vuruntu görülmemiştir.

- En düşük özgül yakıt tüketimi değeri  $\lambda = 1,45$  değerinde elde edilmiştir.

-  $\lambda = 1,3$  ile stokiyometrik şartlar karşılaştırıldığı zaman CO emisyonları %90 oranında azalmıştır.

- Sıkıştırma oranı olarak 12 ve 14 değerleri uygun görülmüştür.

- Moment ve güç değerindeki değişim orijinal dizel motoru ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeydedir.

#### TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu projenin bütçesi İTÜ BAP birimi tarafından sağlanan destekler ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yazarlar bu projeyi destekleyen Bosch otomotiv yedek parçaları, Otam, Teknodak Plastik Kalıp ve Makine ve İTÜ otomotiv laboratuvarı çalışanlarına teşekkürlerini sunarlar.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] J. B. Heywood, *Internal combustion engines*. Newyork, McGraw-Hill, 1988.
- [2] B. Safgönül, M. Ergeneman , H. E. Arslan ve C. Soruşbay, *İçten yanmalı motorlar*. İstanbul, Birsen Yayınevi, 2006.
- [3] W. W. Pulkrabek, *Engineering fundamentals of the internal combustion engines*. USA, Pearson Prentice Hall, 2004.
- [4] H. Zefaan. (2011, September). Combustion chamber geometry effects in spark ignition engine exhaust emissions. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 10(1). pp. 29-40.
- [5] H. E. Doğan, *LPG dönüşümü yapılmış bir dizel motorunda azot oksit oluşumunun teorik ve deneysel olarak incelenmesi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
- [6] C. Dinç, H. Arslan and R. Mehdiyev. (2008, May). CO<sub>2</sub> Emission Reduction Using Stratified Charge in Spark-Ignition Engines, *Energy & Fuels*, 23. pp. 1781-1786.
- [7] Ü. Demir, Ö. M. Göbeloğlu, H. S. Soyhan ve E. Büyükkaya. (2014, Ekim). Bir HCCI motorun 0-boyutlu yanma analizi. *SAÜ Fen Bil Der*, 19(2). pp. 203-211.
- [8] S. G. Paulos and J. B. Heywood. The effect of chamber geometry of a spark-ignition engine combustion. *SAE Technical Paper Series*, 830334, 1983.
- [9] K. S. Hershleb, L. Lorenzen ve E. Kofoed. Lean Combustion in a High Compression Four Stroke Gasoline Engine, *SAE Technical Paper Series*, 810786, 1983.
- [10] P. Wolanski and R. Mehdiyev, Bi-Modal combustion chamber for a stratified charge engine. *SAE Technical Paper Series*, 2000-01-0196, 2000.
- [11] M. K. Balki ve C. Sayın. Saf metanolün kullanıldığı buji ateşlemeli bir motorda sıkıştırma oranının performans, yanma karakteristiği ve emisyonlar üzerine etkisi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12(3). pp. 73-85, 2015.
- [12] V. Ayhan. (2016, Haziran) 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(3). pp. 463-471.
- [13] K. Ravi ve E. Porpatham. (2017, Ocak). Effect of piston geometry on performance and emission characteristics of an LPG fuelled lean burn SI engine at full throttle

- condition. *Applied Thermal Engineering*, 110(2017). pp. 1051-1060.
- [14] M. Pan, G. Shu, H. Wei, T. Zhu, Y. Liang ve C. Liu. (2013, Ekim) Effects of EGR, compression ratio and boost pressure on cyclic variation of PFI gasoline engine at WOT operation, *Applied Thermal Engineering*, 64(2014). pp. 491-498.
- [15] O. A. Kutlar, *Dört zamanlı otto (rochas) çevrimli motorlarda kısmi yükte yakıt tüketimini azaltmak için yeni bir yöntem (periyot atlatmalı motor)*, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999.
- [16] Ö. Tekeli, *Çevrim Atlatmalı Bir Benzin Motorunun Ateşleme ve Püskürtme Ünitelerinin Tasarımı ve Üretimi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
- [17] J. A. Harrington and R. C. Shishu. A single-cylinder engine study of the effects of fuel type, fuel stoichiometry, and hydrogen-to-carbon ratio on CO, NO, and HC exhaust emissions, *SAE Technical Paper Series*, 730476, 1973.