

**Makale  
(Article)**

## **Saf Metanolün Kullanıldığı Buji Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Performans, Yanma Karakteristiği ve Emisyonlar Üzerine Etkisi**

**Mustafa Kemal BALKİ\*, Cenk SAYIN\*\***

\*Sinop Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Mak. Müh. Böl., 57000 Sinop/TÜRKİYE

\*\*Marmara Üniversitesi Tek. Fak. Mak. Müh. Böl., İstanbul/TÜRKİYE

[mkbalki@sinop.edu.tr](mailto:mkbalki@sinop.edu.tr)

### **Özet**

Ekosistem ve maliyet açısından benzine alternatif olabilecek yakıtların buji ateşlemeli motorlarda kullanılması günümüzde oldukça önemli hale gelmiştir. İçinde bulunduğumuz bu durum, geliştirilen yeni teknolojiler ile birçok kaynaktan üretilen metanol gibi alternatif yakıtların kullanımının araştırılmasına neden olmuştur. Metanolün motorlarda daha verimli kullanılabilirliğini araştırmak için yapılan bu çalışmada, sıkıştırma oranının (SO) performans ve egzoz emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir. Tek silindirli buji ateşlemeli bir motorun kullanıldığı deneylerde değişken olarak dört farklı sıkıştırma oranı (8,0:1, 8,5:1, 9,0:1 ve 9,5:1) tercih edilmiştir. Bütün motor deneyleri, tam yük, 2400 d/d sabit motor hızı ve 1,0 sabit hafa fazlalık katsayısında gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler ile motor performansı ve egzoz emisyon karakteristikleri çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar motorun orijinal çalışma parametrelerinde benzinden elde edilen verilerle kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre, saf metanol kullanımında, SO'nun artması ile birlikte özgül enerji tüketimi (ÖET) ve özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) azaldığı, ortalama efektif basınç (OEB) ve ısıl verimin (ISV) ise arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, bütün SO'larda metanol kullanımının benzine göre OEB'yi, ÖYT'yi, silindir gaz basıncını (SGB) ve ISV'yi yükselttiği, ÖET'yi ise düşürdüğü tespit edilmiştir. Aynı zamanda, metanol kullanımının benzine kıyasla egzoz emisyonlarını bütün SO'larda genel olarak iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Metanol, Sıkıştırma oranı, Motor performansı, Egzoz emisyonu.

### **The Effect on Performance, Combustion Characteristic and Exhaust Emissions of Compression Ratio in an SI Engine Fuelled Pure Methanol**

#### **Abstract**

The using of fuels which can be alternative to gasoline in a spark ignition engine is gained fairly important with respect to environment and cost of the fuels. This situation has led the investigation of the use of alternative fuels such as methanol, which can be produced from many sources with the new technologies developed. In this study which has been done for investigating the more efficient usability of methanol has been examined the effect on engine performance and exhaust emission of compression ratio (CR). In the tests were used SI engine, which was a single cylinder and air-cooled. In the experiments were preferred four different CRs (8.0:1, 8.5:1, 9.0:1 and 9.5:1). All experiments were conducted with a wide-throttle opening, the constant engine speed of 2400 rpm and constant excess air ratio (1.0). With the obtain results from the tests, it has been presented in engine performance and exhaust emission characteristic and is compared to obtained values from unleaded gasoline at original engine parameters. As a result, with an increasing CR, it is observed that the brake mean effective pressure (BMEP), brake thermal efficiency (BTE) increased while decrease brake specific energy consumption (BSEC) and brake specific fuel consumption (BSFC) at the use of pure methanol.

Also, it was shown that the BMEP, BTE, inlet cylinder gas pressure and BSFC were generally increased while decreased BSEC obtained with the use of methanol at all CRs when they were compared to those of gasoline.

*Bu makaleye atf yapmak için*

*Balki M.K.\*, Sayin C.\*\*, "Saf Metanolün Kullanıldığı Buji Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Performans, Yanma Karakteristiği ve Emisyonlar Üzerine Etkisi" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015, 12(3) 73-85*

*How to cite this article*

*Balki M.K.\*, Sayin C.\*\*, "The Effect on Performance, Combustion Characteristic and Exhaust Emissions of Compression Ratio in an SI Engine Fuelled Pure Methanol" Electronic Journal of Machine Technologies, 2015, 12(3) 73-85*

Furthermore, in general, pure methanol provided a lower exhaust emission compared to gasoline's emissions at all CRs.

**Keywords:** Methanol, Compression ratio, Engine performance, Exhaust emissions.

## 1. GİRİŐ

Motorlarda enerji gereksinimi, sıvı veya gaz yakıtların yakılmasıyla elde edilen ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilmektedir. Günümüzde kullanılan bu yakıtların çoğu petrol esaslı olup, sınırlı kaynaklardan üretildiği bilinmektedir. Petrol bakımından dıŐa bağımlı olan bizim gibi ölkelerde, petrole alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve kullanılması oldukça önemli hale gelmiştir. Bu enerji kaynaklarının başında bitkisel kökenli olarak üretilebilen etanol, metanol ve bütanol gibi alkol yakıtlar gelmektedir. Bu yakıtlar, içerisinde şeker ihtiva eden bütün bitkilerden üretilebilmektedir.

Motorlarda kullanılabilir yakıtların ekonomik olması, üretim kaynaklarının çeşitli ve bol olmasının yanı sıra performans ve egzoz emisyonları bakımından da elverişli olması istenir [1]. Alternatif yakıtlar içerisinde yer alan metanol, geliştirilen yeni nesil teknolojiler ile birçok kaynaktan üretilebilmektedir. Başta bitkisel kaynaklar olmak üzere, kömür, doğalgaz ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gibi diğer unsurlardan da metanol elde edilmektedir. Metanol buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanıldığında bazı avantajlara sahiptir. Metanol'un oktan sayısı, benzin ve diğer alkol yakıtlardan daha yüksektir. SO'nun artırılmasına olanak sağlayan bu durum, motorlarda ISV'nin iyileşmesine neden olabilmektedir. Buji ateşlemeli motorlarda saf olarak kullanılabilen metanol, aynı zamanda benzin ile karışım oluşturarak kullanılabilir. Saf olarak kullanılabilmesi için yakıt sisteminde bazı değişikliklere ihtiyaç duyulurken, karışım olarak tercih edildiğinde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın kullanılabilir. Her iki kullanım yöntemiyle de motor performansı ve emisyonlarında olumlu etki göstermektedir [2-4].

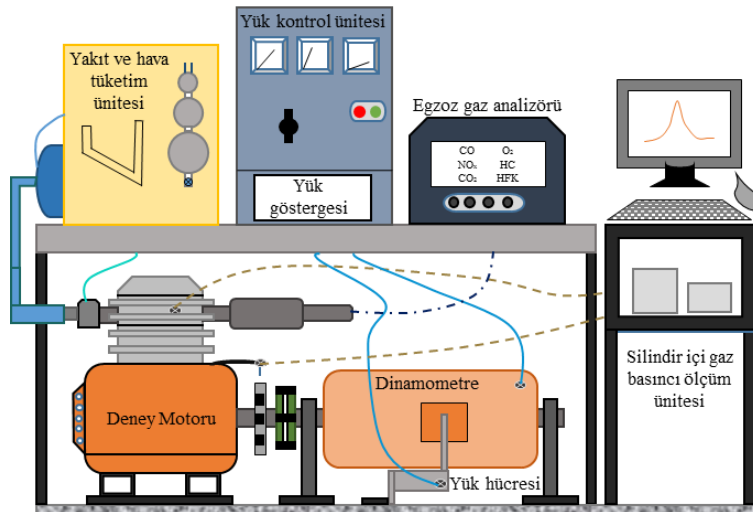
Literatürde alkol yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımını konu alan birçok çalışma mevcuttur. Nazzal vd. tek silindirli, 6:1 SO'ya sahip bir deney motorunda yakıt olarak alkol-benzin karışımı kullanımının motor performansı üzerine etkisini incelemiştir. Alkol-benzin karışımı olarak E12 (%12 etanol+%88 benzin), M12 (%12 metanol+%88 benzin) ve E6M6 (%6 etanol+%6 metanol+%88 benzin) yakıtları kullanılmıştır. M12, E6M6 ve E12 karışım yakıtlarıyla tam yük ve değişik motor hızlarında yapılan deney sonuçlarına göre 2000 d/d motor hızında benzinli çalışmaya kıyasla motor gücünü sırasıyla %27,3, %23,7 ve %21,6 oranlarında artırdığı tespit edilmiştir. Özgöl yakıt tüketimini (ÖYT) ise sırasıyla %18,4, %14 ve %10 oranında azalttığı görölmüştür. Aynı zamanda, ISV'yi sırasıyla %31,5, %23,6 ve %17 oranında artırdığı gözlemlenmiştir [5]. elik vd. yapmış oldukları deneysel çalışmada saf metanol kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisini incelemişlerdir. Tam yükte yapılan deneylerde hava fazlalık katsayısı yaklaşık 1,0 olarak ayarlanmış ve motor 6,0:1, 8,0:1 ve 10,0:1 SO'da çalıştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, orijinal SO'da (6,0:1) benzin ile yapılan çalışmaya göre, metanol yakıtlı çalışmada SO'nun artmasıyla birlikte motor gücü ve ISV'nin arttığı, ÖYT'nin ise azaldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, karbon monoksit (CO) emisyonu azalırken, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve hidrokarbon (HC) emisyonları artmıştır [6]. Eyidoğan vd. az miktarda alkol (etanol ve metanol) ve benzin karışımlarının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. şasi dinamometresinden elde edilen sonuçlara göre, alkol karışımlarının ÖYT'yi artırdığı, silindir içi gaz basıncının ve açığa çıkan ısı miktarının ise daha erken yükselttiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, alkol karışımlarının kullanılmasıyla egzoz emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir [7]. Shayan vd. yakıt enjeksiyonlu, dört silindirli bir motorda yakıt olarak metanol-benzin karışımı (M5, M7,5, M10, M12,5 ve M15) kullanmışlardır. Bu yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkileri tam gaz kelebeği açıklığında incelenmiştir. Sonuçlara göre, karışım içerisindeki metanol oranının artmasıyla motor momentinin, gücünün, ISV'nin ve volumetrik verimin arttığı, ÖYT ve eşdeğerlik oranının ise azaldığı tespit edilmiştir [8]. Shenghua vd. benzinli bir motorda %10 metanol (M10) katkılı karışım yakıtı ile benzin kullanımının performansı ve emisyon parametrelerine

etkinini incelemişlerdir. Deneylede M10 yakıtının benzin kullanımı ile aynı gücü ürettiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, benzine kıyasla M10 kullanımının HC ve CO emisyonlarını azalttığı gözlemlenmiştir [9]. Al-Dawood yaptığı motor deneylerinde yakıt olarak MTBE, metanol ve etanolü benzin ile üç farklı oranda (hacimsel olarak %10, 15 ve 20) karıştırarak kullanmıştır. Deneylede, motorun performans ve egzoz emisyonları incelenmiştir. Deneyle sonuçlarına göre, alkol yakıtlardan elde edilen ISV'nin benzine göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yakıtlar kendi aralarında kıyaslandığında metanol karışımı deneylerden elde edilen ISV'nin diğer yakıt türlerinde daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [10]. Erenoral ve Özgören'in yapmış oldukları çalışmada methyl tert butyl ether (MTBE), etanol ve metanolden oluşan alkol yakıtları benzin ile %10'ar karışım oluşturarak motorda kullanmışlardır. Tam gaz keleşi açıklığında yapılan deneylerde motor dinamometre ile yüklenerek hız karakteristikleri elde edilmiştir. Deneyle sonuçlarına göre, motor momenti ve gücünün ortalama olarak benzine kıyasla MTBE ve etanol kullanımı ile arttığı, metanol kullanımı ile azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, ÖYT alkol yakıtlar ile ortalama %20 civarında artış göstermiştir. Egzoz emisyonları ise benzine göre genel olarak yüksek çıktığı tespit edilmiştir [11]. Sugözü vd. bir deneyle motorunda SO'nun performans ve egzoz emisyonları üzerine etkisini araştırmışlardır. Deneylede, SO'nun artmasıyla birlikte motor momentinin ve gücünün arttığı, ÖYT'nin ise azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, CO emisyonu azalırken, HC emisyonunda bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir [12].

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde motorlarda saf olarak metanolün kullanıldığı çalışmaların fazla olmadığı gözlemlenmiştir. Günümüzde motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıtların saf olarak kullanılabilmesi petrole bağımlılığın azaltılması konusunda oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca alternatif motor yakıtının üretimi ve kullanımı dahil geçen bütün süreçlerde çevreye verdiği zararlarda göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan bu çalışma ile bitkisel kaynaklardan üretilebilen metanolün saf olarak kullanıldığı buji ateşlemeli bir motorda, performans, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonları farklı SO'larda deneyle olarak incelenmiş ve benzin yakıtlı çalışmadan elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır.

## 2. METARYAL ve METOT

Deneylede buji ateşlemeli, hava soğutmalı, 8,5:1 SO ve 196 cc silindir hacmine sahip, tek silindirli bir deneyle motoru kullanılmıştır. Deneylede, 8,0:1, 8,5:1, 9,0:1 ve 9,5:1 olmak üzere dört farklı SO tercih edilmiştir. Bunun için üç tane silindir kafası kullanılmıştır. 8,5:1 SO'ya sahip olan deneyle motorunda 9,0:1 ve 9,5:1 SO değerlerine ulaşabilmek için silindir kafası taşlanmış, 8,0:1 SO için ise ekstra conta yerleştirilmiştir. Her iki yakıt türünde H/Y oranının her bir deneylede sabit tutulabilmesi için karbüratör ana yakıt memesinin çapı genişletilmiş ve konik bir vida yardımıyla ayarlanabilir hale getirilmiştir. Deneyle sisteminin şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneyle donanımının şematik görünümü

Deney sistemi; deney motoru, yük kontrol ünitesi, egzoz gaz analizörü, hava ve yakıt tüketimi ölçüm düzeneği, egzoz gaz analizörü ve silindir içi basınç ölçüm ünitesinden oluşmaktadır. Deneylerde yakıt olarak kurşunsuz benzin ve %99 saflıkta metanol kullanılmıştır. Yakıtların bazı fiziki ve kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1** Deney yakıtların bazı fiziki ve kimyasal özellikleri [13, 14]

Yakıt özellikleri	Benzin	Metanol
Oksijen ağırlığı (%)	-	49,94
Karbon/Hidrojen (C/H) oranı (%)	0,444	0,25
Alt ısı değeri (kJ/kg)	42600	20100
Stokiyometrik H/Y oranı	14,6	6,46
Stokiyometrik karışımın ısı değeri (kJ/kg-karışım)	3034,25	3111,45
Araştırma oktan sayısı (AOS)	95	108,7
Motor oktan sayısı (MOS)	85	88,6
Oktan sayısı ((AOS+MOS)/2)	90	98,65
Tutuşma sıcaklığı (°C)	257	455
Alevlenme noktası (°C)	25	11
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	349	1100
Kaynama noktası (°C, 101,3 kPa)	27-225	64,5
Laminer yanma hızı (cm/s, HFK:1,0, NŞA)	28	42
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	2002	1870

Deneyler; tam gaz kelebeği açıklığında, motorun orijinal ateşleme avansında (23°) ve dört farklı SO’da (8,0:1, 8,5:1, 9,0:1 ve 9,5:1) yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda bütün yakıtlar için hava fazlalık katsayısı yaklaşık 1,0 (bir) olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneylere başlamadan önce motor benzin ile çalıştırılmış ve kararlı hale gelinceye kadar beklenmiştir. Her bir deneyde, motor tam gaz kelebeği açıklığında çalışırken dinamometre ile yüklenerek 2400 d/d motor hızına getirilmiş ve bu esnadaki yakıt tüketimi, dinamometre yük değeri ve egzoz gazı emisyon değerleri kaydedilmiştir. Egzoz emisyonlarının ölçümünde ise MRU DELTA 1600L egzoz gaz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2** Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri

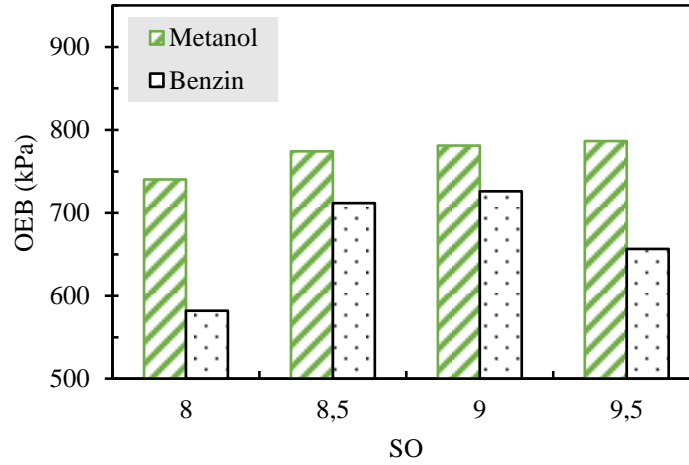
Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Hassasiyeti
CO <sub>2</sub> (% vol)	0 – 20	±%0,5
HC (ppm)	0 – 20000	±12 ppm
NO <sub>x</sub> (ppm)	0 – 4000	±5 ppm

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, benzin ve metanol yakıtlarının farklı SO’da kullanımı ile elde edilen motor performansı ve egzoz emisyonları değişimleri sunulmuştur. Motor performansı olarak, ortalama efektif basıncı (OEB), ısı verimi (ISV), özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve özgül enerji tüketimi (ÖET) incelenmiştir. Bununla birlikte, hidrokarbon (HC), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarındaki değişimlerde irdelenmiştir. Ayrıca, metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen bu veriler motorun orijinal SO (8,5:1) değerinde benzinden elde edilen değerler ile kıyaslanmıştır.

### 3.1 Motor performansları

Motorlarda OEB gerçek çevrimdeki eşdeğer gücü verebilmesi için bir strok boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınç olarak ifade edilmektedir [15]. Farklı SO'larda elde edilen OEB'nin değişimi Şekil 2'de verilmiştir

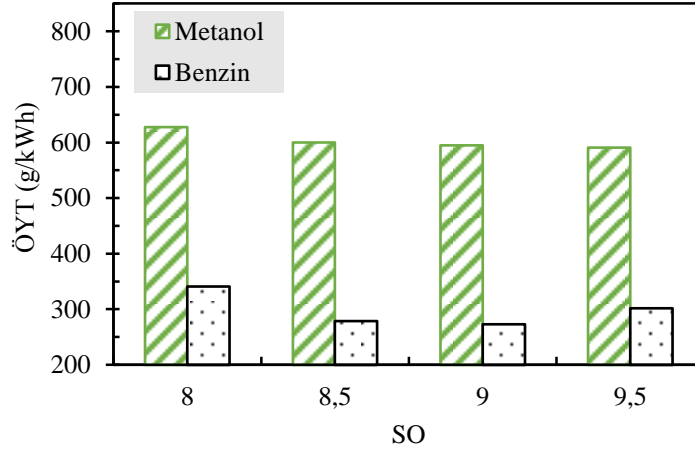


Şekil 2. Benzin ve metanole ait SO'ya bağlı OEB değişimi

Grafik incelendiğinde, metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen OEB'nin benzinli çalışmaya göre daha yüksek çıktığı görülmektedir. Metanolün oktan sayısının, oksijen oranının ve buharlaşma gizli ısısının benzinden yüksek olması kullandıklarında EFV ve volumetrik verimin artmasına neden olduğu literatürde [16] belirtilmiştir. Artan volumetrik verimin, silindir içi basınç ve sıcaklığın yükselmesinden dolayı OEB'nin arttığı düşünülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde maksimum OEB'nin 786,44 kPa olduğu ve bunun 9,5:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada gerçekleştiği tespit edilmiştir. Tüketilen yakıt miktarı ve ısıl değerler çarpımı ile birim zamanda silindire gönderilen ısı miktarı bulunmaktadır. Örneğin 9,5:1 SO'daki deney verilerinden, birim zamanda silindire gönderilen ısı miktarlarına bakıldığında benzin ve metanol yakıtının yaklaşık olarak sırasıyla 9,57 ve 10,12 kJ/s olduğu hesaplanmıştır. Burada da görüldüğü gibi metanol yakıtlı çalışmada silindir içerisine birim zamanda gönderilen ısı benzinden fazladır. Ayrıca, Tablo 1'de karışımın ısıl değerlerine bakıldığında metanolün daha yüksek olduğu görülmektedir OEB'deki artışa bu durumlarında etken olduğu düşünülmektedir. OEB açısından literatürdeki bazı çalışmalar [17-19] benzerlik gösterirken, bazı çalışmalar [20,21] ile farklılıklar göstermiştir.

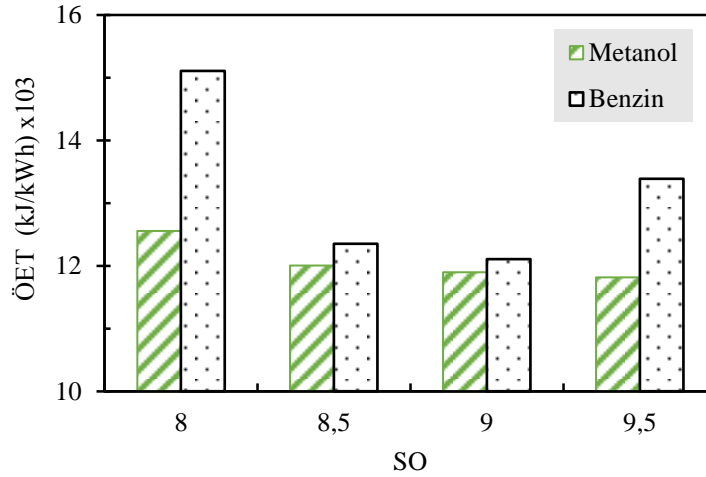
ÖYT birim güç başına tüketilen yakıt miktarını göstermektedir. Benzin ve metanol ile yapılan çalışmaların, SO'ya bağlı ÖYT değişimleri Şekil 3'de verilmiştir. Metanolün benzine göre ısıl değerlerinin düşük olması ve stokiyometrik Y/H oranlarının yüksek olması aynı çıkış gücü için daha fazla yakıt kullanılmasına ve dolayısıyla ÖYT'nin artmasına neden olmaktadır.

Grafik incelendiğinde benzin ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen ÖYT'nin artan SO ile birlikte genel olarak azaldığı görülmüştür. SO'nun artmasıyla birlikte artan OEB'ye bağlı olarak ÖYT de azalmaktadır. Fakat 9,5:1 SO'da benzinli çalışmada görülen OEB'deki düşüşün etkisiyle, ÖYT'nin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Minimum ÖYT'nin 273,31 g/kWh olduğu ve bunu 9,0:1 SO'da benzinli çalışmada elde ettiği tespit edilmiştir. Metanol yakıtlı çalışmalarda minimum ÖYT'nin ise 590,827 g/kWh (9,5:1 SO'da) olduğu görülmektedir. Bu çalışmada bulunan ÖYT sonuçları, literatürdeki bazı çalışmalar [6,18,22] ile benzerlik göstermiştir.



Şekil 3. Benzin ve metanole ait SO'ya bağlı ÖYT değişimi

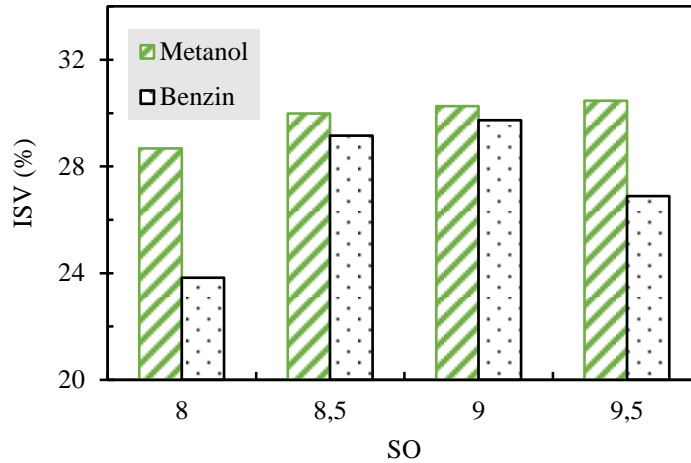
Motorlarda 1 saat boyunca 1 kW güç üretmek için motora girmesi gereken enerji miktarı ÖET olarak tanımlanmaktadır [23]. Bu çalışmada, farklı ısıl değerlere sahip iki farklı yakıttan elde edilen ÖET değişimleri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Benzin ve metanole ait SO'ya bağlı ÖET değişimi

ÖET yakıtın ısıl değeri ile ÖYT'nin çarpılması ile hesaplanmaktadır. Şekil 4 irdelendiğinde, metanol yakıtlı çalışmalarda birim güç başına tüketilen enerji miktarının SO'nun artmasıyla birlikte düştüğü görülmektedir. Ayrıca, benzine kıyasla daha düşük değerlerde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Minimum ÖET'nin 11816,6 kJ/kWh olduğu ve bunu 9,5:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada yakaladığı tespit edilmiştir. Metanol yakıtlı çalışmada, benzine göre OEB'nin yüksek çıkması, birim güç başına tüketilen enerji miktarının düşmesine neden olmuştur. Metanolün ısıl değerinin düşük olmasına karşın, stokiyometrik oranda motorda yakıt olarak kullanılmasıyla üretilen OEB artmaktadır. Ayrıca, metanol kullanımında birim zamanda silindire gönderilen ısı miktarı benzine göre daha fazladır. Bu durumların metanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖET'nin benzine göre daha düşük çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

ISV yakıtın ısıl enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürüldüğünün göstergesidir. Benzin ve metanol yakıtlı çalışmaların farklı SO'lardaki ISV değişimleri Şekil 5'de verilmiştir. Buji ateşlemeli motorlarda, EFV'nin SO'nun bir fonksiyonu olduğu literatürde [24,25] ifade edilmiştir. Metanol yakıtlı çalışmada SO'nun artmasıyla birlikte EFV artarken, benzinli çalışmada 9,0:1 SO'ya kadar arttığı ve ondan sonra düşüşe geçtiği görülmektedir, Şekil 5.



**Şekil 5.** Benzin ve metanole ait SO'ya bağlı ISV değişimi

Grafik bütünüyle incelendiğinde, metanol yakıtlı çalışmada EFV'nin genel olarak benzinden yüksek olduğu görülmektedir. Metanolün adyabetik alev sıcaklığının benzine göre düşük olması ve yanma hızının yüksek olması EFV'nin artmasında önemli bir etken olmaktadır [26]. Şekil 5 incelendiğinde, maksimum EFV'nin %30,47 olduğu ve bunu 9,5:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, metanol kullanımının EFV'yi benzine göre %2,84 artırdığı görülmüştür. SO'nun artmasıyla birlikte, EFV bir noktaya kadar hızla artarken ondan sonra artış hızının yavaşladığı görülmektedir. SO'nun artması ile birlikte yanma odası yüzey/hacim oranı artması çevreye olan ısı transferini artırdığından EFV'deki artış sınırlı kalmıştır [24]. Elde edilen EFV sonuçları, literatürdeki bazı çalışmalar [6,19,27] ile benzerlik göstermiştir. Farklı SO'larda metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen OEB, ÖYT, ÖET ve ISV gibi motor performans parametrelerinin, motorun orijinal çalışma şartları olan 8,5:1 SO'daki benzinli çalışmaya göre yüzdesel değişimleri Tablo 3'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.** Metanol kullanımı ile elde edilen motor performanslarının 8,5:1 SO'da benzine göre yüzdesel değişimleri

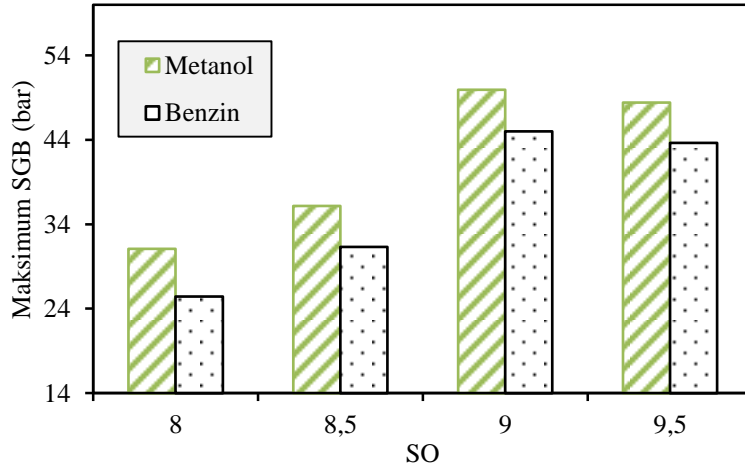
	Yüzdesel değişimler (%)			
	OEB	ÖYT	ÖET	ISV
<b>8,0:1</b>	4	125,18	1,66	-1,64
<b>8,5:1</b>	8,75	115,35	-2,78	2,85
<b>9,0:1</b>	9,75	113,38	-3,67	3,8
<b>9,5:1</b>	10,5	111,94	-4,32	4,51

Tablo 3 incelendiğinde, metanol kullanımı ile orijinal motor çalışma parametresine göre OEB'nin bütün SO'larda arttığı görülmektedir. En fazla artışın 9,5:1 SO'da olduğu ve %10,5 civarında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, motorlarda benzin yerine metanol kullanımının OEB'yi bütün SO'larda ortalama olarak %8,25 oranında artırdığı bulunmuştur. Benzine göre ısı değeri daha düşük olan metanolün farklı SO'larda kullanımı ÖYT'yi ortalama %116,47 yükseltmiştir. Ayrıca, bütün SO'larda benzine kıyasla metanol yakıtlı çalışmadan elde edilen ÖET'nin ortalama %2,72 azaldığı, ISV'nin ise %2,38 oranında arttığı tespit edilmiştir.

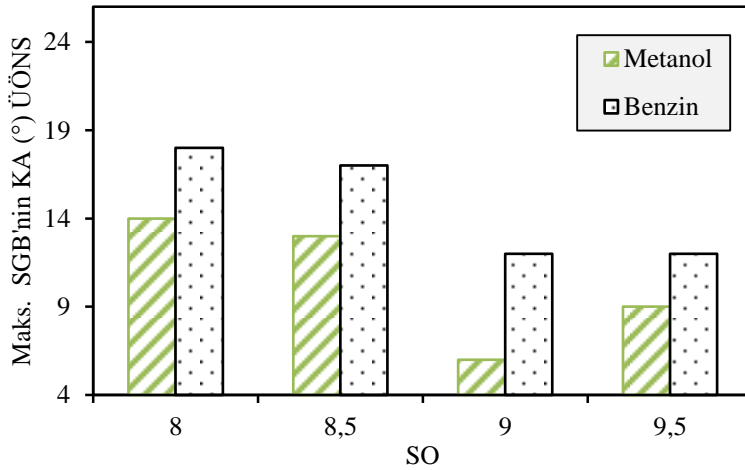
### 3.2 Yanma Karakteristiği

Çalışmanın bu kısmında yanma sonu oluşan maksimum silindir içi gaz basınç (SGB) değerleri ile krank mili açısı (KA) cinsinden olduğu yerler yanma karakteristiği olarak verilmiştir. Benzin ve metanol

yakıtlı çalışmalardan farklı SO'lardan elde edilen SGB'nin değişimleri ve oluştuğu yerin KA değerleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Benzin ve metanole ait SO'ya bağlı maksimum SGB'nin değişimi



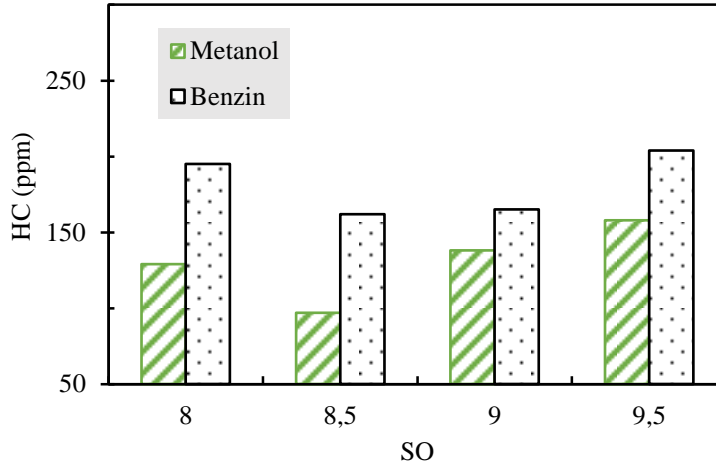
Şekil 7. Benzin ve metanole ait SO'ya bağlı maksimum SGB'nin oluştuğu KA değerleri

Şekil 6 ve 7 incelendiğinde, elde edilen maksimum SGB'nin üst ölü nokta dan (ÜÖN) 6° sonra 50 bar olarak gerçekleştiği ve bunu 9,0:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada sağladığı tespit edilmiştir. Elde edilen maksimum SGB değerleri kıyaslandığında, metanol yakıtlı çalışmada benzin göre %10,92 arttığı tespit edilmiştir. SO'nun 9,5:1'e alınmasıyla benzin ve metanol yakıtlı çalışmada SGB'nin bir önceki SO'ya göre bir miktar azaldığı görölmektedir. Bu durumun yakıtların OS'lerine bağlı olarak değişen yakıt duyarlılığından kaynaklandığı düşünölmektedir. Ayrıca, SO'nun 8,0:1'den 9,5:1'e alınmasıyla benzin ve metanol yakıtlarından elde edilen SGB'nin sırasıyla %71,44 ve %55,7 oranından arttığı görölmektedir. Aynı zamanda, SO'nun artmasıyla birlikte bütün yakıt türünde maksimum SGB'ler ÜÖN'ye yaklaşmıştır. Metanol yakıtlı çalışmada bu durum daha belirgin halde görölmektedir. Metanolün adyabatik alev sıcaklığının benzinden düşük olması, yanma odasından olan ısı kayıplarını azalmasına ve dolayısıyla EFV ve SGB'nin daha yüksek çıkmasına neden olduğu düşünölmektedir.

### 3.3 Egzoz Emisyonları

Bu bölümde benzin ve metanol yakıtlı çalışmalar sırasında oluşan yanmamış HC, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki değişimler verilmiştir. Motorlarda, silindir içerisinde karışım halinde bulunan yakıt atomlarının herhangi bir nedenle eksik yanması veya tutuşamaması sonucu HC emisyonu oluşmaktadır.

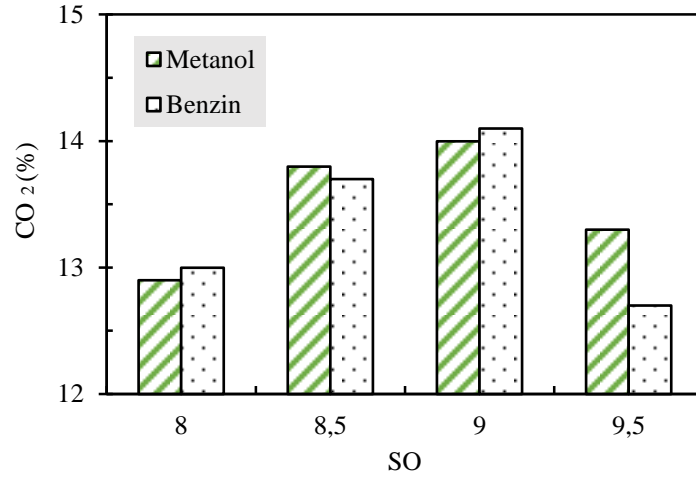
Yanma odası içerisine alınan yakıt-hava karışımının homojen olmaması, soğuk cidarlar, piston ile silindir arası boşluklarda yanmanın devam edememesi, sıkıştırma sonu sıcaklığının düşük olması, yanma odasında bulunan ince yağ filminin yakıtı absorbe etmesi, yetersiz oksijen ve yanma odasındaki yüzey/hacim oranının artması gibi etkenler HC emisyonu oluşumuna neden olmaktadır [28-32]. Benzin ve metanol ile yapılan çalışmaların, farklı SO'lardaki HC emisyonunu değişimleri Şekil 8'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, metanol kullanımının benzinli çalışmaya göre HC emisyonunu düşürdüğü görülmektedir. Metanolün benzine göre yüksek oranlarda oksijen içermesi, daha düşük kaynama noktasına sahip olması, laminer yanma hızının yüksek oluşu ve volumetrik verimi yükseltici özellikte olması, HC emisyonunu azaltıcı etki oluşturmaktadır.



Şekil 8. Benzin ve metanole ait SO'ya bağlı HC değişimi

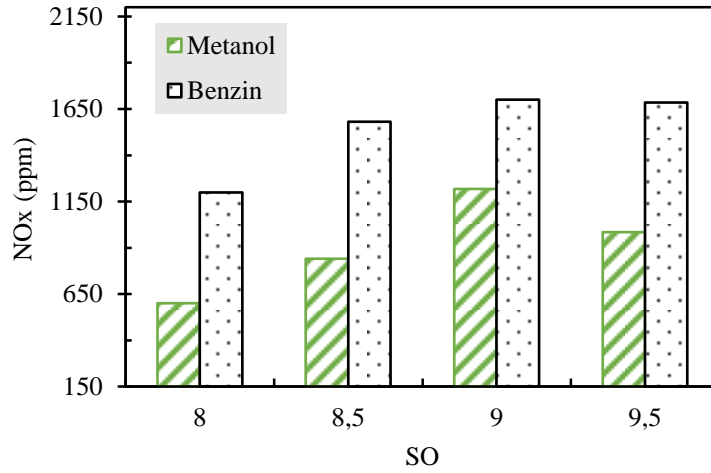
Fakat metanolün buharlaşma gizli ısısının yüksek olması, yanma odasındaki ısının düşmesine ve dolayısıyla HC'nin artmasına neden olabilmektedir. Bundan dolayı, HC emisyonundaki azalmanın sınırlı kaldığı düşünölmektedir. SO'nun 8,0:1 olduğu durumda sıkıştırma sonucu basınç ve sıcaklığın az olması nedeniyle yanmanın tamamlanamaması, HC emisyonunu yükseltmiştir. SO'nun artmasıyla birlikte yanma odasının yüzey/hacim oranı artarak alev sönme bölgesini genişletmektedir [25]. Bundan dolayı, iki yakıt türünde de 8,5:1 SO'dan sonra HC emisyonu bir miktar artış görölmüştür. Motor minimum HC emisyonuna 8,5:1 SO'da 97 ppm olarak metanol yakıtlı çalışmada ulaşmıştır. Benzin ve metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen HC değerleri literatürdeki [6,19,33-35] bazı çalışmaları ile benzerlik göstermiştir.

Yakıt içerisindeki karbon atomlarının yanma odasında tam olarak yanmasıyla ortaya çıkan egzoz emisyon türü CO<sub>2</sub>'dir. Benzin ve metanol ile yapılan çalışmaların, farklı SO'lardaki CO<sub>2</sub> emisyonunu değişimleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde, benzinli ve metanol yakıtlı çalışmada CO<sub>2</sub> emisyonunun 9,0:1 SO'ya kadar arttığı ve sonra tekrar düşüşe geçtiği görölmüştür. Metanol yakıtlı çalışmalarda, benzine göre CO<sub>2</sub> emisyonunun bir miktar az olduğu görölmektedir. Metanolün yakıt-hava karışımı içerisindeki karbon oranının benzine kıyasla nispeten az olmasının, daha düşük CO<sub>2</sub> emisyonu oluşmasına sebep olduğu düşünölmektedir. 9,5:1 SO'da her iki yakıt türünde yanmanın düzensizleşmesi sonucu CO<sub>2</sub> emisyonu azalmıştır. Bu esnada oluşan CO<sub>2</sub> emisyonuna bakıldığında vuruuntu dayanımı daha iyi olan metanolün, benzinden daha yüksek çıktığı görölmektedir. Ayrıca, deneylerde maksimum CO<sub>2</sub>'nin 9,0:1 SO'da oluştuğu, benzin ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla %14,1 ve %14 oranlarında gerçekleştiği tespit edilmiştir.



**Şekil 9.** Benzin ve metanole ait SO'ya bağlı CO<sub>2</sub> değişimi

Hava içerisindeki azot (N) atomunun yüksek sıcaklık etkisi ile oksitlenmesi sonucu ortaya NO<sub>x</sub> emisyonu çıkmaktadır. SO'nun artmasına paralel olarak artan silindir içi basınç ve sıcaklık NO<sub>x</sub> emisyonunu yükseltici bir etki oluşturmaktadır [28]. Benzin ve metanol ile yapılan çalışmalarda SO'ya bağlı NO<sub>x</sub> emisyonunu değişimleri Şekil 10'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, benzinli çalışmanın metanole kıyasla oldukça fazla NO<sub>x</sub> emisyonu oluşturduğu görülmektedir. Metanolün adyabatik alev sıcaklığının benzine göre düşük olması, NO<sub>x</sub> emisyonlarının azalmasına sebep olmaktadır [36].



**Şekil 10.** Benzin ve metanole ait SO'ya bağlı NO<sub>x</sub> değişimi

SO'nun artmasıyla birlikte iki yakıt türlerinde genel olarak NO<sub>x</sub> emisyonu artışa geçmiştir. Bu artışa sıkıştırma sonu artan basınç ve sıcaklığın sebep olduğu düşünülmektedir. Maksimum NO<sub>x</sub> emisyonunun 9,0:1 SO'da olduğu ve benzin ve metanol yakıtlı çalışmalarda bu değer sırasıyla 1700 ve 1217 ppm olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Benzin ve metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen NO<sub>x</sub> değerleri literatürdeki [1] çalışma ile benzerlik göstermiştir.

Farklı SO'larda metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen egzoz emisyonlarının, motorun orijinal çalışma şartları olan 8,5:1 SO'daki benzinli çalışmaya göre yüzdesel değişimleri Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 4.** Metanol kullanımı ile oluşan egzoz emisyonlarının 8,5:1 SO'da benzine göre yüzdesel değişimleri

	Yüzdesel değişim (%)		
	HC	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
<b>8,0:1</b>	-20,37	-5,84	-62,02
<b>8,5:1</b>	-40,12	0,73	-46,83
<b>9,0:1</b>	-14,81	2,19	-22,97
<b>9,5:1</b>	-2,47	-2,92	-37,72

Tablo 4 incelendiğinde genel olarak bütün emisyon türlerinde bir iyileşme gözlemlenmiştir. HC'nin bütün SO'larda benzine kıyasla azaldığı görülmektedir. En fazla düşüşün 8,5:1 SO'da olduğu ve %40,12 civarında olduğu görülmüştür. Ayrıca, bütün SO'larda metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen HC'nin 8,5:1 SO'da benzine göre ortalama %19,45 düşük olduğu tespit edilmiştir. Metanol kullanımı ile bütün SO'lardan elde edilen CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında görülen azalmanın ortalama olarak sırasıyla %1,46 ve %42,39 olduğu bulunmuştur. 8,0:1 SO'da NO<sub>x</sub> emisyonunun benzine kıyasla %62 azaldığı görülmüştür. Bu esnada CO<sub>2</sub> emisyonunda %5,84 düşmüştür. Her iki emisyonda görülen bu değişimlerin 8,0:1 SO'da motorun sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığın azalmasına paralel olarak yanmanın bozulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4 SONUÇ ve ÖNERİLER

Benzin ve metanolün saf olarak kullanıldığı buji ateşlemeli bir motorda, sıkıştırma oranının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisinin deneysel olarak incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Metanol kullanımının benzine kıyasla genel olarak egzoz emisyonlarını iyileştirdiği tespit edilmiştir.
- Motor performansı açısından benzinli çalışmada en iyi SO değeri 9,0:1 olduğu, metanollü çalışmada ise bu değer 9,5:1 SO olduğu görülmüştür.
- Motorun orijinal SO değerinde (8,5:1) benzin kullanımına göre, aynı SO değeri ve daha yüksek değerlerde metanol kullanımının ÖET'yi azaltmasına karşın, ÖYT, ISV ve OEB'yi artırdığı gözlemlenmiştir.
- İki yakıt türünden elde edilen maksimum OEB ve ISV değerleri kıyaslandığında, metanol kullanımının benzine göre bu değerleri sırasıyla %8,33 ve %2,46 oranında artırdığı bulunmuştur. Ayrıca, minimum ÖET ve ÖYT değerleri incelendiğinde, metanol kullanımı benzine göre ÖET'yi %2,4 azaltırken, ÖYT'yi %116,7 oranında artırmıştır.
- Bütün SO'larda etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen SGB'lerin genel olarak benzine göre daha erken yükselmeye başladığı ve daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştü
- Bütün SO'lardan elde edilen egzoz emisyonları incelendiğinde metanol kullanımının en fazla NO<sub>x</sub> emisyonunu azalttığı ve bunu HC ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının takip ettiği görülmüştür.
- Gerek motor performansı gerekse de çevresel etkilerden dolayı bitkisel kaynaklardan üretilen alternatif yakıtların kullanımını yaygınlaştıracak motor sistemleri geliştirilmeli ve yasal düzenlemeler yapılmalıdır.

*Not: Bu makale, 1-3 Ekim 2015 tarihinde Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi'nin ev sahipliğinde yapılan 3. Anadolu Enerji Sempozyumunda bildiri olarak sunulmuş ve bilim kurulu tarafından seçilerek dergide basılması uygun bulunmuştur.*

## 5 KAYNAKLAR

1. Balki, M.K., Sayin, C., 2014, "The Effect of Compression Ratio on The Performance, Emissions And Combustion of an SI (Spark Ignition) Engine Fueled With Pure Ethanol, Methanol and Unleaded Gasoline", *Energy*, 71, 194-01
2. Gao, J., Jiang, D., Huang, Z., 2007, "Spray Properties of Alternative Fuels: A Comparative Analysis of Ethanol-Gasoline Blends and Gasoline", *Fuel*, 86, 1645-1650
3. Yücesu, H.S., Sözen, A., Topgöl, T., Arcaklıoğlu, A., 2007, "Comparative Study of Mathematical And Experimental Analysis of Spark Ignition Engine Performance Used Ethanol-Gasoline Blend Fuel", *Applied Thermal Engineering*, 27, 358-368
4. Al-Baghdadi, M.A.R.S., 2006, "A Simulation Model For A Single Cylinder Four-Stroke Spark Ignition Engine Fueled With Alternative Fuels", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 30, 331-350
5. Nazzal, I.T., 2011, "Experimental Study Of Gasoline-Alcohol Blends on Performance of Internal Combustion Engine", *European Journal of Scientific Research*, 52(1), 16-22
6. Çelik, M.B., Özdalyan, B., Alkan, F., 2011, "The Use of Pure Methanol As Fuel At High Compression Ratio in a Single Cylinder Gasoline Engine", *Fuel*, 90, 1591-1598
7. Eyidoğan, M., Çanakçı, M., Özsezen, A.N., Alptekin, E., Türkcen, A., Kılıçaslan, İ., 2011 "Investigation of The Effect, of Ethanol-Gasoline and Methanol-Gasoline Blends on The Combustion Parameters And Exhaust Emissions of a Spark Ignition Engine", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(3), 499-507
8. Shayan, S.B., Seyedpour, S.M., Ommi, F., Moosavy, S.H., Alizadeh, M., 2011, "Impact of Methanol-Gasoline Fuel Blends on The Performance And Exhaust Emissions of a SI Engine", *International Journal of Automotive Engineering*, 1(3), 219-227
9. Shenghua, L., Hui, L., Shengchun, L., Clemente E.R.C., Donghui, Q., 2006 "Effects of Methanol-Gasoline Blend on Gasoline Engine Performance And Emissions", *Journal of Xi'an Jiaotong University*
10. Al-Dawood, A.M., 1998, "Effect of Blending MTBE, Methanol, or Ethanol With Gasoline on Performance And Exhaust Emissions of SI Engines", *Master of Science in Mechanical Engineering, King Fahd University of Petroleum&Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, UMI Number: 1398014*
11. Erenonal, R., Özgören, Y.Ş., 2014 "Buji Ateşlemeli Motorlarda Etanol-Benzin, Mtbe-Benzin ve Methanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 11(1), 11-22
12. Sugözü, İ., Deniz, T., Mutlu, İ., 2009, "Buji Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1), 17-24
13. Vancoillie, J., Verhelst, S., 2010, "Modeling the Combustion of Light Alcohols in SI Engines: A Preliminary Study", *FISITA 2010 World Automotive Congress, Budapest, Hungary*, 1-12
14. Fuel properties. [www.merckmillipore.com/chemicals/all-products](http://www.merckmillipore.com/chemicals/all-products) , [erişim tarihi: 12.06.15]
15. Borat, O., Sürmen, A., Balcı, M., 1992, "İçten Yanmalı Motorlar", *Gazi Üniversitesi Teknik Eđitim Fakóltesi vakfı yayınları, Ankara*
16. Balki, M.K., Sayin, C., Canakci, M., 2014, "The Effect of Different Alcohol Fuels on The Performance, Emissions and Combustion Characteristic of a Gasoline Engine", *Fuel*, 115, 901-906
17. Cassady, P.E., 1976, "The Use of Methanol As a Motor Vehicle Fuel", *Symposium on Alternate Fuel Resources, March 25-27, Vandenberg, California, American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 257-272.
18. Aiana, T., Folayan, C.O., Pam, G.Y., 2012, "Influence of Compression Ratio on The Performance Characteristics of a Spark Ignition Engine", *Advances in Applied Science Research*, 3(4), 1915-1922
19. Farkade, H.S., Pathre, A.P., 2012, "Experimental Investigation of Methanol, Ethanol and Butanol Blends With Gasoline on SI Engine", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(4), 205-215
20. Pourkhesalian, A.M., Shamekhi, A.H., Salimi, F., 2009, "Performance and Emission Comparison and Investigation of Alternative Fuels in SI Engines", *SAE paper, 2009-01-0936*

21. Pourkhesalian, A.M., Shamekhi, A.H., Salimi F., 2010, "Alternative Fuel and Gasoline in an SI Engine: a Comparative Study of Performance and Emissions Characteristic", *Fuel*, 89, 1056-1063
22. Ebersole, G.D., Manning, F.S., 1972, "Engine Performance and Exhaust Emissions: Methanol Versus Isooctane", SAE paper, 720692
23. Gümüş, M., 2011, "Effects of Volumetric Efficiency on the Performance and Emissions Characteristic of A Dual Fueled (Gasoline and LPG) Spark Ignition Engine", *Fuel Processing Technology*, 92, 1862-1867
24. Sekmen, Y., Erduranlı, P., Gölcü, M., Salman, M.S., 2005, "Buji Ateşlemeli Motorlarda Sıkıştırma Oranı Değişiminin Performans Parametrelerine Etkisi", *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 23-30
25. Çelik, M.B., Balcı, M., 2002, "Sabit Yük ve Hız şartlarında Sıkıştırma Oranının Motor Karakteristiklerine Etkisi", *Teknoloji*, 5(3-4), 39-45
26. Salman, M.S., 1996, "Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma Hızının Performansa Etkileri", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye
27. Bilgin, A., Sezer, İ., 2008, "Effect of Methanol Addition to Gasoline on The Performance and Fuel Cost of a Spark İgnition Engine", *Energy&Fuel*, 22, 2782-2788
28. Ergeneman, M., Kutlar, A., Mutlu, M., Arslan, H., 1998, "Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler", Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye
29. Heywood, J.B., 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill Book Co., USA
30. Sekmen, Y., Sekmen, P., Salman, M.S., 2007, "The Effect of Compression Ratio on Engine Performance and Exhaust Emission in a Spark Ignition Engine", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22(4), 745-751
31. Topgül, T., Yücesu, H.S., Okur, M., 2005, "The Experimental Investigation of The Effects of Operating Parameters on Exhaust Emissions on a Spark Ignition Engine", *Journal of Polytechnic*, 8(1), 43-47
32. Yaman, H., Çelik, M.B., 2004, "Benzinli Motorlarda Egzoz Emisyonlarına Etki Eden Faktörlerin Deneysel Olarak İncelenmesi", *Teknoloji*, 7(4), 681-691
33. Krishna, M.M.S.V., Kishor, K., 2008, "Performance of Copper Coated Spark Ignition Engine with Methanol-Blended Gasoline with Catalytic Converter", *Journal of Scientific & Industrial Research*, 67, 543-548
34. Zhao, H., Ge, Y., Tan, J., Yin, H., Guo, J., Zhao, W., Dai, P., 2011, "Effects of Different Mixing Ratios on Emissions from Passenger Cars Fueled with Methanol/Gasoline Blends", *Journal of Environmental Sciences*, 23(11), 1831-1838
35. Lio, S.Y., Jiang, D.M., Cheng, Q., Huang, Z.H., Zeng, K., 2006, "Effect of Methanol Addition into Gasoline on the Combustion Characteristics at the Relatively Low Temperatures", *Energy&Fuels*, 20, 84-90
36. Kumar, C.R., Nagarajan, G., 2009, "Investigation of Aldehyde Emission from an Alcohol Fueled SI Engine", *Journal of Environmental Research and Development*, 3(3), 685-694.