

# BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK SAF ETANOLUN KULLANILMASI

**M. Bahattin ÇELİK ve Alim ÇOLAK\***

Mak. Eğt. Böl., Teknik Eğitim Fakültesi, KÜ, 78050, Karabük, [mbcelik@gmail.com](mailto:mbcelik@gmail.com)

\* Mak. Eğt. ABD, Fen Bil. Enstitüsü, KÜ, 78050, Karabük, [alimcolak82@myinet.com](mailto:alimcolak82@myinet.com)

(Geliş/Received: 26.09.2007; Kabul/Accepted:22.02.2008)

## ÖZET

Artan enerji ihtiyacı ve çevre kirliliği nedeniyle, buji ateşlemeli motorlarda etanol, metanol, doğal gaz, hidrojen ve LPG gibi alternatif yakıtlar kullanılmaktadır. Etanol; oktan sayısının yüksek olması, egzoz emisyonlarının düşük olması ve biokütle kaynaklarından üretilmesi nedeniyle alternatif yakıtlar arasında önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada değişken sıkıştırma oranlı bir motorda saf etanol kullanılmasının motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde tek silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir araştırma motoru kullanılmıştır. Deneyler motorun 6/1 sıkıştırma oranında benzin ve etanol ile; 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranında etanol ile çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda 6/1 sıkıştırma oranında etanol kullanılmasıyla benzine göre önemli bir güç kaybı olmadan CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Sıkıştırma oranının 10/1'e kadar artırılmasıyla, etanol benzine göre %25 güç artışı sağlamıştır. Ayrıca CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında sırayla %41, %21 ve %26 azalma elde edilirken, HC emisyonunda %40 artış gözlenmiştir. Sonuçlar; motorlarda yüksek sıkıştırma oranında etanol kullanımının, motor performansını önemli ölçüde artırdığını ve emisyonları azalttığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Etanol, motor performansı, egzoz emisyonları.

## THE USE OF PURE ETHANOL AS ALTERNATIVE FUEL IN A SPARK IGNITION ENGINE

### ABSTRACT

Because of increasing energy demand and environmental pollution, alternative fuels such as ethanol, methanol, natural gas, hydrogen and LPG have been used in spark ignition engines. Ethanol has an important place among the alternative fuels as its octane number is high, exhaust emission level is low and it is produced from biomass sources. In this study, the effect of the use of pure ethanol in an SI engine which has variable compression ratio on engine performance and emissions were investigated experimentally. In the experiments, a single cylinder, four stroke, spark ignition research engine which has a variable compression ratio was used. The experiments were performed by running the engine at the 6/1 compression ratio with gasoline and ethanol, and at the 8/1, 10/1 compression ratios with ethanol. The results showed that some decreases were obtained in CO, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions without any noticeable power loss when ethanol was used instead of gasoline at the 6/1 compression ratio. By increasing the compression ratio (10/1), engine power was increased up to 25% with ethanol. CO, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions were reduced about 41%, 21% and 26%, respectively. Moreover, HC emissions were increased about 40%. According to the results obtained, it can be said that using ethanol at high compression ratios in the engines significantly improves the engine performance and decreases the exhaust emissions.

**Keywords:** Ethanol, engine performance, exhaust emissions.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Motor yakıtlarının önemli bir kaynağı olan petrolün tükeniyor olması ve petrole dayalı yakıtlarla çalışan

taşıt motorlarının zararlı egzoz emisyonları nedeni ile çevre kirliliğinin artması, araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Özellikle daha düşük egzoz emisyonuna sahip etanol, metanol, hidrojen,

doğal gaz ve LPG motorlarda alternatif yakıt olarak tercih edilmektedir [1].

İçten yanmalı motorlarda kullanılabilen yakıtların, ucuz ve bol miktarda üretilebilmesi, ısı değerlerinin yüksek olması, kolayca depolanabilmesi ve taşınabilmesi, yüksek oktan sayısına sahip olması ve düşük düzeylerde egzoz emisyonu oluşturması istenir. Alkoller; oktan sayısının yüksek olması, egzoz emisyonlarının düşük olması ve tarımsal ürünler gibi yenilenebilir biokütle kaynaklardan üretilebilmesi nedeniyle alternatif yakıtlar arasında önemli bir yere sahiptir. Alkollerden sadece etanol ve metanol petrol esaslı olmayan hammaddelerden güncel teknolojiyle pratik olarak üretilmektedir. Etanol; buharlaşma ısısı, oktan sayısı ve kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olduğu için buji ateşlemeli motorlarda (BAM) yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilir. Bu da motor gücünün artmasını ve özgül yakıt tüketiminin azalmasını sağlamaktadır [2]. Ayrıca etanol, yüksek buharlaşma ısısına sahip olduğu için emilen taze karışım üzerinde soğutucu etki oluşturmakta ve bu da motorun volümetrik verimini artırmaktadır. Etanol buji ateşlemeli motorlarda tek başına ya da benzine belirli oranlarda katılarak kullanılmaktadır. Etanol ile çalışan motorlarda CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları benzine göre daha az olmaktadır [3, 4].

Etanolün BAM'larda kullanılması durumunda, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri konusunda birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır. Wu vd. [5] yaptıkları çalışmada %0, %5, %10, %20 ve %30 etanol içeren benzin-etanol karışımlarının performans ve emisyonlara etkisini değişik hava fazlalık katsayısı değerlerinde incelemiştir. E30 (%30 etanol içeren karışım) yakıtlı çalışmada motor momentinin yaklaşık %4 oranında arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, karışımdaki alkol miktarı arttıkça CO, HC ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Bayraktar [6] yaptığı çalışmada, bir buji-ateşlemeli deney motorunda benzin-etanol karışımlarının kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Deneyler, benzine %1.5, %3, %4.5, %6, %7.5, %9, %10.5 ve %12 oranlarında etanol katılarak hazırlanan karışımlarla gerçekleştirilmiştir. Motor her bir karışımla 7.75/1 ve 8.25/1 sıkıştırma oranlarında ve çeşitli hızlarda çalıştırılmıştır. Bu çalışmaya göre yakıt içindeki alkol oranı arttıkça CO emisyonunun azaldığı ve özgül yakıt tüketiminin arttığı belirlenmiştir. Abdel-Rahman ve Osman [7] değişik sıkıştırma oranlarında alkol-benzin karışımlarının motor performansına etkilerini incelemiştir. Yüksek sıkıştırma oranlarında yüksek oranda alkol kullanıldığında motor gücünün arttığı tespit edilmiştir. Yücesu vd. [8] farklı sıkıştırma oranlarında etanol-benzin karışımlarının motor performansı ve emisyonlara etkisini incelemiştir. Deneylerde; E0, E10, E20, E40 ve E60 yakıtları

kullanılmıştır. Karışımdaki alkol oranının artmasıyla daha yüksek sıkıştırma oranlarında motor daha kararlı çalışmış ve CO, HC emisyonlarında azalma ve motor momentinde artış elde edilmiştir. Charalampos vd. [9] etanol, metanol ve alkol-benzin karışımlarının emisyonlara etkisini düşük güçlü bir motorda incelemiştir. Karışımdaki etanol miktarı arttıkça CO emisyonunun azaldığı ve saf etanol ile en düşük seviyeye indiği tespit edilmiştir. Hidrokarbon (HC) emisyonu da etanol miktarı arttıkça azalmış ancak E90 ve saf etanolda aşırı biçimde artmıştır. Etanolün alt ısı değerinin düşük olması nedeniyle etanol miktarı arttıkça özgül yakıt tüketimi de artmıştır. Magnusson vd. [10] iki zamanlı bir motorda etanol ve etanol-benzin karışımlarının performans ve emisyonlara etkisini incelemiştir. Karışımdaki etanol miktarı arttıkça CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaldığı, ancak E85 ve E100 yakıtı kullanıldığında HC emisyonlarının arttığı belirlenmiştir. Benzin yerine etanol ve benzin-etanol karışımları kullanıldığında güçte önemli bir değişim olmamıştır. Bardaie vd. [11] tarafından yapılan çalışmada saf etanol ve metanolün motorda yakıt olarak kullanımı araştırılmıştır. Benzin yerine etanol kullanıldığında motorda sadece %3-4 güç kaybı olmuştur. El-Emam vd. [12] buji ateşlemeli bir motorda çeşitli yakıtların performans ve emisyonlara etkisini incelemiştir. Benzin yerine etanol kullanıldığında termik verimde artma, CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma elde edilmiştir.

Gautam ve Martin [13] alkol-benzin karışımlarının yanma karakteristiklerini incelemiştir. Sonuçlara göre karışımdaki alkol miktarı arttıkça benzine göre daha iyi vuruntu dayanımı belirlenmiştir. Popuri ve Bata [14] tarafından yapılan bir çalışmada, tek silindirli bir motor, %5, %10, %15, %20 ve %25 alkol-benzin karışımları ile denenmiştir. Sıkıştırma oranı motor vuruntusu dikkate alınarak 7,5/1-15/1 aralığında değiştirilmiştir. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla termik verimin arttığı belirlenmiştir.

Sümer [15] tek silindirli bir benzin motorunda etanol ve etanol-benzin karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Karışımdaki etanol yüzdesi arttıkça CO emisyonları azalmış, saf etanol çalışmada ise en düşük değerler elde edilmiştir. HC emisyonları ise saf etanol çalışmada en yüksek olmuş, karışımdaki etanol oranı azaldıkça azalmıştır. Yüksel ve Yüksel [16] tarafından yapılan bir çalışmada E60 yakıtının BAM'da kullanımı araştırılmıştır. Karışım yakıtla çalışma durumunda CO ve HC emisyonlarının sırasıyla %80 ve %50 oranında azaldığı belirlenmiştir. Al-Hasan [17] tarafından yapılan bir çalışmada %25'e kadar etanol içeren 10 adet karışım motorda denenmiş ve güç, volümetrik verim ve termik verimde artış elde edilmiştir. Topgül vd. [18] etanol-benzin karışımları ve ateşleme avansının motor performansına etkisini araştırmışlardır. Karışımların

kullanılması durumunda CO ve HC emisyonlarının azaldığı ve motorun sıkıştırma oranının artırılmasına karşın vuruntu oluşmadığı tespit edilmiştir.

Etanolun motorlarda kullanımı ile ilgili mevcut literatür incelendiğinde; değişik etanol-benzin karışımları ile çeşitli sıkıştırma oranlarında birçok çalışmanın yapıldığı, ancak değişik sıkıştırma oranlarında saf etanol (E100) ile yapılan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu çalışmada buji ateşlemeli bir motorda değişik sıkıştırma oranlarında saf etanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Etanolun yüksek vuruntu dayanımı özelliğinden yararlanılarak motor yüksek sıkıştırma oranlarında çalıştırılmış, böylece motor performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Deneyler Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalı laboratuvarında yapılmıştır.

Deneyler; tek silindri, hava soğutmalı, 4 zamanlı, sıkıştırma oranı 4/1-10/1 arasında değiştirilebilen, 250 cm<sup>3</sup> motor hacmine sahip, Lombardini marka bir araştırma motorunda yapılmıştır. Orijinal sıkıştırma oranı 5/1 olan bu motorun sıkıştırma oranı daha önce yapılan bir çalışmayla [19] değişken hale getirilmiştir.

Hava soğutmalı motorlarda silindir duvar sıcaklığı su soğutmalılara göre daha fazla olduğundan vuruntuyu önlemek için bu motorların sıkıştırma oranları 5/1, 6/1, 7/1 gibi düşük tutulmaktadır. Deneylerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır.

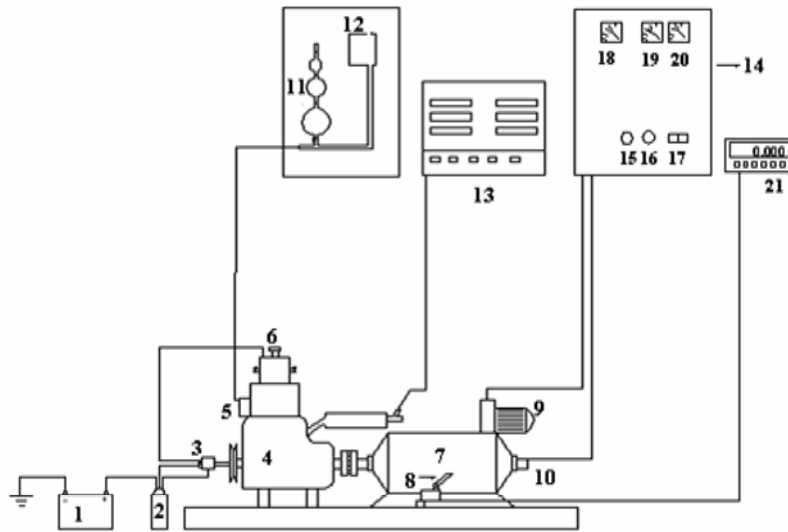
Deney düzeneği; motor momentini, hızını, sıcaklığını ve yakıt tüketimini ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motor istenilen hızda hassas olarak yüklenilebilmekte ve motora ilk hareket verilebilmektedir.

Deneylerde yakıt olarak %99,5 saflıkta etanol kullanılmıştır. Benzin ve etanolun çeşitli özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Benzin ve etanolun özellikleri [1, 20].  
(Specifications of gasoline and ethanol)

	Benzin	Etanol
Kapalı formülü	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
C/H oranı	0.445	0.333
Mol ağırlığı (kg/kmol)	114.18	46
Alt ısı değeri (kJ/kg)	44300	26900
Stokiyometrik H/Y oranı	14.6	9
Buh. bas. (kPa, 23.5 °C)	60-90	17
Kendi kendine tut. sic.(°C)	257	425
Araştırma oktan sayısı	91-100	106
Motor oktan sayısı	82-94	89
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	490	921,1
Donma nok. (K) 0,1 MPa	243-263	155
Kayn. nok.(K) 0,1 MPa	305-490	351
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	727	794

Deney motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L marka egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile NO, NO<sub>2</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve λ (hava fazlalık katsayısı) değişkenlerini ölçebilmek mümkündür. Tablo 2'de egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 1'de verilmektedir.



1. Akü, 2. Endüksiyon Bobini, 3. Distribütör, 4. Motor, 5.Karbüratör, 6.Sıkıştırma Oranı Değiştirme Ayar Vidası, 7.Dinamometre, 8. Kuvvet Sensörü (Load-Cell), 9.Dinamometre Soğutucusu, 10.Hız Sensörü, 11.Yakıt Ölçme Düzeneği, 12.Yakıt Deposu, 13.Egzoz Gaz Analiz Cihazı, 14.Dinamometre Kontrol Paneli, 15.Marş ve Jeneratör Seçme Anahtarı, 16.Yük Kontrol Anahtarı, 17. Güç Anahtarı, 18.Hız Göstergesi, 19.Voltmetre, 20. Ampermetre, 21. Kuvvet Göstergesi.

**Şekil 1.** Deney seti (Test set-up).

**Tablo 2.** Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri  
(The technical specifications of the exhaust gas analyzer)

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Duyarlılık
Oksijen	% 0 – 25	0,1
Karbon monoksit	% 0 – 15	0,01
Karbon dioksit	% 0 – 20	0,01
Hidrokarbon	0 – 20000ppm	1
Azot oksit	0 – 4000 ppm	1

Deneysel çalışmada ilk olarak motorun ayarları kontrol edilmiş, motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylere başlanmıştır. Tüm deneyler tam gazda ve değişik hızlarda yapılmıştır. Deneysel çalışmada motor 1500, 2000, 2500, 3000 ve 3500 d/d hızlarda çalıştırılmıştır.

Motor soğuk iken saf etanol ile ilk harekete geçiş zor olmuştur. Bu nedenle, motorun ilk çalıştırılması ve ısıtılması benzin ile yapılmıştır. Deneylerde, motor önce 6/1 sıkıştırma oranında benzin ve saf etanolla çalıştırılmış ve moment, güç, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları ölçülmüştür. Daha sonra motorun sıkıştırma oranı 6/1'den 8/1 ve 10/1'e yükseltilerek benzin ve saf etanol ile motor çalıştırılmıştır. 8/1 sıkıştırma oranında tam yükte benzinli çalışma durumunda düşük hızlarda (1500 d/d, 2000 d/d) vuruntulu çalışma sebebiyle ölçüm yapılamamıştır. Vuruntu kendine özgü bir ses ve düzensiz çalışma şeklinde gözlenmiştir.

Tam yük ve düşük hızda motora en fazla miktarda taze dolgu alındığı için motorun vuruntu eğilimi fazla olmaktadır. Ayrıca hava soğutmalı motorun silindir duvar sıcaklıklarının yüksek olması da vuruntu üzerinde etkilidir. Etanol kullanılması durumunda, etanolün oktan sayısı yüksek olduğu için 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında vuruntulu çalışma gözlenmemiştir.

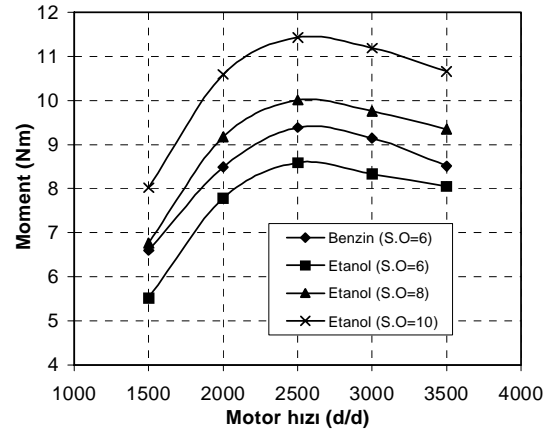
Etanolün alt ısı değeri benzine göre düşük olduğundan HFK'nı ( $\lambda$ ) 1'e ayarlamak için karbüratör üzerinde bulunan ana meme genişletilmiştir. Konik uçlu yakıt ayar vidası yardımıyla meme kesiti değiştirilerek tüm deneylerde  $\lambda = 1$  olacak şekilde ayarlanmıştır.

Ateşleme avansı her deney koşulunda maksimum momenti verecek şekilde distribütörlü ateşleme sistemi yardımıyla değiştirilmiştir. Deneylerde, her adımda motor devri sabitleştikten sonra kuvvet, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri kaydedilmiştir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Motor Performansı (Engine Performance)

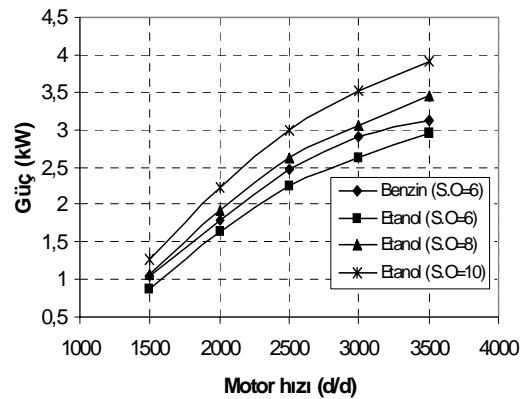
Benzin ve etanol için farklı sıkıştırma oranlarında motor momentinin motor hızı ile değişimi Şekil 2'de



**Şekil 2.** Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için motor momentinin değişimi (The variation of engine torque at different compression ratios for various fuels)

görülmektedir. Moment grafiği incelendiğinde her iki yakıt türünde de maksimum momentin 2500 d/d'da elde edildiği görülmüştür. Benzin ile 6/1 sıkıştırma oranında maksimum moment 9.38 Nm, aynı sıkıştırma oranında etanol ile çalışmada 8.59 Nm olduğu tespit edilmiştir. Aynı sıkıştırma oranında etanol kullanımı motor momentinde yaklaşık %8'lik bir azalmaya neden olmuştur. Benzin-etanol karışımının ısı değeri benzinin ısı değerinden düşük olması [21] ve etanolün motoru aşırı biçimde soğutma etkisi nedeniyle alev sönmeye başlaması momentin düşmesinde etkili olmaktadır. Sıkıştırma oranı arttıkça silindir sıcaklığının ve basıncının artması nedeniyle moment de artmaktadır. Etanol ile çalışmada 8/1 sıkıştırma oranında 10.01 Nm ve 10/1 sıkıştırma oranında 11.43 Nm maksimum moment değeri görülmüştür. Motor 10/1 sıkıştırma oranında etanol ile çalıştırıldığında benzine göre yaklaşık %24'lük bir moment artışı olmuştur. Sıkıştırma oranının artırılmasına rağmen etanolün oktan sayısının yüksek olması nedeniyle vuruntulu çalışmaya rastlanmamıştır.

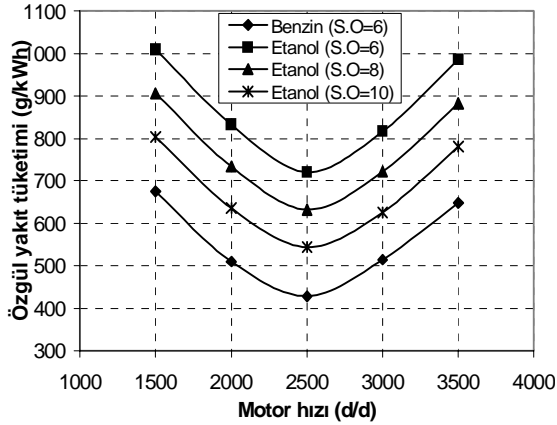
Değişik sıkıştırma oranlarında her iki yakıt için motor gücünün motor hızı ile değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Benzin ile 6/1 sıkıştırma oranında maksimum güç



**Şekil 3.** Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için motor gücünün değişimi (The variation of engine power at different compression ratios for various fuels)

3.12 kW iken, etanol ile 6/1, 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarındaki maksimum güçler sırasıyla 2.95, 3.43 ve 3.91 kW olarak belirlenmiştir. Aynı sıkıştırma oranında, moment değişimine benzer şekilde etanol ile çalışmada %7-8 oranında bir güç düşüklüğü meydana gelmiştir. Sıkıştırma oranının 10/1'e çıkarılmasıyla birlikte etanol ile benzine göre yaklaşık %25'lik güç artışı elde edilmiştir.

Değişik sıkıştırma oranlarında her iki yakıt için özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) motor hızı ile değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'deki grafik incelendiğinde, etanol kullanılması durumunda ÖYT benzine göre daha yüksek çıkmıştır. Her iki yakıt türünde de ÖYT artan motor hızıyla birlikte 2500 d/d'da minimuma indikten sonra tekrar artışa geçmiştir. Bu hızdaki ÖYT değerleri, benzin kullanılması durumunda 6/1 sıkıştırma oranında 428.4 g/kWh, etanol kullanılması durumunda ise 6/1, 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında sırasıyla 720.3 g/kWh, 632.1 g/kWh ve 543.78 g/kWh olduğu görülmüştür. Etanolun alt ısıl değerinin benzine göre çok düşük olmasından dolayı etanol ile özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Aynı sıkıştırma oranında (6/1) etanol ile ÖYT benzine göre %68 oranında artmıştır. Sıkıştırma oranının 6/1'den 10/1'e çıkarılmasıyla etanol ile ÖYT'deki artış benzine göre %27 düzeyinde kalmıştır.

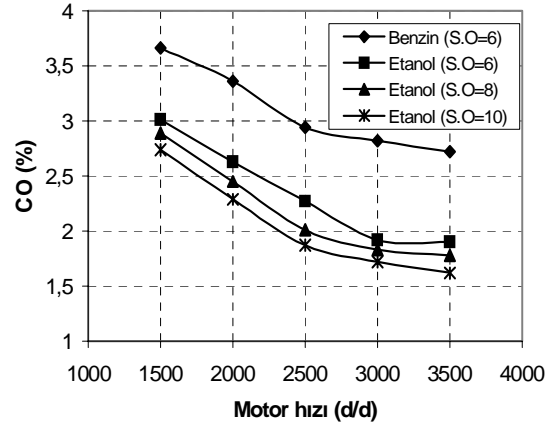


Şekil 4. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin değişimi (The variation of specific fuel consumption at different compression ratios for various fuels)

Etanol kullanımında, sıkıştırma oranı arttıkça motor gücü arttığı için ÖYT'de azalmaktadır. Deneylerde elde edilen moment, güç ve ÖYT sonuçları ile diğer araştırmacıların [7-11] sonuçları arasında kabul edilebilir bir uyumluluk vardır.

### 3.2. Egzoz Emisyonları (Exhaust Emissions)

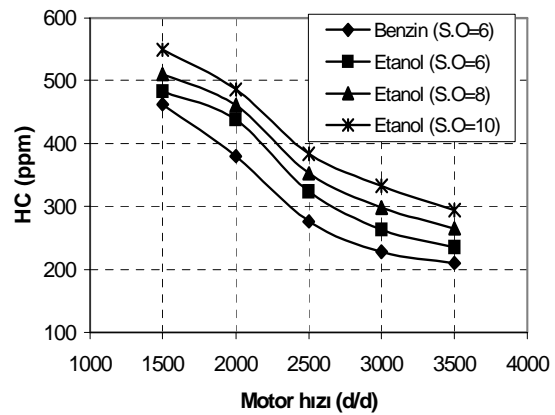
Şekil 5 incelendiğinde, CO' in artan motor hızıyla düştüğü görülmüştür. Artan motor hızı ile silindirlere giren hava hızının artması, yanma odasındaki türbülansı artıracağından daha homojen bir karışım oluşur. Bu da yakıtın yanmasını iyileştireceğinden, yüksek hızlarda CO' de düşme görülür. En düşük CO



Şekil 5. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için CO emisyonu değişimi (The variation of CO emission at different compression ratios for various fuels)

emisyonu 10/1 sıkıştırma oranında etanol ile %1.62 olarak görülmüştür. Benzin yakıtlı motorda ise en düşük CO emisyonu %2.72 olarak belirlenmiştir. Etanol ile CO emisyonunun benzine göre ortalama %41 azaldığı tespit edilmiştir. Alkoller tek bir kaynama noktasına sahip olmaları nedeniyle, benzine göre çok daha iyi buharlaşmakta ve daha temiz yanmaktadır. Ayrıca etanolun yapısında bulunan oksijen de alkollerin daha temiz yanmasında etkili olmaktadır [9]. Grafikten de görüldüğü gibi etanol ile sıkıştırma oranındaki artışın CO emisyonu üzerindeki etkisi azdır. Yüksek sıkıştırma oranlarında artan basınç ve sıcaklıkla beraber yanma iyileşmekte ve CO emisyonu bir miktar azalmaktadır.

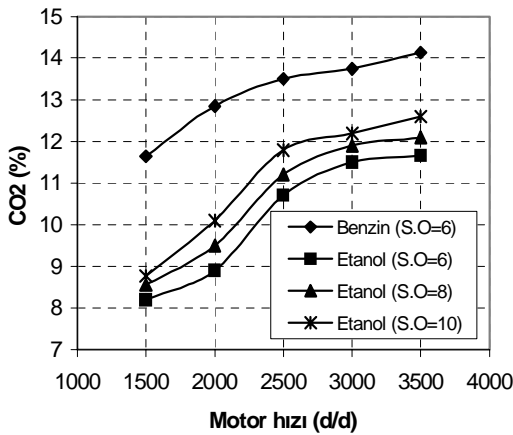
Hidrokarbon emisyonunu, yanmadan egzozdan atılan yakıt oluşturur. Şekil 6'da etanol ve benzin ile çalışmada ölçülen HC emisyonları verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, etanol ile benzine göre daha yüksek HC emisyonlarının oluştuğu görülmektedir. Bu artış, 6/1 sıkıştırma oranında %17, 8/1 sıkıştırma oranında %27 ve 10/1 sıkıştırma oranında yaklaşık %40 kadardır. Etanolun alt ısıl değeri ve stokiometrik H/Y oranı benzine göre oldukça düşük olduğu için benzine eşdeğer ısı miktarını ve stokiometrik



Şekil 6. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için HC emisyonu değişimi (The variation of HC emission at different compression ratios for various fuels)

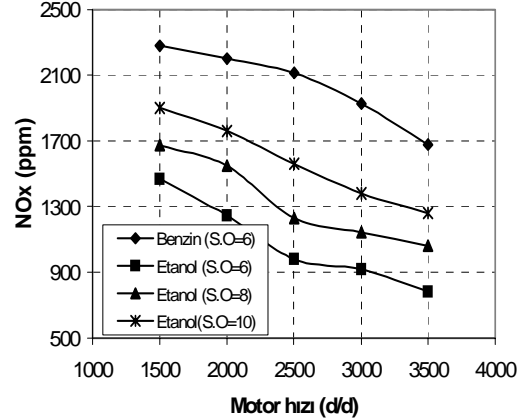
karışımı sağlayabilmek için silindire daha fazla yakıt gönderilmekte ve etanolun soğutucu etkisi artmaktadır. Bu durum silindir duvarlarına yakın bölgelerde alev sönmeye neden olmakta ve saf etanol ile HC emisyonları artmaktadır. Bunun yanı sıra artan sıkıştırma oranı ile birlikte yanma odası yüzey/hacim oranının artması da HC emisyonunda bir miktar artışa sebep olmaktadır. CO ve HC emisyonu sonuçları diğer araştırma sonuçları ile kıyaslandığında, saf etanol üzerine çalışma yapan başka araştırmacıların [9, 10] da benzer sonuçları elde ettiği görülmüştür.

CO<sub>2</sub>, küresel ısınmaya neden olan bir gazdır. İçerisinde karbon atomu az olan veya olmayan yakıtlar CO<sub>2</sub> emisyonu bakımından tercih edilmektedir. Şekil 7'deki grafik incelendiğinde, etanol ile CO<sub>2</sub> emisyonunun benzine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Aynı sıkıştırma oranında (6/1) etanol ile benzine göre CO<sub>2</sub> emisyonu %21 oranında daha düşük çıkmıştır. Etanol ile CO<sub>2</sub> emisyonundaki düşüşün nedeni, etanolün C/H oranının düşüklüğü ve yapısında bulunan C atomunun benzininkinden az olmasıdır. CO<sub>2</sub> sonuçları bir başka araştırmacının [5] sonuçları ile uyumluluk göstermektedir.



Şekil 7. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için CO<sub>2</sub> emisyonu değişimi (The variation of CO<sub>2</sub> emission at different compression ratios for various fuels)

Değişik sıkıştırma oranlarında her iki yakıt için NO<sub>x</sub> emisyonu değişimleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'deki grafik incelendiğinde etanol ile benzine göre NO<sub>x</sub> emisyonunun azaldığı görülmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonu 2500 d/d'da, 6/1 sıkıştırma oranında benzinli çalışmada 2113 ppm iken, etanolü çalışmada 980 ppm kadardır ve bu yaklaşık %53.5 kadar bir azalmaya karşılık gelmektedir. Etanolü çalışmada NO<sub>x</sub> emisyonunun düşük çıkmasının nedeni, etanolün buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı karışımı soğutması ve sonuçta çevrim sıcaklığını düşürmesidir. Sıkıştırma oranının 8/1 ve 10/1'e artırılmasıyla, 2500 d/d'da NO<sub>x</sub> emisyonu sırasıyla 1230 ppm ve 1560 ppm'e yükselmiştir. Bu artışın nedeni sıkıştırma oranının artması ile çevrim sıcaklığının artmasıdır. Etanolü çalışmada 10/1



Şekil 8. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için NO<sub>x</sub> emisyonu değişimi (The variation of NO<sub>x</sub> emission at different compression ratios for various fuels)

sıkıştırma oranında elde edilen NO<sub>x</sub> emisyonu benzinli çalışmayla elde edilen değerden %26 daha düşüktür. Bu çalışmada elde edilen NO<sub>x</sub> sonuçlarına benzer sonuçları saf alkol üzerine çalışma yapan diğer araştırmacıların [10, 12] da elde ettiği görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada buji ateşlemeli bir motorda değişik sıkıştırma oranlarında saf etanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Etanolün yüksek oktan sayısı özelliğinden yararlanılarak performansı artırmak için motorun sıkıştırma oranı artırılmıştır.

Deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, deney motoru 6/1 sıkıştırma oranında benzin ve saf etanol ile test edilmiştir. İkinci aşamada, sıkıştırma oranı 8/1 ve 10/1'e yükseltilerek her iki yakıtla denenmiştir. 8/1 sıkıştırma oranında benzinli çalışmada düşük motor hızlarında (1500 ve 2000 d/d) vuruş nedeniyle deney yapılamamıştır. 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında saf etanol kullanılmış ve vuruş gözlenmemiştir. Deneyler sonucunda 6/1 sıkıştırma oranında etanol ile benzine göre önemli bir güç kaybı olmadan CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında bir miktar azalma elde edilmiştir. Sıkıştırma oranının 10/1'e çıkarılmasıyla, etanol ile benzine göre %25 güç artışı sağlanmıştır. Ayrıca CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında sırasıyla %41, %21 ve %26 azalma elde edilirken, HC emisyonunda %40 artış gözlenmiştir.

Deney sonuçlarında da görüldüğü gibi sıkıştırma oranı değiştirilmeden, benzinli motor etanol ile çalıştırıldığında motor momenti ve gücünde bir miktar kayıp söz konusudur. Ancak yine de zararlı emisyonların azaldığı görülmektedir. Artan sıkıştırma oranıyla birlikte yanma sonu basınç ve sıcaklığı artmakta, dolayısıyla motor momenti, motor gücü artmakta ve özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Etanolün alt ısıl değerinin benzine göre düşük olması nedeniyle etanol ile özgül yakıt tüketimi bütün

sıkıştırma oranlarında benzine göre daha yüksek çıkmıştır.

Deney sonuçları, buji ateşlemeli motorlarda benzin yerine alkol kullanıldığında motorda önemli bir güç kaybı olmadan HC emisyonu hariç, CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında önemli azalmalar sağlandığını göstermektedir. Ayrıca etanol, yüksek oktan sayısına sahip olduğundan sıkıştırma oranı artırılmış motorlarda kullanıldığında motor gücünde önemli artışlar elde edilebilmektedir.

Etanolun alt ısı değerinin benzinden düşük olması nedeniyle, uygun hava/yakıt karışımını elde etmek için benzinli araçlarda kullanılan karbüratörler üzerinde bazı değişiklikler yapmak gerekir.

Etanol yakıtlı motorlarda HC emisyonu benzinli motora göre daha yüksek çıkmaktadır. Motora gönderilen etanolun veya emilen havanın ısıtılması ile hem HC emisyonu düşürülebilir hem de motor performansı artırılabilir. Etanol kullanılması durumunda HC emisyonunu azaltmak için fakir karışımlarla çalışılabilir. Etanol soğutucu etkisi nedeniyle özellikle soğuk havalarda çalışma zorluğuna neden olmaktadır. Etanol kullanılan motorlarda soğukta ilk hareketi kolaylaştıracak sistemler tasarlanabilir. Motora ilk hareketi vermek için LPG, hidrojen gibi kolay buharlaşabilen yakıtlar kullanılabilir.

Tarımda önemli bir paya sahip ülkemizde; tarımsal ürünlerden elde edilebilen, alternatif ve çevre dostu bir yakıt olarak etanola önem verilmeli ve daha kolay ve ucuz üretim olanağı sağlanmalıdır. Böylece petrole bağımlılık azaltılarak ülkemiz ekonomik ve siyasal olarak daha güçlü hale gelebilecektir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sürmen, A., Karamangil, M. İ. ve Arslan, R., “**Motor Termodinamiği**”, 240 s. Aktüel yay., İstanbul, 2004.
2. McCallum, P. W., Timbario, T. J., Bechtold, R. L. ve Ecklund, E. E., “Alcohol Fuels for Highway Vehicles”, **Chemical Engineering Progress** 78, 8, 52-59, 1982.
3. Hsieh, W., Chen, R., Wu, T. ve Lin, T., “Engine Performance and Pollutant Emissions of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels”, **Atmospheric Environment** 36, 403-410, 2002.
4. Al-Baghdadi, M. A.-R. S., “Hydrogen-Ethanol Blending as an Alternative Fuel of Spark Ignition Engines”, **Renewable Energy** 28, 1471-1478, 2003.
5. Wu, C.W., Chen, R.H., Qu, J.Y. ve Lin, T.H., “The Influence of Air-Fuel Ratio on Engine Performance And Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels”, **Atmospheric Environment** 38, 7093-7100, 2003.
6. Bayraktar, H., “Experimental and Theoretical Investigation of Using Gasoline Ethanol Blends in Spark Ignition Engines”, **Renewable Energy** 30, 1733-1747, 2005.
7. Abdel-Rahman, A.A. ve Osman, M.M., “Experimental Investigation on Varying The Compression Ratio of SI Engine Working Under Different Ethanol-Gasoline Fuel Blends”, **International Journal of Energy Research**, 21, 31-40, 1997.
8. Yücesu, H. S., Topgül, T., Çinar, C. ve Okur, M., “Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in Different Compression Ratios”, **Applied Thermal Engineering** 26, 2272-2278, 2006.
9. Charalampos, A. I., Anastasios, K. N. ve Panagiotis, S. D., “Gasoline-Ethanol, Methanol Mixtures and A Small Four-Stroke Engine”, **Heat and Technology**, 22, 2, 69-73, 2004.
10. Magnusson, R. ve Nilson, C., “Emissions of Aldehydes And Ketones From A Two- Stroke Engine Using Ethanol and Ethanol-Blended Gasoline As Fuel”, **Environmental Science And Technology**, 36, 8, 1656-1664, 2002.
11. Bardaie, M. Z. ve Rimfiel, J., “Conversion of Spark-Ignition Engine For Alcohol Usage-Comparative Performance”, **Agricultural Mechanization in Asia -Africa and Latin Amerika**, 15, 2, 31-34, 1984.
12. El-Emam, S. H. ve Desoky, A. A., “A Study On The Combustion of Alternative Fuels in Spark-Ignition Engines”, **Int. J. Hydrogen Energy**, 10, 7, 497-504, 1985.
13. Gautam, M. ve Martin, D.W., “Combustion Characteristics Of Higher-Alcohol/Gasoline Blends”, **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers**, 214, 5, 497-511, 2000.
14. Popuri, S.S. ve Bata, R.M., “A Performance Study of Iso-Butanol, Methanol, Ethanol-Gasoline Blends Using a Single Cylinder Engine”, **SAE Transactions** 2, 932953, 1993.
15. Sümer, M., “**Buji Ateşlemeli Motorlarda Etanol Kullanımı, Performans ve Maliyet Analizi**”, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
16. Yüksel, F. ve Yüksel, B., “The Use of Ethanol-Gasoline Blends as a Fuel in an SI Engine”, **Renewable Energy** 29, 1181-1191, 2004.
17. Al-Hasan, M., “The Effect of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emission”, **Energy Conversion and Management** 44, 1547-1561, 2003.
18. Topgül, T., Yücesu, H. S., Çinar, C. ve Koca, A., “The Effects of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends and Ignition Timing on Performance and Exhaust Emissions”, **Renewable Energy** 31, 15, 2534-2542, 2006.

19. Çelik, M. B., “**Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi Ve Performansa Etkisinin Araştırılması**”. Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1999.
20. Çolak, A., “**Buji Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Etanol Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi**”, Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2006.
21. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “**İçten Yanmalı Motorlar**”, s.145, GÜ Tek. Eğt. Fak. Yay., Ankara,1994.