



## Rölanti koşullarında çalışan benzinli bir motorun performans ve emisyonlarına asetilenin etkisi

### Effect of acetylene on the performance and emissions of a gasoline engine operating under idle conditions

Mehmet İlhan İlhak<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye

#### Öz

Taşıt trafiğinin yoğun olduğu saatlerde yapılan şehir içi yol testlerine göre, taşıtların bekleme süreleri toplam çalışma zamanının yaklaşık %30-38' ini oluşturmaktadır. Bu nedenle şehir içi ulaşım söz konusu olduğunda, içten yanmalı motorlar ile tahrik edilen ve taşıt sayısının büyük bir kısmını oluşturan binek otomobillerin boşta çalışırken tükettikleri yakıt miktarı ve buna bağlı olarak ortaya çıkan egzoz emisyonları önemli hale gelmektedir. Bu çalışma, yakıt olarak benzin-asetilen karışımları ve %100 asetilen kullanımının benzinli bir motorun rölanti performansı üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Dört zamanlı, dört silindri, su soğutmalı, buji ateşlemeli bir otomobil motoru üzerinde yapılan deneyler, tek başına benzin yerine benzin-asetilen karışımlarının ve %100 asetilen kullanılmasının, karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarında azalmaya, nitrojen oksit emisyonunda ise artışa neden olduğunu gösterdi. Benzine çalışmada %2.2 olan karbonmonoksit emisyonu, benzine 100 ve 150 g/h debisinde asetilen ilavesi ile sırasıyla %1.1 ve %0.7 değerine düşerken, 895 ppm olan HC emisyonları ise 576 ppm ve 520 ppm olmuştur. Test motorunda %100 asetilen kullanılarak yapılan deneylerde, benzine çalışmaya kıyasla karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarında %96 azalma, nitrojen oksit emisyonlarında ise %650 artış olduğu gözlemlendi. Motora olan enerji akışında ise %20.5 azalma olduğu tespit edildi.

**Anahtar kelimeler:** Asetilen, Benzin, Kıvılcım ateşlemeli motorlar, Emisyonlar, Enerji

#### 1 Giriş

2024 yılı TÜİK verilerine göre ülkemizde trafiğe kayıtlı motorlu araçların %52.5' i otomobil sınıfı araçlardan meydana gelmekte olup, LPG dönüşümünün benzinli motorlara yapıldığı ve hibrit taşıtların büyük çoğunluğunun benzinli motor + elektrik motoru tasarımına sahip olduğu düşünüldüğünde otomobillerin %64' ü benzinli motorlar ile tahrik edilmektedir [1]. Hong Kong ve Şanghay şehirlerinde yapılan sürüş testlerinden elde edilen bulgular, trafiğin yoğun olduğu saatlerde taşıtların toplam çalışma sürelerinin yaklaşık %30-38 'inde rölantide çalıştığını göstermektedir [2,3]. Otto çevrimi ile çalışan benzinli araçlarda motorun yük durumu dizel motorlardan farklı olarak motora emilen hava miktarı ile ayarlandığı için güç ihtiyacının olmadığı rölanti

#### Abstract

According to city road tests conducted during peak vehicle traffic hours, vehicle idle times constitute about 30-38% of the total running time. Therefore, when it comes to urban transportation, the fuel consumption and resulting exhaust emissions from passenger cars powered by internal combustion engines and constitute a large portion of the number of vehicles, become significant while idling. This study investigates the effects of using acetylene as fuel on the idling performance of a gasoline engine. Experiments conducted on a four-stroke, four-cylinder, water-cooled, spark-ignition automobile engine showed that using gasoline-acetylene mixtures and 100% acetylene instead of gasoline alone resulted in a decrease in carbon monoxide and hydrocarbon emissions and an increase in nitrogen oxide emission. Carbon monoxide emissions, which were 2.2% in gasoline operation, decreased to 1.1% and 0.7% with the addition of acetylene to gasoline at 100 and 150 g/h flow rates, respectively, while HC emissions, which were 895 ppm, became 576 ppm and 520 ppm. In experiments using 100% acetylene in the test engine, it was observed that there was a 96% reduction in carbon monoxide and hydrocarbon emissions and a 650% increase in nitrogen oxide emissions compared to running on gasoline. It was found that there was a 20.5% decrease in the energy flow to the engine.

**Keywords:** Acetylene, Gasoline, Spark ignition engines, Emissions, Energy

devrinde, emme havası minimum olacak şekilde gaz keleşi kapatılmaktadır. Motora emilen havanın kısılması pompalama kayıplarını ve art gaz miktarını arttırdığından rölanti devrinde yanma kötüleşir ve bunun sonucu olarak yakıt tüketimi, karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonları yükselir [4]. Diğer taraftan benzinin havada hacimsel olarak dar yanma aralığı rölanti şartlarındaki performansını daha da düşürmektedir [5]. Bu durum araştırmacıları benzinli motorların rölanti performansını geliştirmek için hidrojen ve dimetil eter gibi havada hacimsel olarak geniş yanma aralığına ve yüksek alev hızına sahip yakıtlar kullanmaya yönlendirmiştir.

Wang vd. [6] benzinli bir motoru 800, 700 ve 600 d/d rölanti hızlarında benzin ile çalıştırdılar ve devir sayısı

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: ilhanilhak@ohu.edu.tr (M. İ. İlhak)

Geliş / Received: 02.08.2024 Kabul / Accepted: 31.08.2024 Yayınlanma / Published: 15.10.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1527226

azaldıkça döngüsel değişimin arttığını tespit ettiler. Daha sonra üç deneyi benzine hidrojen ilave ederek tekrarladılar ve yakıt karışımındaki hidrojen oranının artmasıyla döngüsel değişimde azalma olduğunu bildirdiler. Yazarlar ayrıca hidrojen ilavesinin tüm rölanti hızlarında CO, HC, NO<sub>x</sub> (azot oksitler) emisyonlarını ve motorun enerji tüketimini azalttığını rapor ettiler. He vd. [7] sıkıştırılmış doğalgaz ile çalışan 6 silindirli buji ateşlemeli bir motoru gaz kelebeği tam kapalı konumda iken sırayla 800 d/d, 750 d/d ve 700 d/d rölanti hızlarında %55 hidrojen ile zenginleştirilmiş doğalgaz ile beslediler. Araştırmacılar hidrojen ilavesinin termal verimliliği yükselttiğini, CO ve THC (toplam hidrokarbon) emisyonlarını önemli oranda azaltırken NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışa neden olduğunu bildirdiler. Yazarlar hava fazlalık katsayısı sabit tutulurken rölanti devrini düşürmenin yakıt tüketimine etkisi olmadığını, 700 d/d rölanti devrinde hava fazlalık katsayısını artırmanın yakıt tüketimini düşürdüğünü tespit ettiler. Ma vd. [8] hidrojen ile çalışan buji ateşlemeli 6 silindirli, turbo şarjlı bir motorda eşdeğerlik oranı ve ateşleme avansının rölanti çalışması üzerindeki etkilerini araştırdılar. Deneylerinin sonucunda eşdeğerlik oranının artmasıyla ateşleme avansının ve termal verimliliğin azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise arttığını tespit ettiler. Araştırmacılar eşdeğerlik oranının 0.5 ve daha düşük olduğu çok fakir karışım şartlarında çok düşük miktarda NO<sub>x</sub> emisyonu oluştuğunu ve maksimum termal verimliliğin elde edildiğini bildirdiler. Ji vd. [9] etanol ile çalışan buji ateşlemeli, 4 silindirli, 1.6 litre silindir hacimli bir otomobil motorunda dimetil eter ilavesinin stokiometrik koşullar altında rölanti performansı üzerindeki etkilerini incelediler. Yazarlar deneysel bulgulara göre dimetil eter ilavesi ile termal verimde %20' nin üzerinde artış olduğunu, alev gelişimi ve yayılımı süresinin kıaldığını, CO ve HC emisyonlarında azalma görülürken NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını bildirdiler. Chen ve Raine [10] tek silindirli benzinli bir motorda gerçekleştirdikleri deneylerde hidrojen ilavesinin farklı hava fazlalık katsayılarında rölanti performansına ve emisyonlarına olan etkilerini incelediler. Araştırmacılar tüm hava fazlalık katsayılarında hidrojen ilavesinin döngüden döngüye farklılıkları, karbonmonoksit, karbondioksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonlarını önemli oranda azalttığını, yüksek yanma sıcaklığından dolayı NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını, bununla birlikte rölantide oluşan NO<sub>x</sub> emisyonlarının miktarı düşük olduğundan bu artışın çok önemli olmadığını bildirdiler. Karagöz vd. [11] dört silindirli, buji ateşlemeli bir motoru benzin-hidrojen-oksijen karışımı ile rölantide çalıştırarak hidrojen ve oksijenin performans ve emisyonlar üzerindeki etkilerini incelediler. Yazarlar deneylerden elde edilen bulgulara dayanarak, karışımındaki hidrojen + oksijen oranı arttıkça motor devri ve ortalama efektif basınç değişim katsayısının, ısıl verimin, özgül yakıt tüketiminin, silindir içi pik sıcaklığın, CO ve HC emisyonlarının geliştiğini, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise yükseldiğini bildirdiler. Ji vd. [12] 1.5 L hacminde doğal emişli bir benzinli motorda benzin ve dimetil eter karışımlarının stokiometrik koşullar altında rölanti performansı üzerindeki etkilerini incelediler. Yazarlar dimetil eteri ayrı bir enjektörle motora beslediler ve püskürtme zamanını arttırarak dimetil eterin toplam yakıttaki

enerji kesrini %0-100 arasında değiştirdiler. Dimetil eterin enerji kesri arttıkça motorun enerji tüketiminin, COVimep değerinin, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaldığını bildirdiler. Shivaprasad vd. [13] yüksek hızlı buji ateşlemeli bir motora rölanti koşullarında benzine hidrojen ilavesinin motorun yanma ve emisyon performansı üzerindeki etkilerini incelediler. Araştırmacılar toplam yakıt içindeki hidrojenin enerji kesrini %0-25 arasında arttırdılar. Yazarlar silindir içi pik basıncın %20 hidrojen kesrine kadar arttığını daha sonra volumetrik verimin düşmesinden dolayı azaldığını, CO ve HC emisyonlarının tüm karışımlarda azalırken NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise arttığını bildirmişlerdir.

Benzin ile çalışan buji ateşlemeli içten yanmalı motorların rölanti performanslarını yükseltme metodlarından biri havada hacimsel olarak geniş yanma aralığına sahip yakıtları kullanmaktır. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda araştırmacıların temiz ve yenilenebilir bir yakıt olan hidrojen üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Hidrojen ile benzer özelliklere sahip yakıtlardan biri de asetilenlerdir. Havada hacimsel olarak geniş yanma aralığı, yüksek enerji yoğunluğu, yüksek alev hızı, düşük tutuşma enerjisi ile bu alanda çalışan araştırmacıların dikkatini çeken asetilen, benzinli ve dizel motorlarda yapılan birçok çalışmada yakıt olarak kullanılmıştır [14-21]. Bununla beraber benzinli bir motorun rölanti performansını iyileştirmek kapsamında yapılan çalışmalarda asetilenin henüz kullanılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada benzin ile çalışan bir otomobil motorunda rölanti performansını geliştirmek için yakıt olarak benzin-asetilen karışımları ve %100 asetilen kullanılmış ve benzinle çalışmaya göre bulgular üzerindeki etkileri detaylı şekilde incelenmiştir. Deneyler motorun orijinal rölanti devri olan 800 d/d' da yapılmıştır. Asetilenin kullanıldığı deneylerde hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansı parametreleri optimum sonuçlar elde edilecek şekilde ayarlanmıştır.

## 2 Materyal ve metod

Deneysel çalışmada Erciyes üniversitesi makine mühendisliği bölümü motorlar laboratuvarında bulunan Ford MVH418 test motoru kullanıldı. Motorun teknik özellikleri Tablo 1' de, deneyde kullanılan yakıtların özellikleri Tablo 2' de verilmiştir. Deneyler motorun orijinal rölanti devrinde yapıldı. Motora beslenen benzin Desis H2W hassas terazi ile kronometre tutularak ölçülürken asetilen gazının debisi Alicat M100 kütleli akış ölçer ile belirlendi. Egzoz emisyonlarının ölçümünde Bosch BEA 060 egzoz gazı analiz cihazı kullanıldı. Silindir basıncı dördüncü silindire monteli PCB 113B22 model piezoelektrik basınç sensörü ile ölçüldü. Temel ölçüm cihazlarının hassasiyetleri Tablo 3' te verilmiştir. Benzin yakıt hattına bir pompa ile üç bar sabit basınçta sevk edildi. Asetilen LPG enjektörleri ile motorun emme portları girişine beslenmektedir. Dizayn edilen elektronik bir kart LPG enjektörlerini benzin enjektörleri ile eşzamanlı çalıştırmaktadır. Dokuz kiloluk asetilen tüpünde depo edilen asetilenin basıncı regülatör ile 80 kPa basıncına düşürüldükten sonra motora beslenmektedir. Asetilen yüksek alev hızına sahip bir gaz olduğundan regülatörden sonra besleme hattı üzerine alev geri tepme ventili ve sulu güvenlik ekipmanı monte edilmiştir. Basınç sensörünün

ürettiği sinyaller amplifikatörle güçlendirilerek bilgisayara aktarılmaktadır. Deney düzeneğinin şeması Şekil 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Test motorunun özellikleri

Motor marka ve modeli	Ford MVH418
Silindir sayısı	4
Çap/Strok	80.6/88 mm
Sıkıştırma oranı	10:1
Maksimum güç	75 kW
Maksimum tork	150 Nm
Strok hacmi	1796 cm <sup>3</sup>
Rölanti devri	800 d/d

Test motoru rejim sıcaklığına ulaştıktan sonra deneylere başlanmıştır. Her bir deney üç dakika süre tutularak motorun orijinal rölanti devri olan 800 d/d’ da yapılmış ve üç kez tekrar edilmiştir. Deneylere ilk olarak benzin ile başlandı. İkinci deneyde emme portları girişine gaz enjektörleri ile 100 g/h asetilen beslendi ve artan devir sayısı 800 d/d oluncaya kadar benzin debisi azaltıldı. Benzinli motorlarda pik silindir basıncı ÜÖN’ dan 10-20 KMA sonra oluştuğunda maksimum verim elde edilmektedir [22-24].

**Tablo 2.** Deneylerde kullanılan yakıtların özellikleri [14]

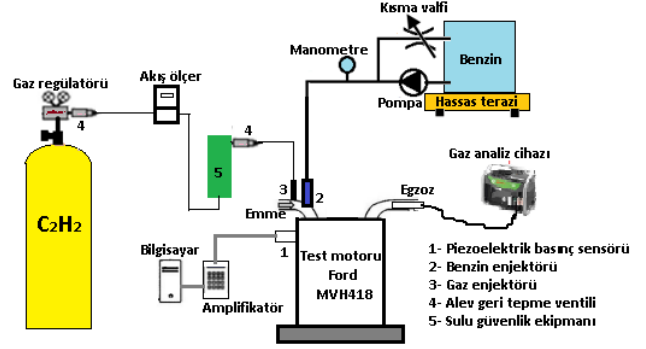
Özellikler	Asetilen	Benzin
Formül	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>8</sub> -C <sub>18</sub>
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	1.092	720-775
Tutuşma enerjisi (mJ)	0.019	0.24
Kendi kendine tutuşma sic. (°C)	305	246-280
Adyabatik alev sıcaklığı (K)	2500	2270
Alt ısıl değer (MJ/kg)	48.23	43
Havada yanma aralığı (% hacim)	2.5-81	1.4-7.6
Alev hızı (m/s)	1.5	0.4
Stokiyometrik hava-yakıt oranı	13.2	14.7
Oktan sayısı	50	95

Bu nedenle ateşleme avansı pik silindir basıncı bu değerler arasında kalacak şekilde ayarlandı. Üçüncü deney benzin+150 g/h asetilen karışımı ile yapıldı. Bu deneyden sonra asetilen daha fazla arttırılamadı. Çünkü benzin enjektörleri enjekte edebildiği minimum yakıt miktarına ulaşmıştı. Bu nedenle son deney %100 asetilen ile yapıldı. Tüm deneylerde yakıt tüketimleri, silindir basınç değerleri, egzoz gaz sıcaklığı ve egzoz emisyonları ölçüldü.

**Tablo 3.** Ölçüm cihazlarının hassasiyetleri

Cihaz adı	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
Basınç sensörü (PCB113B22)	0-5000 psi	±%1
Hassas terazi (Desis H2W)	0-15000 g	±0.5 g
Kronometre (Kenko KK-613D)	-----	±0.01 s
Kütle akış ölçer (Alicat M100)	0.5-100 slpm	±%0.8 okuma +%0.2 T.Skala
Egzoz analiz cihazı (Bosch BEA 060)		
Karbonmonoksit (CO)	%0-10 vol.	±%0.06
Hidrokarbon (HC)	0-9999 ppm	±%0.12
Azot oksit (NO)	0-5000 ppm	±%0.5

Yakıt olarak motora sadece benzinin beslendiği deneyler makalede benzin olarak, benzine 100 g/h asetilenin ilave edildiği deneyler B+A100 olarak, benzine 150 g/h asetilenin ilave edildiği deneyler B+A150 olarak, motora sadece asetilen beslenerek yapılan deneyler ise %100A olarak kodlanmıştır.



**Şekil 1.** Deney düzeneğinin şeması

Her bir deney için benzin (B) ve asetilen (A) tüketimleri, yakıtların toplam enerji debileri (TED), toplam enerji debileri içindeki asetilen enerji kesirleri (AEK), hava fazlalık katsayısı (HFK) ve ateşleme avansı (AV.) değerleri Tablo 4’te verilmiştir. Tablodaki TED ve AEK değerleri sırasıyla Denklem (1) ve Denklem (2) ile hesaplanmıştır.

$$TED = (m_b \times AID_b + m_A \times AID_A) \times 0.06 \text{ (MJ/h)} \quad (1)$$

$$AEK = \frac{m_A \times AID_A}{(m_b \times AID_b + m_A \times AID_A)} \times 100 \text{ (%) } \quad (2)$$

Burada  $m_b$  ve  $m_A$  sırasıyla benzin ve asetilenin ölçülen kütleli debileri (g/d),  $AID_b$  ve  $AID_A$  sırasıyla benzin ve asetilenin alt ısıl değerleridir. TED ve AEK değerleri için ölçüm hatalarından kaynaklanan belirsizlikler Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 4.** Deney parametreleri

Deney adı	B (g/h)	A (g/h)	TED (MJ/h)	AEK (%)	HFK	AV. (KMA)
Benzin	550	0	23.65	0	0.95	30
B+A100	400	100	22.02	21.90	1.00	30
B+A150	290	150	19.70	36.71	1.06	23
%100A	0	390	18.81	100	1.36	8

**Tablo 5.** TED ve AEK değerlerindeki belirsizlikler

Deney adı	TED belirsizlik (%)	AEK belirsizlik (%)
Benzin	1.90	0.00
B+A100	3.58	0.79
B+A150	4.10	1.50
%100A	4.10	---

Döngüsel değişkenliği karakterize etmek için kullanılan indike ortalama etkin basınç değişim katsayısı ( $COV_{imep}$ ) 100 döngü analiz edilerek Denklem (3) ile hesaplanmıştır [11].

$$COV_{imep} = \left[ \left( \frac{\sum_{i=1}^m (imep_i - \overline{imep})^2}{m} \right) / \overline{imep} \right] \times 100 \quad (3)$$

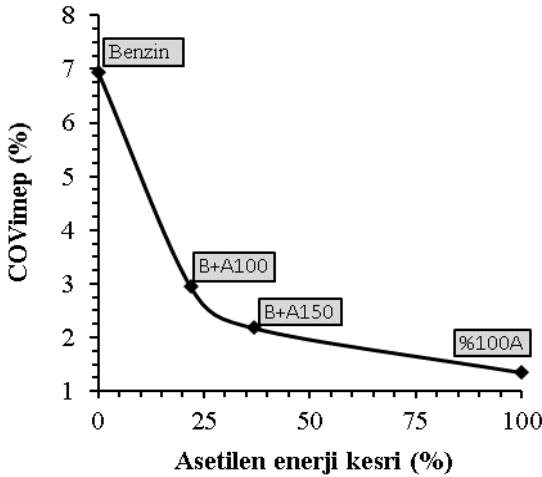
Burada  $imep_i$  i. döngüdeki indike ortalama etkin basınç,  $imep$  m döngünün indike ortalama etkin basınçlarının ortalaması, m ardışık çevrim sayısıdır.

### 3 Bulgular ve tartışma

Yapılan çalışmada yakıt olarak asetilen kullanımının 4 silindirli, su soğutmalı, elektronik enjektörlü ve ateşlemeli benzinli bir motorun rölanti çalışmasına etkisi incelenmiştir. Asetilenin rölanti performansına ve emisyonlarına etkisi benzin yakıtından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

#### 3.1 İndike ortalama etkin basıncın dögüsel değişimi ( $COV_{imep}$ )

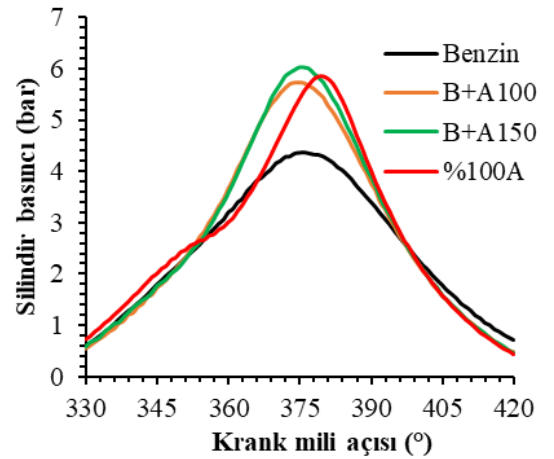
Rölanti koşullarında motorun düzgün ve kararlı bir devirde çalışması önemlidir. Aksi halde motor titreşimli çalışır, hatta aniden stop edebilir. Silindir içinde meydana gelen yanmanın oluşturduğu basınç ile çalışan içten yanmalı motorlarda, döngüden döngüye basınç değişimleri motor devrindeki kararlılığı etkiler. Döngüden döngüye basınç değişimleri yanmanın karmaşık doğasından dolayı tamamen engellenemez. Silindir içi ortalama etkin basınç değerlerinden türetilen ortalama etkin basınç değişim katsayısı dögüsel değişkenliğin önemli bir ölçüsüdür, genellikle yüzde olarak ifade edilir ve %10 değerini aşmaması istenir [20].  $COV_{imep}$  değeri ne kadar düşük olursa motor o kadar düzenli çalışır. Şekil 2 asetilenin karışım içindeki enerji kesrine göre  $COV_{imep}$  değerinin değişimini göstermektedir. Yalnız benzin ile yapılan deneyde  $COV_{imep}$  değeri %6.95 iken asetilenin karışım içindeki enerji kesri arttıkça  $COV_{imep}$  değerinin sırayla %3 ve %2.2 olduğu görölmektedir. %100 asetilen kullanıldığında  $COV_{imep}$  değeri %1.35 olmuştur. Elde edilen sonuçlar literatürde bulunan benzer çalışmalar ile uyum içindedir [6,9,11,12].  $COV_{imep}$  değerinin azalması asetilenin yüksek alev hızı ve enerji yoğunluğu ile yanmayı geliştirdiğini ve dögüsel basınç gelişimlerdeki değişimin azaldığını ifade etmektedir.



Şekil 2. Asetilenin enerji kesrine göre  $COV_{imep}$  değişimi

#### 3.2 Silindir içi basınç değişimi

Silindir basıncı grafiği yanma sürecini göstermesi bakımından önemlidir. Yanmanın başladığı piston konumu, maksimum basıncın üst ölü noktadan sonra (ÜÖNS) hangi krank mili açısı (KMA)'nda olduğu, basıncın yükselme hızı vb. parametreler basınç grafiklerine dayalı analizlerle belirlenebilir. Deneylerde kullanılan yakıtlara ait basınç grafikleri Şekil 3'te verilmektedir. Benzinle yapılan deneyde pik basınç 4.36 bar iken B+A100 ve B+A150 karışımlarında sırası ile 5.74 bar ve 6.02 bar olmuştur. Her üç deneyde pik basınçlar ÜÖNS 15 KMA civarında olmuştur. Asetilen ilavesinin pik basınçları ve basınç yükselme hızını arttırdığı grafiklerden açıkça görölmektedir. Benzine hidrojen ilavesinin yapıldığı benzer bir çalışmada da silindir içi pik basıncın arttığı görölmektedir [13]. %100 asetilen ile yapılan deneyde ise pik basınçta düşme olduğu ve ÜÖNS 20 KMA'da olduğu görölmektedir. Bunun nedeni asetilenin düşük oktanlı bir yakıt olmasıdır. Düşük oktanlı yakıtlar yüksek basınç ve sıcaklıklarda, basınç darbeleri ve ısıtılabilir vurma sesiyle karakterize edilen vuruntu olayının oluşmasına neden olurlar. Vuruntudan kaçınmanın en kolay yolu ateşleme avansını azaltmak veya fakir yakıt-hava karışımı oluşturmaktır. İki yöntem birlikte de kullanılabilir. Benzinle yapılan deneyde 0.95 olan hava fazlalık katsayısı (HFK) ve 30 KMA olan ateşleme avansı, %100 asetilen ile yapılan deneyde sırasıyla 1.36 ve 8 KMA yapılmıştır. Parametrelerde yapılan bu değişikliklerin çevrim ve yanma üzerinde önemli sonuçları vardır. HFK, silindire emilen hava miktarı artırılarak yükseltildiği için manifold basıncı artmıştır. Bu nedenle sıkıştırma periyodunda basınç kırmızı renkli grafikte daha yüksek görölmektedir. Ateşleme avansının azaltılmasından dolayı yanma genişleme periyoduna kaymış ve %100 asetilen ile yapılan deneyde pik basınç 5.85 bar ölçülmüştür.

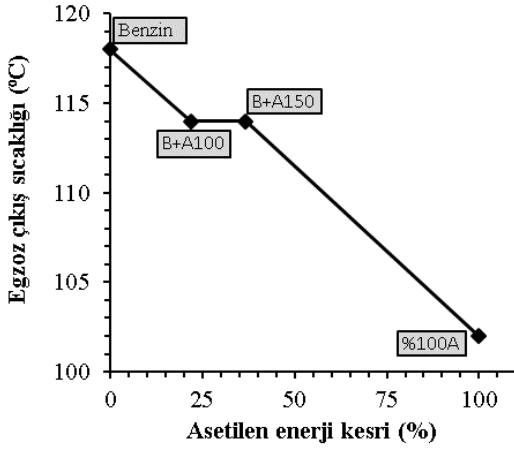


Şekil 3. Silindir basıncının KMA'ya göre değişimi

#### 3.3 Egzoz gaz sıcaklığı

Şekil 4, deneylerde kullanılan yakıtlara ait egzoz gazı çıkış sıcaklıklarını göstermektedir. Grafiğe göre benzine asetilen ilavesi benzine hidrojenin ilave edildiği benzer bir çalışmada olduğu gibi tüm deneylerde egzoz gazı çıkış sıcaklığını düşürmüştür [6]. Benzinle çalışmada yanma olayı genişleme periyodunda da devam ettiği için egzoz gaz

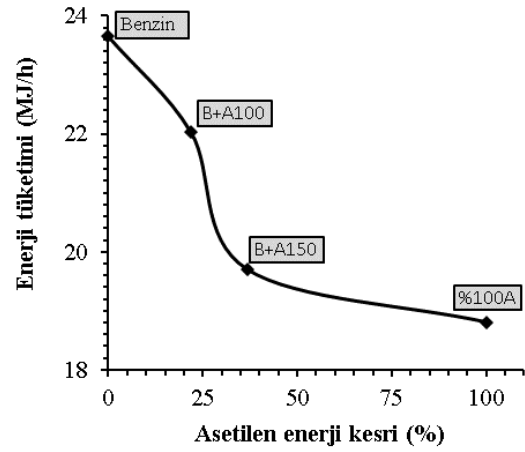
sıcaklığı 118 °C olarak ölçülmüştür. Asetilen ilavesi ile B+A100 ve B+A150 karışımlarında yanma asetilenin yüksek yanma hızından dolayı daha erken tamamlanmış ve genişlemenin etkisiyle egzoz gazları sıcaklığında benzinle çalışmaya göre bir miktar azalma olmuştur. Her iki karışımda da sıcaklık 114 °C olarak ölçülmüştür. %100 asetilen ile çalışmada vuruntudan kaçınmak için hava fazlalık katsayısının artırılması ve ateşleme avansının azaltılması egzoz gaz sıcaklığının düşmesinde etkili olmuş ve sıcaklık 102 °C olarak ölçülmüştür. Burada HFK' nın artmasıyla (HFK= 1.36) hava yakıt karışımı fakirleştiği için yanma sonu sıcaklık düşmektedir. Çünkü yanma olayında en yüksek sıcaklık değeri HFK  $\approx$  1 olduğunda gerçekleşmektedir [24]. Yanma sonu sıcaklığının düşmesi ile birlikte geciktirilmiş ateşleme avansına rağmen asetilenin yüksek alev hızından dolayı yanmanın erken tamamlanması egzoz gaz sıcaklığını düşürmüştür.



Şekil 4. Egzoz çıkış sıcaklığının asetilen enerji kesrine göre değişimi

### 3.4 Enerji tüketimi

Birim zamanda motora verilen yakıt enerjisinin karışım içindeki asetilenin enerji kesrine göre değişimi Şekil 5' te verilmiştir. Şekil 5' te görüldüğü gibi asetilenin enerji kesri arttıkça motorun enerji tüketimi azalmaktadır. Benzin ile çalışmada enerji tüketimi 23.7 MJ/h iken, B+A100 ve B+A150 karışımında enerji tüketimleri sırasıyla 22 MJ/h ve 19.7 MJ/h değerlerine düşmüştür. Benzin ile çalışmada HFK' nın 0.95 olmasından dolayı yakıtın tamamının yanması için yeterli oksijenin olmaması benzinin bir kısmının yanmadan egzoz gazları ile dışarı atılmasına sebep olmakta ve yakıt tüketimi artmaktadır. Şekil 7' de HC emisyonlarının benzinle çalışma durumunda yüksek olması egzoz gazları içinde yanmamış yakıtın bulunduğunu kanıtlamaktadır. %100 asetilen ile çalışmada HFK' nın 1.36 olmasına bağlı olarak manifold basıncının yükselmesi pompalama kayıplarını azaltmakta ve fazla hava ile yakıtın tamamen yanması ısıl verimi yükseltmektedir. Motorun %100 asetilen ile rölanti çalışmasında enerji tüketimi 18.8 MJ/h olup, benzine göre enerji tüketiminde %20.6 azalma elde edilmiştir. Literatürde bulunan benzer çalışmalarda da benzine dimetiler ve hidrojen ilavesi ile enerji tüketimlerinde azalma olmuştur [6,9].

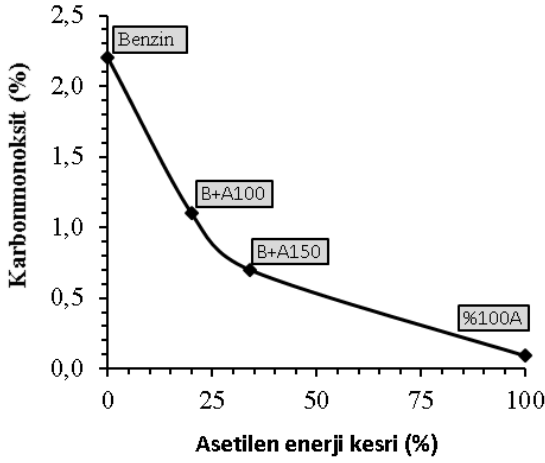


Şekil 5. Enerji tüketiminin asetilen enerji kesrine göre değişimi

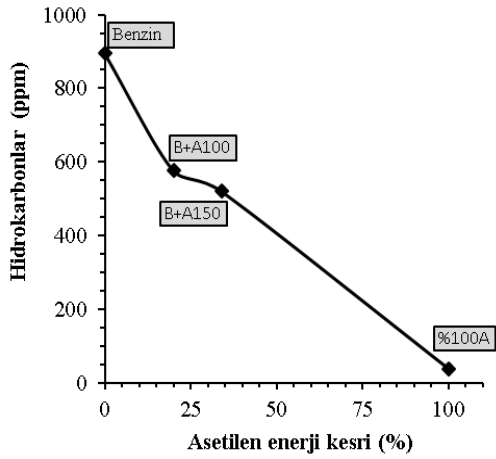
### 3.5 Emisyonlar

Karbonmonoksit (CO) gazı eksik yanma ürünüdür. Bu yönüyle mekanik enerjiye çevrilememiş yakıt enerjisi demektir. Diğer taraftan son derece zehirli, renksiz ve kokusuz bir gaz olup istenmeyen egzoz emisyonları arasında sayılmaktadır [4]. Karbonmonoksit emisyonunun asetilenin enerji kesrine göre değişimi Şekil 6' da verilmektedir. Benzin rölanti şartlarında zengin karışımda çalıştığı için (HFK= 0.95) eksik yanmadan dolayı %2.2 CO emisyonu üretilmiştir. B+A100 karışımında HFK= 1 olmasından dolayı yanma sonucu oluşan CO emisyonu %1.1' e düşmüştür. B+A150 karışımında HFK= 1.07 olup %0.7 CO emisyonu üretilirken, %100 asetilen ile çalışmada CO emisyonu önemli oranda azalmış ve %0.09 olarak ölçülmüştür. CO emisyonunun asetilenin enerji kesrinin artması ile azalması diğer çalışmalarla da uyum içindedir [9,11]. Gaz yakıtların sıvı yakıtlara göre hava ile daha homojen bir şekilde karışması silindir içinde zengin ve fakir karışım bölgelerinin oluşmasını azaltmaktadır. Böylece zengin karışım bölgelerinde yetersiz oksijenden, fakir karışım bölgelerinde ise konsantrasyon düşüklüğünden kaynaklanan eksik yanma olayı azalmaktadır.

Kötü kokulu ve tahriş edici olan hidrokarbon (HC) emisyonlarının bazıları kanserojendir. Hidrokarbon emisyonları yanmamış yakıt moleküllerinden ve kısmen yanmış hidrokarbon bileşiklerinden oluşur [4]. Zengin hava-yakıt karışımlarının yanması sırasında yüksek miktarda HC emisyonları üretilir. Şekil 7 HC emisyonlarının asetilenin enerji kesrine göre değişimini göstermektedir. Grafikte görüldüğü gibi HC emisyonları asetilenin enerji kesri arttıkça azalmaktadır [6,9,11]. Benzin ile çalışmada 895 ppm HC emisyonu oluşurken B+A100, B+A150 ve %100 asetilen ile çalışmada sırası ile 576 ppm, 520 ppm ve 39 ppm HC emisyonu üretildiği gözlenmiştir. Benzinin kısa çevrim süresi nedeniyle hava içinde tam olarak buharlaşmaması ve havada hacimsel olarak dar yanma aralığından dolayı zengin karışım bölgelerinde kısmi yanmanın meydana gelmesi benzin ile çalışmada HC emisyonlarını arttırmaktadır. Asetilenin gaz yakıt olması, yüksek alev hızı ve havada hacimsel olarak geniş yanma aralığı HC emisyonlarının azalmasında etkili olmaktadır.



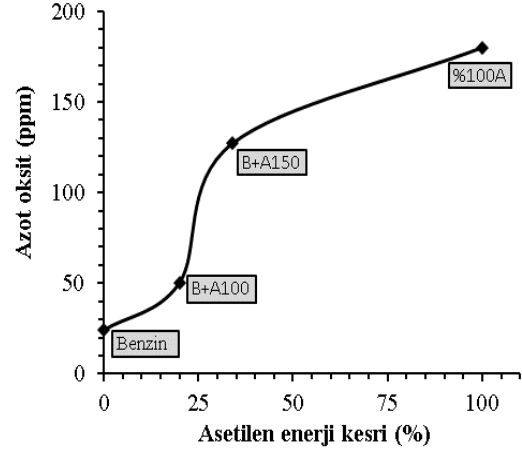
Şekil 6. CO emisyonunun asetilen enerji kesrine göre değişimi



Şekil 7. HC emisyonlarının asetilen enerji kesrine göre değişimi

Azot oksit emisyonları ( $NO_x$ ) yüksek sıcaklıkta azot ve oksijen atomlarının birbiri ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan azot oksit (NO) ve azot dioksit ( $NO_2$ ) emisyonlarının genel adıdır. İçten yanmalı motorlarda oluşan  $NO_x$  emisyonlarının büyük çoğunluğu NO emisyonudur.  $NO_x$  emisyonları havada reaksiyona girerek fotokimyasal sis oluşumuna neden olduklarından dolayı oldukça zararlıdır [4]. Azot oksit emisyonunun asetilenin enerji kesrine göre değişimi Şekil 8' de tasvir edilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi asetilenin enerji kesri ile orantılı olarak azot oksit emisyonu artmaktadır [9,11]. En düşük azot oksit (24 ppm) benzinde çalışmada oluşmuştur. Bunun nedeni motorun zengin karışımda çalışması ve azotla reaksiyona girecek serbest oksijenin silindir içinde bulunmayışıdır. B+A100 karışımında HFK'nın artarak stokiometrik orana çıkmasından dolayı ortamda bulunan serbest oksijen artmış ve 50 ppm NO emisyonu oluşmuştur. B+A150 karışımı ile çalışmada asetilenin yüksek adyabatik alev sıcaklığı ve alev hızından dolayı pik basınç ve sıcaklığın artması ortamda serbest halde bulunan oksijen ile azotun reaksiyon hızını arttırmış ve NO emisyonu dik bir yükseliş ile 127 ppm olmuştur. %100 asetilen ile çalışmada ise silindir içine alınan

fazla havanın yanma sıcaklığını düşürmesi NO emisyonu artış hızını yavaşlatmış ve 180 ppm NO emisyonu oluşmuştur.



Şekil 8. NO emisyonunun asetilen enerji kesrine göre değişimi

#### 4 Sonuçlar

Rölantide çalışan benzinde bir motorda yakıt olarak asetilen gazı kullanılmasının rölanti performansına ve emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak incelendiği bu çalışmada elde edilen önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Motorun kararlı çalışmasının bir ölçüsü olan  $COV_{imep}$  değeri benzine asetilen ilavesi ile azalmış ve benzinde çalışmada %6.95 iken %100 asetilen ile çalışmada %1.35 ile ideal değere yaklaşmıştır.
- Test motorunun enerji tüketimi benzine asetilen ilavesi arttıkça azalmış ve %100 asetilen ile çalışmada benzine göre %20.6 azalma olmuştur.
- Çevreye büyük zararları olan CO emisyonu ve HC emisyonları benzine asetilen ilavesi ile önemli oranda azalmıştır. Benzinde çalışmada %2.2 olan CO emisyonu ve 895 ppm olan HC emisyonları, %100 asetilen ile çalışmada sırasıyla %0.09 ve 39 ppm değerine düşmüştür.
- NO emisyonu benzinde çalışmada 24 ppm iken B+A100, B+A150 karışımları ve %100 asetilen ile çalışmada artarak sırasıyla 50, 127 ve 180 ppm olmuştur. Bu yükselmenin nedeni HFK'nın artışıyla silindir içinde yanma reaksiyonuna katılmayan oksijenin artması ve azot ile reaksiyona girmesidir.

#### Teşekkür

Yazar deneylerin gerçekleştirildiği Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Motorlar Laboratuvarı'na teşekkürü bir borç bilir.

#### Çıkar çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### Benzerlik oranı (iThenticate): %4

#### Kaynaklar

- [1] <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Haziran-2024-53458&dil=1>

- [2] H. Y. Tong, W. T. Hung, and C. S. Cheung, Development of a driving cycle for Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 33 (15), 2323-2335, 1999. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00074-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00074-6)
- [3] Q. Wang, H. Huo, K. He, Z. Yao, and Q. Zhang, Characterization of vehicle driving patterns and development of driving cycles in Chinese cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13 (5), 289-297, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.03.003>
- [4] H. Yaşar, İçten Yanmalı Motorlar Mühendislik Temelleri, İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 2016.
- [5] C. Ji and S. Wang, Combustion and emissions performance of a hybrid hydrogen-gasoline engine at idle and lean conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 346-355, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.10.074>
- [6] S. Wang, C. Ji, M. Zang, and B. Zang, Reducing the idle speed of a spark-ignited gasoline engine with hydrogen addition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 10580-10588, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.08.002>
- [7] Y. He, F. Ma, J. Deng, Y. Shao, and X. Jian, Reducing the idle speed of an SI CNG engine fueled by HCNG with high hydrogen ratio. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 8698-8703, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.02.062>
- [8] F. Ma, Y. He, J. Deng, L. Jiang, N. Naeve, M. Wang, and R. Chen, Idle characteristics of a hydrogen fueled SI engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, 4454-4460, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.12.121>
- [9] C. Ji, C. Liang, Y. Zhu, X. Liu, and B. Gao, Investigation on idle performance of a spark-ignited ethanol engine with dimethyl ether addition. *Fuel Processing Technology*, 94, 94-100, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.10.006>
- [10] Y. Chen and R. Raine, The effects of hydrogen supplementation on idle performance and emissions of an SI engine. *Fuel*, 176, 190-199, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.02.055>
- [11] Y. Karagöz, T. Sandalcı, and A. S. Dalkılıç, Effects of hydrogen and oxygen enrichment on performance and emissions of an SI engine under idle operating condition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, 8607-8619, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.006>
- [12] C. Ji, L. Shi, S. Wang, X. Cong, T. Su, and M. Yu, Investigation on performance of a spark-ignition engine fueled with dimethyl ether and gasoline mixture under idle and stoichiometric conditions. *Energy*, 126, 334-342, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.045>
- [13] K. V. Shivaprasad, P. R. Chitragar, and G. N. Kumar, Effect of hydrogen addition on combustion and emissions performance of a high speed spark ignited engine at idle condition. *Therma Science*, 22, (3), 1405-1413, 2018. <https://doi.org/10.2298/TSCI180407157S>
- [14] M. İ. İlhak, S. Tangöz, S. O. Akansu, and N. Kahraman, An experimental investigation of the use of gasoline-acetylene mixtures at different excess air ratios in an SI engine. *Energy* 175, 434-444, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.058>
- [15] G. Çınar, A. Eldamanhory, S. O. Akansu, H. E. Fil, and M. İ. İlhak, Experimental study on an SI engine fuelled by lpg/acetylene mixtures. *International Journal of Automotive Technology*, 21 (5), 1323-1331, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12239-020-0125-5>
- [16] S. Tangöz, M. İ. İlhak, S. O. Akansu, and N. Kahraman, Experimental investigation of performance and emissions of an SI engine fueled by acetylene-methane and acetylene-hydrogen blends. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27 (6), 4174-4185, 2018.
- [17] E. Vural ve S. Özer, Buji ateslemeli motorlarda yakıt asetilen gazı ilavesinin egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. *BEÜ Fen Bilimleri*, 3 (1), 24-34, 2014.
- [18] M. İ. İlhak, R. Doğan, S. O. Akansu, and N. Kahraman, Experimental study on an SI engine fueled by gasoline, ethanol and acetylene at partial loads. *Fuel*, 261, 116148, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116148>
- [19] H. E. Fil, S. O. Akansu, and M. İ. İlhak, Experimental assessment on performance, emission and combustion characteristics of the use of diesel-acetylene mixtures at different loads in a ci engine. *Fuel*, 324, 124469, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124469>
- [20] M. İ. İlhak, Effects of using acetylene-enriched biogas on performance and exhaust emissions of a dual fuel stationary diesel engine. *Process Safety and Environmental Protection*, 188, 1318-1325, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.06.018>
- [21] T. Lakshmanan and G. Nagarajan, Experimental investigation of timed manifold injection of acetylene in direct injection diesel engine in dual fuel mode. *Energy*, 35 (8), 3172-3178, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.055>
- [22] J. B. Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*. Singapore: McGraw Hill Book Company; 1998.
- [23] R. Stone, *Introduction to internal combustion engines (Second edition)*. The Macmillan Press LTD. Houndmills, Basingstoke, Hampshire RG21 2XS and London, 1992.
- [24] C.R. Ferguson and A.T. Kirkpatrick. *Internal combustion engines applied thermosciences (3th edition)*. John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom, 2016.

