

# BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA PROPAN VE FARKLI ORANLARDA PROPAN/BÜTAN KULLANIMININ PERFORMANSA ETKİLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ

**Yakup İÇİNGÜR ve Ahmet DOST\***

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Teknikokullar, 06500 Ankara

\*Endüstri Meslek Lisesi, Bafra, 55400 Samsun

[icingur@gazi.edu.tr](mailto:icingur@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 18.02.2005; Kabul/Accepted: 17.05.2005)

## ÖZET

Dünyada artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi ve içten yanmalı motorlardan kaynaklanan hava kirliliğinin azaltılabilmesi için alternatif yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları araştırılmaktadır. LPG içten yanmalı motorlarda yakıt ekonomisi sağlamak ve egzoz emisyon değerlerini azaltmak için kullanılan alternatif yakıtlardan biridir. Bu çalışmada, dört farklı propan/bütan oranına sahip LPG'nin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler tam gaz keleşbeğı açıklığında, stokiometrik hava/yakıt karışım oranında, farklı motor hızlarında yapılmıştır. LPG karışımlarının kullanımı benzin kullanımına göre; moment ve güçte % 3,6-7 oranında düşmeye neden olmuş, CO emisyonunda %42-62 ve HC emisyonunda %37-45 oranında iyileşme sağlamıştır. 1800 devirde propan kullanımı, 3/7 p/b kullanımından %1,3 oranında daha yüksek güç ve moment üretirken; 3200 devirde %2,85 oranında güç ve moment kaybına neden olmaktadır. 2200-2400 devirleri arasında LPG karışımlarının güçleri aynı seviyelere gelmekte bu devirlerden sonra bütan oranı artışı motor gücünü ve momentini artırmaktadır. 1800 devirde propan kullanımı 3/7 p/b kullanımına göre %8 daha düşük HC emisyonu sağlarken; 3200 devirde %6 daha kötü HC emisyonuna sebep olmuştur. Propan kullanımı CO emisyonlarını düşük devirlerde iyileştirmiş motor devri arttıkça emisyon değerleri bütün LPG karışımları için aynı değerlere yaklaşmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** LPG, buji ile ateşlemeli motor, egzoz emisyonları, motor performansları, propan, içten yanmalı motorlar.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECTS OF PROPANE/BUTANE RATIO ON PERFORMANCE AND EMISSION IN A SPARK IGNITION ENGINE

### ABSTRACT

Research was made on the supply and need of world energy and to find alternative and renewable energy sources and to project the air pollution matter. LPG is an alternative fuel which can be used to obtain fuel economy and to decrease exhaust emission values. The aim of this study, LPG which has got four different value of propane/butane, has been determined the content of the LPG for need of the engine and the act of the exhaust emissions. Experiments have been performed in the full load, stoichiometric air/fuel ratio and different engine speeds. At the end of the experiments, the use of LPG mixtures, compared with use of gasoline, causes decrease in moment and power 3.6-7%, and provided improvement 42-62% in CO emission and 37-45% proportion in HC emission. The usage of propane in 1800 min<sup>-1</sup> engine speed produced higher than 3/7 p/b usage and about 1.3%; it caused loss of power and moment, in 3200 min<sup>-1</sup> engine speed, caused loss of the power and moment in -2.85% proportion. Between 2200-2400 min<sup>-1</sup> engine speed the power of LPG mixtures became the same level, after these engine speeds, the increase of butane proportion, increases the engine power and the moment. The usage of propane in 1800 min<sup>-1</sup> engine speed provided HC emission lower than the usage of 3/7 p/b; caused HC emission 6% worse than the order. Usage of the propane, improved CO emissions in lower engine speeds, as motor cycle increased, emission values, approached the same values for all LPG mixtures. Results of the experiments are given as graphs.

**Keywords:** LPG, spark ignition engines, exhaust emissions, engine performance, propane, internal combustion engines.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Artan dünya nüfusu, ekonomik büyüme, kişi başına enerji tüketiminin artması, yaşam tarzlarının değişmesi ve insanların büyük şehir merkezlerinde toplanması gibi etkenler dünyada kullanılan enerji miktarının her geçen gün artmasına neden olmaktadır [1]. Enerji tüketimindeki bu artış başlıca iki problemi doğurmuştur. Bunlar: yoğun bir enerji kullanımıyla oluşan çevre kirliliği ve enerji kaynaklarının sınırlılığından dolayı artan enerji fiyatlarıdır [2]. Dünyadaki enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan en önemli kaynaklar: petrol, kömür, doğalgaz, hidroelektrik santraller ve nükleer santrallerdir. 1993 yılında yapılan bir araştırmada dünya enerji ihtiyacının %85'i fosil yakıtlardan, %14-15'i hidroelektrik santrallerden ve %1'i nükleer yakıtlardan elde edilmektedir [3].

Günümüzde içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak; LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı), doğal gaz, metanol, etanol, bitkisel yağ esterleri vs kullanılmaktadır [2,4]. LPG, benzine göre daha temiz egzoz emisyonuna sahip ve daha ekonomik olması bakımından da buji ile ateşlemeli içten yanmalı motorlarda tercih edilen alternatif yakıtlardan biri olmuştur. LPG üretiminin %39'u petrolün işlenmesi sırasında, %61'i doğal gazdan elde edilmektedir [5]. Bununla birlikte LPG, petrolün çıkarılması sırasında ve az miktarda da olsa kömürden sentetik yollarla elde edilebilen bir yakıttır [6,7]. Ülkemizde kullanılan LPG'nin % 35'i yerli kaynaklardan geri kalan kısmı ise ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Türkiye'de tüketilen LPG'nin % 75'i evlerde, % 25'i sanayide kullanılmaktadır [8].

LPG ağırlıklı olarak propan ve bütan karışımıdır. Ülkemizde %30 propan %70 bütan karışımı kullanılmaktadır. Çizelge 1'de benzin, propan ve bütanın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir. Bu özellikler karşılaştırıldığında bütanın birim hacminin, propandan daha ağır olduğu, kaynama, donma ve alev sıcaklığının propandan daha yüksek olduğu, fakat birim ağırlıktaki ısı değerlerinin propandan düşük olduğu görülmektedir. Motor oktan sayısı dikkate alındığında propanın, benzin ve bütandan daha yüksek oktan sayısına sahip olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak %100 propan, %70 propan - %30 bütan, % 50 propan - %50 bütan, %30 propan - %70 bütan ihtiva eden dört farklı LPG'nin motor performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen veriler, motorun referans yakıtı olan benzinle yapılan çalışmalarda elde edilmiş veriler ile karşılaştırılmış, aradaki farklar ve bu farkların etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

Deneylerde Briggs and Stratton marka 4 zamanlı, hava soğutmalı, sabit avanslı, tek silindirli Industrial-

**Çizelge 1.** Benzin, propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri [5] (Physical and chemical properties of gasoline, propane and butane)

ÖZELLİKLER	BÜTAN	PROPAN	BENZİN
Formül	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
Molekül ağırlığı(kg/mol)	58,12	44,10	114
Donma noktası(°C)	-138,3	-187,8	-
Kaynama noktası(°C)	-0,5	-42,3	30-225
Buhar basıncı(20°C, kg/cm <sup>2</sup> )	1,2	8,93	0,49-0,81
Buhar basıncı(50°C, kg/cm <sup>2</sup> )	4,85	20,18	-
Sıvı yoğunluğu(15°C, kg/m <sup>3</sup> )	582	504	735
Sıvının özgül ısı(15°C, kJ/kg)	1,276	1,464	-
1 lt sıvının gaz hacmi(15°C, m <sup>3</sup> )	0,235	0,271	-
1 kg sıvının gaz hacmi(15°C, m <sup>3</sup> )	0,410	0,539	-
Özgül ağırlık(gr/cm <sup>3</sup> )	0,582	0,504	0,735
İzafi yoğunluk(hava=1)	2,09	1,55	-
Parlama noktası(°C)	-60	-105	200
Tutuşma noktası(havada °C)	482-538	493-549	-
Alev sıcaklığı(havada °C)	2008	1980	1977
Isıl değeri(kJ/kg)	45600	46400	44000
Yanma limitleri	%1,9-8,5	%2,4-9,5	5-16
Stokiyometrik karışımı tutuşturma enerjisi (kJ, NŞA)	0,3	0,3	1
Stokiyometrik karışımın kimyasal enerjisi (kJ/m <sup>3</sup> )	3490	3450	3580
Hava/yakıt oranı	15,1/1	15/1	14,6/1
Fiziksel hal (NŞA)	gaz	gaz	Sıvı
Maksimum laminar yanma hızı (m/s)	0,4	0,4	0,35
Motor oktan sayısı	97	92	90

commercial tip benzin motoru kullanılmıştır. Bu motora ait teknik bilgiler Çizelge 2'de verilmiştir. Motorun sabit avanslı olmasının etkilerinin minimize edilmesi amacıyla deneylerde motor hızı, alt sınırı 1800 d/d, üst sınırı 3200 d/d olarak alınmış ve deneyler bu motor hızları arasında yapılmıştır. Böylece deney sonuçlarının; düşük devirlerde gereğinden fazla avansın etkilerinden, yüksek devirlerde ise yetersiz avans etkilerinden mümkün olduğunca az etkilenmesi hedeflenmiştir.

**Çizelge 2.** Deney motorunun teknik özellikleri (Technical specifications of the test engine)

Markası	Briggs and Stratton
Çalışma prensibi	4 zamanlı Karbüratörlü
Silindir sayısı	1
Silindir çapı	77,8 mm
Strok	82,5 mm
Toplam silindir hacmi	392 cc
Sıkıştırma oranı	6/1
Maksimum tork	22,7 Nm [2400 d/d]
Maksimum güç	7,46 kW [3600 d/d]
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Yağlama sistemi	Sıçratmalı yağlama
Buji tırnak aralığı	0,762 mm
Platin aralığı	0,508 mm

Deneylerde CUSSONS marka tek silindirli motor test cihazı kullanılmıştır. Test cihazında kullanılan dinamometre EPE-STS 132 E tipinde 4000 d/d'da 10 kW çıkış gücüne sahip elektrikli bir dinamometredir [9]. Motorun egzoz emisyonlarının tespitinde SUN MEA 1500 SL test cihazı kullanılmıştır [10]. Motor üzerindeki orijinal karbüratör, LPG mikseri montajına müsait olmadığı için sökülerek yerine K65B modelinde

**Çizelge 3.** Deneyde kullanılan LPG'nin P/B oranına göre bazı özellikler [11] (Some properties of LPG used in tests according to P/B proportion)

Propan/Bütan	%100 P	7/3 P/B	5/5 P/B	3/7 P/B
Isıl değeri(kcal/m <sup>3</sup> )	21200	23240	24600	25960
Özgül hacmi(lt/kg)	508	471	447	423
Özgül kütle(kg/m <sup>3</sup> )	1,866	2,044	2,163	2,281
Stokiyometrik hava/yakıt oranı (kg/kg)	15,6	15,53	15,49	15,44
Oktan sayısı MOS	97	96	95	94

Rus yapımı 350 cm<sup>3</sup> silindir hacmine sahip bir başka motor karbüratörü adapte edilmiştir. Ayrıca, bu karbüratörün boğazına LPG gazının motora verilebilmesi için 2 adet parmak mikser yapılarak monte edilmiştir. LPG dönüşüm sistemi olarak Lavato elektronik regülatör ve dönüşüm seti motora monte edilmiştir. Motor hava soğutmalı olduğundan regülatörde LPG'yi buharlaştırmak için gerekli olan ısı, eksoz borularından istifade ederek sağlanmış, bunun için egsoz borusu üzerine bir ısı eşanjörü yerleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan yakıtların tanıtımını kolaylaştırmak için propan bütan oranları ifade edilirken; %70 propan+%30 bütan; 7/3 P/B olarak, %50 propan+%50 bütan, 5/5 P/B olarak, %30 propan+%70 bütan, 3/7 P/B kısaltmaları yapılmıştır. Bu karışımlara ait bazı özellikler Çizelge 3'de verilmiştir [11].

Çizelge 3'deki değerler LPG'nin gaz fazındaki değerleridir. Propan ve bütana ait değerler Aygaz

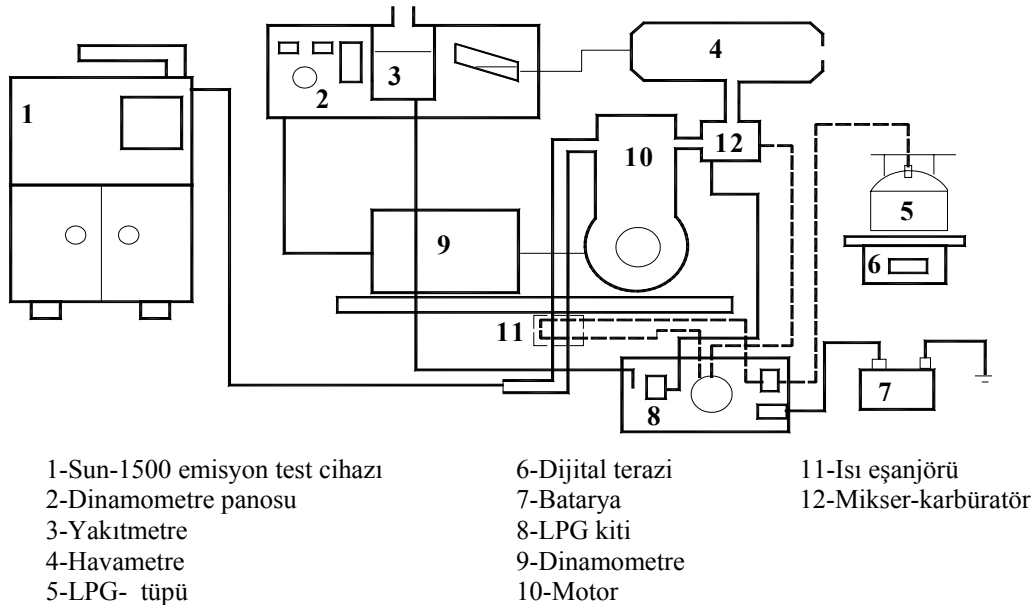
tarafından satılan LPG özelliklerinden alınmıştır [11]. Farklı P/B oranlarına ait değerler propan ve bütanın özelliklerinden faydalanılarak hesaplanmış, hesaplamalar P/B karışımını oluşturan gazların ağırlıkça oranları dikkate alınarak yapılmıştır.

Şekil 1'de verilen deney düzeneği üzerine monte edilen motorda, deneylere başlamadan önce gerekli ayarlar yapılmış ve motor yağı değiştirilmiştir. Motor bütün deneylerde önce benzinle çalıştırılarak çalışma sıcaklığına getirilmiş ve daha sonra LPG'ye geçirilmiştir. Deneyler farklı devirlerde ve tam gaz kelebeği açıklığında yapılmış, deneylere motor hızı, 1800 d/d ile başlanmış her adımda devir 200'er artırılarak 3200 d/d'ya kadar çıkılmıştır. Her devirde  $\lambda=1$ 'e ayarlanmış daha sonra ölçümler yapılmıştır.

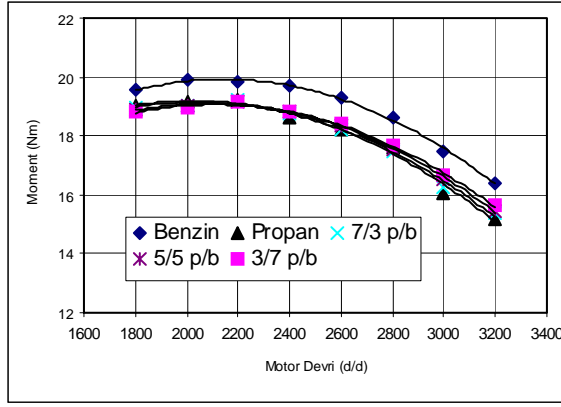
### 3. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME (RESULTS OF EXPERIMENT and EVALUATION)

#### 3.1. Moment ve Güç ( Power and Torque)

Motor momentinin, devre bağlı olarak değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Bütün deneylerde, moment 2200 d/d'ya kadar artmakta bu devirden sonra düşmektedir. Bu durum volümetrik verimdeki değişimle izah edilebilir. 2200 d/d'ya kadar volümetrik verim artmakta buradan sonra bir düşüş göstermektedir. En yüksek moment değerine motor devri 2200 d/d'da 19,86 Nm ile benzinli çalışmada ulaşılmıştır. Bu devirde propanla 19,24 Nm, 3/7 p/b karışımı ile 19,13 Nm, 5/5 p/b karışımı ile 19,13 Nm, 7/3 p/b karışımı ile 19,20 Nm moment değerleri elde edilmiştir. Bütün devirlerde benzin ile elde edilen moment değerleri, propan ve propan/bütan karışımları ile elde edilen değerlerin yaklaşık olarak %3,6-7 üzerinde olmuştur.



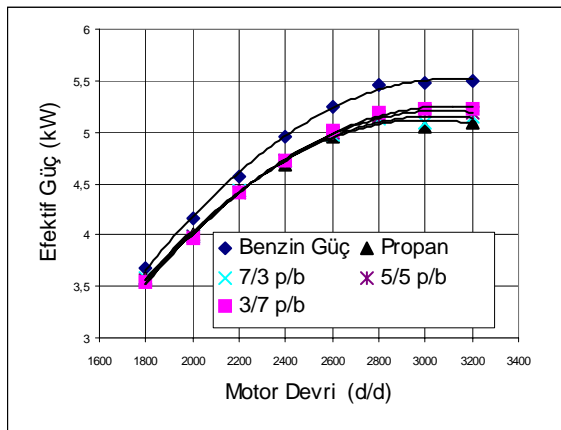
**Şekil 1.** Deney tesisatının şematik resmi (The layout of test bench)



**Şekil 2.** Motor hızına bağlı olarak efektif motor momentinin değişimi (The change of engine torque as a function of engine speed)

Propan ve propan/bütan karışımlarının moment değerleri karşılaştırıldığında ise 2200 devire kadar propanın daha yüksek moment değerleri ürettiği, bu devre kadar karışım içindeki propan oranı artışının momenti de arttırdığı görülmektedir. 2200 devirde moment değerlerinin birbirlerine çok yaklaştığı ve 2200 devirden sonra içerisinde bütan oranı artan LPG'nin daha iyi moment değerleri ürettiği görülmektedir.

Efektif motor gücünün devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Yapılan bütün deneylerde motor gücü artan motor hızıyla artış göstermiştir. En yüksek motor gücü 3200 d/d'da benzinli çalışmada 5,5 kW olarak gerçekleşmiştir. Bu devirde propanla 5,08 kW, 3/7 p/b karışımı ile 5,23 kW, 5/5 p/b karışımı ile 5,17 kW, 7/3 p/b karışımı ile 5,15 kW güç değerlerine ulaşılmıştır. Bütün devirlerde benzin ile elde edilen güç değerleri, propan ve propan/bütan karışımları ile elde edilen değerlerin yaklaşık olarak %3,6-7 üzerinde olmuştur. Moment değişimine paralel olarak propan ve farklı propan/bütan karışımlarının güç değişimleri de: 2200 d/d'ya kadar propan oranı arttıkça artmış; bu devirden sonra motor gücü artışının sürmesine karşın; LPG'deki propan oranı arttıkça diğer karışımlara göre güçte düşme görülmüştür.

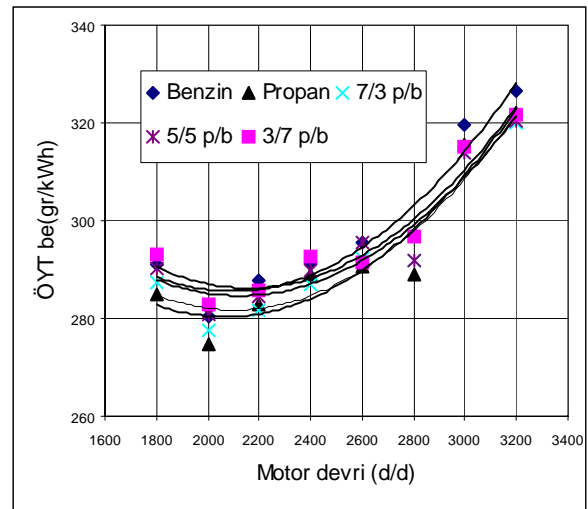


**Şekil 3.** Motor hızına bağlı olarak efektif motor gücünün değişimi (The change of effective engine power as a function of engine speed)

Propan ve farklı oranlardaki propan/bütan karışımlarından oluşan LPG'nin, motorlarda maksimum momentin ve gücün elde edilebilmesi için ihtiyaç duydukları ateşleme avansları farklıdır. Karışım içerisindeki propan oranı arttıkça avans ihtiyacı da artmaktadır [12]. Kullanılan motor sabit avanslı olduğundan hız artışı ile propan oranı yüksek yakıt karışımlarının ihtiyaç duyduğu avans değerlerini karşılayamamakta bu da moment ve gücü olumsuz etkilemektedir. 2200 d/d'ya kadar propan oranı yüksek karışımların ateşleme avansı ihtiyaçları karşılanabilmiş bu devirden sonra yeterli avans verilememiştir. Ayrıca artan motor hızıyla propan oranı yüksek karışımların volümetrik verimlerinde düşme, moment ve gücü olumsuz etkilemiştir. Bunun yanında LPG karışımlarının benzinden daha düşük güç ve moment değerleri vermeleri düşen volümetrik verim, karışımların yanma hızlarındaki farklılıklar ve motorun benzin için tasarlanmış olmasından kaynaklanmaktadır.

### 3.2. Özgül Yakıt Tüketimi (Specific Fuel Consumption)

Özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te de görüldüğü gibi bütün çalışma koşullarında özgül yakıt tüketimi 1800'den 2000 d/d'ya kadar düşüş göstermiş, 2000 d/d'dan sonra yükselmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi bütün çalışma koşullarında en düşük özgül yakıt tüketimi 2000 d/d'da 274,78 gr/kWh olarak propan kullanımıyla elde edilmiştir. Benzin ile yapılan deneylerde özgül yakıt tüketimi 2200 d/d'ya kadar 3/7 p/b karışımının özgül yakıt tüketim değerlerinden düşük olarak gerçekleşmiş fakat; 2200 d/d'dan sonra özgül yakıt tüketimi propan ve karışım LPG'lerden yüksek olmuştur. LPG karışımlarının propan oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminde düşüş görülmektedir. En yüksek özgül yakıt tüketimi 3200 d/d'da benzin ile yapılan çalışmada 326,43 gr/kWh olarak ölçülmüştür. Motorun maksimum moment ve en yüksek volümetrik verimle çalıştığı devirlerde özgül yakıt tüketimi



**Şekil 4.** Motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi (The change of specific fuel consumption as a function of engine speed)

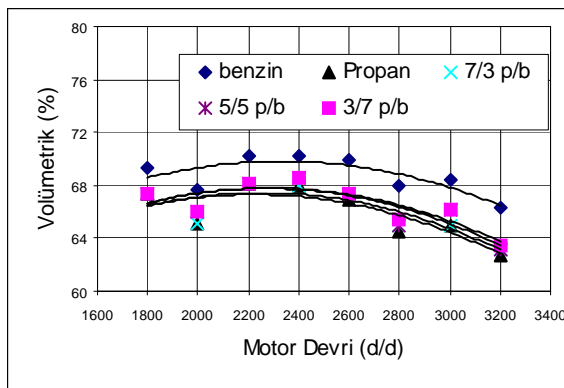
minimuma düşmüş, volümetrik verim ve moment düşerken özgül yakıt tüketimi artış göstermiştir.

Elde edilen güç ve tüketilen yakıt karşılaştırıldığında en ekonomik çalışmanın propan ile elde edildiği görülmektedir. LPG karışımlarının daha ekonomik çalışma koşulları sağlamalarında alt ısı değerlerinin benzinden daha yüksek olması, motora gaz fazında girdiklerinden daha homojen karışım oluşturmaları ve yanmanın daha iyi gerçekleşmesi etkili olmaktadır. Kullanılan propan/bütan karışımlarının içerisindeki propan oranı arttıkça karışımın ısı değeri artmakta ve özgül yakıt tüketimi düşmektedir. Motor devri arttıkça farklı propan/bütan karışımlarından oluşan LPG'lerin özgül yakıt tüketimi bir birine yaklaşmaktadır. Yüksek devirlerde LPG karışımlarının özgül yakıt tüketimlerinin bir birlerine yaklaşması, propanın yüksek alt ısı değerine karşın yüksek devirlerde yeterli ateşleme avansı verilememesinden dolayı daha düşük güç üretmesi; bütan oranı yüksek karışımların düşük alt ısı değerlerine karşın yüksek devirlerde daha iyi performans göstermelerinden kaynaklanmaktadır.

### 3.3. Volümetrik Verim (Volumetric Efficiency)

Volümetrik verimin motor devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 5'de verilmiştir. En yüksek volümetrik verim değerine 2400 d/d'da % 70,26 ile benzinli çalışmada ulaşılmıştır. 2400 d/d'da propan ve farklı oranlardaki propan/bütan karışımlarının volümetrik verimleri: propan ve 7/3 p/b'nin % 67,9, 5/5 p/b ve 3/7 p/b'nin % 68,54 olarak ölçülmüştür. Motorun volümetrik verimi bütün çalışma koşullarında bütün yakıtlar için 1800 d/d'dan 2400 d/d'a kadar artış göstermiş bu devirden sonra volümetrik verimde düşüş görülmüştür. Motorun volümetrik verimindeki genel düşüklük LPG dönüşüm sistemi montajından kaynaklanmaktadır. LPG sistemi montajı, motora giden havanın yolunu uzatmış ve karbüratör önünde hava yolunun kesit alanını daraltmış, karbüratör ventüri boğazının daralmasına sebep olmuştur.

Benzinle LPG karışımlarının volümetrik verimleri karşılaştırıldığında, benzinli çalışmada LPG'li çalış-



Şekil 5. Motor hızına bağlı olarak volümetrik verimin değişimi (The change of volumetric efficiency as a function of engine speed)

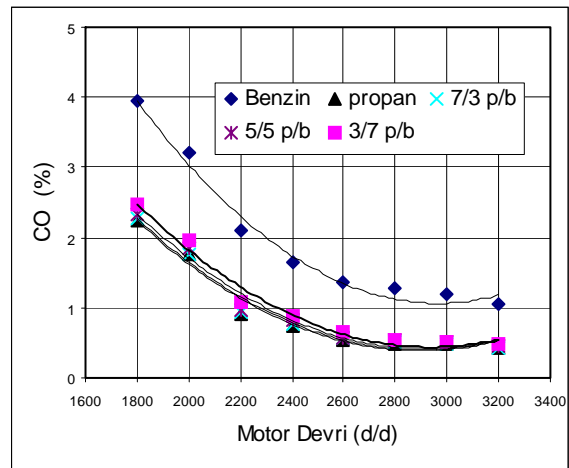
malardan %4-7 daha yüksek volümetrik verim değerleri elde edildiği görülmektedir [Şekil 5]. Bunun en önemli sebebi LPG'nin motora gaz halde girmesidir. LPG, sıvı fazdan gaz fazına geçerken hacimsel olarak 230-267 kat genişlebilmektedir [5]. Motor devri yükseldikçe yakıt tüketimi artmakta dolayısıyla benzine oranla LPG'nin volümetrik verimindeki düşme de artmaktadır. LPG oluşturan propan/bütan karışımının, içeriğindeki propan oranı arttıkça volümetrik verimdeki düşme artmaktadır. Bunun sebebi propanın daha düşük olan özgül ağırlığıdır. Propanın özgül ağırlığı 0,504 g/cm<sup>3</sup> iken, bütanın özgül ağırlığı 0,582 g/cm<sup>3</sup>'tür [5,13,14].

### 3.4. CO ve HC Emisyonları (Emissions of HC and CO)

Yapılan çalışmalarda Şekil 6'da da görüldüğü gibi en yüksek CO emisyonu 1800 devirde benzinli çalışmada %3,95, propan kullanımında %2,24, 7/3 p/b kullanımında %2,28, 5/5 p/b kullanımında %2,34 ve 3/7 p/b kullanımında %2,47 olarak ölçülmüştür. CO emisyonu motor devrine bağlı olarak kullanılan bütün yakıtlarda düşüş göstermiştir. LPG kullanımı CO emisyonunu benzin kullanımına göre % 42-62 oranında düşürmüştür. Ayrıca LPG karışımlarının içeriğindeki propan oranının artması da CO emisyonlarını sınırlı bir şekilde iyileştirmiştir.

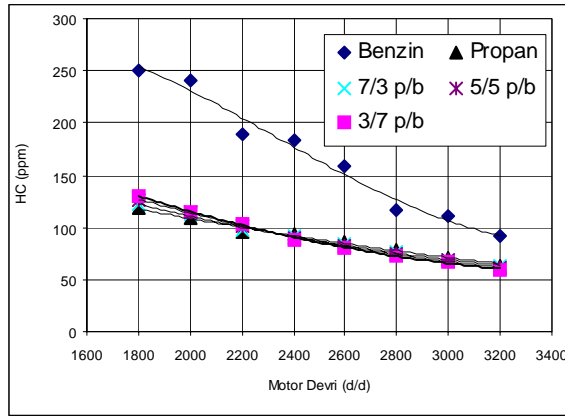
Şekil 6'da görüldüğü gibi motor devrindeki artış CO emisyonunu iyileştirmektedir. Bu durum, piston hızındaki artıştan dolayı yakıt/hava karışımının türbülansının artması, bu türbülans artışının alev dalgalarının yayılmasını hızlandırması ve dolayısıyla yanma hızının artmasıyla CO emisyonu oluşumunun azalmasıyla ifade edilebilir.

Deneyler sırasında en yüksek HC emisyonu 1800 devirde benzinli çalışmada 251 ppm olarak ölçülmüştür. 1800 devirde propan kullanımı 119 ppm, 7/3 p/b kullanımında 123 ppm, 5/5 p/b kullanımında 127 ppm ve 3/7 p/b kullanımında 130 ppm olarak gerçekleştirilmiştir. Motor devrindeki artış ile kullanılan bütün



Şekil 6. Motor devrine bağlı olarak CO emisyonu değişimi (The change of % CO emission as a function of engine speed)

yakıtlarda HC emisyonu azalmıştır (Şekil 7). En düşük HC emisyon değeri 3200 devirde 3/7 p/b kullanılan deneylerde 60 ppm olarak ölçülmüştür. 3200 devirde HC emisyon değerleri; benzinli çalışmada 92 ppm, propan kullanımında 64 ppm, 5/5 p/b kullanımında 61 ppm, 7/3 p/b kullanımında 63 ppm olarak ölçülmüştür. LPG kullanımı HC emisyon değerlerinde benzin kullanımına göre % 37-45 arasında bir azalma sağlamıştır. LPG içeriğinde artan propan oranı yaklaşık 2400 devre kadar HC emisyonlarını iyileştirmiş fakat; bu devirden sonra artan propan oranı HC emisyonlarında artışa neden olmuştur. Propan oranını düşük devirlerde HC emisyonlarını iyileştirmesi; gerekli ateşleme avansının sağlanması, ısı kayıplarının propan oranı düşük LPG karışımlarında daha az olması ve propanın daha hafif bir hidrokarbon olmasından dolayı yanmanın düşük devirlerde daha iyi olmasından kaynaklanabilir. Motor devri yükseldikçe gerekli olan avans verilememiş, gerekli sıcaklık ve basınç artışları diğer LPG karışımlarına nazaran biraz düşmüş olabileceği için LPG'deki propan oranı arttıkça HC emisyonları artış göstermiştir.



Şekil 7. Motor devrine bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (The change of HC emission as a function of engine speed)

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER (CONCLUSION and SUGGESTIONS)

Yapılan bu çalışmada mevcut enerji kaynaklarından LPG'nin farklı oranlarda kullanımının buji ile ateşlemeli bir motor performansına ve kirletici emisyonlara etkileri deneysel olarak incelenmiştir. LPG oranları belirlenirken, çeşitli ülkelerde kullanılan LPG oranları dikkate alınmıştır.

Deneyler sonucunda LPG karışımları kullanımının motor gücünde ve moment değerinde yaklaşık olarak % 3,6-7 oranında bir düşüşe sebep olduğu görülmüştür. Propan oranı artan LPG karışımlarının düşük devirlerde daha iyi performans sağladığı fakat; yüksek devirlerde motor gücü ve moment değerlerinin düşmesine neden olduğu görülmüştür. 1800 devirde propan kullanımı, 3/7 p/b kullanımından %1,3 oranında daha yüksek güç ve moment üretirken; 3200 devirde %2,85 oranında güç ve moment kaybına neden

olmaktadır. 2200-2400 devirleri arasında LPG karışımlarının güçleri aynı seviyelere gelmekte bu devirlerden sonra bütan oranı artışı motor gücünü ve momentini artırmaktadır. Güç ve momentteki bu değişimler incelenirken deneylerin yapıldığı motorun sabit devirlerde kullanılmak için dizayn edilmiş bir jeneratör motoru olduğu ve sabit avansla çalıştığı dikkate alınmalıdır.

Özgül yakıt tüketimi açısından LPG karışımları benzinden daha iyi sonuçlar vermiştir. LPG karışımlarındaki propan oranı artışı özgül yakıt tüketimini azaltmıştır. LPG karışımlarının yakıt tüketimi benzinden %5-9 arasında daha düşük gerçekleşmiştir. Tüketilen yakıtın hacmi dikkate alındığında ise LPG karışımları benzinden %9-12 oranında daha fazla yakıt tüketmiştir.

CO emisyonu LPG kullanımı ile benzine göre %60-70 oranında düşmüştür. LPG karışımlarının propan oranı arttıkça CO emisyonu özellikle düşük devirlerde iyileşmiştir. Motor devri artışı ile bütün LPG karışımlarının CO emisyonları birbirine yaklaşmıştır. 1800 devirde propan kullanımı 3/7 p/b kullanımına göre %13 oranında daha düşük CO emisyonu sağlamıştır.

HC emisyonları da LPG kullanımı ile benzine göre %37-50 oranında düşmüştür. Düşük devirlerde LPG karışımlarının propan oranı artışı HC emisyonlarını iyileştirmiş, devir yükseldikçe bu özelliğini kaybederek HC emisyonlarının kötüleşmesine sebep olmuştur. 1800 devirde propan kullanımı 3/7 p/b kullanımına göre %8 daha düşük HC emisyonu sağlarken; 3200 devirde %6 daha kötü HC emisyonuna sebep olmuştur.

Sonuç olarak, LPG kullanımının buji ile ateşlemeli motorlarda daha iyi eksoz emisyon değerleri verdiği fakat buna karşılık performansta cüzi bir düşmeye sebep olduğu görülmüştür. LPG karışımlarının p/b oranları gerek motor performansını gerekse eksoz emisyonlarında çok fazla bir değişime neden olmamıştır. LPG'deki p/b oranının ilk hareket kolaylığı bakımından iklim şartlarına göre ayarlanmasının daha uygun olacağı görülmüştür. Fakat motorların sıkıştırma oranlarının artırılması, ateşleme avans değerinin maksimum güç ve minimum emisyon için optimum değerlerde tutulması, LPG enjeksiyon sistemlerinin kullanılması propan kullanımını daha avantajlı hale getirecektir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. İçingür, Y., "Doğal Enerji Kaynakları" **Yüksek Lisans Ders Notları**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi A.B.D., Ankara, 2002.
2. Haksever, R., **Sıvılaştırılmış Petrol Gazının Benzinli Motorlarda Kullanımı – Performans ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Analizi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen



- Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi ABD., Ankara, 1998.
3. Borat, O., Balci, M., Sürmen, A., **İçten Yanmalı Motorlar**, Cilt 1, Teknik Eğitim Vakfı yayınları Ankara, 1995.
  4. Soyhan, H.S., **Doğal Gaz Motorlarında Yanma Performansı ve Eksoz Gazları Analizi**, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
  5. Anonim, **Araçlarda LPG dönüşümü Mühendis El Kitabı**, II.Baskı, Makine Mühendisleri Odası, Yayın no:227/2, Ankara, 2000.
  6. Hani, İ., **Madeni Yağlar ve Petrol Ofisi Ürünleri** IV.Baskı, Petrol Ofisi A.Ş. Madeni Yağ Direktörlüğü, İstanbul, 2002.
  7. Kaya, O., **Motor Ayarları ve Bakımı**, V. Baskı, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, İstanbul, 1995.
  8. <http://www.tef.marmara.edu.tr/makine/gurcan/enerji/23.htm>
  9. **CUSONS** Motor Test Cihazı Kullanım Kılavuzu
  10. **SUN MEA 1500 SL** Test Cihazı Kullanım Kılavuzu
  11. Aygaz., **LPG Servis ve Tesisat El Kitabı**, Aygaz LPG Servis Müdürlüğü, İstanbul, 1967.
  12. Onurbaşı, A., **Tarımda Kullanılan Sabit Patlamalı Motorlara Çeşitli Gaz Yakıtların Kullanımını Sağlayacak Karıştırıcının Geliştirilmesi**, Doktora Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1990.
  13. TSE, 2178 Sıvılaştırılmış Petrol Gazları [LPG] I.Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1991.
  14. Anonim, **Handbook Butane-Propane Gases**, 4<sup>nd</sup> ed., Lynn C.Denny, Lester L.Luxon, Barbara E.Hall, Chilton Company, California, 1962.