

BENZİNLİ BİR MOTORDA BENZİN+LPG KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Cenk SAYIN*, Mustafa ÇANAKÇI, İbrahim KILIÇASLAN

Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Umuttepe Kampüsü, 41380, İzmit/Türkiye

ÖZET

İçten yanmalı motorlarda, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını en az düzeye indirme çabaları, çift yakıtla çalışan motorlar üzerine yapılan çalışmaların başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Bu çalışmada, çift yakıt (benzin+LPG)'in performans ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Bu amaçla dört silindirli bir benzin motoru benzin+LPG ile çalışabilecek şekilde modifiye edilmiştir. Sonuçta, çift yakıtlı çalışma ile özgül yakıt tüketiminde %4, CO'da %13, partikül'de ise %5 azalma sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çift yakıtlı motorlar, Egzoz emisyonları, Motor performansı sıvılaştırılmış petrol gazı, Buji ile ateşlemeli motorlar

INFLUENCE OF USING GASOLINE+LPG ON THE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A GASOLINE ENGINE

ABSTRACT

To reduce brake specific fuel consumption and exhaust emissions in internal combustion engine is the start of the investigations on the engines which use dual fuels. In this study, the effect of dual fuel (gasoline+LPG) on performance and emissions had been investigated. For this aim, four-cylinder spark ignition engine was modified to able to operate with gasoline+LPG fuel. As a result, in the dual fuel operation when compared with gasoline operation, specific fuel consumption reduced about 4%, CO decreased nearly 13% and particulate abated 5%.

Keywords: Dual fuel engines, Exhaust emission, Engine performance, Liquefied petroleum gases, Spark ignition engines.

1. GİRİŞ

Nüfus artışına paralel olarak artan enerji tüketimi yirmi birinci yüzyılın ortalarına kadar ihtiyacı karşılayabileceği konusunda, bilim dünyasında derin endişelere neden olmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması, taşıtlarda kullanılacak alternatif yakıt tipleri konusunda araştırmalar yapılmasını gerektirmiştir [1, 2]. Hidrokarbon esaslı yakıtların yanması sonucu açığa çıkan; CO, HC ve NO_x ve partikül emisyonları atmosferi kirleterek ciddi sağlık problemleri oluşturmaktadırlar. Karbon ihtiva eden yakıtları yakan sabit motorlar, endüstriyel motorlar ve evsel kazanlar gibi kaynaklardan çıkan atık gazların hava kirliliği oluşturmadaki katkıları her ne kadar büyükse de, yapılan istatistikler sonucunda büyük şehirlerde motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin toplam hava kirliliği içindeki payının %50'lere ulaştığı bilinmektedir [3, 4].

Son yıllarda artan çevre bilincine ve mevcut enerji kaynaklarının biteceği kuşkularına paralel olarak özellikle gelişmiş ülkelerde hükümetlerin yaptırımları, üniversitelerin yönlendirmeleri üretici firmaları çevreyi kirletmeyen, alternatif yakıtlı ve tahrikli ürünlerin imalatına sevk etmiştir. Bu nedenle otomotiv sektörü egzoz emisyonlarını aşağıya çekecek tedbirler almaya ve alternatif yakıtları kullanabilecek motorlar üretmeye başlamıştır [1, 5].

Gümüş, M., ve Tekin, M., yaptıkları çalışmada yakıt (doğalgaz+dizel) ile çalışan bir motorun doğalgaz kullanım oranına bağlı olarak yanma ürünlerinin hacimsel kesirlerinin değişimini hesaplayan bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bilgisayar programından elde edilen sonuçlara göre, doğalgaz kullanım oranındaki artışa bağlı olarak yanma ürünlerindeki CO₂, CO, N₂, SO₂, ve O₂'nin hacimsel kesirlerinde azalma gözlenirken; H₂O ve H₂'nin hacimsel kesirlerinde artma gözlenmiştir [1].

Ciniviz, M., ve Salman, S., tam yük ve altı farklı devirde tek yakıtlı (dizel) ve çift yakıtlı (dizel+LPG) kullanımın motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, tek silindri direk püskürtmeli bir dizel motoru dizel+LPG yakıtı ile çalışabilecek şekilde modifiye edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, çift yakıtlı çalışmada motor torku ve gücünün tek yakıtlı çalışmaya göre %5.8 oranında yüksek çıkmıştır. Egzoz emisyonlarında ise NO_x'te %5.9, k faktöründe ise 1/9 oranında tek yakıtlı çalışmaya göre iyileşme sağlanmıştır [6].

Çanakçı, M., tez çalışmasında, kimyasal yanma denklemini referans kabul edilerek, hidrojen gazı ve benzin'in yüzdelilerindeki değişimlere bağlı olarak emisyon miktarlarını hesaplamış ve yanma karakteristiklerini grafiksel olarak sunmuştur. Bu bilgisayar programında emisyon oranları; sıcaklık, hava fazlalık katsayısı ve hidrojen oranının fonksiyonu olarak değişmektedir. Bu teorik çalışmanın sonucunda, hidrojen gazı kullanım oranının artmasıyla CO ve NO_x emisyonlarının belirgin bir şekilde azaldığı gözlenmiştir [7].

2. SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI (LPG)'NİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Kolay bulunması, teknoloji ve endüstrideki ilerlemeler, ekonomik ve ekolojik zorluklar, tüm dünyada ve Türkiye'de LPG'nin otomotiv sektöründe kullanımının hızla gelişmesinin zeminini hazırlamıştır [8, 9, 10]. LPG; Bütan (C₄H₁₀) ve Propan (C₃H₈)'in belirli oranlardaki karışımından oluşup, Liquefied Petroleum Gases kelimesinin baş harfleri ile ifade edilen sıvılaştırılmış bir petrol gazıdır. Dünyadaki LPG üretiminin %61'i doğal gaz, %39'u ise rafineri üretiminden elde edilmektedir [11].

LPG yakıtı emisyonları yönünden diğer yakıtlara göre daha temizdir. Özellikle CO emisyonları benzine göre daha düşük değerlere inerken HC ve NO_x miktarındaki düşüş az olmaktadır. LPG yakıtı içinde, kurşunsuz benzine, oktan sayısını artırmak için katılan kurşun tetra etil [Pb(C₂H₅)₄] bulunmamaktadır. Bu durum LPG yakıtının egzozdaki kirletici emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Yakıt içerisinde kükürt olmaması nedeniyle, kükürt oksit emisyonu da söz konusu değildir. Ayrıca dizel motorlarında görülen is ve partikül emisyonları da oluşmaz [8].

Bayraktar, H., ve Durgun, O., çalışmalarında, buji ile ateşlemeli motorlarda yanma olayının motor performansı ve motor elemanlarına olası etkilerini teorik olarak incelemiştir [12]. Motor çevriminin, benzin ve LPG yakıtları için çeşitli çalışma koşullarında hesaplanabildiği bir termodinamik çevrim modeli geliştirilmiştir. Çevrim modelinde yanma işlemi; bir türbülanslı alev yayılması matematik modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Benzin ve LPG'nin aynı ekivalans oranında bir taşıt motorunda kullanılması durumunda, çeşitli çalışma koşulları için yapılan hesaplar sonucu; LPG ile elde edilen CO ve NO mol oranları benzin ile elde edilenlerden daha düşük çıkmıştır.

İçingür, Y., ve Haksever, R., dört silindirli, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli benzinli bir motorda LPG yakıt sistemi dönüşümü yapmış ve emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir [8]. Bu çalışmada, gerek CO ve gerekse HC değerlerine göre LPG yakıtlı çalışma şartlarının benzine göre daha iyi olduğu görülmektedir. Fakat LPG dönüşüm sistemlerinin kendi aralarındaki farklılıklardan dolayı emisyonlar arasında da farklılıklar oluşmuştur.

Latusek, P., ve Burrham, R., yaptıkları çalışmada iki ve dört zamanlı motorlarda, benzin ve sıvılaştırılmış petrol gazı yakıtını deneyerek emisyon değerlerini karşılaştırmışlardır. HC+NO_x emisyonları %19.6 ve CO emisyonları %27.4 oranında azalmıştır. Propan ve bütanın kendiliğinden tutuşma sıcaklığı benzine göre yüksektir. Bu nedenden dolayı, LPG yakıtının uygun emisyon değerleri için daha fazla ateşleme avansı gerektirmiştir. Ateşleme zaman ayarı ile NO_x emisyonları artış eğilimi göstermiştir [13].

Polat . İ., ve diğ. dört silindirli, dört zamanlı, bir benzin motorunu LPG ile çalışacak şekilde dönüşümünü yaparak, performans ve emisyon davranışlarını incelemiş ve benzinle çalışması durumunda elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır [14]. Performansta bir değişme olmamasına karşın CO ve HC emisyonlarında azalma görülmüştür.

3. LPG'NİN ÇİFT YAKITLI ÇALIŞMAYA UYARLANMASI

Karbüratörden motora yakıt geçişini sınırlayan yakıt memeleri %10 oranında küçültülüp eksik kalan bu yakıt ihtiyacı şekil 1. de görülen LPG yakıt nozulu ile sağlanmıştır. Testlerde kullanılan yakıtlara ait özellikler tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Benzin ve LPG'nin özelliklerinin karşılaştırılması [11].

Özellikler	LPG	BENZİN
Kimyasal formülü	C _{3,7} H _{9,4}	C _{6,93} H _{14,58}
Maksimum laminar yanma hızı (m/s)	0,4	0,35
Stokiyometrik hava yakıt oranı (kütleli)	15,8	14,6
Stokiyometrik yakıt hava oranı (kütleli)	0,0638	0,0685
Stokiyometrik oranda karışımı yakmak için min. tutuşma en. (MJ)	0,4	0,35
Kütleli alt ısıl değeri (MJ/kg)	45,84	44,00
Atmosfer basıncında buharlaşma sıcaklığı (°C)	-42	20-200
Araştırma oktan sayısı	112	96
Stokiyometrik karışımın birim hacmindeki kimyasal enerjisi (MJ/m ³)	3,49	3,58

Karbüratör ana yakıt memesi %10 oranında küçültülürken; motordan aynı yük ve devir şartlarında her iki yakıtla çalışma durumunda da aynı gücün elde edilmesi mantığından hareket edilmiştir. LPG yakıtının enerji değerinin benzine karşı daha yüksek olmasına karşın, silindirlere gaz olarak girmeleri sonucu volumetrik verimin düşmesine neden olurlar. Sonuç olarak LPG'nin %10'dan daha fazla gönderilmesi gerektiği aşıkardır. Benzin ve benzin+LPG çalışmalarında motorun eşit devir ve yük sayılarında aynı güç hedeflenirse;

$$\dot{Q}_{ben} = \dot{Q}_{LPG} \quad (1)$$

yazılabilir. Birim zamanda motorun ihtiyacı olan enerjiyi yakıtın kütleli debisi ve alt ısıl değeri cinsinden ifadesinin,

$$\dot{Q} = \dot{m} H_u \quad (2)$$

olduğu bilinmektedir. Buradan hareketle;

$$\left[\dot{m}Hu \right]_{ben} = \left[\dot{m}Hu \right]_{LPG} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{ben} = \dot{m}_{LPG} \frac{Hu_{LPG}}{Hu_{ben}} \quad (4)$$

yazılabilir. Benzin ve LPG için alt ısı değerlerinin sayısal karşılıkları yerine konular ve gerekli işlemler yapılırsa, her iki yakıtın kütleli debileri arasında,

$$\dot{m}_{ben} = 1,03 \dot{m}_{LPG} \quad (5)$$

bağıntısı olduğu görülmektedir [15]. Eşit yük ve devir sayılarında eşit güç hedeflenmiştir. Manifold vakumunun her iki durumda (benzin ve benzin+LPG) da eşit olduğu kabul edilebilir. Bernoulli denklemi gereği her iki durumda benzin ve benzin+LPG yakıtlarının venturi boğazına giriş hızları eşit olacaktır.

$$\dot{m} = \rho \dot{V} \quad (6)$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v \quad (7)$$

$$\dot{m} = \rho \frac{\pi D^2}{4} v \quad (8)$$

Bu ifade denklem 5’de yerine konular gerekli düzeltmeler yapılırsa ise LPG nozul delik çapını ifade eden denklem,

$$D_{LPG} = \sqrt{0,97 \frac{\rho_{ben}}{\rho_{LPG}}}. D_{ben} \quad \text{’dir.} \quad (9)$$

Benzin ve LPG’ nin yoğunluk değerleri sırasıyla 0,74 ve 0,56 kg/lit olarak alınabilir [16]. Bu değerler denklem 9’da yerine konular gerekli düzeltmeler her iki çalışma durumunda karbüratör ana yakıt memesi ve LPG nozul delik çapı arasındaki bağıntı;

$$D_{LPG} = 1,14 D_{ben} \quad \text{’dir} \quad (10)$$

Karbüratör ana yakıt memesi çapı 2,4 mm’dir. Bu çapın %10 oranında (0,24 mm) küçültülmesine karşılık gelen LPG nozul delik çapı 0,27 mm olarak hesaplanmıştır.

Testlerde, saf benzin kullanıldığında ve karbüratör ana yakıt meme çapı = 2,4 mm iken geçen benzinin hızı 0,45 m/s olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde %90 benzin kullanıldığında ve yakıt meme çapı 2,1 mm iken geçen benzinin hızı ise 0,42 m/s olarak ölçülmüştür. LPG nozulundan geçen yakıtın hızı ise;

$$\left[\dot{m} \right]_{ben} = \% 90 \left[\dot{m} \right]_{ben} + \left[\dot{m} \right]_{LPG} \quad (11)$$

denkleminde bulunabilir. Denklem 8’deki veriler denklem 11’de yerine konur ve gerekli düzenlemeler yapılırsa ise;

$v_{LPG} = 0,551$ m/s olarak bulunur.

Emme manifolduna püskürtülen LPG yakıtının basıncını ifade eden denklem,

$$P_{LPG} = \rho_{LPG} \frac{v_{LPG}^2}{2}, \text{ dir [17].} \quad (12)$$

Buradan, LPG yakıt basıncı $2,8 \cdot 10^{-8}$ bar olarak hesaplanmıştır.

4. DENEY DÜZENEGİ

Deneyle, Kocaeli Üniversitesi Otomotiv laboratuvarında yapılmıştır. Deneyle düzeneği genel olarak, TOFAŞ DKS tipi bir benzin motoru, sıvılaştırılmış petrol gazı tertibatı, BİLSA egzoz gaz ölçüm cihazı, dinamometre ve yakıt tüketiminin ölçülmesinde kullanılan beher ve dijital terazilerden meydana gelmiştir. Deneyle motoru, 4 zamanlı, 4 silindirli ve motor hacmi 1600 cc'dir. Test motorunun karakteristik özellikleri tablo 2'de görülmektedir.

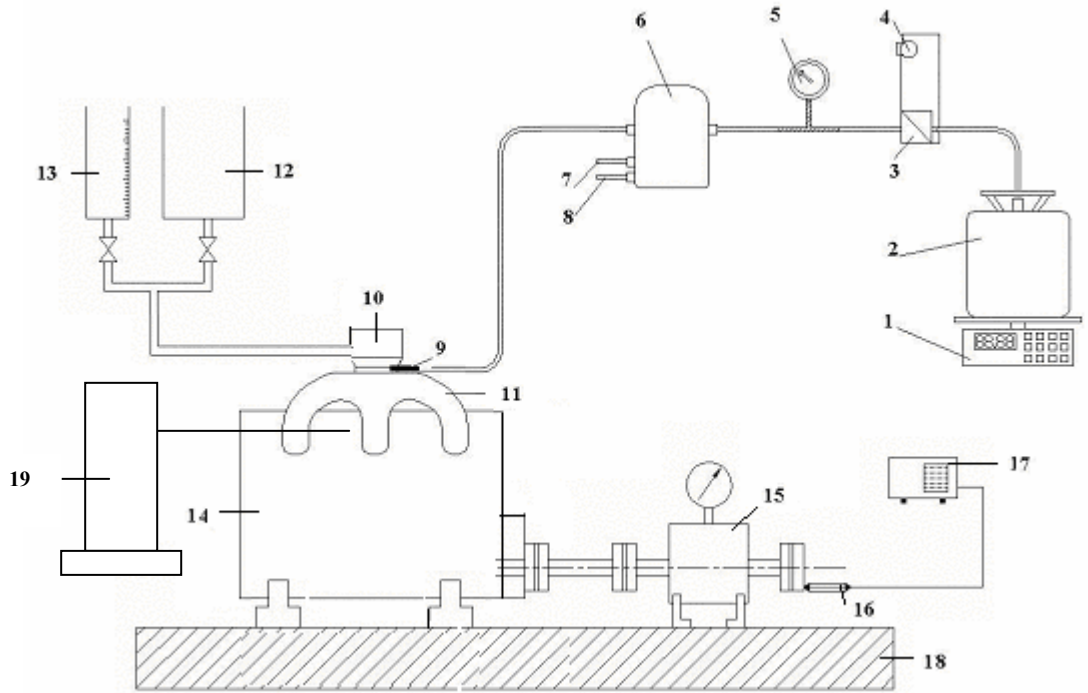
Ayrıca motoru gaz yakıtla çalıştırmak için yakıtın depodan çıkışta alçak basınçtan dolayı tekrar gaz haline gelmesini sağlayacak basınç regülatörü eklenmiş ve karbüratörde gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Deneyle düzeneği şekil 1'de görülmektedir.

Tablo 2. Deneyle motoruna ait karakteristik özellikler [18].

Motor cinsi	Fiat DKS
İmalat tarihi	1998
Çalışma türü	4 zamanlı karbüratörlü
Silindir sayısı	4 silindirli, sıra tipi
Toplam silindir hacmi	1600 cc
Rölanti devri	950 d/d
Sıkıştırma oranı	8:1
Maksimum moment	117,72 Nm (3400 d/d'da)
Maksimum güç	80 kW (5400 d/d'da)
Ateşleme sırası	1-3-4-2
Süpap boşlukları (Soğuk)	Emme ve egzoz: 0,20 mm
Soğutma şekli	Su soğutmalı

Dinamometre, motorun çeşitli yük ve devir kademelerinde yüklenmesini sağlayarak, yük ve devir parametrelerine bağlı olarak performans özelliklerinin belirlenmesini sağlar. Dinamometre bir mil ile motora bağlanmıştır. Benzin yakıt tüketiminin ölçülmesinde 50 ve 100 cc hacimli iki beher ve yakıtın bu kaptaki akış süresini ölçmek için 1/100 hassasiyetli kronometre kullanılmıştır. LPG yakıt tankı olarak Türk Standartlara uygun AYGAZ firmasının 2,5 kg'lık tüpleri kullanılmıştır. Deneylede motorun tükettiği LPG miktarını belirlemek için, 15000 gr ağırlık ölçebilen 5 gr hassasiyetli dijital terazi kullanılmıştır. Motorun egzoz çıkışına takılan bir aparat yardımı ile egzoz gazlarının bir kısmı cihaz tarafından emilerek yanmış gazlar içindeki %CO, HC (ppm; part per million)'ın miktarı okunabilmektedir.

Test motoru çift yakıtlı çalışmaya uyarlanmak için modifiye edilmiştir. Bu amaçla, karbüratörden motora yakıt geçişini sınırlayan yakıt memeleri %10 oranında küçültülüp eksik kalan bu yakıt ihtiyacı şekil 1'de görülen LPG yakıt nozulu ile sağlanmıştır. Motordan aynı yük ve devir şartlarında her iki yakıt (benzin, benzin+LPG)'la çalışma durumunda da aynı gücün elde edilmesi hedeflenmiştir. Bunun sonucu olarak, LPG nozul çapı ve çalışma basıncı belirlenmiştir.



- | | | | |
|---------------------|----------------|-----------------------------|--------------------|
| 1. Dijital terazi | 2. LPG tüpü | 3. Elektronik devre kesici | 4. Kontak anahtarı |
| 5. Basınç ölçer | 6. Regülatör | 7. Sıcak su girişi | 8. Sıcak su çıkışı |
| 9. LPG yakıt nozulu | 10. Karbüratör | 11. Emme manifoldu | 12. Yakıt deposu |
| 13. Ölçekli kap | 14. Motor | 15. Dinamometre | 16. Takometre sen. |
| 17. Takometre | 18. Platform | 19. Egzoz gaz analiz cihazı | |

Şekil 1. Deney düzeneği.

5. DENEY YÖNTEMİ VE ÖLÇÜMLER

Ön deneylerin yapılmasından sonra; motorun supap ayarları, platin açıklık ayarı, buji tırnak aralığı ayarı, her bir silindirin kompresyon basınçlarının ölçümü motorun katalog değerine göre yapılmış ve bu değerler deney çalışmaları boyunca kontrol edilerek deney şartlarına uygun düzeltmeler yapılmıştır. Yüksek devirlerde motor yağında görülen aşırı ısınmanın motora vereceği aşırı zararı önlemek için yağ sıcaklığı devamlı kontrol edilmiş ve gerektiğinde motorun yükü boşaltılarak motor rölanti devrinin üzerinde ve boşta çalıştırılarak dinlenmeye terk edilmiştir.

Deneyler sırasında, öncelikle motorun benzinle çalışması durumundaki performans ve emisyonları belirlenmiştir. Motor dinamometre yardımıyla iki sabit yük (20 ve 40 Nm) kademesinde yüklenerek her bir yükleme durumu için sekiz farklı devir sayısında (1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400) ölçümler yapılmıştır. Test motoru rejim şartlarına ulaştıktan sonra, 120 sn. süresince tüketilen benzin ve LPG miktarı ayrı ayrı ölçülmüştür. Bu değerler yardımıyla efektif güç (P_e), özgül yakıt tüketimi (bsfc) hesaplanmıştır. Örneğin, motorun benzinle çalışması durumunda, 40 Nm sabit yük ve 2200 d/d'da efektif güç;

$$P_e = \frac{2\pi n}{60} T \quad (13)$$

$$P_e = \frac{2\pi 2200}{60} 40 = 9,215 kW \quad (14)$$

özgül yakıt tüketimi;

$$bsfc = 3,6 \times 10^6 \frac{mf}{Pe} \quad [19] \quad (15)$$

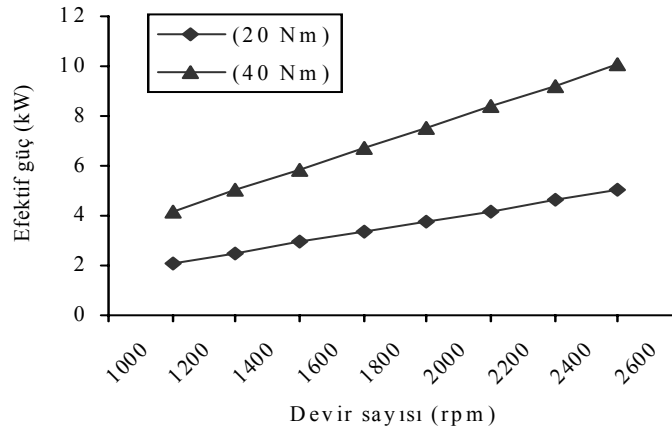
$$bsfc = 3,6 \times 10^6 \frac{9,25 \times 10^{-4}}{9,215} = 362 \text{ g/kW-h} \text{ olarak hesaplanır.} \quad (16)$$

Burada, P_e ; efektif gücü (kW), n ; devir sayısını (d/d), T ; motor yükünü (Nm), mf ; kütlelesel yakıt debisini (kg/s) ve $bsfc$; özgül yakıt tüketimini (g/kW-h) ifade etmektedir.

Motor performansının benzin kullanarak belirlenmesinden sonra, motor benzin+LPG ile çalıştırılarak testler yapılmıştır. Egzoz gaz analizörü yardımıyla motor emisyonlarını oluşturan hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) emisyonları ölçülmüştür. Tüm ölçümler üç sefer tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır.

6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan bu çalışmada, çift yakıtlı çalışmanın performans ve emisyon üzerindeki etkiler incelenmiştir. Şekil 2'de iki farklı sabit yük konumundaki efektif güç verilerinin devir sayısı ile değişimi görülmektedir. Deneyler sabit yük şartlarında gerçekleştirildiği için efektif güç değerleri devir sayısının değişimiyle doğrusal orantılı olarak artmaktadır.

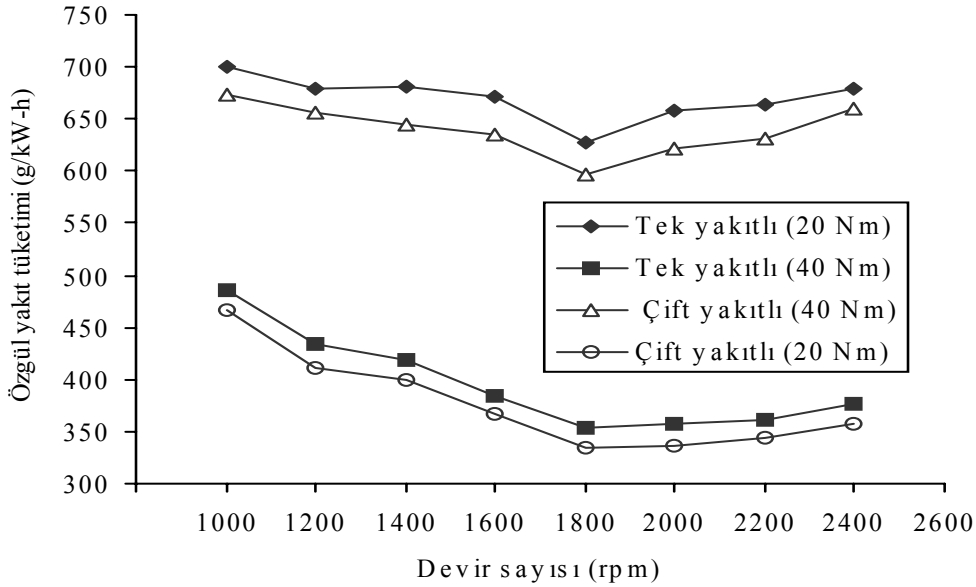


Şekil 2. 20 ve 40 Nm sabit yükte efektif gücün (kW) devir sayısı ile değişimi.

İki farklı sabit yük konumunda (20 ve 40 Nm) tek ve çift yakıtlı çalışmanın motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerleri Şekil 3'de görülmektedir. Yakıt tüketim eğrilerini benzer seyir izlemeleri beklenen bir durumdur. İçten yanmalı motorlarda en yüksek tork'un elde edildiği nokta volümetrik verimin maksimum olduğu değerdir [20]. Özgül yakıt tüketimi Denklem 15'de gösterildiği gibi efektif güç ve kütlelesel yakıt debilerinin fonksiyonudur. Deneyler sabit tork ve buna bağlı olarak sabit güç şartlarında gerçekleştirildiği için, Şekil 3'de görüldüğü gibi en düşük özgül yakıt tüketimi (birim çıkış gücü başına yakıt tüketimi) değerleri volümetrik verimin en yüksek olduğu 1800 d/d'da gözlemlenmektedir. Örneğin; tek yakıt ile yapılan testlerde minimum özgül yakıt tüketimi 40 Nm sabit yük ve 1800 d/d'da 354 g/kW-h, benzin+LPG ile yapılan testlerde 334 g/kW-h olarak belirlenmiştir. Bu devirlerin her iki tarafında ise özgül yakıt tüketiminde artış gözlemlenmektedir.

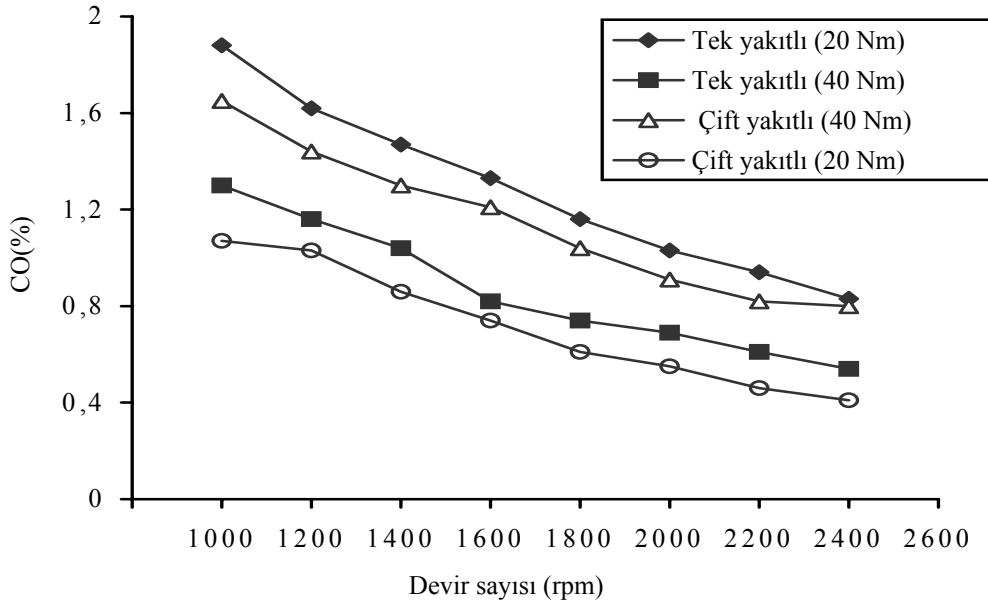
Deney sonuçları, çift yakıtlı çalışma (benzin+LPG)'nin özgül yakıt tüketimi değeri tek yakıtlı (benzin) çalışmanın özgül yakıt tüketimi değerinden ortalama %5 daha az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni sabit güç şartlarında yapılan testlerde, çift yakıtlı çalışmada tüketilen yakıt miktarının, tek yakıtlı çalışmada tüketilen yakıt miktarından daha az olmasıdır. Örnek olarak; 20 Nm sabit yük ve 1800 d/d da çift yakıtlı çalışmanın özgül yakıt tüketimi değeri 596 g/kW-h iken, 91 oktanlı normal benzin ile elde edilen özgül yakıt tüketimi 628 g/kW-h dir. Benzer şekilde; 40

Nm sabit yük ve 2000 d/d'da çift yakıtlı çalışmanın özgül yakıt tüketim değeri 336 g/kW-h iken, 91 oktanlı normal benzinin özgül yakıt tüketimi 358 g/kW-h' dir. Özgül yakıt tüketiminin çift yakıtlı çalışmada daha düşük çıkmasının bir nedeni de LPG'nin emme manifoldu girişine yüksek basınçla verilmesi sonucu artan türbülans oluşumunun yanma performansını artırmasıdır.



Şekil 3. 20 ve 40 Nm sabit yükte özgül yakıt tüketiminin (g/kW-h) devir sayısı ile değişimi.

Şekil 4'de iki farklı sabit yük konumundaki CO miktarının devir sayısı ile değişimi görülmektedir. Öncelikle her iki yakıtla (benzin, benzin+LPG) elde edilen emisyon eğrilerinin benzer olması olumlu bulunmuştur. Egzoz emisyonları arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Teorik olarak 1 kg benzin veya dizel yakıtının yanması için yaklaşık 14,5 kg hava gereklidir. Eğer hava fazlalık katsayısı 1'den küçük ise, yani karışım içinde gerekenden daha az hava var ise yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıtın karbonunun tümü CO₂'ye dönüşemeyerek CO olarak kalacaktır. Yanma esnasında, silindirin tümü düşünüldüğünde, oksijen; genel olarak yetersiz olabileceği gibi, karışımın tam homojen olmadığı durumda da silindir içinde belli bir konumda kısmi olarak da yetersiz olabilir. Sonuç olarak, CO oluşumu büyük ölçüde hava fazlalık katsayısına bağlıdır [7, 21].



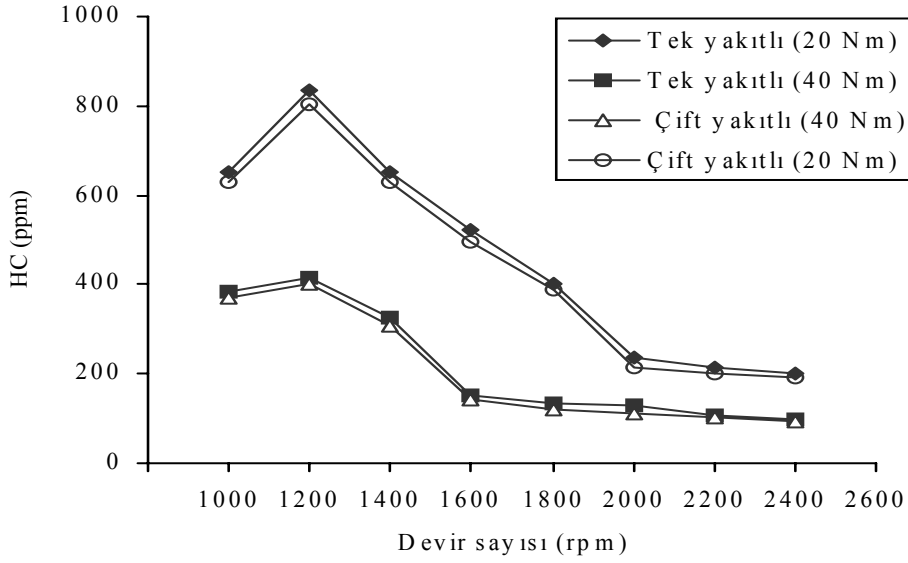
Şekil 4. 20 ve 40 Nm sabit CO emisyonlarının (%) devir sayısı ile değişimi.

Yapılan testler sırasında tüm motor yük ve devirlerinde, çift yakıtın ürettiği CO emisyon miktarının tek yakıtın ürettiği emisyon miktarından ortalama %13 oranında daha az olduğu görülmüştür. Örnek olarak; 20 Nm sabit yük ve 1200 d/d'da çift yakıtın ürettiği CO emisyon miktarı %1,03 iken, tek yakıtın ürettiği CO emisyon miktarı %1,16 olmaktadır. Bunun nedeni, LPG yakıtının gaz fazında ve silindirlere havayla homojen bir şekilde karışarak girmesi ve kimyasal terkihi sebebiyle temiz yanmasıdır [8]. Ayrıca LPG yakıtının içinde katkı maddelerinin bulunmaması yanma sonucu kirletici egzoz bırakmamasına neden olmaktadır. Yapılan ölçümlerde, her iki yakıt için de minimum CO değeri beklenildiği gibi maksimum moment ve maksimum devir şartlarında elde edilmiştir. En düşük CO değeri 40 Nm sabit yük ve 2400 d/d'da çift yakıt için %0,47 iken tek yakıt için %0,54 olmaktadır.

Her iki yakıt için de yüksek motor devirlerinde CO miktarının az oluşu dikkat çekicidir. Bunun nedeni, devir sayısının yükselmesi ile yanma odasında artan türbülansın daha homojen bir karışım oluşturması sonucu CO emisyonlarının azalma eğilimi göstermesidir. Yük artışı ile yanma ürünlerinin egzoz sisteminde kalış süreleri azalmaktadır. Sonuç olarak, emme zamanında silindirlere daha fazla hava alınması CO emisyonlarını azaltmaktadır [22].

Volümetrik verim, emme zamanında bir çevrimde bir silindire giren hava miktarının ideal durumda (atmosfer basıncı ve sıcaklığında) girebilecek hava miktarına oranı olarak tanımlanır. Volümetrik verim, ortalama olarak motorun maksimum devrinin 2/3 oranına kadar artma gösterir [23]. Deney motorunun maksimum devri 5400 d/d (tablo 1) olduğuna göre, şekil 4'de görüldüğü gibi volümetrik verimin artması da CO emisyonlarının azalmasında önemli bir etkidir.

Şekil 5'de HC miktarının yük ve devir sayısı ile değişimi görülmektedir. CO emisyonlarında olduğu gibi HC emisyon eğrilerinin benzer seyir izlemeleri istenen bir durumdur. Egzoz gazları içindeki hidrokarbon bulunması, yakıtın tam olarak yakılmadığını gösterir. Hidrokarbon oluşumunun ana nedeni sıcaklıkların yada oksijenin yetersiz olması sonucunda (HFK 1'den küçük-zengin karışım) yanmanın tamamlanamamasıdır [23, 24].



Şekil 5. 20 ve 40 Nm sabit HC emisyonlarının (ppm) devir sayısı ile değişimi.

Elde edilen deneysel sonuçlar, çift yakıtın ürettiği HC emisyon miktarının tek yakıtın ürettiği emisyon miktarından ortalama %5 oranında daha az olduğunu göstermektedir. Örnek olarak; 40 Nm sabit yük ve 1600 d/d'da çift yakıtın ürettiği HC emisyon miktarı 143 ppm iken, süper benzinin ürettiği HC emisyon miktarı 152 ppm olmaktadır. Yapılan ölçümlerde her iki yakıt için minimum HC değeri, CO emisyonlarına benzer şekilde maksimum moment ve maksimum devir şartlarında elde edilmiştir. En düşük HC değeri 40 Nm sabit yük ve 2400 d/d'da çift yakıt için 93 ppm iken tek yakıt için 98 ppm olmaktadır.

Devir sayısının artması yanma odasındaki türbülansı arttıracaktır. Bunun sonucu olarak da benzin motorlarında cidarların yakınındaki alev sönme bölgeleri azalacak ve alevin ilerlemesinde karşılaşılan sorunlar ortadan kalkacaktır. Sonuç olarak şekil 5'de görüldüğü gibi devir sayısının artması ile yanmamış HC'ler de azalma görülecektir [20, 22]. Yükün artması ile, alev sönme bölgesi küçülecek yanma sonu sıcaklığı artacaktır. Bu etkenler HC emisyonunu azaltıcı niteliktedir. Sonuç olarak motor yükünün artması ile şekil 5'de görüldüğü gibi HC emisyonunu azalır. Yukarıda belirtildiği gibi volümetrik verim, motorun maksimum devrinin yaklaşık 2/3 oranına kadar artırmaktadır. Bunun sonucu olarak da, CO emisyonlarına benzer şekilde HC emisyonları azalma eğilimi göstermektedir [19, 23, 24].

7. SONUÇ

İçten yanmalı motorlarda, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını en az düzeye indirme çabaları, çift yakıtla çalışan motorlar üzerine yapılan çalışmaların başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Daha önce özellikle kapalı alanlarda çalışan ağır hizmet tipi dizel araçlarda uygulamaya konulan çift yakıtlı motor (dizel+LPG, dizel+doğal) projeleri ile emisyonlarda iyileşme sağlanmıştır. Benzer bir çalışmanın da benzinli araçlarda çift yakıtlı motor kavramının araştırılmasına yol göstereceği esastır.

Bu nedenle yapılan bu çalışmada çift yakıtlı çalışmanın (benzin+LPG) performans ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; çift yakıtlı çalışmanın özgül yakıt tüketim değerleri, tek yakıtlı çalışmaya göre daha düşük tespit edilmiştir. Bunun nedeninin LPG yakıtının yüksek basınç tahriğiyle emme manifolduna püskürtülmesiyle artan türbülansın yanma performansını iyileştirmesi olduğu düşünülmektedir.

Çift yakıtlı çalışma ile yapılan deneylerde egzoz emisyonları (CO ve HC) tüm motor yük ve hızlarında tek yakıt ile elde edilen egzoz emisyonlarından daha düşük olmaktadır. Bu sonuca sıvılaştırılmış petrol gazının benzine göre daha temiz egzoz emisyonları üretmesi sebep olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Gümüş, M., Tekin, M., Çift Yakıtlı (Dizel+Doğal Gaz) Dizel Motorunun Yanma Ürünleri Analizi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası VII. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, 96-101, Bursa, 26-27 Ekim 2001.
2. Schoenmaker, P., LPG: Alternative to Urban Public Transportation in The Future, 1. Ulusal Ulaşım Sempozyumu, İstanbul, 6-7 Mayıs 1996.
3. Sharma, P., Khara, M., Modeling of Vehicular Exhaust-A Review, Transportation Research Part , 179-198, 2001.
4. Şahin A., Şen, Z., Future Prospects of Fossil and Alternative Energy Sources, Proceedings of The First International Energy and Environment Symposium, 37-43 Trabzon, July 29-31, 1996.
5. Nichols, R., Application of Alternative Fuels, SAE paper 821573, USA, 1982.
6. Ciniviz. M., Salman. S., Çarman. K., Dizel Motorunda Dizel Yakıtı+LPG Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Politeknik Dergisi, Sayı:3, 2000.
7. Çanakçı. M., Idealized Engine Emissions Resulting from The Combustion of Isooctane Supplemented with Hydrogen, Ms Thesis, Vanderbilt University, Tennessee, August, 1996.
8. İçingür, Y., Haksever, R., Benzinli Motorlarda Sıvılaştırılmış Petrol Gazının Performans ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Analizi, Politeknik Dergisi, Cilt: Sayı:3, 67-76, 1998.
9. Ergeneman, M., Soruşbay, C., Benzin Motorlu Taşıtların LPG Kullanımına Dönüşümü, Mühendis Makine, Cilt:37, Sayı:441, 25-36, 1996.
10. Krieckaert, P., Wegener, R., An LPG-Optimized Engine –Vehicle Design, SAE Paper No.852071, 1985.
11. TMMOB, Araçlarda LPG Dönüşümü, 13-17, Ankara, 1999.
12. Bayraktar. H., Durgun., O., Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Gaz Yakıtların Kullanımının Yanma ve Motor Performansı Üzerine Etkileri, 6. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu, 273-280, İstanbul, 1999.
13. Latusek, P., ve Burrham, R., Key Success Factors for Automotive Use of LPG, “The 6th World LPG Conference, Japan, 1993.
14. Polat. İ., Yücel. N., Dinler. N., Bir Benzin Motorunun LPG İle Çalışabilecek Şekilde Dönüşümü Yapılarak Performans ve Emisyon Davranışlarının İncelenmesi, 12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Sakarya, Şubat, 2000.
15. Borat, O., Balcı, M., Yanma Bilgisi, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, s.92-94, Ankara, 1996.
16. Borat, O., Balcı, M., İçten Yanmalı Motorlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, s.18-19, Ankara, 1996.
17. ASME Standards, Measurement of Fluid Flow in Pipe Using Orifice, Nozzle and Venture, USA, MCF-3M, 1984.
18. TOFAŞ A.Ş., DKS Otomobil Katoloğu, s.13, İstanbul, 1999
19. J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, , McGraw-Hill, USA, 1984.
20. R. H. Thring., Alternative Fuels for Spark Ignition Engines, SAE Paper, 972970.
21. Soruşbay. C., İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Emisyonları, İTÜ Makine Fakültesi Ders Notları, İstanbul, 1999.
22. Kutlar. A., Ergeneman, M., Arslan. H., Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, s.38-40, İstanbul, 1998.
23. Dülger. Z., İçten Yanmalı Motorlar, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:11, s.28-29, Kocaeli, 1999.
24. Kodah. Z., Soliman. S., Combustion in A Spark Ignition Engine, Applied Energy 66 p.237-250, 2000.