

DİZEL MOTORLARINDA DİZEL YAKITI + LPG KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONA ETKİSİ

Araş. Gör. Murat CİNİVİZ^a Doç. Dr. M. Sahir SALMAN^b Prof. Dr. Kazım ÇARMAN^c

^aS.Ü.T.E.F. Makine Eğitimi Bl., Konya ^bG.Ü.T.E.F. Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara ^cS.Ü.Z.F.Tarım Makineleri Bl., Konya

Özet : Bu çalışmada, Dizel yakıtı ve ağırlıklı olarak %30 LPG ve %70 Dizel yakıtının, performans ve emisyon parametrelerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla tek silindri direkt püskürtmeli bir dizel motoru LPG+Dizel yakıtı ile çalışabilecek şekilde modifiye edilmiştir. Sonuçta çift yakıtlı çalışmada motor torku ve gücü %5,8 oranında artmaktadır. Emisyonda ise NO_x'te %5,9, k faktöründe ise 1/9 oranında tek yakıtlı çalışmaya göre iyileşme olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaştırılmış petrol gazı, dizel motorları, dizel emisyonları, çift yakıtlı motorlar.

EFFECTS ON PERFORMANCE AND EMISSION OF USING DIESEL FUEL AND LPG ON THE DIESEL ENGINES

Abstract: In this study, the effect on engine performance and emission parameters of diesel fuel and (70% diesel and 30%LPG by weight) LPG mixture has been investigated. For this purpose, a single cylinder direct injection diesel engine was modified to able to operate with LPG+Diesel Fuel. As a result, the dual fuel operation when compared with the single operation, engine moment and power were increased 5,8%, and NO_x emission an k factor were 5,9% and 1/9 respectively.

Key Words: Liquified Petroleum Gase, Diesel engines, Diesel emissions, Dual fuel engine.

1. Giriş

Dünyada meydana gelen petrol krizlerinden dolayı enerji ihtiyacının artması ve ayrıca taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği nedeniyle, özellikle büyük şehirlerde meydana gelen hava kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaşması bilim adamlarını doğada bol miktarda bulunan ve çevreci olan alternatif yakıtlar üzerinde araştırma yapmaya itmiştir. Pek çok ülkede meydana gelen hava kirliliğinin taşıt kaynaklı olması nedeniyle, çevreci olan alternatif yakıtla çalışan araçların kullanılması teşvik edilmektedir. Günümüzde, şehirlerin artan hava kirliliği tüm gelişmiş ülkelerin önemli sorunlarından birisi durumuna gelmiştir. Bu kirlenmede, şehir içi ulaşımında kullanılan taşıtların çıkardıkları zararlı egzoz emisyonlarının önemli bir payı bulunmakta ve bu yüzden bir çok ülkede temiz ulaşımın sağlanması için yaygın destek programları uygulanmakta ve daha temiz yanan alternatif yakıt arayışları sürdürülmektedir. LPG, karışımın oluşturulması, dağıtımı ve yanma kontrolü kolay olan ideal bir yakıt olarak bilinmektedir. LPG motorda, karmaşık ve pahalı ekipmanlar gerektirmesizin oldukça temiz yanan bir yakıttır (8).

Dizel motorlarından kaynaklanan zararlı egzoz emisyonlarından, NO_x ve Partikül Madde emisyonlarının (PM) önemli ölçüde artmıştır. Bu nedenle araştırmacılar, ağır hizmet tipi araçlarda değişik alternatif yakıtlar üzerindeki çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu alternatif yakıtlar ise, şu anda piyasada bulunanlar arasında, LPG (Liquefied Petroleum Gaz-Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) ve CNG'nin(Compressed Natural Gas-Sıkıştırılmış Doğal Gaz) kullanımı çok geniştir. Bu gazların moleküler ağırlığının düşük olmasından dolayı, buhar basıncı yüksek olmaktadır. Ayrıca gazın önceden karışması, kolayca sağlanabilmektedir. Sonuç olarak bir dizel motoru ile karşılaştırıldığında, is ve CO₂'de önemli bir azalma meydana gelmektedir (6).

Bütün dünyada ve Türkiye'de LPG'nin, çevreyi olumlu yönde etkilemesi ve ekonomik sebeplerden dolayı otomotiv sektöründe kullanımının hızla artmıştır. Bir çok hükümet yukarıda belirtilen nedenleri dikkate alarak uyguladıkları enerji politikalarıyla LPG'yi destekleyen ve ayrıca mali teşviklerle, bu alternatif yakıtı kullanıma sokmuşlardır. Tablo 1.1'de

Türkiye ve bazı ülkelere ait LPG'li taşıt sayısı görülmektedir. Ayrıca Konya ili merkezinde Trafik Bölge Müdürlüğü 2000 yılı verilerine göre toplam LPG'li araç sayısı 12003'tür

Bu çalışmada, tam gaz değişik devirde tek yakıtlı (dizel) ve çift yakıtlı (LPG+dizel) kullanımının motor performansı ve emisyon üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla tek silindri direkt püskürtmeli bir dizel motoru LPG+Dizel yakıtı ile çalışabilecek şekilde modifiye edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, çift yakıtlı çalışmada motor torkunun ve gücünün tek yakıtlı çalışmaya göre daha yüksek çıkmıştır. Egzoz emisyonlarında ise, özellikle NO_x ve duman emisyonlarında bir iyileştirme meydana gelmiştir.

Tablo 1.1: Ülkelere göre araçlarda LPG kullanımı (1).

LPG Kullanan Taşıt Sayısı			
Ülke	Ülke		
İtalya	1 200 000	Güney Kore	160 000
Hollanda	800 000	Kanada	140 000
ABD	500 000	Tayland	80 000
Japonya	350 000	Yeni Zelanda	50 000
Rusya	250 000	TÜRKİYE	40 000
Meksika	240 000	Endonezya	20 000
Avusturya	200 000	Cezair	20 000

1. LPG ve Çevre

Kara yolu taşımacılığının artması çevre ve enerji tüketimini olumsuz yönde etkilemektedir. Artan CO, NO_x, hidrokarbonlar, kurşun, CO₂, partikül madde (dizel emisyonlarından oluşan) çevreyi kirletmektedir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirlenmesine direkt etki eden CO ve NO_x egzoz gazlarının hacimsel oranı % 1'dir (3). Yanma kaçınılmaz olarak bir kirleticidir. Emisyonlar yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkmakla beraber yakıtla yanıcı maddelerin karışımının bileşimine bağlıdır. Bununla birlikte yanma işlemine ve çevre karakteristiklerine de bağlıdır. Dizel, benzin, kurşunsuz benzin ve LPG'yi karşılaştırdığımız zaman hepsinin C, NO_x ve yanmamış hidrokarbonlar ürettiğini görürüz. Bunlardan sadece benzin ise kurşun üretmektedir. Bununla birlikte her elementin zehirleyici değerini bilmek ve gerçek zarar verme miktarını tanımlamakta önemlidir. Tablo 2.1'de görüldüğü gibi yanma sonucu oluşan zehirli parametrelerin LPG tarafından üretilmeyen ürünler olduğu görülmektedir. Ayrıca, LPG'deki yanmamış hidrokarbonların diğer yakıtlardakine nazaran daha az zehirli olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise LPG'nin aromatikleri ve katkı maddeleri içermemesidir (4).

Tablo 2.1: Bileşenlerin gerçek zarar verme değerleri (4).

Bileşenler	Zehirleyici Parametre
CO	1
HC	60
NO _x	100
Aldehit	130
SO ₂	130

Kirlilik problemi olan büyük şehirlerin çevre kirlenmesine sebep olan ağır hizmet tipi araçlarda LPG'nin kullanılması için destek sağlanması ile şehirlerdeki hava kirliliğinin önüne geçilebilir. Hollanda Bilimsel Araştırma Uygulama Organizasyonu tarafından yapılan çalışmada, LPG'nin diğer geleneksel motor yakıtlarından daha az zararı olduğunu göstermiştir. Ayrıca Amerika Taşıma Araştırma Merkezi de LPG'li araçların atmosferde % 10-25 daha az CO

oluşturduğunu göstermiştir. (2). Tablo 2.2'de benzin ve dizel yakıtının LPG'ye göre emisyon değerlerindeki fazlalık verilmiştir. Örneğin emisyon değerlerinden CO, LPG'ye göre benzinde %75 dizelde ise %60 daha fazladır.

Tablo 2.2: Dizel ve Benzin yakıtının LPG'ye göre emisyon değerlerindeki fazlalık (2).

EMİSYON DEĞERLERİ						
	CO	HC	NO _x	O ₃	CO ₂	PARTİKÜL MADDE
DİZEL	%60	-	%90	%70	-	90
BENZİN	%75	%85	%40	%87	%10	-

1. Çift Yakıtlı Motorlar

Çift yakıtlı dizel motorları gaz-dizel yakıtı ya da sadece dizel yakıtı ile çalışan motor olarak tanımlanmaktadır. Çift yakıtlı motor da gaz, hava ile karıştırılarak silindir içerisine alındıktan sonra karışım sıkıştırılır ve sıkıştırma zamanının sonuna doğru da dizel yakıtı enjektörden püskürtülerek iş zamanı gerçekleştirilir.

Çift yakıtlı yanmanın karakteristikleri tek yakıtlı yanmadan farklı olmaktadır. Dizel yakıt buharı silindir içerisine püskürtüldüğü için yüksek sıcaklıkta sıkıştırılan hava ile karıştıktan sonra kendi kendine tutuşan ve buharlaşan damlacıklar içinde çabucak çözülür. Çift yakıtlı çalışmada ise yanma tersine alevin yayılması ile kontrol edilme eğilimindedir. Pilot dizel yakıtıyla sağlanan enerji bir buji kıvılcımıyla sağlanan enerjiden daha büyüktür. Bu durum motorun yeterli derecede fakir hava-yakıt oranında çalıştırılması için bir çift yakıtlı motora uygulanabilmektedir (5).

1.1. Çift Yakıtlı Motorlarda Yanma Kontrolü

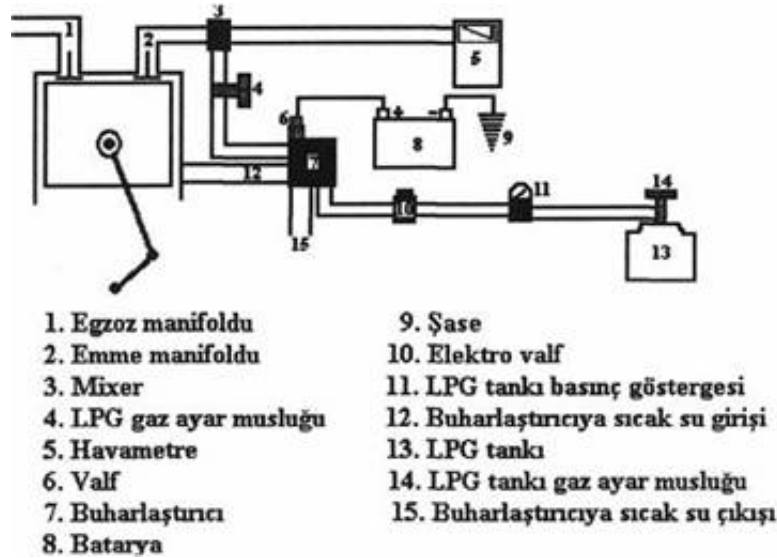
Pek çok sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar çift yakıt prensibine göre çalışmaktadır. Bu motorlar için esas yakıt normalde gazların atmosferik sıcaklıkta ve basınçta normal hava ile indüklenir. Piston Ü.Ö.N. civarında (sıkıştırma zamanında) normal dizel motorunda olduğu gibi yakıt hava karışımı üzerine dizel yakıtı püskürtülür. Püskürtülen her pilot yakıt miktarı, motorun gücüne ve tam yüküne bakılmaksızın, genellikle dizel çalışmasında püskürtülen toplam yakıtın %10'dan daha azdır. Tek yakıtlı çalışmada havanın kısılmaması ve motor gücü, yakılan hava ile esas yakıt miktarının silindir içerisine indüklenmesi ile kontrol edilmektedir. Normal çift yakıtlı motor tam dizel motoru olarak ya da çift yakıtlı olarak çalışabilir (5). Çift yakıtlı bir motorda gaz olan esas yakıt genellikle hava ile birlikte içeri alınmaktadır. Pilot yakıt olarak adlandırılan dizel yakıtının küçük bir miktarı esas yakıt hava ile karışıp sıkıştırıldıktan sonra normal şekilde püskürtülür. Sıkıştırma oranı dizel motorlarında kullanılan benzerdir. Pilot dizel yakıtı, ilk olarak kendiliğinden tutuşması ve içeri alınan esas yakıtın yandıktan sonra şiddetli bir ateşleme kaynağı yapmaktadır. Esas gaz yakıt, pilot yakıtın tutuşma gecikmesini etkilemektedir. Emilen havanın sıcaklığı, içeri alınan karışımın hava-yakıt oranı, pilot yakıt miktarı ve kullanılan gaz yakıt düşük yüklerde çift yakıtlı motorların performansı ve kontrollü yanması için önemlidir. (7).

2. DENEY DÜZENEGİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Bu çalışmada, tam gaz değişik devirde tek yakıtlı (dizel) ve çift yakıtlı (LPG+dizel) kullanımının motor performansı ve emisyon üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deneyler, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Ana Bilim Dalı Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri Tablo 4. l'de ve deney setinin şematik görünümü Şekil 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Deneyde kullanılan motorunun teknik özellikleri

Marka ve Modeli	Süper Star, 77 1 0
Çalışma Prensipleri	4 Zamanlı, Direkt Püskürtmeli
Silindir Adedi	1
Silindir Çapı (mm)	98
Strok (mm)	100
Silindir Hacmi (cm ³)	700
Sıkıştırma Oranı	17/1
Güç	9HP(1800d/d'de)
Soğutma Şekli	Su ile Yağ
Kapasitesi (1)	2
Püskürtme Başlangıcı	27° (Ü.Ö.N.Ö.)
Emme Supabı Açılması	13° (Ü.Ö.N.Ö.)
Egzoz Supabı Kapanması	1 7° (Ü.Ö.N.S.)
İlk Hareket Şekli	Mekanik Kolçak ile

**Şekil 4.1: Deney setinin şematik görünümü**

5.1. Metot

Deneylerde çevre sıcaklığı ortalama 22°C ve atmosferik basınç ise 752 mmHg'dir. Denemelere başlamadan önce motor ayarları yapılmış ve motor yağı değiştirilmiştir. Deney süresince motor sıcaklığı kontrol altında tutulmuştur. Ölçümlere motor çalışma sıcaklığına ulaşıldığı zaman başlanmış, bir deneme tamamlandığında motor bir sonraki

deney öncesine kadar ara dinlenmeye bırakılmıştır. Motorun öz değerlerinin tespiti için ilk denemeler dizel yakıtı ile yapılmış ve daha sonra çift yakıtlı denemelere geçilmiştir. Tam yükte değişen motor devir sayılarının motor performansı ve emisyon değerler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi ve LSD testi yapılmıştır.

5.1.1. Motor Gücü

Denemeler sırasında motor gücü, motor hızı ve fren kuvveti tespit edilip dinamometre güç eşitliği yazılarak belirlenmiş ve ayrıca dinamometrenin kuvvet kolu uzunluğu 0,55 m olarak alınmıştır.

$$N_e = \frac{F \cdot N}{2500}$$

burada,

F = Fren basma kuvveti (kgf),
 W = Motor devri (d/d)
 N_e = Ölçülen net güç (HP).

Bu eşitlikten elde edilen gücün HP biriminde çıkmaktadır. Bu yüzden hesaplamalar yapılırken 1 HP = 0,746 kW olarak alınmıştır.

5.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Dizel yakıtı ve LPG tüketiminin belirlenmesinde elektronik terazi ve kronometre kullanılmıştır. Özgül yakıt tüketimi, deney sırasında tüketilen yakıt miktarının ölçülen güce orandır.

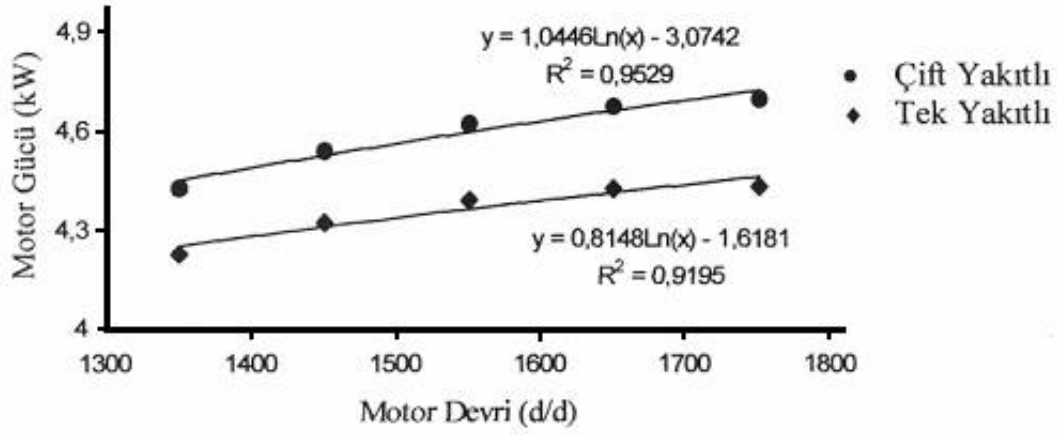
$$b_e = \frac{B_e}{N_e} \cdot 10^3$$

burada,

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh),
 B_e = Yakıt Tüketimi (kg/h),
 N_e = Motor gücü (kW)'tir.

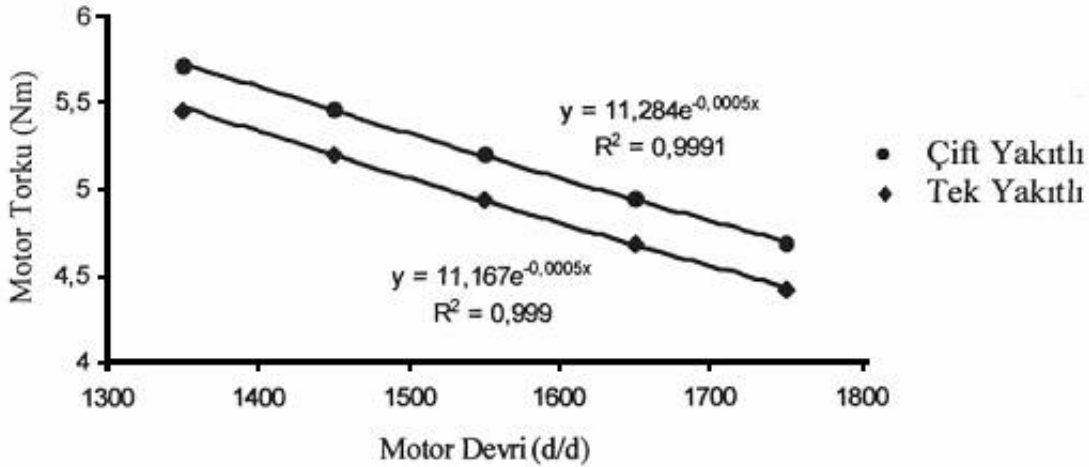
6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Motor devirlerine bağlı olarak tek yakıtlı (dizel yakıtlı) çalışmada motor gücü 4,299 kW ile 4,438 kW arasında değişmiştir. Çift yakıtlı çalışmada (% 30 LPG+ Dizel Yakıtlı) ise 4,431 kW ile 4,699 kW arasında değişmiştir (Şekil 4.2). Motor devrindeki %30'luk bir artış tek yakıtlı çalışmada motor gücü %4,94 çift yakıtlı çalışmada ise %6,1 oranında artmıştır.



Şekil 4.2: Dizel Yakıtlı ve % 30 LPG+ Dizel Yakıtlı çalışmanın motor devrine bağlı olarak motor gücü eğrileri görülmektedir.

Farklı motor devir sayılarının güç üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi ve LSD testi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre tek yakıtlı ve çift yakıtlı çalışmalar ayrı ayrı incelendiğinde değişik devir uygulamalarının motor gücü üzerindeki etkisi önemsiz bulunmuştur. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi çift yakıtlı çalışmada elde edilen motor gücü, dizel yakıtla çalışmada elde edilen motor gücünden %4,7-5,9 oranında büyük bulunmuştur. Bunun sebebi ise LPG'nin alt ısıl değerinin 46,2 MJ/kg dizel yakıtının alt ısıl değeri olan 42,5 MJ/kg'dan büyük olmasıdır. Bu nedenle açığa çıkan enerji çift yakıtlı çalışmada motor gücünü artırmaktadır. Ayrıca, çift yakıtlı çalışmada yakıt ile havanın homojen bir şekilde karışması yanma şartlarının olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle birim zamanda yanan dolgu miktarı artmakta ve birim zamanda açığa çıkan enerji miktarı daha fazla olmaktadır. Buda çift yakıtlı çalışmanın motor gücünü artırmaktadır. Her iki yakıt içinde, motor devri ile motor gücü arasındaki ilişki logaritmik olup ilişkinin korelasyon katsayısı çift yakıtlı sistemde $R = 0,976$, tek yakıtlı sistemde ise $R = 0,958$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.2). Motor devirlerine bağlı olarak tek yakıtlı çalışmada motor torku 5,46 Nm ile 4,42 Nm arasında değişmiştir. Çift yakıtlı çalışmada ise motor torku 5,72 Nm ile 4,68 Nm arasında değişmiştir (Şekil 4.3). Motor devrindeki %30'luk bir artış, tek yakıtlı çalışmada motor torkunu %23,53 çift yakıtlı çalışmada ise %22,22 oranında azaltmıştır.

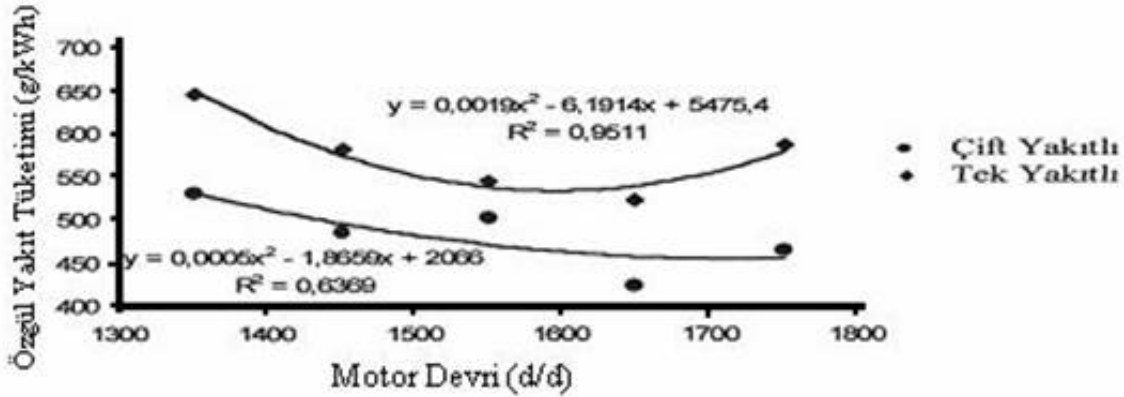


Şekil 4.3: Dizel Yakıtlı ve % 30 LPG+ Dizel Yakıtlı çalışmanın motor devrine bağlı olarak motor torku eğrileri görülmektedir.

Farklı motor devir sayılarının motor torku üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi ve LSD testi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre tek yakıtlı ve çift yakıtlı çalışmalar ayrı ayrı incelendiğinde değişik devir uygulamalarının motor torku üzerindeki etkisi önemsiz bulunmuştur. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi çift yakıtlı çalışmada elde edilen motor torku, dizel yakıtla çalışmada elde edilen Motor torkunun %4,7-5,9 oranında büyük bulunmuştur. Bunun sebebi LPG'nin alt ısıl değerinin 46,2 MJ/kg dizel yakıtının alt ısıl değeri olan 42,5 MJ/kg'dan büyük olması ve açığa çıkan enerjinin çift yakıtlı çalışmada motor torkunu artırmasıdır. Ayrıca, çift yakıtlı çalışmada yakıt ile havanın homojen bir şekilde karışması nedeniyle yanma şartlarını olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle birim zamanda

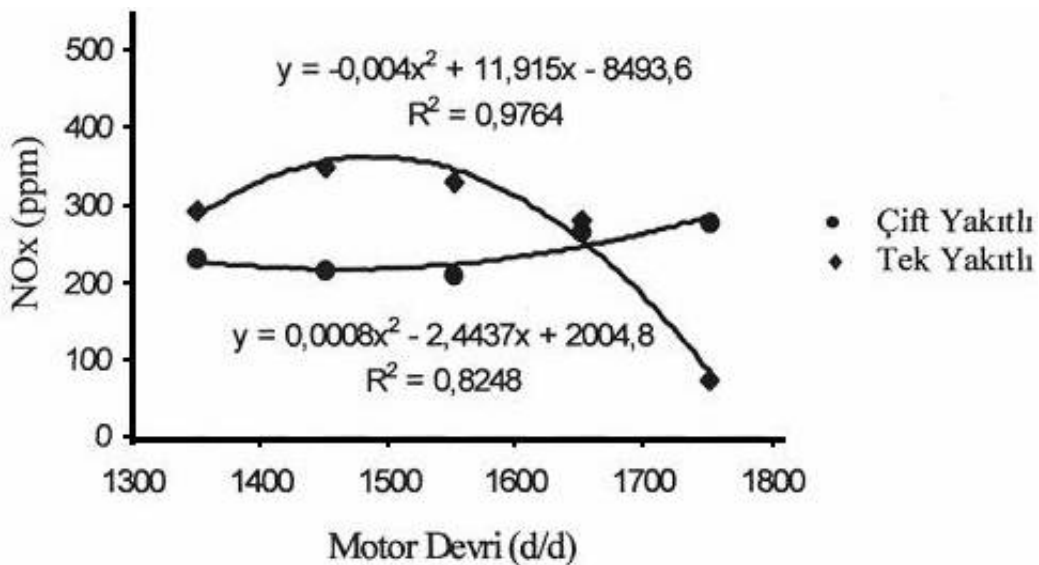
yanan dolgu miktarı artmakta ve birim zamanda açığa çıkan enerji miktarı daha fazla olmaktadır. Buda çift yakıtlı çalışmanın motor torkunu artırmaktadır. Her iki yakıt içinde, motor devri ile motor torku arasındaki ilişki üstel olup ilişkinin korelasyon katsayısı çift yakıtlı sistemde $R = 0,999$, tek yakıtlı sistemde ise $R = 0,999$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.3).

Motor devirlerine bağlı olarak tek yakıtlı çalışmada motor özgül yakıt tüketimi (Ö.Y.T.) 647.0725 g/kWh ile 587,5594 g/kWh arasında değişmiştir. Çift yakıtlı çalışmada ise Ö.Y.T. 531,4539 g/kWh ile 466,4028 g/kWh arasında değişmiştir (Şekil 4.4). Motor devrinde %30'luk bir artış tek yakıtlı çalışmada motor Ö.Y.T. %10,13, çift yakıtlı çalışmada ise %13,95 oranında bir azalma meydana getirmiştir. Yakıt tüketiminde ise tek yakıtlı çalışmada %5, çift yakıtlı çalışmada ise yaklaşık %50 oranında azalma meydana gelmektedir.



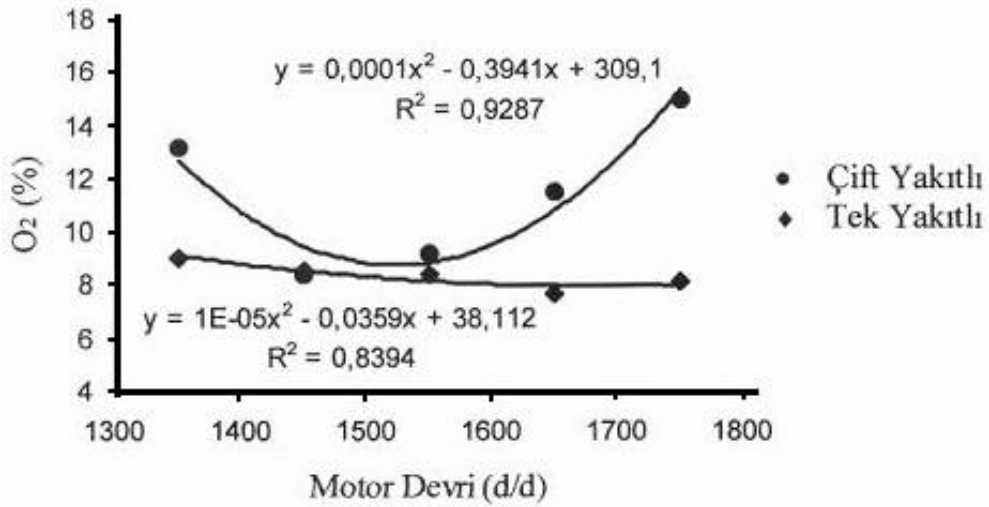
Şekil 4.4: Dizel Yakıtlı ve % 30 LPG+ Dizel Yakıtlı çalışmanın motor devrine bağlı olarak motor özgül yakıt tüketimi eğrileri görülmektedir.

Farklı motor devir sayılarının motor özgül yakıt tüketimi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi ve LSD testi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre tek yakıtlı ve çift yakıtlı çalışmalar değişik devir uygulamalarının motor özgül yakıt tüketimi üzerindeki etkisi önemsiz bulunmuştur. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi çift yakıtlı çalışmada elde edilen Ö.Y.T. tek yakıtlı çalışmadaki Ö.Y.T.'den düşük çıkmıştır. Bunun sebebi çift yakıtlı çalışmada, tek yakıtlı çalışmada tüketilen dizel yakıtından %30 daha az tüketilmesi ve bunun yerine LPG'nin kullanılmasıyla çift yakıtlı çalışmada özgül yakıt tüketiminde bir azalma meydana gelmektedir. Her iki yakıt içinde, motor devri ile Ö.Y.T. arasındaki ilişki polinom olup ilişkinin korelasyon katsayısı çift yakıtlı sistemde $R = 0,95$, tek yakıtlı sistemde ise $R = 0,798$ olarak bulunmuştur.



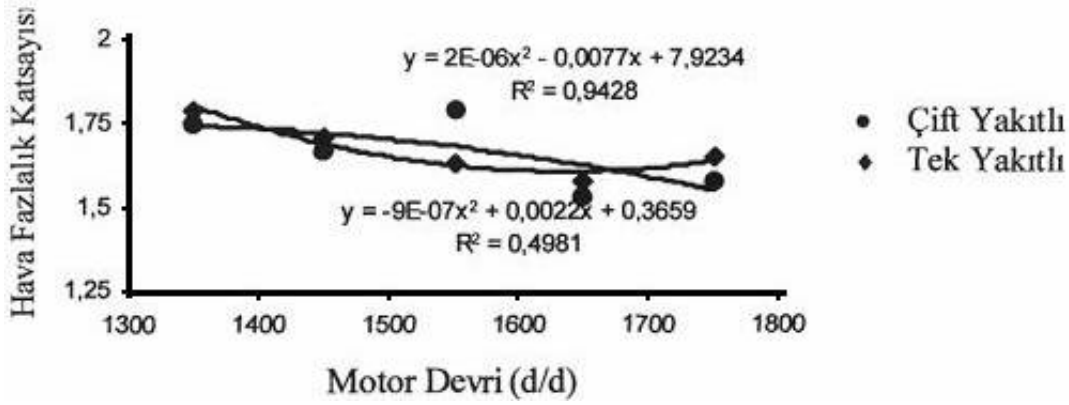
Şekil 4.5: Dizel Yakıtlı ve % 30 LPG+ Dizel Yakıtlı çalışmanın motor devrine bağlı olarak azot oksit (NO_x) eğrileri görülmektedir.

Motor devirlerine bağlı olarak tek yakıtlı çalışmada NO_x değerleri 295 ppm ile 75 ppm arasında değişmiştir. Çift yakıtlı çalışmada ise 232 ppm ile 280 ppm arasında değişmiştir (Şekil 4.5). Motor devrinde %30'luk bir artış NO_x tek yakıtlı çalışmada NO_x %293,33 oranda azalırken çift yakıtlı çalışmada ise NO_x %20,69 oranında artmıştır. Farklı motor devir sayılarının azotoksit (NO_x) üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi ve LSD testi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre tek yakıtlı ve çift yakıtlı çalışmalar da değişik devir uygulamalarının NO_x üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Hava fazlalık katsayısının (I) 1,79 ila 1,70 civarlarında olması nedeniyle NO_x emisyonları küçük bulunmuştur. Orta devirlerde I 'nin 1,60 civarında olması ve aynı zamanda püskürtülen yakıt miktarının artması NO_x 'leri arttırmaktadır. Motor güç ölçümleri, tam gaz durumunda yapıldığı için motor devrinin artmasıyla silindir ve yanma odası içerisindeki türbülans ta artacaktır. Türbülansın artması dizel motorlarında tutuşma gecikmesi süresini kısaltacağı için NO_x emisyonlarının da azalmasına yol açacaktır. Düşük devirlerde NO_x 'in çift yakıtlı çalışmada tek yakıtlı çalışmaya göre daha az çıkmasının nedeni, püskürtülen yakıt miktarının az olması ve aynı zamanda I değerinin 1,75 civarında olmasıdır. Her iki yakıt içinde, motor devri ile azot oksit arasındaki ilişki polinom olup ilişkinin korelasyon katsayısı çift yakıtlı sistemde $R = 0,908$ tek yakıtlı sistemde ise $R = 0,988$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.6: Dizel Yakıtlı ve % 30 LPG+ Dizel Yakıtlı çalışmanın motor devrine bağlı olarak O₂ eğrileri görülmektedir

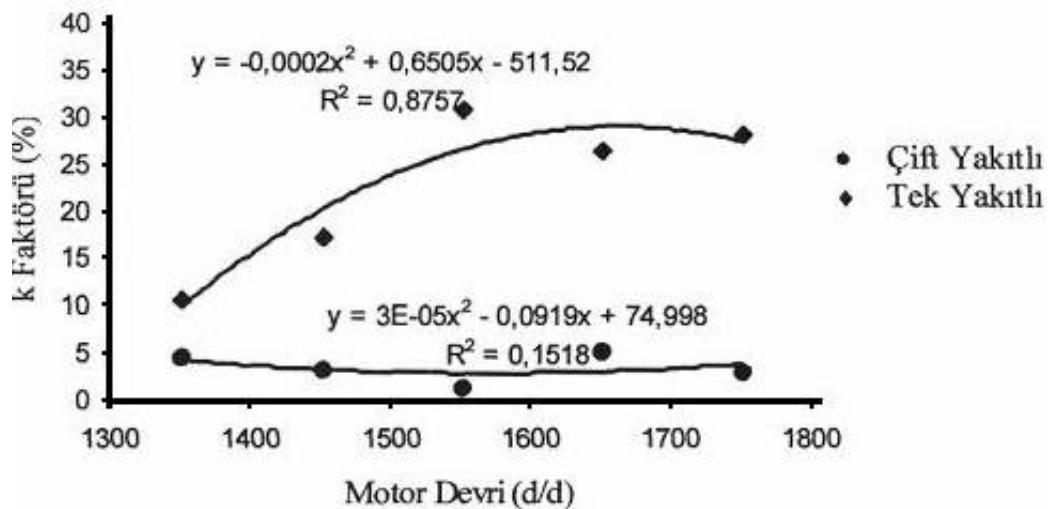
Motor devirlerine bağlı olarak tek yakıtlı çalışmada O₂ değerleri %9,1 ile %8,2 arasında değişmiştir. Çift yakıtlı çalışmada ise %13,2 ile %15 arasında değişmiştir (Şekil 4.6). Motor devrinde %30'luk bir artış, O₂ miktarını tek yakıtlı çalışmada O₂ % 10,97 oranında azalırken çift yakıtlı çalışmada ise O₂ %13,64 oranında artırmıştır. Farklı motor devir sayılarının O₂ üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi ve LSD testi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre tek yakıtlı ve çift yakıtlı çalışmalar incelendiğinde değişik devir uygulamalarının O₂ üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Başlangıçta çift yakıtlı çalışmada içeri alınan hava miktarının fazla olması sebebiyle oksijen miktarı yüksek çıkmıştır. Ancak motor devrinin orta kısımlarında silindir içerisine alınan hava miktarının azalması egzozdan çıkan oksijen miktarını azaltmıştır. Yüksek motor devirlerinde ise silindir içerisine alınan hava miktarının artması egzozdan çıkan oksijen miktarını artırmıştır. Dizel yakıtıyla çalışma esnasında oksijen miktarının düşme eğilimi göstermesi, motor devrinin artmasıyla silindir içerisindeki türbülansın artmasına neden olacaktır. Türbülansın artması, yanma esnasında yakıt ile oksijenin daha fazla reaksiyona girmesine ve oksijen miktarının azalmasına neden olmuştur. Her iki yakıt içinde, motor devri ile oksijen arasındaki ilişki polinom olup ilişkinin korelasyon katsayısı çift yakıtlı sistemde $R = 0,9287$ tek yakıtlı sistemde ise $R = 0,916$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.6).



Şekil 4.7: Dizel Yakıtlı ve % 30 LPG+ Dizel Yakıtlı çalışmanın motor devrine bağlı olarak hava fazlalık katsayısı eğrileri görülmektedir.

Motor devirlerine bağlı olarak tek yakıtlı çalışmada hava fazlalık katsayısı (I) değerleri 1,79 ile 1,65 arasında değişmiştir. Çift yakıtlı çalışmada ise 1,75 ile 1,58 arasında değişmiştir (Şekil 4.7). Motor devrindeki %30'luk bir artış, tek yakıtlı çalışmada I'yı %8,48 çift yakıtlı çalışmada ise %10,76 oranında azaltmıştır. Farklı motor devir sayılarının hava fazlalık katsayısının (I) üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi ve LSD testi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre değişik devir uygulamalarının tek yakıtlı çalışmada I üzerindeki etkisi önemsiz bulunmuştur. Çift yakıtlı çalışma da değişik devir uygulamalarının I üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Şekil 4.7'da görüldüğü gibi çift ve tek yakıtlı çalışmada da lamda değerleri azalma eğilimi göstermektedir. Bunun nedeni püskürtülen yakıt miktarının artmasıdır. Her iki yakıt içinde, motor devri ile hava fazlalık katsayısı arasındaki ilişki polinom olup ilişkinin korelasyon katsayısı çift yakıtlı sistemde $R = 0,97$ tek yakıtlı sistemde ise $R = 0,705$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.6).

Motor devirlerine bağlı olarak tek yakıtlı çalışmada k faktörü değerleri %10,8 ile %28,1 arasında değişmiştir. Çift yakıtlı çalışmada ise k faktörü değerleri % 4,6 ile % 3,1 arasında değişmiştir. Motor devrinde %30'luk bir artış, tek yakıtlı çalışmada k faktörünü % 160,18 oranında artırırken çift yakıtlı çalışmada ise k faktörünü %48,38 oranında azaltmıştır. Farklı motor devir sayılarının k faktörü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi ve LSD testi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre tek yakıtlı ve çift yakıtlı çalışmalar incelendiğinde değişik devir uygulamalarının k faktörü üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0,01$).



Şekil 4.8: Dizel Yakıtlı ve % 30 LPG+ Dizel Yakıtlı çalışmanın motor devrine bağlı olarak k faktörü eğrileri görülmektedir.

Silindir içerisinde homojen bir yakıt-hava karışımı sağlanamadığında, yanma sonucunda karbon birikintileri artar ve

buna bağlı olarak egzozdaki duman miktarı da artmaktadır. Aynı zamanda silindir içerisinde zengin karışım olduğunda da yanma sırasında yakıtın tamamı yanamayacağı için egzozdaki duman yoğunluğu artmaktadır. Çift yakıtlı çalışmada, LPG ile hava daha önce emme manifoldun da karışmakta ve tutuşma gecikmesi süresince silindire püskürtülen dizel yakıtı %30 daha az olduğu için daha yumuşak bir çalışma olmakta ve kurum teşekkülüne yol açan dizel yakıtının azaltılmış olması k faktörünün azalmasına neden olmuştur. Her iki yakıt içinde, motor devri ile k faktörü arasındaki ilişki polinom olup ilişkinin korelasyon katsayısı çift yakıtlı sistemde $R = 0,389$ tek yakıtlı sistemde ise $R = 0,935$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.8).

Bu çalışmanın temel amaçlarından birisi de tek ve çift yakıt sistemlerinin motor performans ve emisyon değerleri üzerindeki etkisini ortaya koymaktır. Bu amaçla güç, Ö.Y.T., NO_x , O_2 , X (hava fazlalık katsayısı), ve k faktörleri üzerinde yapılan ve her iki yakıt sistemleri arasındaki farklılığı ortaya koymayı amaçlayan varyans analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu farklı yakıt sistemlerinin güç, NO_x , O_2 , ve A, değerleri üzerindeki etkisi önemsiz, Ö. Y.T. ve k faktörü değerleri üzerindeki etkisi ise önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Sonuç olarak elde edilen bulgulara dayanılarak aşağıdaki önerilerde bulunulabilir;

- Meydana gelen egzoz emisyonlarında ve duman emisyonunda LPG oranını artırılmasıyla iyileştirme sağlanabilir.
- Ayrıca setan sayısının yükseltilmesi egzoz emisyonlarından NO_x ve duman emisyonlarında önemli miktarda azalma sağlanabilir.
- Çift yakıtlı çalışmada oluşan emisyonlar tek yakıtlı çalışmaya göre daha düşük olduğundan kapalı alanlarda çalışan fork-lift'lerde kullanılması daha uygun olabilir.
- Çift yakıtlı çalışmada meydana gelen tork ve gücün daha fazla çıkması sebebiyle ağır hizmet tipi araçlarda kullanılmasının araştırılması daha uygun olabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Anonim 1999. Araçlarda LPG Dönüşümü Mühendis El Kitabı., Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 217, Haziran, Ankara.
2. Anonymous , 2000. www. autogas.nl
3. Borat, O., Balci, M., Sürmen, A., 1995. İçten Yanmalı Motorlar Teknik Eğitim Vakfı yayınları cilt I Ankara.
4. Başer, A., 1998. Benzin Motorlarında Kısmi Gaz Kelebek Açıklığında LPG Kullanımı Üzerine Araştırma, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Ankara.
5. Felt, A., E., and Steele W., A., 1970. Combustion Control in Dual-Fuel Engines S.A.E. Paper No : 70644.
6. Goto, S., Lee, D., 1999. Development of LPG Di Diesel Engine using Cetane Number Enhancing Additives. S.A.E. Technical Paper Series : 1999-01-3602.
7. Poonia, P., M., Ramesh, A., Gaur, R. R. 1998. Effect of Intake Air Temperature and Pilot Fuel Quantity on the Combustion Characteristics of a LPG Diesel Dual Fuel Engine. S.A.E. Technical Paper Series : 982455.
8. Schoemaker, P. 1996. LPG: Alternative to Urban Public Transportation in the Future. I. Ulusal Ulaşım Sempozyumu, İstanbul.