

**TAM YÜKTE ÇALIŞAN İNDİREKT PÜSKÜRTMELİ BİR DİZEL MOTORUNDA,  
DİZEL VE DİZEL-ETANOL YAKIT KARIŞIMLARININ PERFORMANS VE EMİSYON  
DEĞİŞİMLERİNE ETKİSİ**

**İsmet ÇELİKTEN**

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

**ÖZET**

Etanol, yenilenebilir bir yakıt olup tarımsal fermentasyon içerisinde farklı yöntemlerle üretilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olmasından dolayı, günümüzde, içten yanmalı motorlarda direkt yakıt olarak ve karışım halinde kullanılmaktadır.

Bu araştırmada, İndirekt Püskürtmeli Dizel Motorunda (IDI) tam yükte dizel ile %10 oranlarında etanol-dizel karışımı yakıt olarak kullanıldı. Çalışmalarda, motor performansı (güç, tork, yakıt tüketimi) ve emisyonlar (O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve % duman koyuluğu) ile ilgili değişimler incelendi.

Araştırma sonucunda, dizel yakıtına %10 oranında etanol ilave edilmesi ile motor gücünde ve torkunda düşüşler, yakıt tüketim miktarında da azalmalar meydana gelmiştir. Bunun yanında O<sub>2</sub> artar iken, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonları kısmen, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve duman emisyonlarında ise oldukça fazla oranlarda azalmalar tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** İndirekt dizel motorları, Etanol, Performans, Emisyon

**EFFECTS OF DIESEL AND DIESEL/ETHANOL FUEL MIXTURES TO PERFORMANCE AND  
EMISSIONS CHANGES IN IDI AT  
MAXIMUM LOAD**

The ethanol is a renewable fuel, and can be produced with different methods in agricultural fermentation. Because it is from renewable energy resources, the ethanol has been used in the internal combustion engines as a direct fuel or a mixture nowadays.

In this research, ethanol/diesel (10/90 ratio) mixture has been used at maximum load in IDI. In the study, engine performance values such as power, torque, and specific fuel consumption and emissions such as O<sub>2</sub>, CO, have been investigated.

At the end of the research, it is shown for the ethanol/diesel mixture that engine power, torque, and specific fuel consumption have decreased. In addition, O<sub>2</sub> emission has increased while NO<sub>x</sub>, CO –just a little-, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and smoke level –a good deal- emissions have decreased.

**Key Words:** IDI Diesel engines, Ethanol, Performance, Emissions.

**1. GİRİŞ**

Araştırmalar dünya petrol rezervlerinin gün geçtikçe azaldığını göstermektedir. Petrol rezervlerindeki bu azalmalar bilim adamlarını yeni yenilenebilir enerji kaynaklarının arayışlarına sevk etmiştir. Alkol sınıfı (metanol ve etanol) yakıtlar da bu enerji kaynaklarından en önemlilerinden birisidir.

Etanol dizel motorlarında 1970'li yıllardan beri kullanılmaktadır. Araştırmalara göre etanolun kullanılması partikül miktarlarındaki azalmalara sebep olmuştur. Daha sonraları, belirli ülkelerde etanol üretiminin ekonomik olması kullanma hızını arttırmıştır.

Metanol kömür veya petrolden üretilir (1). Etanol ise, yenilenebilir yakıtlardan. arpa, mısır, şeker pancarı, şeker kamışı gibi yeşil bitkilerin fermantasyonu ile elde edilir. Etanolun düşük emisyonu sebep olması dizel yakıtı ile karışım yapması, kullanımını avantajlı kılmaktadır. Dolayısıyla etanol, Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarında (CI) uzun zamandan beri kullanılmaktadır (2,3).

Etanol farklı karışımlar arasında dizel motorlarında kullanılmıştır (4). Yapılan bu çalışmaya göre, etanolun dizel motorlarında düşük sıcaklıklarda kullanımı esnasında karışım ve geri dönüş sisteminde küçük değişiklikler gerekebilir (5).

Etanolun içerisinde yer alan aromatik miktarları ve normal damıtma sıcaklıkları karışım etkisini sınırlandırmaktadır. Özellikle rotorlu tip (DPA) yakıt enjeksiyon pompalarının yağlanması viskozite ve yağlama önemli rol oynar. Sıra tipi pompalarda ise yağlama DPA pompalar kadar önemli değildir (6).

Dizel yakıtına etanol ilave edilmesi ile, dizel-etanol karışımının farklı fiziksel ve kimyasal değişimler göstermesi sonucu, viskozite ve ısı değişimlerinde kısmi azalmalara neden olmaktadır (7). Belirtilen nedenlerden dolayı dizel-etanol karışım oranlarının belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılır.

Dizel motorlarında etanol ile ilgili çalışmalar dört farklı şekilde olmaktadır. Bu yöntemler; enjektörden direkt olarak alkol-dizel yakıt karışımının püskürtülmesi (8,4,9,10), alkol buharının emme manifolduna püskürtülmesi (2,4,11,12,13,19), alkol-dizel yakıtlarının bir karıştırıcı içinden ayrı ayrı gönderilmesi (15,16) ve her iki yakıtın çift enjektörlü sistemle püskürtme şeklindedir.

Yukarıda belirtilen yöntemlerden en etkililerinin, alkolün buhar ve dizel karışımı şeklinde gönderilmesinin performans ve emisyonlar yönünden avantajlı olduğu, bu ikisi arasında en avantajlısının ise alkolün buhar olarak gönderilmesinin olduğu belirtilmektedir (4). Bu iki yöntemin en büyük avantajı, ilave teknik düzenlemelere gerek duymaması ve uygulamaların kolay olmasıdır. Ayrıca, az miktarda etanol karışımının gönderilmesi bu yöntem için iyi sonuçlar vermektedir (10). Etanol-dizel karışımlarında etanolun yüksek oranlarda bulunması durumunda izopropanolun ilave edilmesi karışımın daha iyi olması için önemlidir (1,6,16, 17,18, 20). Etanolun %10-20 oranlarında ilavesinin etkileri bio-dizelerde incelendi. İncelemeler sonucu %10-20 oranlarındaki ilaveler yakıt ayarı için uygun bulundu (19).

İndirekt Püskürtmeli Dizel Motorları ile ilgili performans ve emisyon değişimleri, değişik enjeksiyon basınçlarında da inceleme konusu yapılmıştır (20, 21). Aynı değişimlerin, etanol-dizel karışımları ile de farklılık doğuracağı düşünülmektedir.

Dizel yakıtına yapılan ilave katkı maddeleri ile yakıt fazı dengelenmekte ve etanol-dizel karışımlarında setan sayısı artmaktadır. Yapılan bu ilaveler ile, yanma periyodu düzensiz olarak artmakta ve tutuşma gecikme, bunların sonucunda da maksimum güç düşmekte ve NO<sub>x</sub> emisyonları da kısmen artmaktadır.

Bu çalışmada, etanol-dizel yakıt karışımı kullanıldı. Dizel yakıtına %10 etanol ve %1 izopropanol ilavesi IDI motorlarında performans ve CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve duman emisyonlarında belirli sınırlamalara neden oldu. Yapılan çalışmalar sadece motorun tam yüklerinde gerçekleştirildi.

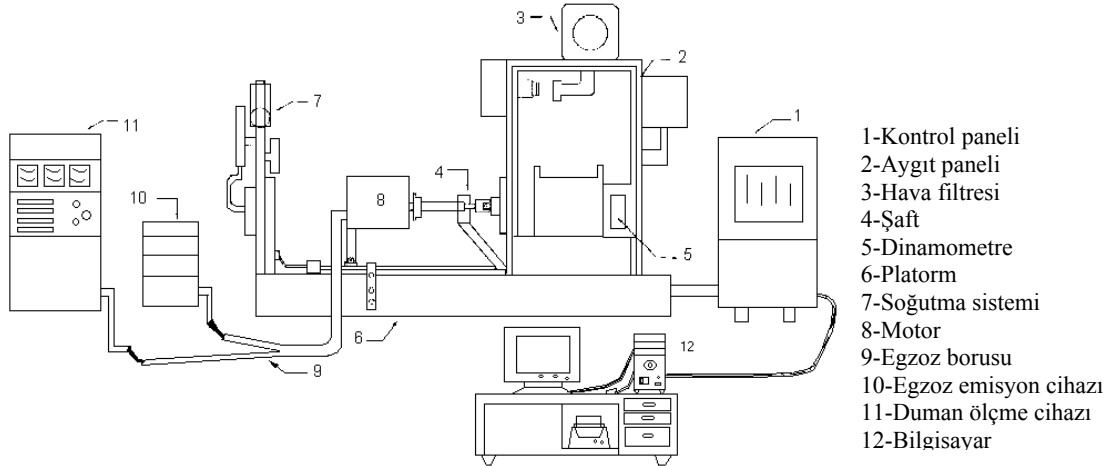
## 2. DENEYSEL ARAÇLAR VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Deneylerde IDI dizel motoru, elektrikli dinamometre, gaz analiz ve duman miktarını ölçen cihazlar kullanılmıştır. Dizel motoru ile ilgili değerler Tablo.1'de verilmektedir.

Tablo 1. Dizel motorunun özellikleri

Tipi	Ford XLD 418T Turboşarjlı, 4 zamanlı, su soğutmalı, IDI.
Silindir sayısı	4
Silindir çapı	82,5 mm
Kursu	82,0
Silindir hacmi	1,753 litre
Sıkıştırma oranı	21,5/1
Maksimum gücü	4500 d/d de 55 kW
Maksimum torku	2200 d/d de 152 Nm
Püskürtme pompası	DPA

Cussons-P8653 tipi elektrik dinamometre ile birleştirilmiş motor test düzeneğinde, ölçüm aletleri ve kontrol ünitesi bulunmaktadır. Elektrikli dinamometre 90 KW lık gücü yutabilen DC motoru olup, maksimum torku 200Nm ve devri 6000 dev/dak dır. Hava-yakıt oranı, yakıt akış oranı, yük, devir ve sıcaklık değişimleri ölçülerek bilgisayar ortamında kaydedildi. Bunlara ilave olarak Gaco-SN gaz analiz cihazı ile egzozdan çıkan O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> değişimleri ve VLT 2600 cihazı ile de SO<sub>2</sub> ve Duman miktarları ölçüldü. Deneylerle ilgili tüm ölçüm seti Şekil.1 de görülmektedir.



Şekil.1. Deney seti

### 3. TEST İŞLEMİ

Yapılan test çalışmalarının tamamında motorun gücü, torku, özgül yakıt tüketimi, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> emisyonları ve duman miktarları ölçüldü.

Enjektör basıncı motorun orijinal değeri olan 150 bara ayarlandı. Motor boşta çalıştırılarak ısınması sağlandı. Daha sonra motor hızı maksimum güç devri olan 4500 d/d'ya getirildi. 500'er devir aralıklarında 1500 d/d'ya kadar düşürüldü. Her 500 d/d aralıklarında biraz beklenildi. Motor dengeye geldikten sonra performans ve emisyonlarla ilgili ölçümler alındı.

Deneyler tam yükte yapıldı. Deneylerde No.2 dizel yakıtı ve etanol karışımı (%10 etanol+%90 dizel No.2 yakıtı) kullanıldı. Etanol-dizel ile yapılan çalışmalarda etanol-dizel faz ayrışmasını önlemek ve homojen dağılımını sağlamak için %1 oranında izopropanol ilave edildi. Çalışmalarda yakıtlar, belirtilen oranlarda karışım şeklinde enjektörler vasıtası ile motor silindirler içerisine püskürtüldü.

Yapılan tüm çalışmalar, ilk önce dizel yakıtı ile, daha sonra da etanol karışımı ile tekrarlandı. İlgili çalışmaların içeren bulgular, 4. kısımdaki deney sonuçları içerisinde yer verilmektedir.

#### 4. DENEYSEL SONUÇLAR

##### 4.1 Güç, Tork ve Özgül Yakıt Tüketimi Değişimleri

Dizel yakıtına göre, etanollü yakıt karışımı kullanıldığında motor gücü ortalama olarak 5 kW ve motor torku da 10 Nm kadar düşmektedir (Şekil.2 ve Şekil.3). Özgül yakıt tüketiminde ise, kW/h başına 50 g kadar azalma olmaktadır (Şekil.4).

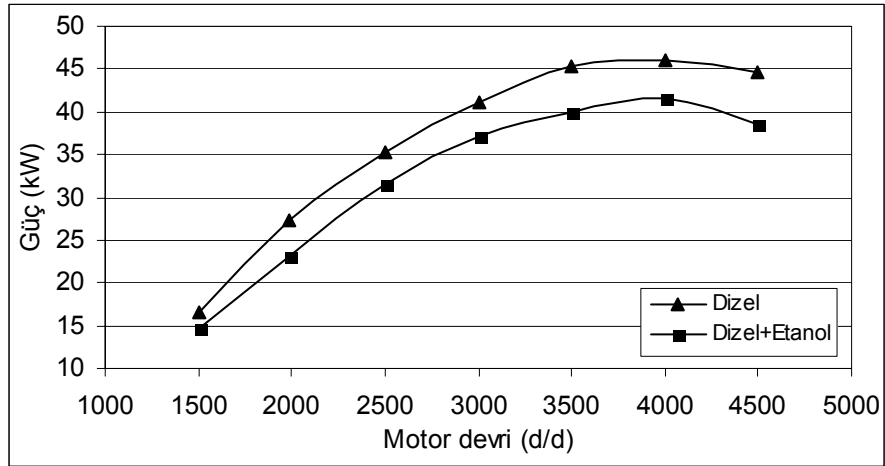
##### 4.2 Emisyon Değişimleri

Etanol oldukça fazla oksijen içerdiği için, No.2 yakıtına göre etanol karışimli yakıtın O<sub>2</sub> miktarları ortalama olarak %2-3 civarında artmıştır (Şekil.5). Etanol yakıtı dizel yakıtı içerisinde iyi bir şekilde karışmadığında yanmanın da kısmen bozulduğu ve CO fazlalığı olduğu düşünülmektedir (Şekil.6). Dizel yakıtına göre etanol karışimli yakıtın içerisinde fazla O<sub>2</sub> bulunduğundan yanma daha iyi olmakta ve bunun sonucunda da % CO<sub>2</sub> miktarı oldukça azalmaktadır (Şekil.7).

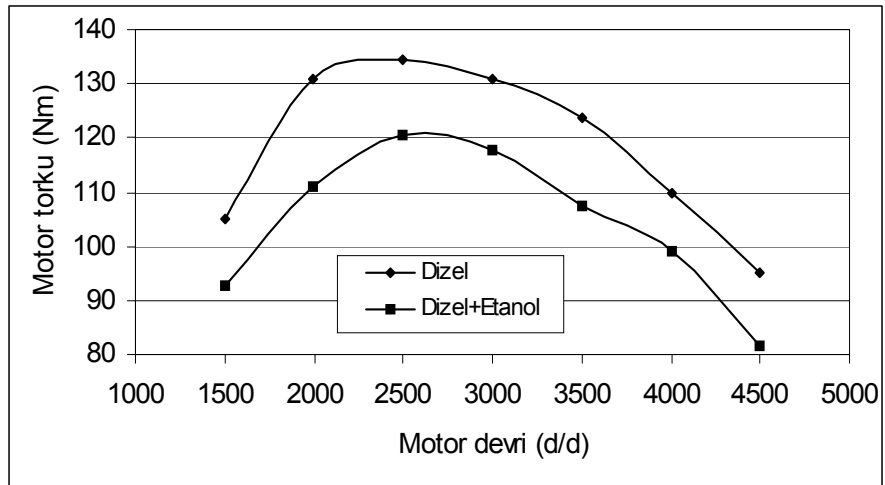
NO<sub>x</sub> ler etanol karışımında motorun düşük devirlerinde fazlaca oluşmakta, maksimum tork devirlerinden itibaren azalmaktadır (Şekil.8), SO<sub>2</sub> emisyonları da etanol içerisinde yer almadığında dizel çalışmaları içerisinde 200 ppm in üzerinde seyrederken etanol karışimli yakıt içerisinde bu miktar 50-100 ppm arasında seyretmektedir (Şekil.9), % duman miktarlarında ise dizel yakıtına göre etanol karışimli yakıtta %10 civarında bir azalma olmaktadır (Şekil.10).

#### 5.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

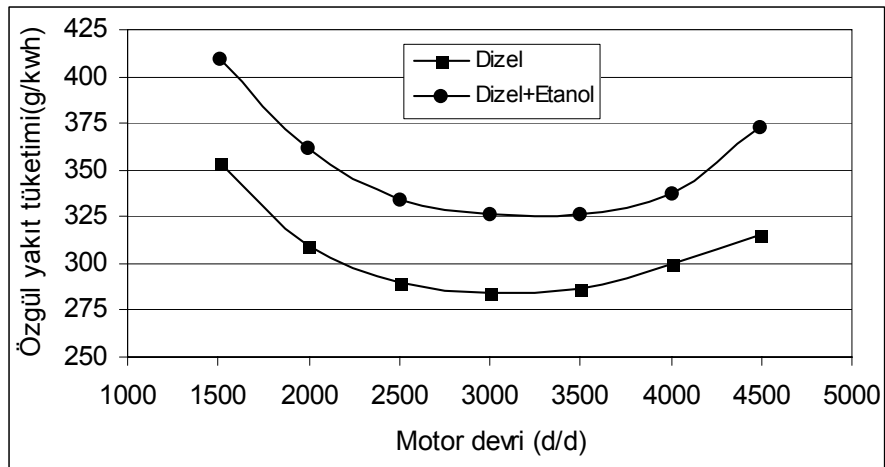
1. Motor tork ve gücünde meydana gelen düşme neticesinde yakıt tüketiminde de azalmalar ortaya çıktığı gibi, etanolün kullanılmasının da yakıt tüketiminin azaltılmasında etkili olmuştur.
2. Etanol, içerisinde O<sub>2</sub> bulundurduğundan dolayı, etanollü karışımın yanması sonucu dizel yakıtına göre daha fazla miktarda O<sub>2</sub> meydana gelmiştir.
3. Etanol-dizel karışımı sonucu oluşan CO miktarlarındaki fazlalık, etanolün dizel yakıtı içerisinde yeterince karışmadığı şeklinde olduğu düşünülmektedir.
4. Etanol-dizel yakıtı ile yapılan çalışmalarda, CO<sub>2</sub> değişimleri ortalama %12-13 arasında değişirken dizel yakıtında ise bu oran %10-11 ler arası seyretmekte olup, karışımın içerisinde yeterince O<sub>2</sub> bulunduğundan dolayı yanmanın iyi olduğunu göstermektedir.
5. NO<sub>x</sub> değişimleri dizel yakıtına göre bir miktar fazla gözükmeyle birlikte ortalama 425 ppm civarındadır. Dizelerde bu miktar 400-500 ppm arasında seyretmektedir. Belirtilen bu sonuca göre, dizel-etanol karışimli yakıtta NO<sub>x</sub> emisyonlarında kısmen azalmaların olduğu söylenebilir.
6. SO<sub>2</sub> miktarları etanol-dizel karışımında 50-100 ppm arasında seyrederken, dizel yakıtında bu miktar genelde 200 ppm in üzerinde seyretmektedir. Bu durum, eğilim çizgisine göre %50-60 civarında azlığa tekabül etmektedir.
7. Etanol-dizel karışımında % Duman koyuluğu ortalama olarak %10 civarında daha az bulunmuştur.
8. Etanolün kullanılması, petrol tüketiminin, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve % Duman miktarının azalmasına neden olacaktır.
9. Etanolün dizel yakıtı içerisindeki farklı oranlardaki karışımları ve bu karışımlara uygun enjektör basınç ayarları değişimleri ile çalışmalara devam edilmesinin motor performansı ve emisyonların iyileştirilmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.



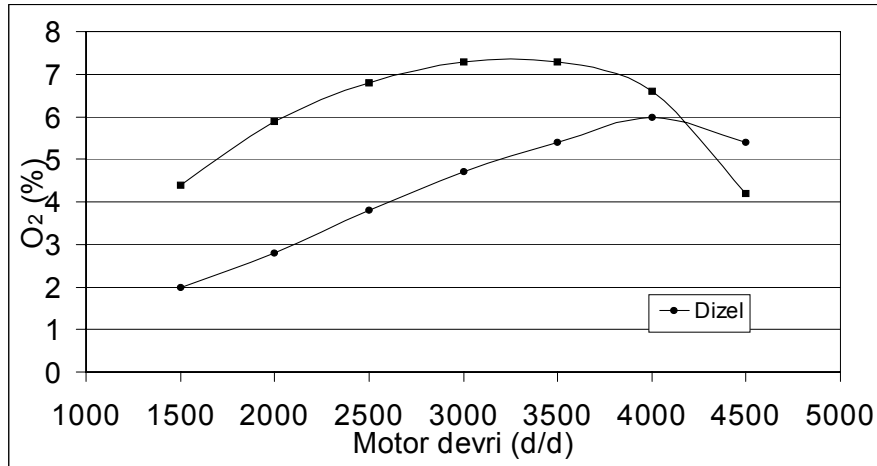
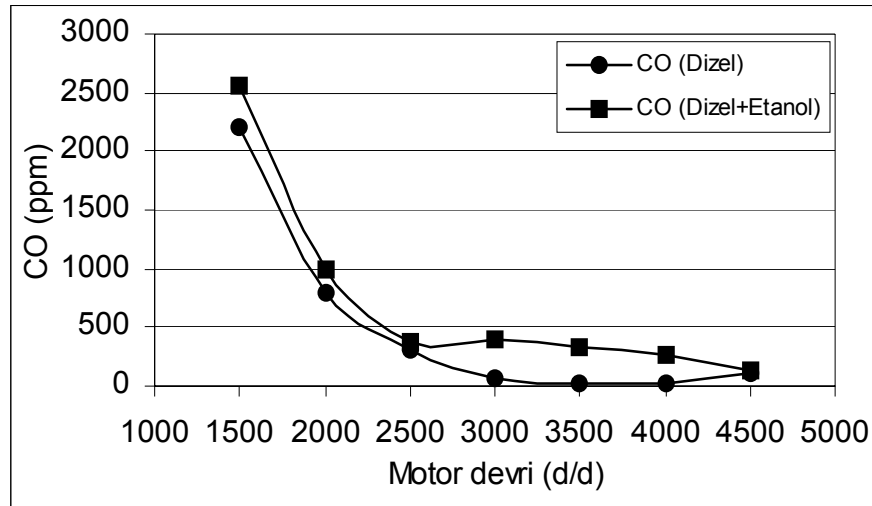
Şekil.2. Güç değişiminin motor devri ile değişimi



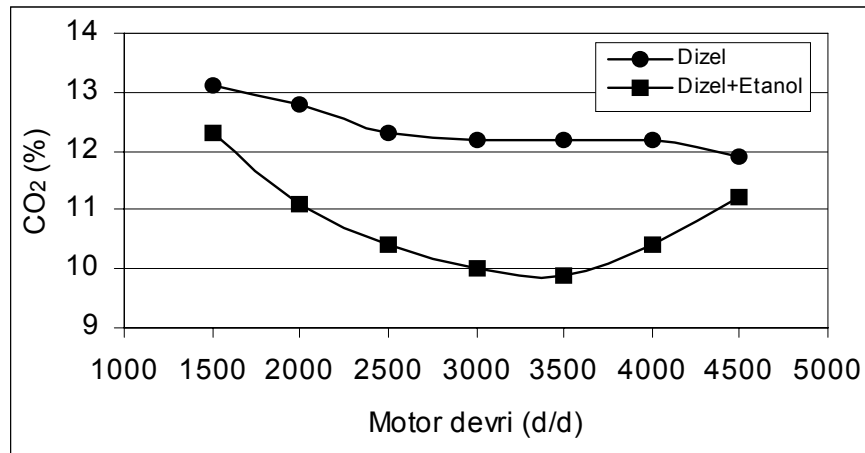
Şekil.3. Tork değişiminin motor devri ile değişimi

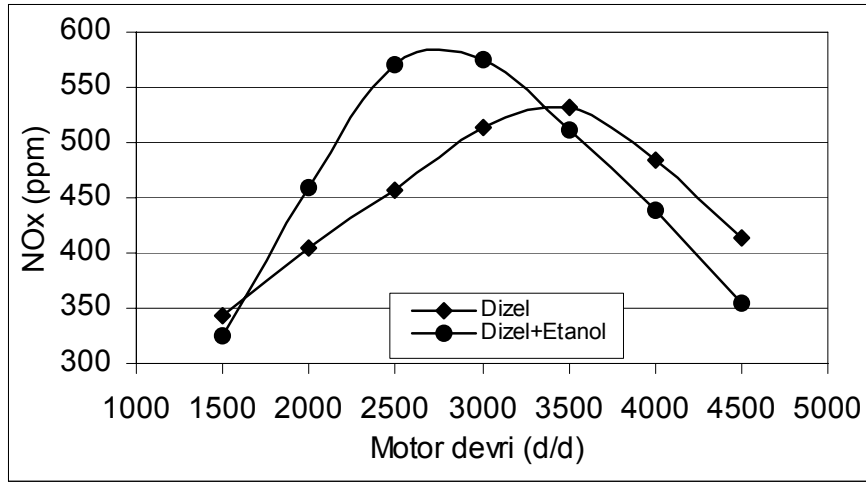


Şekil.4. Özgül yakıt tüketiminin motor devri ile değişimi

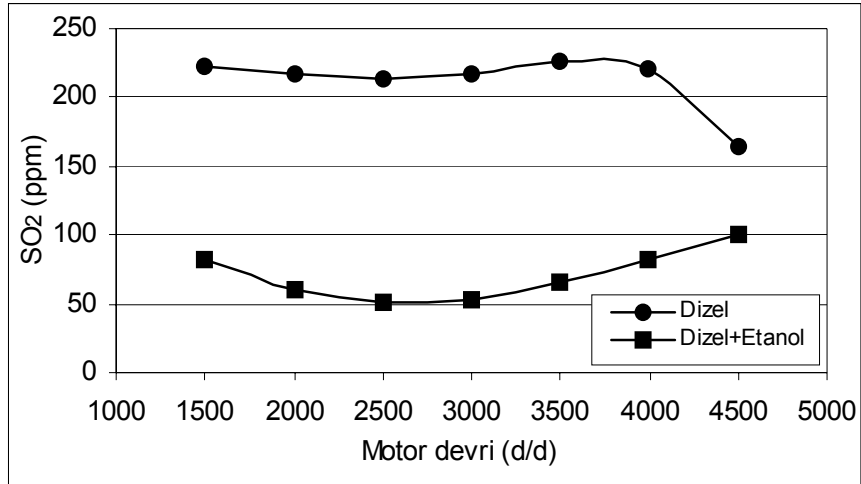
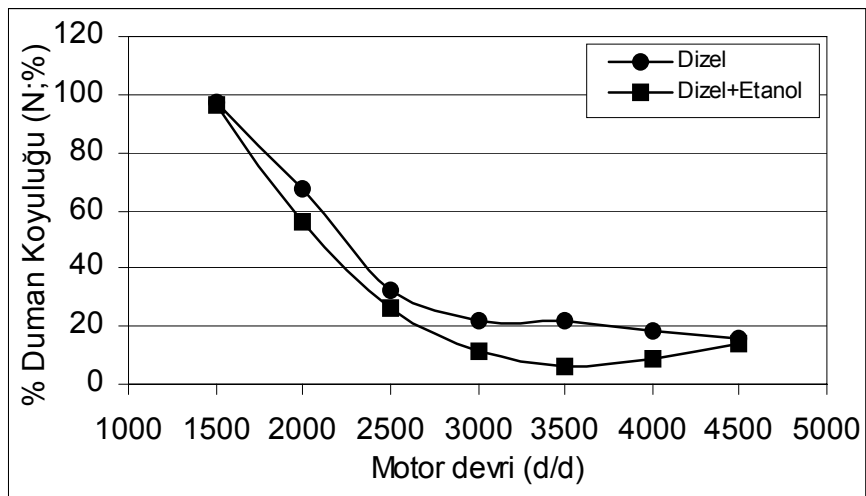
Şekil.5. O<sub>2</sub>'nin motor devri ile değişimi

Şekil.6. CO değişiminin motor devri ile değişimi

Şekil.7. CO<sub>2</sub> değişiminin motor devri ile değişimi



Şekil.8. NOx değişiminin motor devri ile değişimi

Şekil.9. SO<sub>2</sub> değişiminin motor devri ile değişimi

Şekil.10.% Duman Koyuluğunun motor devri ile değişimi

## KAYNAKLAR

1. Eugene EE., Bechtold RL., Timbario TJ., McCallum PW. "State-of-the-art report on the use of alcohols in diesel engines", **SAE Paper** No. 840118, 1984.
2. Hayes TK., Savage LD., White RA., Sorenson SC., "The effect of fumigation of different ethanol proofs on a turbo-charged diesel engine", **SAE Paper** No. 880497, 1988.
3. Beer., T., Grant, T., Williams, D., Watson, H., "Fuel-cycle greenhouse gas emissions from alternative fuels in Australian heavy vehicles", **Atmospheric Environment**, 753-763, 2002, VL 36, IS 4.
4. Abu-Qudais., M, Haddad, O, Qudaisat, M, "The effect of alcohol fumigation on diesel engine performance and emissions", *Energy Conversion And Management*, TC 1, 389-399, 2000, VL 41, IS 4.
5. Gerdes, KR., Suppes, GJ., "Miscibility of ethanol in diesel fuels", **Industrial & Engineering Chemistry Research**, TC 1, 949-956, 2001, VL 40, IS 3.
6. Hansen A.C., Lyne PWL., Zhang Q., "Ethanol-diesel blends: A step towards a bio-based fuel for diesel engines", An **ASAE Meeting Presentation** UILU 2001-7011, Paper Number: 01-6048, 2001.
7. Henham, AWE., Johns, RA., Newnham, S., "Development of a Fuel-Tolerant Diesel For Alternative Fuels", **International Journal of Vehicle Design**, 296-303, 1991, VL 12, IS 3.
8. Reddy, CVR., Krishna, MVSM., Prasad, CMV., "Studies an exhaust emissions in semi-adiabatic compression ignition engine with alternate fuels", **Indian Journal Of Engineering and Materials Sciences**, 249-255, 1999, VL 6, IS 5.
9. Murayama, T., Miyamoto, N., Yamada, T., Kawashima, J., "A Study On Diesel-Engines With Alcohol Fuels (Engine Performance With Ethanol-Castor Oil Fuel Blends)", **Bulletin of The JSME-Japan Society Of Mechanical Engineers**, Tc 0, 1043-1049, 1983, VI 26, Is 216.
10. Bilgin, A., Durgun, O., Sahin, Z., "The effects of diesel-ethanol blends on diesel engine performance", **ENERGY SOURCES**, 431-440, 2002, VL 24, IS 5.
11. Ajav, EA., Singh, B., Bhattacharya, TK., "Experimental study of some performance parameters of a constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel", **Biomass & Bioenergy**, TC 1, 357-365, 1999, VL 17, IS 4.
12. Ajav, EA., Singh, B., Bhattacharya, TK., "Thermal balance of a single cylinder diesel engine Operating on alternative fuels", **Energy Conversion And Management**, 1533-1541, 2000, VL 41, IS 14.
13. Broukhiyan EMH., Lestz SS., "Ethanol fumigation of a light duty automotive diesel engine", **SAE Paper** No. 811209, 1981.
14. Goering, CE., Crowell, TJ., Griffith, DR., Jarrett, MW., Savage, LD., "Compression-Ignition, Flexible-Fuel Engine", **Transactions Of The Asae**, Tc 1, 423-428, 1992 Mar-Apr, VI 35, Is 2.
15. Boruff, P.A., Schwab, A.W., Goering, C.E., Pryde, E.H., "Evaluation of Diesel Fuel - Ethanol Micro-Emulsions", *Transactions of The ASAE*, V 25, 9, 47-53, 1982.
16. Asfar, KR., Hamed, H., "Combustion of fuel blends", **Energy Conversion And Management**, 1081-1093, 1998, VL 39, IS 10.
17. Weidmann K., and Menrad H., 'Feet test, performance and emissions of diesel engines using different alcohol-diesel fuel blends', **SAE Paper** No:841331, 1984.
18. Likos B., Callahan T.J. and Moses C.A., "Performance and emissions of ethanol and ethanol-diesel blends in direct-injected and pre-chamber diesel engines", **SAE Paper** No: 821039, 1982.
19. Satge´ de Caro P., Mouloungui Z., Gaset A.J., "**Am Oil Chem Soc**" 1997; 74 (3):235.
20. Çelikten, İ., "An Experimental Investigation of The Effect of The Injection Pressure On Engine Performance And Exhaust Emission In Indirect Injection Diesel Engines", **Applied Thermal Engineering**, 23 (2003), 2051-2060.
21. Karakuş, N., "Yakıt Özelliklerinin Dizel Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi", **Doktora Tezi**, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.