

TURBO ŞARJLI BİR DİZEL MOTORDA YAKIT OLARAK BİYODİZEL KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ

Can HAŞİMOĞLU, Yakup İÇİNGÜR* ve İbrahim ÖZSERT

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 54187 Esentepe Kampüsü, Sakarya

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

canhasim@sakarya.edu.tr, icingur@gazi.edu.tr, ozsert@sakarya.edu.tr

(Geliş/Received: 06.04.2007; Kabul/Accepted: 24.07.2007)

ÖZET

Bu çalışmada kullanılmamış rafine ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilerek, bu yakıtın aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorunun kısmi yük şartlarındaki performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişimlerde biyodizelin alt ısı değerinin motorine göre daha düşük olmasının başlıca etken olduğu sonucuna varılmıştır. Yakıt olarak biyodizel kullanılması ile genel olarak özgül yakıt tüketimi, verim ve azot oksit emisyonları artmış, egzoz gazı sıcaklığı ve duman koyuluğu azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, dizel motoru, egzoz emisyonu, transesterifikasyon.

EFFECT OF BIODIESEL USAGE TO ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS OF A TURBOCHARGED DIESEL ENGINE

ABSTRACT

In this study biodiesel was produced from unused and refined sunflower oil by transesterification method. The effect of this fuel on the performance and exhaust emissions of a turbocharged direct injection diesel engine has been investigated, experimentally, at part load conditions. After the experimental studies, it has been concluded that changes in engine performance and exhaust gas emissions was mainly affected from lower heating value of the biodiesel with respect to diesel fuel. Generally, specific fuel consumption, efficiency and nitrogen oxide emission were increased; exhaust gas temperature and smoke opacity were decreased with use of biodiesel.

Keywords: Biodiesel, diesel engine, exhaust emission, transesterification.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Petrolün belirli bir rezerve dayalı sonlu kaynak olması ve içten yanmalı motor teknolojisinin de büyük oranda petrole bağlı olarak gelişmesi, mevcut teknolojide fazla bir değişiklik yapmadan, dizel yakıtına alternatif olabilecek yeni yakıtların araştırılarak ortaya konulmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu konuda özellikle, ülkemizde de olduğu gibi tarımsal potansiyeli yüksek olan ülkelerde bitkisel yağlar ön plana çıkmaktadır.

Bitkisel yağların, dizel motorlarında doğrudan kullanılması çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Bitkisel yağların dizel motorlarındaki püskürtme, atomizasyon ve yanma karakteristikleri HC esaslı dizel yakıtlarına göre çok

farklıdır. Bitkisel yağların viskozitesinin yüksek, uçuculuğunun düşük olması onların dizel motorlarında yakıt olarak kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek viskozite, püskürtme işlemi olumsuz etkilediğinden yakıtın atomizasyonu kötüleşmektedir. Hava ile bitkisel yağın düzgünce karışmaması eksik yanmaya sebep olmaktadır. Yüksek viskozite ayrıca enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikintisine ve yağlama yağının bozulması problemlerini doğurmaktadır. Parlama noktasının yüksek olması, uçuculuk özelliğinin az olduğunu gösterir. Bu ise yanma odasında daha fazla birikintiye, enjektör ucunda karbonizasyona ve segman yapışmasına neden olmaktadır. Viskozitenin yüksek, uçuculuğun düşük olması soğukta ilk hareket

zorluğuna, alev sönmesine ve tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına sebep olmaktadır [1,2,3].

Bitkisel yağların alternatif dizel yakıtı olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi ya püskürtme basınç ve zamanının değiştirilmesi gibi motorda bir takım değişiklikler yapılarak ya da bitkisel yağlara ısı veya kimyasal yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır.

Dizel motorlarında kullanılmak üzere bitkisel ya da hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen, uzun zincirli yağ asitlerinin mono alkil esterleri biyodizel olarak tanımlanır. Bitkisel yağlardan biyodizel elde edilmesi konusundaki çalışmaların çoğunluğunu, yüksek viskozitenin azaltılması oluşturmaktadır [4,5]. Viskoziteyi azaltmada kullanılan en etkili yöntem transesterifikasyondur. Transesterifikasyon, bitkisel yağların monohidrik bir alkolle (metanol, etanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) varlığında esas ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek yeniden esterleştirilmesi işlemidir [1]. Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir. Biyodizel olarak genellikle, bitkisel yağlardaki trigliseridlerin metanol ile transesterifikasyonu neticesinde elde edilen yağ asidi metil esterleri kastedilmektedir [1,6].

Modern dizel motorlarının çoğunda direkt püskürtmeli yakıt sistemleri mevcuttur. Bu motorlar yakıt demetinin kalitesine karşı indirekt püskürtmeli motorlara göre daha hassastırlar. Dolayısıyla kullanılacak yakıtın özelliklerinin mümkün olduğunca dizel yakıtınıninkine yakın olması istenir [7]. Biyodizelin yakıt özellikleri motorininkine çok yakındır. Trigliseridlerin transesterifikasyon ile metil ya da etil estere dönüştürülmeleri sonucunda, molekül ağırlıkları yaklaşık üçte iki oranında azalmakta, buna bağlı olarak viskoziteleri yaklaşık sekiz kat azalırken, uçuculukları da önemli miktarda artmaktadır. Uçuculuk önemli ölçüde iyileştigiğinden dolayı soğukta ilk hareket problemleri azalmaktadır. Biyodizelin hacimsel ısı değeri motorinden yaklaşık % 12 daha az olmakla birlikte, setan sayısı ve parlama noktası daha yüksektir. Ayrıca ester yakıtların dumanlanma ve akma noktaları da dizel yakıtınıninkinden daha yüksektir [1].

Antolin ve ark. [8] ayçiçek yağından ürettikleri biyodizeli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda denemişlerdir. Kısa ve uzun süreli test sonuçları biyodizelin mevcut motorda fazla değişiklik yapılmadan kullanılabilceğini göstermiştir. Biyodizelin ısı değerinin dizel yakıtına göre % 12 daha az olmakla birlikte, bunun yüksek yoğunluk ile dengeleneceğini, böylece toplam kaybın % 6'dan daha az olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca biyodizel kullanımında CO, HC, NO_x ve CO₂ emisyonlarının dizel yakıtına göre daha düşük ya da aynı seviyede olduğunu, duman emisyonunun ise daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

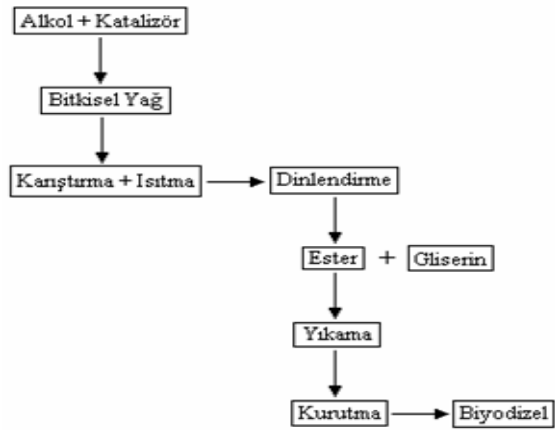
Oğuz [9] maksimum gücü 60 kW, maksimum döndürme momenti 265 Nm, sıkıştırma oranı 17/1 olan, doğal emişli, dört silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda fındık yağı metil esterini tam yük şartlarında denemiştir. Biyodizel kullanılması ile maksimum döndürme momentinde % 9,3 azalma olurken motor gücü hemen hemen aynı kalmış, özgül yakıt tüketimi % 10,2 artmıştır. Duman emisyonu ortalama % 43,5 azalmış, CO emisyonu düşük ve yüksek hızlarda azalmasına rağmen, orta hızlarda artmıştır. CO₂ emisyonu ortalama % 10,64 azalmış, yanmamış HC emisyonları beş kat artış göstermiştir.

Dorado ve ark. [10] maksimum gücü 34 kW, maksimum döndürme momenti 162,8 Nm olan 2,5 litrelik, üç silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda atık zeytin yağından ürettikleri biyodizeli Mod 8 çevrimine göre test etmişlerdir. Biyodizel kullanılmasıyla CO emisyonlarında % 58,9, CO₂ emisyonlarında % 8,6 ve SO₂ emisyonlarında % 57,7'ye varan iyileşmeler sağlanırken, NO_x emisyonları % 32 kötüleşmiştir. Ayrıca fren özgül yakıt tüketiminde % 8,5'e varan kötüleşmeler olmuş; fakat bunun emisyonlardaki iyileşme ile telafi edilebileceğini belirtmişlerdir.

Da Silva ve ark. [11] maksimum gücü 180 kW, maksimum döndürme momenti 900 Nm olan 6 silindirli, aşırı doldurmalı, 9,6 litrelik bir dizel motorunda ayçiçek metil esterini dizel yakıtına hacimsel olarak % 5 ve 30 oranlarında karıştırıp denemişlerdir. Deneyler sonucunda motor performansı ve özgül yakıt tüketiminde önemli bir kötüleşme olmadığını, % 30 biyodizel ilavesi ile duman emisyonunun azaldığını tespit etmişlerdir. Dizel yakıtına ayçiçek metil esteri katılmasıyla yüksek motor yüklerinde CO emisyonunun azaldığını, ve NO_x emisyonlarının ise dizel yakıtı kullanıldığı duruma göre pek değişmediğini belirtmişlerdir.

Çanakçı ve ark. [12] soya metil esterini saf olarak ve dizel yakıtı ile % 20 oranında karıştırarak maksimum gücü 57 kW, maksimum torku 305 Nm olan dört silindirli, turboşarj bir dizel motorunda tam yük şartlarında denemişlerdir. Deneyler sonucunda, biyodizel ve biyodizel karışımlarının ısı verimleri No.2 dizel yakıtına çok yakın çıkmıştır. Biyodizelin fren özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre yaklaşık % 14 daha fazla çıkmıştır. Bunun ise biyodizelin ısı veriminin dizel yakıtına göre yaklaşık % 12 daha az olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Biyodizel kullanılması ile duman emisyonları yaklaşık % 60, CO emisyonları yaklaşık % 20 ve yanmamış HC emisyonları yaklaşık % 45 azalırken, CO₂ emisyonları yaklaşık % 2 ve NO_x emisyonları yaklaşık % 13 artmıştır.

Bu çalışmada direkt püskürtmeli turbo şarjlı bir dizel motorunda kısmi yük şartlarında biyodizel kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.



Şekil 1. Biyodizel üretim aşamaları. (Biodiesel production steps)

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Deneylerde kullanılan biyodizel yakıtı kullanılmamış rafine ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim dalı laboratuvarlarında üretilmiştir. Biyodizel üretiminin aşamaları Şekil 1’de görülmektedir.

Transesterifikasyon işleminde 5:1 (yağ/alkol) molar oranında metanol ve litre başına 3,5 gram potasyum hidroksit (litre yağ/katalizör) katalizör kullanılarak reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Bitkisel yağ reaksiyon tankına konularak 60°C’ye ısıtıldı ve bir termostat vasıtasıyla reaksiyon süresince sıcaklık sabit tutulmuştur. Katalizör ayrı bir kapta alkolün içerisinde çözündürülerek reaksiyon tankına ilave edilmiş, yağ + Alkol + Katalizör karışımı 1200 d/d’da dönen bir karıştırıcı ile karıştırılarak bir saat süre ile reaksiyonun gerçekleşmesi için beklenilmiştir. Reaksiyon sonrasında karışım gliserin tabakası ayrışana kadar dinlendirilmiş, gliserin tahliye edilip, biyodizelin içerisindeki alkol ve katalizör artıklarının temizlenmesi için yakıt saf su ile karıştırılarak kabarcık yöntemi ile yıkanmıştır. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra saf su ile biyodizel ayrıştırılmış, son olarak biyodizelin içerisindeki suyun buharlaştırılması için yakıt 100°C’ye ısıtılarak yarım saat süreyle bu

Tablo 1. Deney yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri. (Physical and chemical properties of test fuels)

ÖZELLİK	DİZEL YAKITI	BİYO DİZEL	OTO BİYODİZELİ TS EN 14214
Kinematik Vizkozite 40°C’de (cst)	3,25	5,78	3,50-5,00
Alt Isıl değer (kJ/kg)	42550	36660	-
Yoğunluk 15°C’de (kg/l)	0,84	0,892	0,860-0,900
Parlama Noktası (°C)	55	157,6	120 (en az)
Donma Noktası (°C)	-10	-6	-10
Setan İndeksi (hesaplanmış)	46	46	51 (en az)

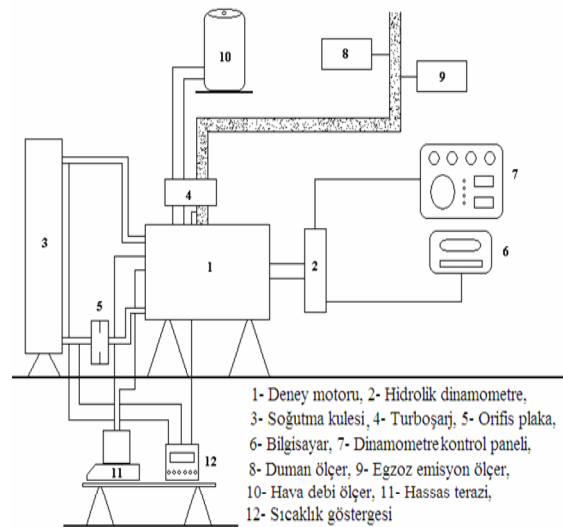
Tablo 2. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri (Technical properties of test engine)

Silindir sayısı	4
Silindir çapı (mm)	97,5
Silindir stroku (mm)	133
Toplam silindir hacmi (l)	3,972
Sıkıştırma oranı	17,25/1
Maksimum devir sayısı (d/d)	2800
Maksimum Motor gücü (kW/PS)	66/90 (2800 d/d)
Maksimum döndürme momenti (Nm)	266 (1400 d/d)

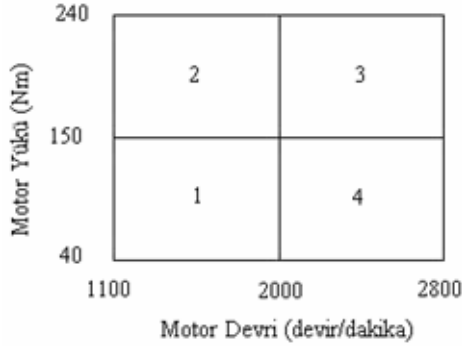
sıcaklıkta beklenerek kurutma işlemi yapılmıştır. Üretilen yakıtın analizleri ODTÜ Petrol Araştırma Merkezinde yapılmıştır. Dizel yakıtının özellikleri ise TÜPRAŞ’dan alınmıştır (Tablo1).

Motor deneylerinde Mercedes-Benz marka direkt püskürtmeli, aşırı doldurmalı bir dizel motor kullanılmıştır. Deney motorunun, teknik özellikleri Tablo 2’de görülmektedir.

Deney düzeneği Şekil 2’de şematik olarak görülmektedir. Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında motor bir hidrolik dinamometre ile yüklenmiştir. Egzozdaki kirletici bileşen düzeyinin belirlenmesinde iki adet emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Emisyon ölçümlerine başlamadan önce cihazlar kalibre edilmiştir. Egzoz emisyonlarının ölçümünde GACO-SN marka ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz CO, CO₂, NO_x, O₂ ve SO₂ gazlarını ölçebilmektedir. Ayrıca hava fazlalık katsayısı ve yanma verimini de ölçebilmektedir. Duman yoğunluğunun ölçülmesinde VLT 2600S tipi duman ölçüm



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik görünümü. (Schematics of experimental set up)



Şekil 3. Deney motorunun çalışma bölgeleri. (Operating regions of test engine)

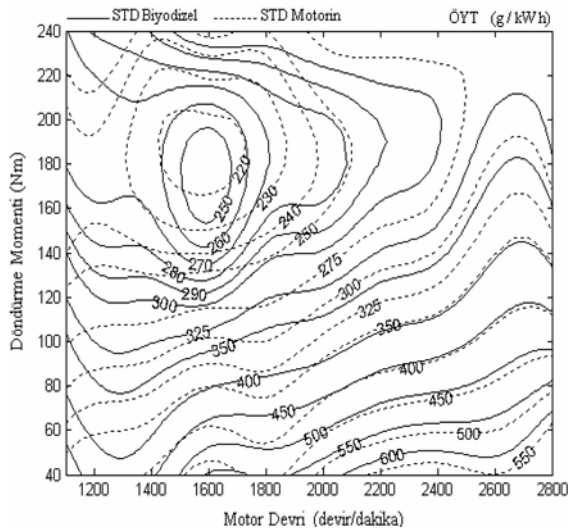
cihazı kullanılmıştır. Cihaz duman miktarını K faktörü ve yüzde (%) olarak ölçebilmektedir.

Motorun performans eğrilerinin çizilebilmesi için sabit devir değişik yük testi uygulanmıştır. Performans ölçümleri 1200-2800 d/d aralığında 200 d/d artımla yapılmıştır. Egzoz emisyon ölçümleri ise motorun maksimum moment ve maksimum güç devirleri olan 1400 d/d ve 2800 d/d da 40 – 240 Nm aralığında 40 Nm artımla gerçekleştirilmiştir.

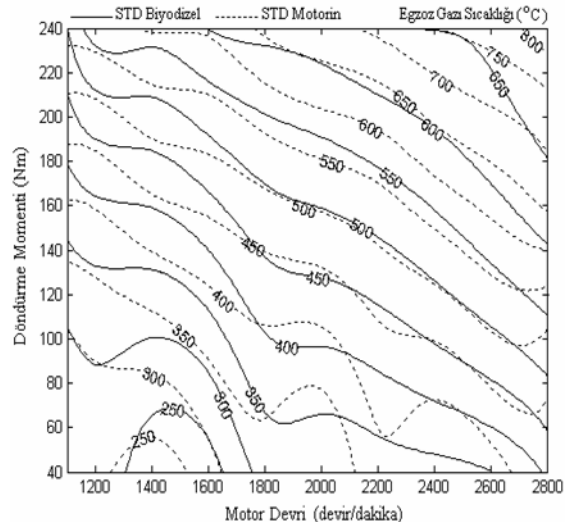
3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Yapılan sabit devir değişik yük testleri neticesinde her bir durum için elde edilen özgül yakıt tüketimi (ÖYT), egzoz gazı sıcaklığı ve efektif verim eş eğrileri motorin ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Hava fazlalık katsayısı (HFK), azot oksit (NO_x), ve duman koyuluğu ise 1400 ve 2800 d/d için motorun döndürme momentindeki değişime göre çizilmiştir. Deneyler neticesinde elde edilen performans eğrilerinin analizini kolaylaştırmak amacıyla, eğriler dört bölgeye ayrılarak incelenmiştir (Şekil 3).

Bunlar; (1) düşük devir-düşük yük, (2) düşük devir-



Şekil 4. Biyodizel eş özgül yakıt tüketimi eğrilerinin motorin ile karşılaştırılması. (Comparison of specific consumption maps of Diesel fuel with Biodiesel)



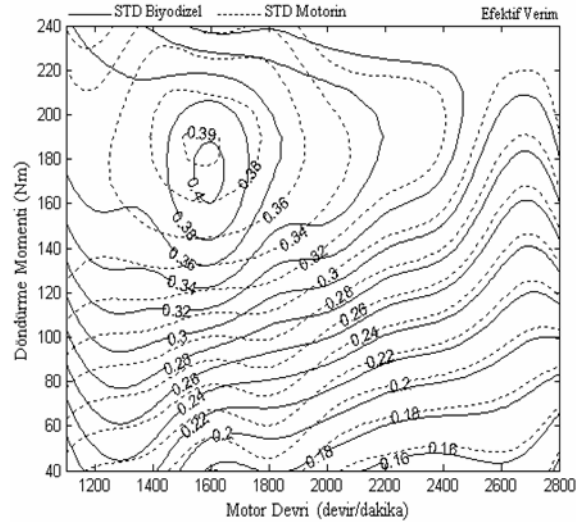
Şekil 5. Biyodizel eş egzoz gazı sıcaklığı eğrilerinin motorin ile karşılaştırılması (Comparison of exhaust gas temperature maps of Diesel fuel with Biodiesel)

yüksek yük, (3) yüksek devir-yüksek yük, (4) yüksek devir-düşük yük bölgeleridir.

Biyodizel için eş ÖYT eğrilerinin motorin ile karşılaştırılması Şekil 4'de görülmektedir. Yakıt olarak biyodizel kullanıldığında ÖYT genelde artma eğilimindedir. Her iki durum için de en düşük ÖYT 2. bölgede gerçekleşmiştir. Motorin için bu bölgedeki en düşük değer 220 g/kWh iken, biyodizel için 250 g/kWh olmuştur. ÖYT 1. bölgede 1400 d/d ve 40 Nm'de % 8, 1100 d/d ve 40 Nm'de % 32 artmıştır. 2. bölgede 1200 d/d ve 240 Nm için artış % 2,5 olurken, 1600 d/d ve 240 Nm de % 24'lük bir artış gerçekleşmiştir. 3. ve 4. bölgelerde ise yaklaşık % 13'lük artış gözlenmiştir.

Biyodizel ile motorin için eş egzoz gazı sıcaklığı eğrilerinin karşılaştırılmış hali Şekil 5'de verilmiştir. Genelde egzoz gazı sıcaklıkları biyodizel kullanılmasıyla azalmıştır. Fakat genel eğilimin aksine 1. bölgede kısmi artış ve azalmalar gözlenmiş; 1600 d/d ve 40 Nm'de egzoz gaz sıcaklığı yaklaşık % 20 azalırken, 1200 d/d ve 40 Nm'de % 7 artmıştır. Egzoz gazı sıcaklığı 2. bölgede 1100 d/d ve 240 Nm'de yaklaşık % 12 düşerken, 2000 d/d ve 160 Nm'de bu oran yaklaşık % 1 olmuştur. 3. bölgede 2400 d/d ve 240 Nm'de yaklaşık % 13, 2200 d/d ve 160 Nm'de yaklaşık % 2 azalmıştır. Buna karşın 4. bölgede 2200 d/d ve 40 Nm'de yaklaşık % 17 azalırken, 2800 d/d ve 80 Nm'de yaklaşık % 8 artmıştır.

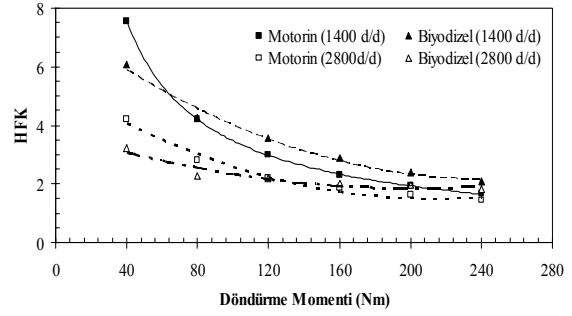
Biyodizel için eş efektif verim eğrilerinin motorin ile karşılaştırılması Şekil 6'da görülmektedir. Her iki durum için de en yüksek efektif verim 2. bölgede gerçekleşmiştir. Biyodizel için efektif verimde özellikle 1. ve 2. bölgedeki bazı noktalarda azalma görülmesine rağmen genel olarak bir artış olmuştur. Motorin için bu bölgedeki en yüksek değer % 39 olurken, biyodizel için % 40 olmuştur. Biyodizel için efektif verim 1. bölgede 1100 d/d ve 40 Nm'de yaklaşık % 12 azalırken, 1400 d/d ve 40 Nm'de ise



Şekil 6. Biyodizel eş efektif verim eğrilerinin motorin ile karşılaştırılması. (Comparison of efficiency maps of Diesel fuel with Biodiesel)

yaklaşık % 7 artmıştır. 2. bölgede 1600 d/d ve 240 Nm'de yaklaşık % 6 kötüleşme olurken, 1100 d/d ve 240 Nm'de yaklaşık % 15 iyileşme olmuştur. 3. ve 4. bölgelerde ise yaklaşık % 2,5'lik bir iyileşme olduğu gözlenmiştir.

Yakıt olarak biyodizel kullanıldığında motorun performans parametrelerinde görülen değişimlerde, biyodizelin alt ısı değerinin motorine göre daha düşük olması başlıca etken olmuştur. Tablo 1'den görülebileceği üzere deneylerde kullanılan yakıtların ısı değerleri arasında yaklaşık % 14'lük bir fark vardır. Bu fark dolayısıyla biyodizelin motorin ile aynı performansı sağlayabilmesi için silindirlere daha fazla biyodizel gönderilmekte, bu ise ÖYT'ni arttırmaktadır. Isıl değerin düşük olmasına bağlı olarak biyodizel kullanıldığında maksimum silindir içi sıcaklığı azalmakta, bu durum ise egzoz gazı sıcaklıklarında düşüşe yol açmaktadır. Ayrıca biyodizelin egzoz gazı sıcaklıklarındaki azalmada efektif veriminin motorine göre yüksek olmasının da etkisi olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Biyodizel kullanıldığı durumdaki efektif verim artışının her iki yakıtın da aynı devir ve yük şartlarında kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle düşük devir yüksek yük bölgesinde (2. bölge), biyodizelin bünyesindeki yaklaşık % 11'lik oksijenin, yakıtın oksidasyonunu iyileştirmesinden dolayı efektif verimde artış gözlenmiştir. Biyodizel için ÖYT, egzoz gazı sıcaklığı ve efektif verim değerlerinde görülen kısmi azalış ve artışların ise biyodizelin yoğunluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Biyodizelde yoğunluğun artışı yakıtın nüfuz (penetrasyon) derinliğini artırdığı, buna karşın viskozitenin yüksek olması yoğunluk/viskozite oranı ölçüsünde, yakıtın atalet kuvvetini artıracakı söylenebilir. Bu kuvvetin motor hızına bağlı olarak değişmesi sonucu yukarıda belirtilen parametrelerde kısmi artış ve azalışlar olabilmektedir.



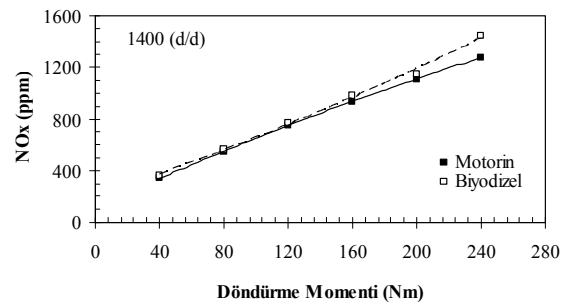
Şekil 7. Döndürme momentine bağlı olarak HFK değişimleri (1400 d/d ve 2800 d/d). (Engine torque versus excess air ratio at 1400 rpm and 2800 rpm)

1400 d/d ve 2800 d/d da her bir durum için HFK'nın döndürme momentine göre değişimleri Şekil 7'de görülmektedir. HFK döndürme momentinin artmasıyla birlikte azalmaktadır. Biyodizel için HFK, motorine göre 40-80 Nm aralığında ortalama % 9,5 azalırken, 120-240 Nm aralığında ortalama % 23 artmıştır. 2800 d/d'da biyodizel için HFK, motorine göre 40-120 Nm aralığında ortalama % 14 azalırken, 160-200 Nm aralığında ortalama % 15 artmıştır.

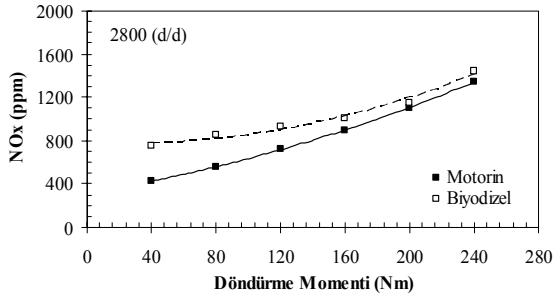
Biyodizel yakıtının alt ısı değerinin düşük olmasına bağlı olarak silindirlere daha fazla gönderilmesine bağlı olarak HFK motorine göre düşük ve orta yüklerde azalmıştır. Yüksek yüklerde ise biyodizelin viskozitesinin motorine göre yaklaşık % 75 daha fazla olması dolayısıyla yakıt enjeksiyon pompasında dolma sorunu yaşandığından dolayı HFK da artmıştır.

1400 d/d'da her bir durum için NO_x emisyonunun döndürme momentine göre değişimleri Şekil 8'de görülmektedir. Genel olarak NO_x emisyonu döndürme momentinin artmasıyla birlikte artmaktadır. STD biyodizel için NO_x emisyonu, STD motorine göre tüm döndürme momentleri aralığında ortalama % 5,6 artmıştır. 2800 d/d'da her bir durum için NO_x emisyonunun döndürme momentine göre değişimleri Şekil 9'da görülmektedir. Biyodizel için NO_x emisyonu, motorine göre 40-120 Nm aralığında ortalama % 52,5 artarken, 160-200 Nm aralığında % 7,6 artmıştır.

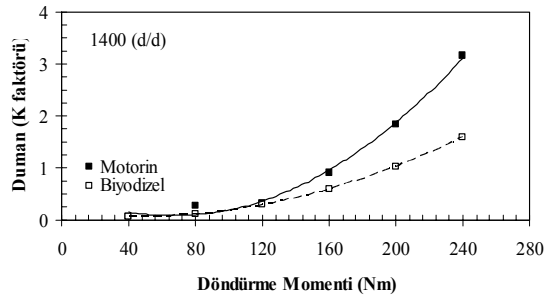
Biyodizelin bünyesindeki yaklaşık % 11'lik oksijenin yakıt demeti civarındaki lokal oksijen konsantras-



Şekil 8. Döndürme momentine bağlı olarak NO_x emisyonu değişimleri (1400 d/d). (Variation of NO_x emission as a function of engine moment at 1400 rpm)



Şekil 9. Döndürme momentine bağlı olarak NO_x emisyonu değişimleri (2800 d/d). (Variation of NO_x emission as a function of engine moment at 2800rpm)



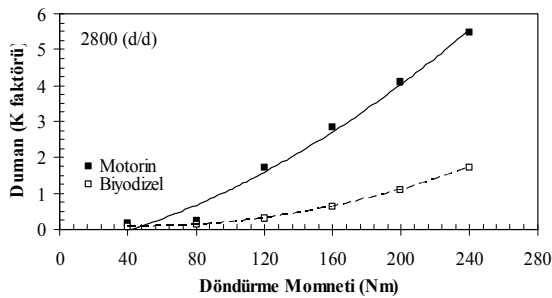
Şekil 10. Döndürme momentine bağlı olarak duman yoğunluğu değişimleri (1400 d/d). (Variation of soot concentration as a function of engine moment at 1400 rpm)

yonunu artırması sonucu yanma odasındaki lokal ısı açığa çıkış hızı ve sıcaklığının arttırmasına bağlı olarak NO_x emisyonları da artmıştır.

1400 d/d'da her bir durum için duman yoğunluğunun döndürme momentine göre değişimleri Şekil 10'da görülmektedir. Genel olarak duman yoğunluğu döndürme momentinin artmasıyla birlikte artmaktadır. Biyodizel için duman yoğunluğu, motorine göre 40-120 Nm aralığında ortalama % 27,6 azalırken, 160-240 Nm aralığında ortalama % 43 azalmıştır.

2800 d/d'da her bir durum için duman yoğunluğunun döndürme momentine göre değişimleri Şekil 11'de görülmektedir. Biyodizel için duman yoğunluğu, motorine göre 40-80 Nm aralığında ortalama % 49,4 azalırken, 120-200 Nm aralığında ortalama % 77,5 azalmıştır.

Dizel motorları hava fazlalığı ile çalışmasına rağmen yakıt demetinin merkezinde çok zengin karışım bu-



Şekil 11. Döndürme momentine bağlı olarak duman yoğunluğu değişimleri (2800 d/d). (Variation of soot concentration as a function of engine moment at 2800 rpm)

lunmaktadır. Bu noktadaki yakıt zerrecikleri yeterince oksijen bulamadıklarından partiküllerin oksidasyonu tamamlanmadan egzozdan dışarı is (duman) halinde atılmaktadırlar. Yüksek devirlerde hava fazlalık katsayısının azalmasına bağlı olarak yakıtın oksidasyonunun kötüleşmesi sonucu motorin için duman yoğunluğu artmıştır. Biyodizelin içerisinde bulunan oksijen sayesinde yakıt zerreciklerinin oksidasyonu iyileştiğinden, biyodizel kullanıldığında, egzozdaki duman yoğunluğu motorine oranla daha az olmaktadır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan deneyler sonucunda yakıt olarak biyodizel kullanılmasıyla motorine göre genel olarak ÖYT, efektif verim ve NO_x emisyonu artmış, egzoz gazı sıcaklığı, HFK ve duman yoğunluğu azalmıştır.

Biyodizel kullanıldığında performans ve emisyonlarda gözlenen değişikliklerde başlıca etken yakıtın ısıl değerinin motorine göre düşük olmasıdır. Biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olması bünyesinde kütlece yaklaşık % 11 oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır [12-14]. Alt ısıl değerdeki azalma biyodizel kullanıldığında ÖYT'nin motorine göre artmasına yol açmıştır. Biyodizelin ısıl değerindeki azalma egzoz gazı sıcaklığının düşmesine sebep olmuştur. Biyodizel kullanıldığında kısmi yüklerde verimin artması da egzoz gazı sıcaklığının düşmesinde etkili olduğu söylenebilir. Kısmi yük şartlarında biyodizelin bünyesindeki oksijenin yakıtın oksidasyonunu iyileştirmesi sonucu verimde artış olmuştur.

Egzoz emisyonlarında gözlenen değişikliklerde ısıl değerdeki azalmaya ilaveten yakıtın viskozitesinin fazlalığı ve bünyesindeki oksijen de etkili olmuştur. Düşük yüklerde ısıl değerdeki düşüklüğün etkisiyle HFK azalırken yüksek yüklerde viskoziteden kaynaklanan sorunlardan dolayı HFK artmıştır. HFK daki azalma ve yakıtın bünyesindeki oksijenin tesiri ile biyodizel kullanıldığında NO_x emisyonları yükselmiştir. Yakıtın bünyesindeki oksijenin etkisi sonucunda da duman emisyonları biyodizel kullanıldığında önemli miktarda azalmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Srivastava, A. and Prasad, R., "Triglycerides-based Diesel Fuels", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 4, pp.111-133, 2000.
2. Karaosmanoğlu, F., Cıgızoğlu, K., Tüter, M. and Ertekin, S., "Investigation of the Refining Step of Biodiesel Production", **Energy and Fuel**, Vol. 10, pp 890 – 895, 1996.
3. Rao, P. and Gopalakrishnan, K., "Vegetable Oils And Their Methylsters As Fuels For Diesel Engines", **Indian Journal of Technology**, Vol. 29(6), pp 292-297, 1991.
4. Alibaş, K. ve Ulusoy, Y., "Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanakları", **Tarım Mekanizasyonu 16. Ulusal Kongresi**, Bursa, 147-156, 1995.

5. Krawczyk, T., "Biodiesel-Alternative Fuel Makes Inroads but Hurdles Remain", **Inform**, vol. 7(8), pp. 800-815, 1996.
6. Karaosmanoğlu, F., "Türkiye İçin Çevre Dostu-Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotorin", **Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi**, ICC1 2002 Özel Sayısı, s. 50-56, 2002.
7. Vellguth, G., "Performance of Vegetable Oils and Their Monoesters as Fuels for Diesel Engines", **SAE Paper** No 831358, 1983.
8. Antolin, G., Tinaut, F.V., Briceno, Y., Castano, V., Perez and Ramirez, A., "Optimisation of Biodiesel Production by Sunflower Oil Transesterification", **Biosource Technology**, vol. 83, pp. 111-114, 2002.
9. Oğuz H., "Tarım Kesiminde Yaygın Olarak Kullanılan Dizel Motorlarında Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanım İmkanlarının İncelenmesi", **Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 2004.
10. Dorado, M., Ballesteros, E., Arnal, J., GOMEZ, J. and Lopez, F., "Exhaust Emissions from a Diesel Engine Fueled with Transesterified Waste Olive Oil", **Fuel**, Vol. 82, pp. 1311-1315, 2003.
11. Da Silva, F., Prata, A. and Teixeira, J., "Technical Feasibility Assessment of Oleic Sunflower Methyl Ester Utilisation in Diesel Bus Engines", **Energy Conversion and Management**, vol. 44 (18), pp. 2857-2878, 2003.
12. Çanakçı, M. and Van Gerpen, J., "Comparison of Engine Performance and Emissions for Petroleum Diesel Fuel, Yellow Grease Biodiesel and Soybean Oil Biodiesel", **Transactions of ASAE**, vol.46, no.4, pp.937-944, 2003.
13. Ramadhas, A., Muraleedharan, C. and Jayaraj, S., "Performance and Emission Evaluation of a Diesel Engine Fueled with Methyl Esters of Rubber Seed Oil", **Renewable Energy**, vol. 30, pp. 1789-1800, 2005.
14. Şanlı, H. ve Çanakçı, M., "Biyodizel Egzoz Emisyonundaki NO_x Artışının Nedenleri Üzerine Bir Değerlendirme", **8. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, s. 418-427, Ankara, 2004.