

TALL YAĞI BİYODİZELİNİN DİZEL YAKITI İLE %90 ORANINDAKİ KARIŞIMININ ALTERNATİF DİZEL YAKITI OLARAK İNCELENMESİ

Ali KESKİN, Metin GÜRÜ* ve Duran ALTIPARMAK

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

*Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06570 Maltepe, Ankara

alikeskin01@myynet.com.tr, mguru@gazi.edu.tr, duration@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 17.11.2005; Kabul/Accepted: 11.05.2006)

ÖZET

Bu çalışmada, kağıt fabrikalarında üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan tall yağından biyodizel üretimi ve bunun motor performans ve emisyonuna etkisi araştırılmıştır. Büyük oranda reçine ve yağ asitlerinden oluşan ham tall yağ distilasyon yöntemi ile reçine ve yağ asitlerine ayrılmıştır. Tall yağ yağ asitlerinden metil ester (Biyodizel) üretilip, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Üretilen tall yağ biyodizelinin dizel yakıtı ile %90 oranındaki karışımı tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda tam yük şartlarında 1800-3200 devir/dakika aralığında performans ve emisyon testine tabii tutulmuştur. Dizel yakıtı değerlerine göre, karışım yakıtın tork ve güç değerlerinde sırasıyla %2,99 ve %2,94'e varan oranlar da azalmalar görülmüştür. Karışım yakıt ile motorun özgül yakıt tüketimi değerleri ortalama %7,63 oranında artış göstermiştir. Karışım yakıtın kullanımı ile CO emisyonu değerlerinde %35,44'e kadar, duman emisyonlarında ise %13,27'ye kadar varan azalmalar tespit edilmiştir. Ayrıca, NO_x emisyonlarında %13,29 oranına varan artışlar görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, tall yağ, dizel motor, emisyon.

INVESTIGATION OF 90% BLEND OF TALL OIL BIODIESEL FUEL WITH DIESEL FUEL AS ALTERNATIVE DIESEL FUEL

ABSTRACT

In this work, production of tall oil biodiesel and usability as alternative fuel for diesel engine were studied. Tall oil is a by-product in the pulp manufacturing by craft or sulphate pulping process. Fatty acids and resinic acids were distilled from crude tall oil by fractional distillation. Tall oil methyl ester (biodiesel) was produced from tall oil fatty acids. Blend of 90% tall oil biodiesel and 10% diesel fuel for test fuel was evaluated. It was tested between 1800 and 3200 rpm at full load-different engine speeds in a single cylinder direct injection diesel engine. According to diesel fuel value, torque and power output of the engine with blend fuel decreased by 2.99% and 2.94%, respectively. Average increasing of the blend fuel's specific fuel consumption value was 7.63%. Using of tall oil biodiesel decreased emissions of CO (up to 35.44%) and smoke (up to 13.27%), however, emissions of NO_x increased by 13.29%.

Keywords: Biodiesel, tall oil, diesel engine, emission.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Biyodizel, bitkisel yağların, kullanılmış atık yağların veya hayvansal yağların alkolle ile uygun bir katalizör kullanılarak kimyasal reaksiyona sokulması sonucu elde edilen esterlere denir. Reaksiyon esnasında bitkisel yağ molekülünün (trigliserit) yapısında bulunan yağ asitleri alkol ile yeni esterler oluştururlar. Reaksiyonda alkol olarak çoğunlukla metil alkol yada etil alkol gibi kısa zincirli alkolle kullanılır. Gliserin, reaksiyonun yan ürü-

nü olarak ortaya çıkar, saflaştırılıp parfüm ve kozmetik sanayi gibi alanlarda değerlendirilebilmektedir [1-3].

Biyodizel, dizel motorlarında herhangi bir değişikliğe gidilmeden direk olarak ya da dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir [4].

Biyodizel yakıtlar, parlama noktası sıcaklığının yüksek olması sebebiyle daha güvenli depolanma özelliğine sahiptir, herhangi bir nedenle dökülme durumunda

toprak ve su için daha az kirleticidir, motor da yanma verimini olumsuz yönde etkileyen kükürt ve aromatik hidrokarbonları (benzen, toluen ve ksilen) içermez, %10-11 civarında oksijen içerir ve setan sayıları 49-62 arasında değişim gösterir [5,6].

Bununla birlikte biyodizel yakıtların en önemli dezavantajları bulutlanma ve soğuk filtre tıkanma noktası sıcaklıklarının yüksek olmasıdır. Diğer yakıt özellikleri dizel yakıtı özelliklerine oldukça yakındır.

Yapılan araştırmalar ile biyodizelin emisyon bakımından daha az kirletici bir yakıt olduğu ortaya konmuştur [7,8]. Hidrokarbon (HC), Karbon monoksit (CO), Kükürt oksit (SO_x) ve partikül emisyonlarında (PM) dizel yakıtı değerlerine göre önemli oranlarda azalmalar olduğu görülmüştür [9]. Azot oksit (NO_x) emisyonları ise biyodizelin kullanıldığı motora göre değişim göstermiştir.

Dorado ve arkadaşları zeytin yağı biyodizelinin direk enjeksiyonlu bir dizel motorunda değişik çalışma koşullarında test etmişlerdir. Test sonucunda yakıt tüketiminde düşük oranda artışlar görülmesine rağmen CO emisyonunda %58,9, SO₂ emisyonunda %57,7 ve NO emisyonunda %37,5'e kadar varan azalmalar tespit edilmiştir [10]. Çetinkaya ve arkadaşları kullanılmış atık yağdan üretilmiş biyodizeli Renault Megane F9Q732 marka otomobilde 7500 km yol testine tabi tutmuşlardır. Test sonucunda dizel yakıtı değerlerine göre motor tork ve güç değerlerinde %3 ila %5 arasında değişen azalma, yakıt püskürtme basıncı sonuçlarının da önemli bir değişim görülmemiş, egzoz gaz sıcaklığında ve basıncında azalmalar olduğu saptanmıştır [11].

Ramadas ve arkadaşları kauçuk tohumu yağı biyodizelinin dizel motorda test etmişlerdir. Yapılan testlerde düşük oranda biyodizel içeren yakıtlar ile daha yüksek termik verim ve daha düşük yakıt tüketimi elde edilirken, yüksek oranda biyodizel içeren yakıtlar ile daha düşük kirletici emisyon değerleri ölçülmüştür [12].

Biyodizel alanındaki çalışmalar tarımsal alanların daha verimli ve etkin kullanımını sağladığı gibi çevre kirliliğinin azaltılmasına ve istihdamın artırılmasına yardımcı olacaktır. Bundan dolayı, petrol üretimi yönünden dışa bağımlı olan bir çok ülke tarafından yerel olarak üretilebilen ve yenilenebilir özelliğe sahip olan biyodizel vergi indirimleriyle, ucuz krediler ile teşvik edilmektedir.

Bu çalışmada üzerinde çalışılan tall yağı, kağıt fabrikalarında proses sonunda ortaya çıkan bir yan ürün olup büyük oranda bitkisel yağ asitleri ve reçine asitlerinden oluşur. Diğer bitkisel yağlardan çok daha ucuza (400 US\$) olması ve yağ asitlerinin büyük oranda doymamış yağ asitlerinden oluşması tall yağını biyodizel üretimi açısından cazip hale getirmektedir. Yapılan çalışmalarda tall yağı bünyesindeki bitkisel yağ asitleri biyodizel üretiminde kullanılmıştır. Üretilen tall yağı biyodizelinin dizel yakıtı ile %90 oranındaki karışımı test yakıtı olarak kullanılmıştır. Bu oranın tercih edil-

Tablo 1. Tall yağı yağ asitlerinin özellikleri (Properties of tall oil fatty acids)

Yağ Asitleri	Kapalı Formülü	% Oranı	Çift Bağ Sayısı	Kaynama Sıcaklığı (°C)	Erime Sıcaklığı (°C)
Oleik Asit	C ₁₇ H ₃₃ COOH	50	1	286	16
Linoleik Asit	C ₁₇ H ₃₁ COOH	40	2	202	-5
Linolenik Asit	C ₁₇ H ₂₉ COOH	5	2	230	-11
Stearik Asit	C ₁₇ H ₃₅ COOH	2	0	371	71
Palmitik Asit	C ₁₅ H ₃₁ COOH	0,1	0	349	63

mesinin nedeni tall yağı biyodizelinin dizel yakıtı ile yüksek orandaki karışımının alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

2. TALL YAĞI ÖZELLİKLERİ (PROPERTIES OF TALL OIL)

Tall yağı büyük oranda reçine ve yağ asitlerinden oluşur. Bununla birlikte bünyelerinde azda olsa sabunlaşmayan maddeleri (B-sitesterol) içerirler [13].

Tall yağında yağ asitleri olarak linoleik asit (%40), oleik asit (%50), linolenik asit (%5), stearik asit (%2) ve palmitik asit (%0,1) vardır. Tall yağı içerisinde var olan yağ asitlerinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tall yağı reçine asitleri ise abiyetik asit (%27-%37), dehydroabietic asit (%29), neoabiyetik asit (%4-%5), palastrik asit (%10-%14), pimarik asit (%1-%2) ve izopimaric asitten (%8-%15) oluşur [14]. Tall yağının kimyasal yapısı ağacın türüne, depoda bekleme süresine, üretim prosesine, ağacın yetiştirildiği coğrafi şartlara ve iklim şartlarına bağlı olarak değişim gösterir [13].

Tall yağı yağ asitlerinin hemen hemen tamamı doymamış yağ asitlerinden oluşmaktadır. Bu özellik tall yağına, biyodizel üretimi açısından önemli avantajlar sağlar çünkü doymamış yağ asitleri ile üretilen biyodizel yakıtların bulutlanma noktası, akma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası değerleri doymuş yağ asidi ile üretilen biyodizellere göre oldukça düşüktür. Ayrıca doymamış yağ asitleri, doymuş yağ asitlerine göre daha kolay esterleşme reaksiyonuna girmektedir. Bununla birlikte doymamış yağ asitlerinden elde edilen biyodizel yakıtların Setan sayıları doymuş yağ asitlerinden elde edilenlere göre daha düşüktür.

Yapılan çalışmada kullanılan SEKA Çaycuma tall yağı özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. SEKA Çaycuma tall yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Chemical and physical properties of SEKA Çaycuma tall oil)

Asit değeri	154.5
Sabunlaşma değeri	162.3
Viskozite 70 °C (mm ² /s)	51
Akma noktası (°C)	63
Isıl değeri (kJ/kg)	39676
Parlama noktası (°C)	212
Su (%)	5.6
Reçine Asiti (%)	53.6
Yağ asiti (%)	36.3

3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

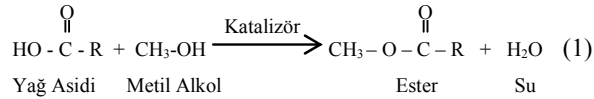
3.1. Tall Yağından Yağ Asitlerinin Ayrılması (Separation of Fatty Acids from Tall Oil)

Ham tall yağı yapısında bulunan, yağ asitleri, reçine asitleri ve diğerleri, fraksiyonlu distilasyon yöntemi uygulanarak birbirlerinden ayrılmıştır. Distilasyon düzeneği, 5 lt kapasiteli manyetik karıştırıcılı termostat kontrollü ısıtıcı, 5 lt'lik yüksek sıcaklığa dayanıklı kavanoz şeklinde bir balon, kelepçeli iki boyunlu kapak, 50 cm uzunluğunda düz soğutucu ve 370 °C sıcaklığa kadar ölçüm yapabilen termometreden oluşmaktadır. Distilasyon, ürünlerin buharlaşma sıcaklığı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Distilasyon, sabit ısıda her seferinde aynı miktarda tall yağı kullanılarak yapılmıştır. Değişik sıcaklıklarda distile olan ürünlerin fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak ürünlerin distile oldukları sıcaklıklar belirlenmiştir. Ham tall yağından ilk distile olan ürün su olmuş, daha sonra ise sırasıyla yağ asitleri ve reçine asitleri distile olmuştur.

3.2. Yağ Asitlerinin Esterleştirilmesi (Esterification of Fatty Acids)

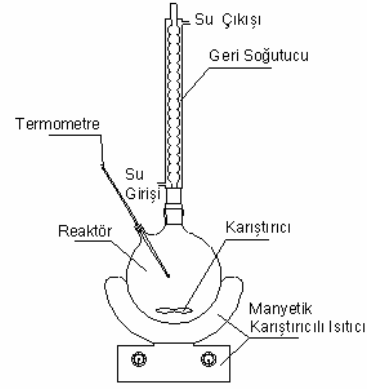
Yağların (trigliserit) transesterifikasyonun da yaygın olarak kullanılan, sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) gibi alkali katalizörlerin yağ asitlerinin esterleştirilmesinde kullanımı mümkün değildir. Çünkü alkali katalizörler esterleşme reaksiyonundan çok daha hızlı bir şekilde yağ asitleri ile kimyasal reaksiyona girerek sabun oluşturmaktadırlar. Bu yüzden yağ asitlerinin esterleştirilmesinde sülfürik asit (H₂SO₄) veya hidroklorik asit (HCl) gibi asit katalizörlerin kullanımı daha uygundur [15,16].



Trigliseritlerin transesterifikasyonun da asit katalizörler kullanıldığında çok uzun zamana ihtiyaç duyulmasına karşın, yağ asitlerinin asit katalizörler kullanılarak esterleşmesi çok daha kısa sürede gerçekleşmektedir [17].

Asit katalizörler ile yağ asitlerinin esterleşme reaksiyonlarında trigliseritlerin transesterifikasyonun da yan ürün olarak elde edilen gliserin elde edilemez. Aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi bir mol yağ asidinin esterleşme reaksiyonu sonunda bir mol ester ve bir mol su oluşur [17].

Tall yağı metil esterinin sentezlendiği reaktörün şematik görünümü Şekil 1'de görülmektedir. Esterleşme reaksiyonu, 1 lt'lik reaktörde, yağ asitleri kütlesinin %20'si kadar metil alkol ve %5'i kadar katalizör olarak sülfürik asit kullanılarak, 75 °C sıcaklıkta, 3 saat reaksiyon süresinde, gerçekleştirilmiştir. Reaksiyonda kullanılan alkol oranı teorik olarak reaksiyonda ihtiyaç



Şekil 1. Tall yağı metil esterinin üretildiği reaktörün şeması (Schema of the reactor for tall oil metil ester production)

duyulanın yaklaşık iki katıdır. Fazla alkol kullanılması nedeniyle reaksiyon verimini arttırmak ve reaksiyon süresini azaltmaktır. Kimyasal tepkime sonunda elde edilen ham metil esterin içerisindeki, sülfürik asit ve kimyasal tepkimeye girmeyen maddeleri ayırmak için sodyum bikarbonat çözeltisi ile iki defa yıkanıp ayırma hunileri yardımıyla metil esterden ayrılmıştır. Yıkama sonrası elde edilen metil ester distilasyon yöntemi ile rafine edilmiştir. Bu esnada tall yağı metil esterinin içerisinde kalan reçine asitleri de bünyeden ayrılmıştır. Yapılan çalışma Altıparmak ve arkadaşları, ve Altın'ın yöntem ve sonuçları ile benzerlik göstermektedir [7,18].

Deney yakıtı hacimsel olarak %90 Tall yağı biyodizeli ve %10 dizel yakıtı karışımından oluşturulmuş ve B90 yakıtı olarak adlandırılmıştır. %100 tall yağı biyodizeli ise B100 olarak adlandırılmıştır.

Deney yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ASTM test metodları uygulanarak ve TS EN 14214 "Otomobil Yakıtları-Dizel Motorlar için Yağ Asidi Metil Esteri (YAME) - Özellikler ve Deney Yöntemleri" standartlarına göre belirlenmiştir. TS EN 14214 standartlarında belirtilen birçok yakıt özelliği, dizel yakıtı standartları içerisinde yoktur.

B90 yakıtının ve dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için laboratuvarında kullanılan tüm cihazlar ASTM kalibrasyon numuneleri ile kalibre edilmiş olup, testlerde kullanılan cihazlar aşağıda belirtilmiştir:

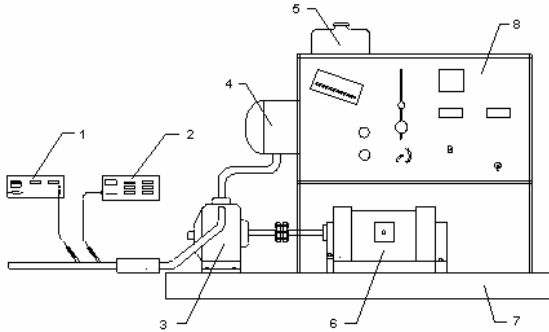
- * KOEHLER Saybolt Viskozimetre Cihazı,
- * IKA C2000 Tam Otomatik Kalorimetre Cihazı,
- * ISL CPP 97-2 Soğuk Filtre Tıkanma, Bulutlanma ve Akma Noktası Tayin Cihazı,
- * TANAKA APM-7 Pensky-Martens Kapalı Kap Parlama Noktası Tayin Cihazı,
- * ZELTEX ZX440 Benzin ve Dizel Yakıtı Analiz Cihazı,
- * OXFORD LAB-X 3500 XRF Kurşun-Kükürt Analiz Cihazı,
- * KEM Yoğunluk Ölçme Cihazı.

Tablo 3. Deney motorunun teknik özellikleri
(Technical properties of test engine)

Marka ve model	Lombardini 6LD 400
Çalışma prensibi	4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi	395 cm ³
Silindir çapı	86 mm
Strok	68mm
Sıkıştırma oranı	18:1
Enjektör püskürtme basıncı	200 bar

3.3. Motor Test Düzenegi (Engine Test Equipment)

Bu çalışmada deney motoru olarak teknik özellikleri Tablo 3'te verilen, tek silindirli 4 zamanlı direk enjeksiyonlu bir dizel motoru kullanılmıştır. Deney öncesi motor yakıt pompası ve enjektör ayarları orijinal değerlere göre ayarlanmıştır. Tall yağı biyodizelinin motor performans ve emisyonlarına olan etkilerini belirlemek amacıyla tam yük şartlarında 1800-3200 d/d arasında 200 d/d aryla testler yapılmıştır. Motor testlerinde performans ve emisyon ölçümlerine geçilmeden önce deney motoru 15 dakika yüksüz çalıştırılıp normal çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Çalışma ortamının basıncı ve sıcaklığı ölçülerek performans değerleri üzerindeki etkileri dikkate alınmıştır. Tork ve güç ölçümleri için bir elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Emisyon ölçümlerinde ise VLT 2600 S ve Gaco-SN marka emisyon cihazları kullanılmıştır. Deney düzeneginin şematik görünümü Şekil 2'de görülmektedir. Her bir deney yakıtı 3 kez test edilmiş ve ölçülen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Sonuçlar kullanılarak elde edilen hata analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 2. Motor test düzeneginin şematik görünümü, 1. Dizel emisyon cihazı, 2. Duman ölçüm cihazı, 3. Deney motoru, 4. Hava metre, 5. Yakıt deposu, 6. Dinamometre, 7. Platform, 8. Kontrol paneli (Schema of engine test equipment, 1. Diesel emissions analyser, 2. Diesel smoke device, 3. Test engine, 4. Air meter, 5. Fuel tank, 6. Dynamometer, 7. stand, 8. Control panel)

Tablo 4. Deney sonuçlarının hata analizi (Error analysis of experimental results)

Ölçüm Yapılan Değerler	Meydana Gelen Maksimum Hata (%)
Motor Devri (devir/dakika)	0,05
Tork (Nm)	0,69
Güç (kW)	0,51
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	1,20
CO (ppm)	3,92
NO _x (ppm)	4,02
Duman Koyuluğu (%)	2,64
HFK	4,11

Tablo5. Deney yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri
(Physical and chemical properties of test fuels)

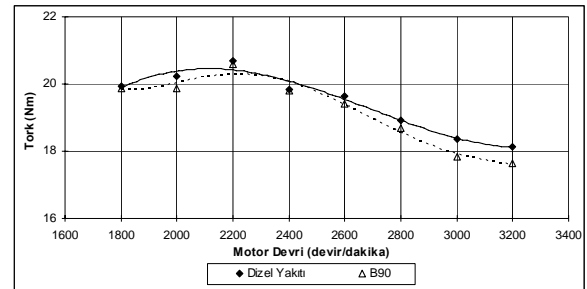
	Dizel Yakıtı	B90	B100
Yoğunluk, (kg/m ³), 15°C	835	880	883
Isıl değer, (kJ/kg)	43 760	40 413	40023
Kükürt, %(m/m)	0,2579	0,0235	0,0012
CFPP, (°C)	-8	-4	-2
Akma Noktası, (°C)	-23	-8	-6
Parlama noktası, (°C)	73	97	111
Bulutlanma noktası, (°C)	-6	-1	0
Setan sayısı	47	52	53
Viskozite, 40°C, (mm ² /s)	2,6	6,3	6,7

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

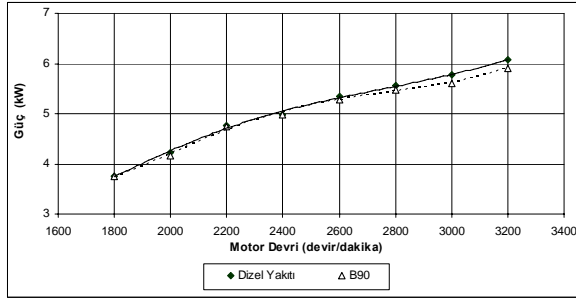
Dizel yakıtının B90 ve B100 yakıtının fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri Tablo 5'te görülmektedir. B90 yakıtının dizel yakıtına göre daha düşük oranda kükürt içermesi, Setan sayısının ve parlama noktasının daha yüksek olması en önemli avantajlarındandır. Ayrıca bulutlanma noktası, parlama noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası (CFPP) değerleri B90 yakıtının ılıman iklime sahip bölgelerde kışın dahi problemsiz olarak kullanılabilceği sonucunu ortaya koymaktadır.

Dizel yakıtı ve B90 yakıtının tork değerleri değişimleri Şekil 3'te görülmektedir. B90 yakıtı ile elde edilen motor tork karakteristik eğrisi dizel yakıtı ile elde edilen eğriye göre önemli bir değişim göstermemiştir. Her iki yakıt için maksimum tork değerleri 2200 d/d'da ölçülmüştür. Dizel yakıtı ve B90 yakıtı ile ölçülen maksimum tork değeri sırasıyla 20,70 Nm ve 20,60 Nm dir. Ölçüm yapılan bütün devirlerde B90 yakıtı ile dizel yakıtı değerlerine göre daha düşük tork değerleri ölçülmüştür. Yüksek motor devirlerinde B90 yakıtı ile ölçülen tork değerleri dizel yakıtı değerlerine göre daha fazla azalma eğilimi göstermiştir. B90 yakıtı ile tork değerlerinde meydana gelen maksimum azalma 3000 d/d'da %2,99 olarak ölçülmüştür. Tork değerlerinde meydana gelen azalma eğilimi büyük oranda B90 yakıtının ısıl değerinin az olmasından kaynaklanmıştır.

Şekil 4'te dizel yakıtı ve B90 yakıtının güç değerleri değişimleri verilmiştir. B90 yakıtı ile ölçülen güç değerleri dizel yakıtı değerlerine göre önemli bir değişim göstermemiştir. Dizel yakıtı ve B90 için maksimum güç değerleri 3200 d/d'da sırasıyla 6,07 kW ve 5,91 kW olarak ölçülmüştür. B90 yakıtının güç değerlerinde, dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen minimum azalma



Şekil 3. Tam yük şartlarında dizel yakıtı ve B90 yakıtının tork değerleri (Torque values of diesel fuel and B90 fuel at full load condition)

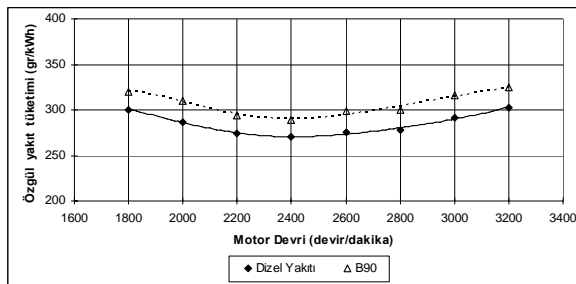


Şekil 4. Tam yük şartlarında dizel yakıtı ve B90 yakıtının güç değerleri (Power values of diesel fuel and B90 fuel at full load condition)

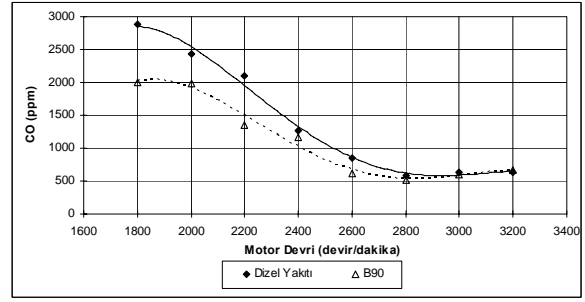
miktarı 2400 d/d'da %0,20, maksimum azalma miktarı ise 3000 d/d'da %2,98 oranında olmuştur. B90 yakıtı ile elde edilen güç değerleri yüksek motor devirlerinde, dizel yakıtına göre daha fazla azalma göstermiştir.

Dizel yakıtı ve B90 yakıtı ile ölçülen özgül yakıt tüketimi değerleri değişimleri Şekil 5'te gösterilmiştir. B90 yakıtının özgül yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtı değerlerine göre daha yüksek ölçülmüştür. B90 yakıtı ile özgül yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtı değerlerine göre %6,51 ile %8,84 arasında artış göstermiştir. Meydana gelen ortalama artış miktarı %7,63 tür. Dizel yakıtı ve B90 yakıtı ile minimum özgül yakıt tüketimi değerleri 2400 d/d'da sırasıyla 270,07 g/kWh ve 293,99 g/kWh olarak ölçülmüştür. Birçok araştırmacı özellikle biyodizelin %100 oranında ve dizel yakıtı ile olan yüksek karışım oranlarında benzer yakıt tüketimi değerleri ölçmüşlerdir [19,20]. Bu artışlar biyodizel yakıtın ısı değerinin dizel yakıtına göre %10 civarında daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Dizel yakıtı ve B90 yakıtının CO emisyonları değerlerinin değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. B90 yakıtı ile düşük motor devirlerinde CO emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre önemli ölçüde azalmalar göstermiştir. Meydana gelen maksimum azalma 2200 d/d'da %35,44 oranında olmuştur. Dizel yakıtı ve B90 yakıtı ile ölçülen minimum CO emisyonu değerleri 2800 d/d'da sırasıyla 590 ppm ve 518 ppm'dir. Yüksek motor devirlerinde B90 yakıtı ile dizel yakıtı değerlerine çok yakın değerler ölçülmüştür. Benzer sonuçlar bir çok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur [8,9]. CO emisyonlarının azalmasının en önemli nedenleri tall yağı biyodizelinin moleküler yapısında %11 civarında



Şekil 5. Tam yük şartlarında dizel yakıtı ve B90 yakıtının özgül yakıt tüketimi değerleri (Specific fuel consumption values of diesel fuel and B90 fuel at full load condition)

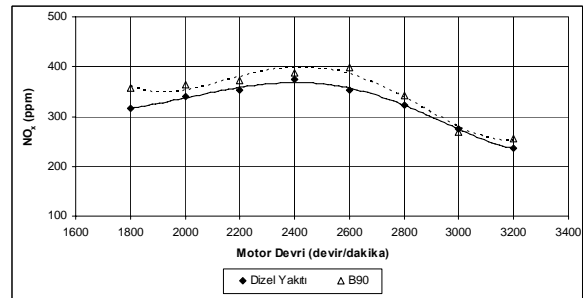


Şekil 6. Tam yük şartlarında dizel yakıtı ve B90 yakıtının CO emisyonları değerleri (CO emissions values of diesel fuel and B90 fuel at full load condition)

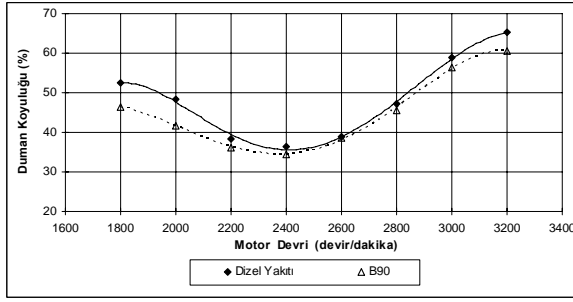
oksijen bulunması ve motorda kullanım esnasında hava fazlalık katsayılarının dizel yakıtına göre daha yüksek olmasıdır. Bu iki faktör yanma esnasında oluşan CO emisyonlarının oksitlenerek CO₂'e dönüşümünde etkili olmuştur.

Şekil 7'de dizel yakıtı ve B90 yakıtının NO_x emisyonları değişimleri gösterilmiştir. B90 yakıtı ile NO_x emisyonları 3000 d/d dışındaki bütün devirlerde dizel yakıtı değerlerine göre daha yüksek ölçülmüştür. Meydana gelen maksimum artış 1800 d/d'da %13,29'dur. Dizel yakıtı ile ölçülen maksimum NO_x emisyonu değeri 2400 d/d'da 375 ppm, B90 yakıtı ile ise 2600 d/d'da 398 ppm'dir. Biyodizel yakıtın bünyelerindeki oksijen oranına bağlı olarak NO_x emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri gösterebilmektedir [21,22]. Yakıtın moleküler yapısındaki oksijen, yanma esnasında azot gazının oksitlenerek NO_x emisyonlarına dönüşmesinde etkili olabileceği düşünülmektedir.

Dizel yakıt ve B90 yakıtının duman koyuluğu değerleri değişimleri Şekil 8'de görülmektedir. Dizel yakıtı ve B90 yakıtı ile en düşük duman koyuluğu değerleri 2400 d/d'da sırasıyla 36,5 ve 34,5 olarak ölçülmüştür. B90 yakıtının duman koyuluğu değerleri dizel yakıtı değerlerine göre %0,77 ila %13,27 arasında azalma göstermiştir. Meydana gelen ortalama azalma miktarı %6,47'dir. Duman koyuluğu değerlerinin azalması da B90 yakıtının moleküler yapısında oksijen bulunması, Setan sayısının daha yüksek olması ve kükürt içermemesi etkili olmuştur [5,23]. Bu özellikler is oluştura-bilecek tam yanmayı gerçekleştirememiş yakıt moleküllerinin oksitlenerek reaksiyonlarını tamamlamasını da etkili olmaktadır.



Şekil 7. Tam yük şartlarında dizel yakıtı ve B90 yakıtının NO_x emisyonları değerleri (NO_x emissions values of diesel fuel and B90 fuel at full load condition)



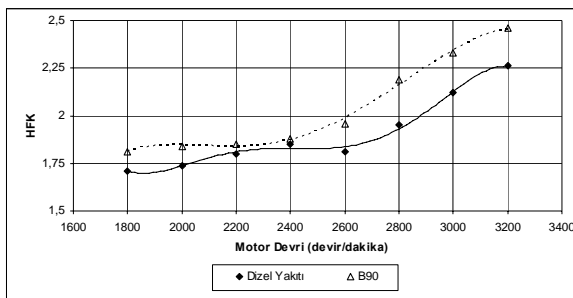
Şekil 8. Tam yük şartlarında dizel yakıtı ve B90 yakıtının duman değerleri (Smoke values of diesel fuel and B90 fuel at full load condition)

Yapılan ölçümler sonunda dizel yakıtı değerlerine göre B90 yakıtı ile daha yüksek hava fazlalık katsayısı (HFK) değerleri hesaplanmıştır (Şekil 9). HFK değerlerinin artışında biyodizel yakıtların moleküler yapılarında oksijenin bulunması ve bunun sonucu olarak yanma veriminin artması etkili olmuştur. Dizel yakıtına göre B90 yakıtının HFK artış oranı düşük ve yüksek motor devirlerinde daha fazla olmuştur.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSIONS)

Bu çalışma sonucunda tall yağı biyodizelinin dizel yakıtı ile %90 oranındaki karışımının dizel motorlarda herhangi bir modifikasyona gidilmeden alternatif yakıt olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Karışım yakıtın çok az kükürt içermesi, Setan Sayısının yüksek olması, ısıl değer, yoğunluk, viskozite, akma noktası ve bulutlanma noktası gibi yakıt özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olması önemli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca ham tall yağı fiyatlarının, biyodizel üretiminde kullanılan diğer yağların fiyatlarından çok daha ucuz olması (ortalama %50 civarında) ekonomik olarak da büyük avantajlar sağlamaktadır.

B90 yakıtı ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı ile elde edilen değerlere çok yakındır. B90 yakıtının kullanımında tork ve güç değerlerinde meydana gelen maksimum azalma miktarları sırasıyla %2,99 ve %2,94 oranında olmuş, motorun özgül yakıt tüketimi değerleri ortalama %7,63 oranında artırmıştır. B90 yakıtı ile CO emisyonu değerlerinde %35,44'e kadar, duman emisyonları değerlerinde ise %13,27'ye kadar



Şekil 9. Tam yük şartlarında dizel yakıtı ve B90 yakıtının hava fazlalık katsayısı değerleri (Air fuel ratio values of diesel fuel and B90 fuel at full load condition)

varan azalmalar olmuştur. Bununla birlikte, NO_x emisyonlarında %13,29 oranına kadar varan artışlar görülmüştür. HFK değerleri ise bütün motor devirlerinde dizel yakıtı değerlerine göre daha yüksek ölçülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar mali destek ve laboratuvar imkanlarından yararlanmasından dolayı, 07/2003-13 kod nolu Gazi Üniversitesi Araştırma Projesi'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Keskin, A., "Tall Yağı Esaslı Biyodizel ve Yakıt Katkı Maddesi Üretimi ve Bunların Dizel Motor Performansı Üzerindeki Etkileri", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi**, Ankara, 2005.
2. İlkılıç, C. and Yücesu, H.S., "Investigation of the Effect of Sunflower Oil Methyl Esther on the Performance of a Diesel Engine", **Energy Sources**, 27:1225 – 1234, 2005.
3. Wedel, R.V., "Technical handbook for Marine Biodiesel", **National Renewable Energy Laboratory, USA**, 1999.
4. Kinast, J.A. "Production of Biodiesel From Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel/Diesel Blends", Final Report, **NREL National Renewable Energy Laboratory**, 2003.
5. Graboski, M. S. and McCormick, R. L., "Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels In Diesel Engines", **Pergamon**, 24: 125-164 (1968).
6. Zheng, S., Kates, M., Dube, M.A., and McLean, D.D., "Acid-catalyzed Production of Biodiesel from Waste Frying Oil", **Biomass and Bioenergy**, 30; 267-272.
7. Altın, R., "Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi**, Ankara, 1998.
8. Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., Teas, C., and Sakellariopoulos, F., "An Investigation of Using Biodiesel/Marine Diesel Blends on the Performance of A Stationary Diesel Engine", **Biomass and Bioenergy**, 24; 141-149, 2003.
9. Silva, F.N., Prata, A.S., Teixeira, J.R., "Technical Feasibility Assessment of Oleic Sunflower Methyl Ester Utilisation in Diesel Bus Engines", **Energy Conversion and Management**, 44 2857-2878, 2003.
10. Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J. M., Gomez, J. and Lopez, F. J., "Exhaust Emission From A Diesel Engine Fuelled With Transesterified Waste Olive Oil", **Fuel**, 82: 1311-1315, 2003.
11. Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y. and Karaosmanoğlu, F., "Engine and Winter Road Test Performances of Used Cooking Oil Originated Biodiesel", **Energy Conversion & Management**, 46: 1279-1291, 2005.
12. Ramadhas, A.S., Muraleedharan, C., and Jayaraj, C., "Performance and Emission Evaluation of A

- Diesel Engine Fueled Methyl Ester of Rubber Seed Oil”, **Renewable Energy**, 30; 1789–1800, 2005.
13. Sharma, R.K., and Bakhshi, N.N., “Upgrading of Tall Oil to Fuels and Chemicals Over HZSM-5 Catalyst Using Various Diluents”, **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, 69:1082-1086, 1991.
 14. Drew, J. and Propst, M., “Tall Oil. Pulp Chemicals Association”, **Pulp Chemicals Association**, New York 65-70, 1981.
 15. Sprules, F.J., and Price, D., “Production of Fatty Esters”, **US Patent 2**, 366-394 1950.
 16. Freedman, B., Butterfield, R.O. and Pryde, E.H. “Transesterification Kinetics of Soybean Oil”, **JAACS**, 63: 1375-1380, 1986.
 17. Van Gerpen, V.J., Shanks, B., Pruszko, R., Clement, D. and Knothe, G., “Basics of Biodiesel Production”, **Biodiesel Production Technology**, **NREL/SR-510-36244**, Colorado, 1-22, 2004.
 18. Altıparmak, D., Keskin, A., Koca, A., and Gürü, M., “Alternative Fuel Properties of the Tall Oil Fatty Acids Methyl Ester-Diesel Fuel Blends”, **Biore-source Technology**, 2006 (in pressed).
 19. Haşimoğlu, C., Ciniviz, M., İçingür, Y., Özsert, İ., Salman, S, ve Parlak, A., “Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi”, **8. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, Ankara 283-293, 2004.
 20. Usta, N., Öztürk, E., Can, Ö., Conkur, E. S., Nas, S., Çon, A. H., Can, A. Ç. and Topçu, M., “Combustion of Biodiesel Fuel Produced From Hazelnut Soapstock/Waste Sunflower Oil Mixture In A Diesel Engine”, **Energy Conversion & Management**, 46: 741-55, 2005.
 21. Tyson, K. S., “Biodiesel Handling and Use Guidelines”, **Report of National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-580-3004 U.S.**, 1-3, 2001.
 22. Yamık, H., “Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması” Doktora Tezi, **Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 42-60, 71-142, 2002.
 23. Win Lee, S., Herage, T., Young, B., “Emission Reduction Potential from the Combustion of Soy Methyl Ester Fuel Blended with Petroleum Distillate Fuel”, **Fuel**, 83:1607-1613, 2004.

