

DİZEL YAKITI, KANOLA YAĞI VE SOYA YAĞI METİL ESTERLERİNİN DİREKT PÜSKÜRTMELİ BİR DİZEL MOTORUNDA PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

İsmet ÇELİKTEN ve Mehmet Ali ARSLAN*

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

*Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Maltepe, Ankara

celikten@gazi.edu.tr, mehmetaliarslan@myynet.com

(Geliş/Received: 24.01.2008 ; Kabul/Accepted: 10.03.2008)

ÖZET

Kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtına yakın olup, dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Yapılan bu deneysel çalışmanın amacı, dizel yakıtına alternatif olarak kullanılan kanola ve soya yağı metil esterlerinin performans ve emisyon değişimlerinin incelenmesidir. Normal dizel yakıtı ile yukarıda belirtilen alternatif dizel yakıtları, 4 zamanlı ve 4 silindirli direkt püskürtmeli dizel motorunda denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; en yüksek motor performansı dizel yakıtı ile sağlanmış, daha sonra kanola ve soya yağı metil esterlerinin performansları sıralanmıştır. En düşük duman ve CO emisyon değerini veren yakıt ise, kanola yağı metil esteri olmuştur. Ancak, normal dizel yakıtı NO_x değeri, kanola ve soya metil esterlerinkinden daha düşük çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dizel, kanola, soya, biyodizel, motor performansı, egzoz emisyonu.

INVESTIGATION OF DIESEL FUEL, RAPE OIL AND SOYBEAN OIL METHYL ESTERS EFFECTS ON A DIRECT INJECTION DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

ABSTRACT

Physical and chemical properties of soybean oil and rape oil methyl esters are close to diesel fuel. Therefore those blends are used as alternative fuels recently. Aim of this experimental study is to investigate variations of performance and emission of the alternative biodiesel fuels. Normal diesel fuel and alternative biodiesel fuels mentioned above were tested on a 4 cylinder 4 strokes direct injection diesel engine. According to the results, the highest engine performance was obtained with diesel fuel and soybean and rape oil methyl esters gave lower performance respectively. The lowest smoke level and CO emission was recorded with rape seed oil methyl esters. However, NO_x emission with diesel fuel is lower comparing with the other biodiesel fuels.

Keywords: Diesel, rape oil methyl ester, soybean oil methyl ester, biodiesel, engine performance, exhaust emissions.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji ihtiyacı, meydana gelen sanayileşme ve hızlı nüfus artışı nedeniyle sürekli olarak artmaktadır. Dolayısıyla hidrolik, termik, nükleer santraller, kömür veya petrol vasıtasıyla yakıt talebi karşılanamaz hale gelmekte olduğu bir gerçektir. Özellikle genel enerji kaynaklarından kömür ve petrol rezervlerinin sınırlı

ve bir gün bitecek olması enerjinin ülke politikalarında önemini artırmaktadır.

Enerji kaynakları, temelde birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak iki grupta incelenmektedir. Potansiyeli mevcut olan ve teknolojik gelişmelere paralel olarak yeni faydalanılabilen enerji kaynaklarına “yeni” ve tükenmeyen veya eksilmeyen

kaynaklara da “yenilenebilir” enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır [1].

Üzerinde çalışmalar yapılan yenilenebilir enerji kaynakları, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi gibi çevreci ve yerel kaynaklardır. Birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bu tip enerji kaynaklarını vergi indirimleriyle, ucuz kredilerle ve değişik yollarla teşvik etmektedir [2].

Ana bileşenleri karbon hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler “Biyokütle Enerji Kaynağı” olup, bu kaynaklardan üretilen enerji ise “Biyokütle Enerjisi” olarak tanımlanmaktadır. Ogun, yağlı tohum bitkileri, karbon hidrat bitkileri, elyaf bitkileri, protein bitkileri, bitkisel atıklar, hayvansal atıklar ile evsel ve endüstriyel atıklar biyokütle enerji teknolojileri kapsamında değerlendirilmektedir. Biyokütle kökenli en önemli alternatif dizel yakıtı biyodizeldir. Biyodizel, “Dizel-Bi” ve “Yeşil Dizel” adları ile de bilinmektedir. Bu kapsamda dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik maddelerden türetilen yakıtlar biyodizel olarak adlandırılır [3].

Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soydizel Geliştirme Kuruluşu (National Soydiesel Development Board) tarafından ifade edildi. Kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından türetilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanır. Yani biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıt olup dizel motorlarında kullanılabilir [4].

Biyodizel en uygun dizel motor yakıtlarından biridir. Biyodizel, bitkisel yağlı tohumlardan, kullanılmış atık kızartma yağlarından, hayvansal yağlardan ve her türlü biyolojik kökenli yağlardan bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyon sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan yağ asidi metil esteridir. Diğer bir ifade ile biyodizel, bitkisel yağ asidi esterlerinin metanol veya etanol gibi basit alkollerle belirli koşullar altında reaksiyona girmesi ile elde edilen mono alkil esterlerdir [5].

Biyodizelin kimyasal formülü $C_{16}-C_{18}$ yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır [6]. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilceğini ilk olarak 1900’lü yılların başında Rudolph Diesel yer fıstığı yağıyla dizel motorunu çalıştırarak göstermiştir. Fakat petrol hazır bir sektör olduğu için yaygınlaşması ancak bazı özel olaylar sonucu ve kısıtlı olmuştur. İkinci dünya savaşı, 1970’lerdeki petrol darboğazı ve yeni dönemde çevre bilincinin artması yeni enerji kaynaklarına ilgiyi artırmıştır [7].

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında önemli kriterler; dizel yakıtının yerine geçebilecek bitkisel yağın fiyatının ekonomik olup olmayacağı, bu

yağların fiziksel-kimyasal ve yakıt özelliklerinin nasıl olacağıdır. Günümüzdeki motorlara en uygun yağın hangisinin olacağı, dizel motorlarda bu yağların uzun süreli kullanımının bir sorun oluşturup oluşturmayacağı, bitkisel yağların ihtiyacımız olan petrolün ne kadarına karşılık gelebileceği, bu yağların kullanılması ile ekonomiye nasıl katkı sağlanabileceği de önemlidir. Bitkisel yağların kullanımında dizel motorların karakteristik eğrilerinin nasıl olacağı, bitkisel yağlarda seyreltme ve esterleşme gibi birtakım işlemler yapılarak günümüz motorlarda kullanılabilir hale getirilebilmesi mi, yoksa bitkisel yağları verimli bir şekilde yakıt olarak kullanabilmesi için motorlarda tasarım değişikliği yapılması mı gerektiği gibi bir takım sorularla karşılaşmaktadır. Bütün bu soruları cevaplamadan önce şu iki husus önemlidir. Bunlardan birincisi; hangi bitkisel yağın kullanılması gerektiği, ikincisi ise; günümüz motorlarında bu yağın kullanılması durumunda motorun karakteristik eğrilerinin nasıl olacağıdır [8].

Literatürde, bitkisel yağların dizel motorlarında kullanımı amacıyla değişik tip ve güçteki motorlar kullanılmıştır. 1980 tarihinden günümüze kadar yapılan bu çalışmalar genel olarak üç grupta toplanmaktadır Bunlar; bitkisel yağlar/dizel yakıt karışımı ile yapılan çalışmalar, bitkisel yağ asit esterlerinin yakıt olarak kullanılması ve motorlarda yapılan değişikliklerle bitkisel yağ ve esterlerinin yakıt olarak kullanılması olarak sıralanabilir [9].

Altun ve Öner yaptıkları çalışmada, dizel motor yakıtına alternatif olarak susam yağı kullanımını araştırmışlardır. Bu amaçla; susam yağı, tek silindirli dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılarak, motor performansı ve motor elemanları üzerindeki etkileri dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada; %75 susam yağı ve %25 dizel yakıtı karışımı yakıt olarak kullanılmıştır. Karışım alternatif yakıt olarak kullanıldığında, motorun düzensiz, sarsıntılı ve sesli çalıştığı görülmüştür. Motorun yakıt püskürtme basıncı artırılarak tekrar kullanılan karışım yakıt ile motor normal çalışmış ve dizele yakın performans değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, farklı bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmaları ile elde edilen sonuçlar ile paralellik arz etmektedir [10].

Schmidt ark. ile Marshall ark. biyodizelin çevre dostu bir alternatif yakıt olduğunu ve bir dizel motor biyodizel ile çalıştırıldığında oluşan egzoz emisyonunda, motorine oranla, yaklaşık olarak, CO %20, HC %30, partikül madde %40 ve duman koyuluğu %50 kadar azaldığını ve NO_x emisyonlarının ise %15 kadar arttığını belirlemişlerdir [11, 12].

Lin ve ark. dizel ve 3 farklı biyodizelden oluşan dört çeşit yakıt üzerinde yapmış oldukları araştırmada, biyodizellerin dizele göre düşük termik verim ve

yüksek özgül yakıt tüketimi sağladığını, daha düşük CO₂, CO ve daha fazla NO_x emisyonlarının üretilmiş olduğunu belirlemiştir [13].

Monyem ark. ile Tat ve ark. ise biyodizeldeki yüksek NO_x oluşumunun, enjeksiyon başlangıcı motor pompa ayarı ile birkaç derece geriye alındığında dizel yakıtı NO_x değerine kadar düşmekte olduğunu ifade etmişlerdir [14, 15]

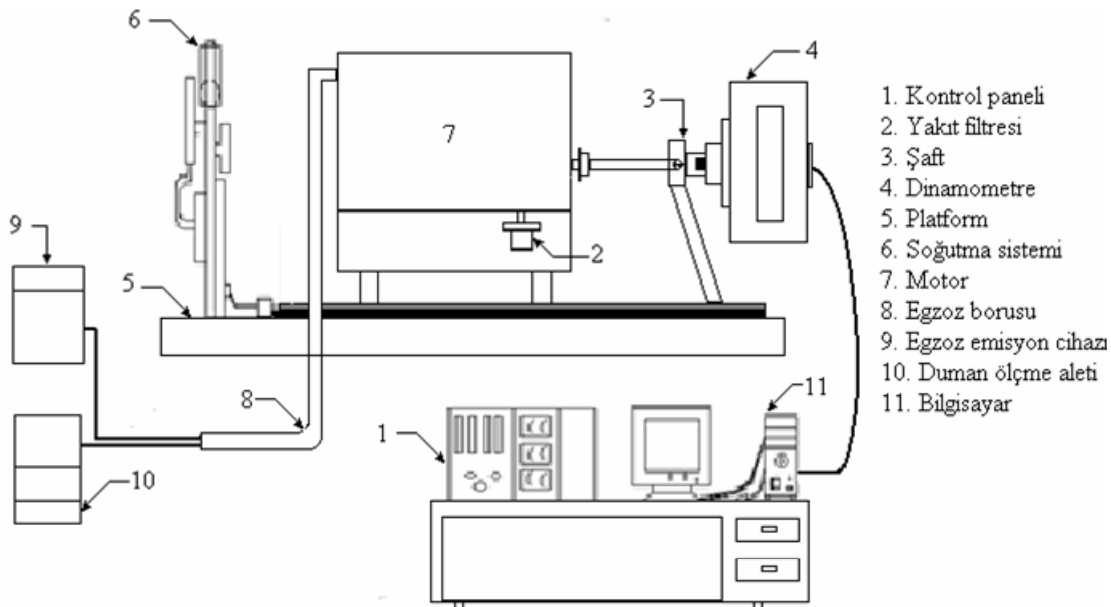
Yapılan bu araştırmanın amacı; kanola yağı metil esteri ve soya yağı metil esterinden elde edilmiş biyodizel ile dizel yakıtını test motoru üzerinde test edilerek, performans ve emisyon karakteristiklerinin karşılaştırılmasıdır. Test edilen yakıtların dizel yakıtına alternatif olup olamayacağını tespiti ve Türkiye'nin gelecekteki enerji politikalarında bu yakıtların konumları hakkında bilgilendirme ve önerilerde bulunmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında yapılmıştır. Yapılan çalışmada; kanola yağı metil esteri ile soya yağı metil esterinin D2 dizel yakıtıyla karşılaştırmak amacı ile bir dizel motoru, hidrolik dinamometre, egzoz gaz analiz cihazından oluşan test düzeneği kurulmuştur.

Deneylerde, dört silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli Steyr marka dizel motor kullanılmıştır. Çizelge 1'de motorun teknik özellikleri verilmektedir. Deneylerle ilgili ölçüm seti Şekil 1'de görülmektedir.

Deneylerde, 1000 kW frenleme gücüne sahip Go-Power hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre 1Nm aralıklarında 5000 Newton'a kadar ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 1. Deney seti (Test rig)

Çizelge 1. Deney motorunun teknik özellikleri
(Technical specifications of the test engine)

Markası	Steyr
Tipi	Direk püskürtmeli dizel motoru
Püskürtme avansı	8°
Silindir sayısı	4
Silindir çapı	100 mm
Strok	100 mm
Sıkıştırma oranı	16,1/1
Maksimum motor devri	2400 1/min
Maksimum güç	46 kW (2400 1/min de)
Maksimum tork	216 Nm (1600 1/min de)

Motor devri, egzoz gazlarının duman koyuluğunu ve azot yüzdesini ölçmede optik yöntemle çalışan VLT 2600 S marka cihaz kullanılmıştır. VLT 2600-S emisyon cihazının ölçüm bileşenleri, ölçme aralıkları ve hassasiyetleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. VLT 2600 S cihazının teknik özellikleri
(Technical specifications of VLT 2600 S)

Emisyon Gazları	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
Egzoz duman koyuluğu	%0-99	0,01
Motor devri	0-9999 1/min	1/min

Delta 1600-L marka emisyon cihazı, NO_x emisyonunun ppm, ortam sıcaklığını °C cinsinden, O₂, CO, CO₂ gazlarını % hacim cinsinden ve HC gazını ppm cinsinden ölçebilmektedir. Çizelge 3'te Delta 1600-L emisyon cihazının teknik özellikleri yer almaktadır.

Deneylerde dizel yakıtı ile kanola yağı metil esteri ile soya yağı metil esterinden elde edilmiş biyodizel

Çizelge 3. Delta 1600–L emisyon cihazının teknik özellikleri (Technical specifications of Delta 1600-L exhaust gas analyzer)

Emisyon Gazları	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
Oksijen (O ₂), hacimce	% 0–25,0	% ± 0,1 – 3
Karbon monoksit (CO), hacimce	% 0–15,0	% ± 0,05 – 5
Karbon dioksit (CO ₂), hacimce	% 0–20,0	% 0,5 – 5
Azot oksit (NO), ppm	0–2000 ppm	± 5 ppm - 5
Sıcaklık (°C)	-40+650 °C	±1 % (T<150 °C)+2%(T<250°C)

yakıtları kullanılmıştır. Yakıtlar piyasadan hazır olarak temin edilmiş olup teknik özellikleri Çizelge 4’te belirtilmektedir.

Deneye başlamadan önce motorun yağ ve su seviyeleri kontrol edilmiş yakıt pompası ve enjektör ayarları orijinal değeri olan 250 bar’a ayarlanmıştır. Tüm yakıt değişimleri esnasında hava ve yakıt filtreleri de değiştirilmiştir. Motor soğutma suyu bağlantıları ve hidrolik dinamometrenin bağlantıları kontrol edilmiştir. Deneyde kullanılan yakıt, dijital terazi üzerine yerleştirilen bir kavanozun içerisine doldurulmuş ve motor çalışmaya hazır hale getirilmiştir.

Motor çalıştırılarak yaklaşık beş dakika süreyle ısınması beklenmiştir. Ölçümlere, motor çalışma suyu sıcaklığına geldikten sonra deneylere başlanmıştır. Her yakıt ile yapılan test tamamlandığında motor test öncesindeki gibi dinlenmeye bırakılmıştır.

Motor ısındıktan sonra gaz kolu tam gaz konumuna getirilerek motora tam yük uygulanmıştır. Tam yük altında bulunan motor, hidrolik dinamometre kontrol paneli üzerinde bulunan yük kontrol kolu yardımı ile sırasıyla 1100 1/min, 1250 1/min, 1400 1/min, 1600 1/min, 1800 1/min, 2000 1/min, 2200 1/min ve 2400 1/min de çalıştırılarak performans ve emisyon karakteristikleri için gerekli veriler alınmıştır. Tüm testler aynı ortam ve koşullarda yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Motor performans ve emisyon değişimlerini bulmak için, deney yakıtları olan dizel yakıtı, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterlerinden elde edilmiş yakıtlar sırasıyla tam yük ve değişik motor devirlerinde test edilmişlerdir. Elde edilen bulgular aşağıda sıralanmaktadır.

3.1. Dizel, Kanola ve Soya Yağı Metil Esterlerinin Performans Karakteristikleri (Performance characteristics of diesel fuel, rape oil and soybean oil methyl esters)

Dizel motorunda kullanılan dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterleri yakıtlarının tork, güç ve özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimleri Şekil 1’de görülmektedir.

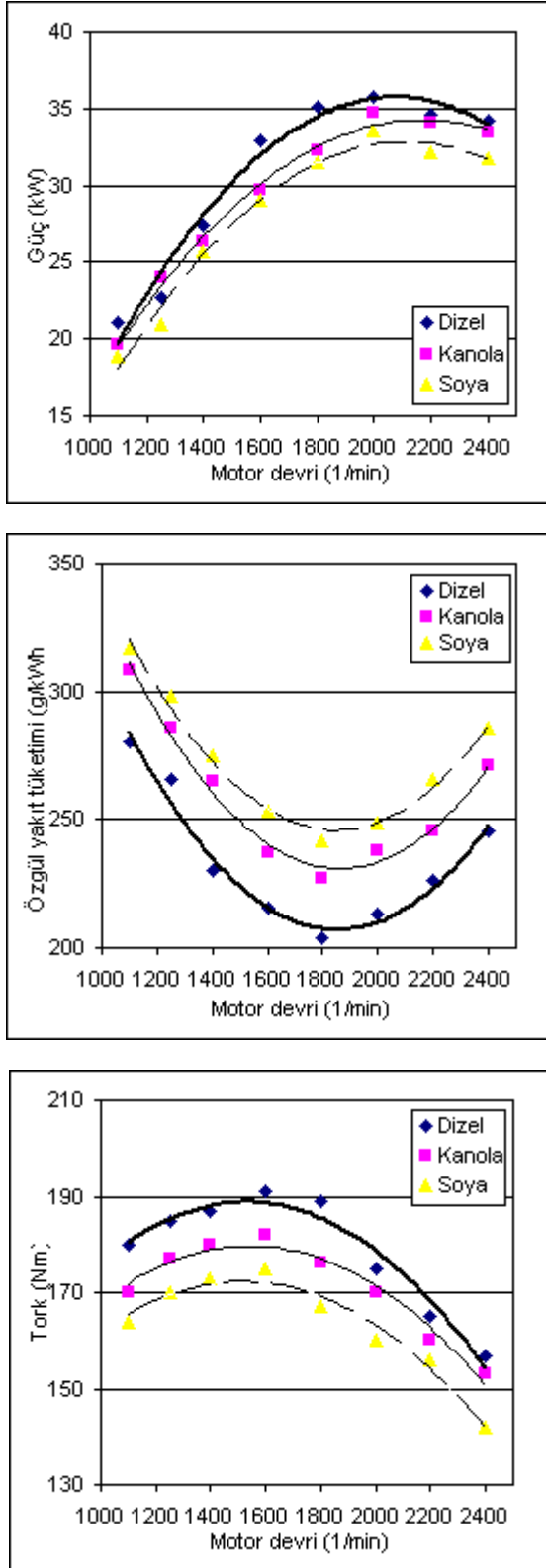
Maksimum motor torku devri olan 1600 1/min de dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterleri sıralamasında 191-182-175 Nm olarak tespit edilmiştir. Dizele göre maksimum motor tork devrindeki bu düşüş; kanola yağı metil esterinde %4,7 iken, soya yağı metil esterinde ise %8,4 kadardır. Ayrıca, ortalama tork devirleri dikkate alındığında dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterleri sıralamasında 179-171-163 Nm, olarak bulunmuştur. Dizele göre ortalama tork miktarındaki düşüş; kanola yağı metil esterinde %4,3 iken soya yağı metil esterinde ise %8,5 olarak tespit edilmiştir.

Motor maksimum güç devri 2400 1/min de dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterleri sıralamasında 34,2 33,4 ve 31,7 olarak sıralanmaktadır. Çalışmalarda maksimum güç devri genelde 2000 1/min de elde edilmiştir. Dizel yakıtında 2000 1/min de aynı yakıt sıralamasında 35,8 – 34,8 kW ve 33,5 kW olarak bulunmuştur. Aynı devirde maksimum güç düşüşü dizele göre; kanola yağı metil esterinde %2,9 iken soya yağı metil esterinde ise %6,4 kadar. Tüm motor çalışma devirlerinin ortalamalarına göre güç değişimleri dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterlerinde sırasıyla 34,8-33,4-31,9 kW olarak sıralanırken, bu düşüşler dizele göre; kanola yağı metil esterinde %4,0 ve soya yağı metil esterinde ise %8,4 kadardır. Bu durumda dizele göre kanola yağı metil esterinin ortalama güç düşüşü soya yağı metil esterinden daha az olduğu görülmektedir.

Dizel yakıtına göre kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterlerinin viskozite ve yoğunlukları

Çizelge 4. Deney yakıtlarına ait fiziksel ve kimyasal özellikler (Physical and chemical properties of test fuels) [16-18]

Yakıt türü	Viskozite (40°C)(mm ² /s)	Isıl değer (kJ/kg)	Setan sayısı	Yoğunluk (25°C)(g/cm ³)
Dizel yakıtı	3,9	43300	54	0,837
Kanola yağı metil esterleri	4,7	39900	58	0,877
Soya yağı metil esterleri	4,9	39760	54–55	0,878



Şekil 1. Tam yük ve değişik devirlerde dizel, soya yağı metil esterleri ve kanola yağı metil esterlerinin performans değişimleri (Performance variations of diesel fuel, soybean oil methyl esters, and rape oil at full load and variable speeds)

yüksek, ısısal değeri daha düşüktür [16,17,18]. Elde edilen bu güç değişimlerine göre dizel yakıtı ile kullanılan alternatif yakıtlar arasındaki güçlerin farklı olması öncelikle yakıtların ısısal değerlerinden,

yoğunluklarından ve viskozitelerinden kaynaklanmaktadır. Yüksek viskozite ve yoğunluk, yüksek motor devirlerinde pompaya daha az yakıt dolmasına, düşük ısısal değer ise daha az enerji açığa çıkmasına ve sonuç olarak daha az güç üretilmesine neden olmaktadır.

Birim güç başına tüketilen özgül yakıt tüketimi, motorun önemli performans parametrelerinden biridir. 1100 1/min de maksimum özgül yakıt tüketimi dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterlerinde sırasıyla 280, 308 ve 317 g/kWh olarak ölçülmüştür. 1800 1/min de minimum özgül yakıt tüketimi tespit edilmiş olup, aynı devirde aynı yakıtların kullanım sıralamasında 204, 227 ve 242 g/kWh, olarak ölçülmüştür. Maksimum tork devri olan 1600 1/min de ise aynı sıralama için bu değişimler 215, 237, 253 g/kWh olarak bulunmuştur. Bu devirde dizel yakıtına göre; kanola yağı metil esterinde %10,1 ve soya yağı metil esterinde ise %17,5 oranında artış tespit edilmiştir. Tüm motor çalışma devirlerinin ortalamaların dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterleri sıralaması 269, 297 ve 312 g/kWh olarak tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketimleri dizel göre; kanola yağı metil esterinde %10,5 ve soya yağı metil esterinde ise %16,2 kadar artmaktadır. Bu durumda dizel göre ortalama özgül yakıt tüketimlerinin artışı kanola yağı metil esterleri soya yağı metil esterinden daha fazla olduğu görülmektedir.

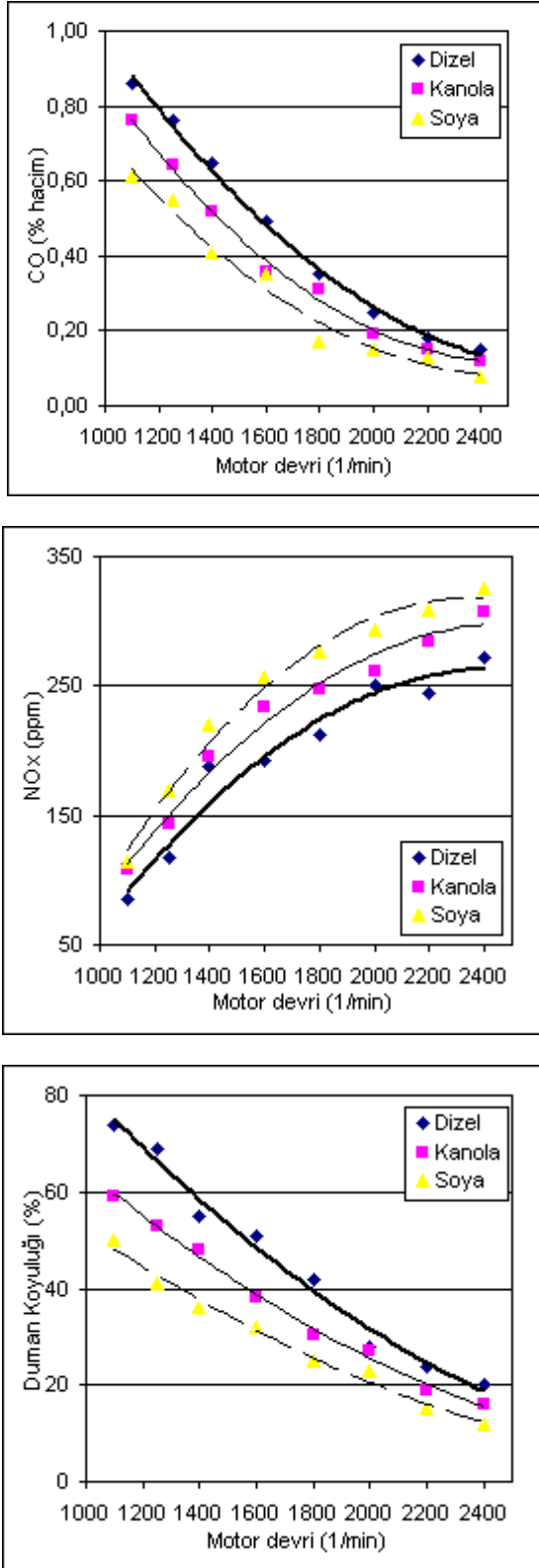
Alternatif yakıtların özgül yakıt tüketimindeki artışın temel nedeni; dizel yakıtına göre daha düşük bir ısısal değere sahip olmaları nedeni ile birim güç başına tüketilen yakıt miktarının artması olarak düşünülmektedir.

3.2 Dizel, Kanola ve Soya Yağı Metil Esterlerinin Emisyon Karakteristikleri (Emission characteristics of diesel fuel, rape oil and soybean oil methyl esters)

Dizel motorunda kullanılan dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterleri yakıtlarının % duman koyuluğu (N;%), karbon monoksit (CO; ppm) ve azot oksit (NO_x; ppm)'in devire bağlı değişimleri Şekil.2'de görülmektedir.

Dizel yakıtı ve deneyde kullanılan alternatif yakıtların % duman koyuluğu (N) değerleri görülmektedir. Duman koyuluğu, egzoz gazı içerisinde bulunan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini (aydınlanan birim yüzey için ışık akısını) azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu %0'dır. Işığı tamamen absorbe eden, yani geçirgen olmayan gaz için duman koyuluğu %100'dür Normal emişli bir dizel motorunda duman koyuluğu sınır değeri %64 dür [19].

Maksimum motor devrinde % duman koyuluğu dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterleri sıralamasında %51, %38 ve %32 oranında azalmaktadır. % duman koyuluğundaki bu düşüş dizel yakıtına göre; kanola yağı metil esterinde %25 iken,



Şekil 2. Tam yük ve değişik devirlerde dizel, soya yağı metil esterleri ve kanola yağı metil esterlerinin egzoz emisyonlarının değişimleri (Exhaust emission variations of diesel fuel, soybean oil methyl esters, and rape oil at full load and variable speeds)

soya yağı metil esterinde ise %37 kadar azalmaktadır. Ölçümlerin yapıldığı tüm motor çalışma devirlerinin ortalamalarına göre % duman koyuluğu dizel, kanola

yağı metil esterinin ve soya yağı metil esterinin üçlüsünün sıralamasında %52, %42, %33 olarak azalır oranda elde edilmiştir. Ortalama motor devirleri dikkate alındığında dizel yakıtına göre; kanola yağı metil esterinde %20 ve soya yağı metil esterinde ise %34 kadar azalmaktadır. Yapılan deneyde duman koyuluğu TS tarafından belirlenen %64 sınırının üstüne sadece dizel yakıtında 1100 1/min de %74 olarak ölçülmüş olup, test yapılan diğer tüm devirler esnasında kullanılan üç tip yakıtta da sınır değerinden daha az ölçümler elde edilmiştir.

Maksimum tork devrinde % CO değişimi dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterleri sıralamasında %49, %36 ve %30 oranında azalarak değişmektedir. Aynı devirde dizel yakıtına göre bu azalma oranı; kanola yağı metil esterinde %27 iken soya yağı metil esterinde ise %39 civarında tespit edilmiştir. Motorun maksimum güç devri olan 2400 1/min de ise dizel, kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterleri sıralamasındaki CO değişimleri sırasıyla; %15, %12 ve %8 olarak değişmektedir. Tüm motor çalışma devirlerinin ortalamalarına göre CO emisyonları dizelde %53 iken, kanola yağı metil esterinde %44 ve soya yağı metil esterinde ise %34 civarında değişmektedir. Dizel yakıtına göre azalma ise; kanola yağı metil esterinde %17 ve soya yağı metil esterinde ise %35 civarında tespit edilmiştir. Sonuç olarak, motorun düşük çalışma devirlerinde kullanılan alternatif yakıtlar dizel yakıtına göre az oranda CO emisyonları üretirken motorun yüksek devirlerinde bu oran daha da azalmaktadır.

Maksimum tork devrinde dizel yakıtında NO_x emisyonu 192 ppm, kanola yağı metil esterinde 234 ppm soya yağı metil esterinde ise 256 ppm ve olarak ölçülmüş olup, dizel yakıtına göre NO_x emisyonlarındaki artış ise; kanola yağı metil esterinde %22 ve soya yağı metil esterinde ise %33 civarında tespit edilmiştir. Maksimum güç devri olan 2400 1/min de NO_x değeri dizel yakıtında 272 ppm, kanola yağı metil esterinde 307 ppm ve soya yağı metil esterinde ise 326 ppm olarak ölçülmüştür. Aynı devirdeki dizel yakıtına göre NO_x emisyonlarındaki artış ise; kanola yağı metil esterinde %13 ve soya yağı metil esterinde ise %20 civarında tespit edilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı tüm motor çalışma devirlerinin ortalamalarına dikkate alındığında dizel yakıtı, soya yağı metil esterleri ve kanola yağı metil esterleri sırasıyla 223, 254 ve 281 ppm olarak değişmektedir. Dizel yakıtına göre artış ise; kanola yağı metil esterinde %14 ve soya yağı metil esterinde ise %26 civarında tespit edilmiştir.

Motorlu taşıtlarda NO_x oluşumu, yanma sonucundaki yüksek sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Kullanılan kanola yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterlerinin yanma sonu sıcaklıklarının, dizel yakıtı ile çalışmaya oranla daha düşük olması nedeniyle, NO_x emisyonları da dizel yakıtına göre daha az bulunmuştur.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER (EVALUATION OF TEST RESULTS AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmada dizel yakıtı ile kanola yağı metil esteri ve soya yağı metil esterinden elde edilmiş biyodizel yakıtları sırasıyla, dizel motorunda hiçbir değişiklik yapılmaksızın ayrı ayrı kullanılmıştır. Bu yakıtların performans ve emisyon karakteristikleri tam yük ve farklı motor devirlerde testlere tabi tutulmuştur. Elde edilen verilere göre her üç yakıtın performans ve emisyon değişim eğrileri elde edilmiş ve bu eğriler birbiriyle karşılaştırılmıştır.

- Motorun 1600 1/min deki dizel yakıtı, kanola yağı metil esteri ve soya yağı metil esteri sıralamasındaki performans değişimleri sırasıyla incelendiğinde, maksimum tork dizel yakıtına göre; kanola yağı metil esterinde %4,7, soya yağı metil esterinde %8,4 kadar azalmaktadır. Motor güç değişimleri dizel yakıtına göre; kanola yağı metil esterinde %9,7 ve kanola yağı metil esterinde ise %11,8 oranında azalmaktadır. Özgül yakıt tüketimleri ise dizel yakıtına göre; kanola yağı metil esterinde %10,1 ve soya yağı metil esterinde ise %17,5 oranında artmaktadır. Performans değişimleri bakımından alternatif yakıtlar ile çalışmalardan birisi olan referans [10] ile genel bir uyum içerisinde yer almaktadır.
- Aynı yakıtların aynı tork devrinde emisyon değişimlerinden % duman koyulukları dizel yakıtına göre; kanola yağı metil esterinde %25, soya yağı metil esterinde ise %37 kadar azalmaktadır. CO emisyonları dizel yakıtına göre azalma oranı kanola yağı metil esterinde %27, soya yağı metil esterinde %39 oranında tespit edilmiştir. NO_x emisyonları da dizel yakıtına göre kanola yağı metil esterinde %22, soya yağı metil esterinde %33 oranında artışlar tespit edilmiştir. Emisyon değişimleri alternatif yakıtların üretmiş olduğu emisyonlar bakımından referans [11, 12, 13] ile uyum içerisinde yer alırken artma ve azalma oranlarında kısmi farklılıklar oluşturmaktadır.
- Soya yağı metil esteri ve kanola yağı metil esterleri ısı değerleri bakımından dizel yakıtından kısmen düşüktür. Bu farkın temel sebepleri düşük ısı değeri, yüksek viskozite ve yoğunluktur. Bu nedenle viskozitenin düşürülmesi için esterleşme reaksiyonlarında iyileştirme veya esterlere çeşitli kimyasal katıklar eklenerek kullanılabilir.
- Soya yağı metil esteri ve kanola yağı metil esterleri dizel yakıtının yerini tamamen alamaz, fakat özellikle egzoz emisyonları bakımından dizel yakıtından daha iyi sonuçlar verdiği için “enjektör basınçlarının artırılması ve pompa avans ayarlarının değiştirilmesi” gibi yapılacak yeni çalışmalarla geliştirilip alternatif yakıt olarak kullanımı düşünülebilir.
- Alternatif yakıtların kullanımında, yerli ürünlerle üretim sürecini destekleyen teşvikler verilmeli,

vergi indirimleri uygulanmalı, ucuz hammadde temini için tarım sektörü desteklenmeli, üretim süreçlerinin ve ürünlerin standartlara uyumu gibi özellikler dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ögüt, H. ve Oğuz, H., “Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel 2.Baskı ”, **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 1- 25, (2006).
2. Altıparmak, D., Keskin, A, Koca, A. ve Gürü, M., “Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester–diesel fuel blends” *Bioresource Technology* 98 (2007) 241–246.
3. Karaosmanoğlu, F., “Türkiye İçin Çevre Dostu– Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotorin”, **Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, ICC1 2002 Özel Sayısı**, İstanbul, 10, 50–56, (2002).
4. Connemann, J ve Fischer, J. “Biodiesel World 2000”, **International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils**, sayfa 4, Würzburg, Almanya, 8-10 Ekim 2000.
5. Atakan, E., “Değişik yağlardan elde edilen biyodizellerin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1–10, (2006).
6. İnternet : “Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammadde Kaynakları”, Biyomotorin ve Türkiye, <http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html>, (2007).
7. Vermeersch G., “Development of a Biyodizel Activity”, **International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils**, Würzburg, Almanya, 3, (2000).
8. Oğuz, H. ve Ögüt, H., “Tarım traktörlerinde bitkisel kökenli yağ ve yakıt kullanımı” **Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Selçuk-Teknik Online Dergisi** Konya ISSN 2 (2): 1302- 6178 (2001).
9. Altın, R., “Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 31-33, 82–154 (1998).
10. Altun, Ş. ve Öner, C., “Susam yağının alternatif yakıt olarak dizel motor performansı ve motor elemanları üzerindeki etkileri” **Teknoloji Dergisi**, 8 (3): 229-236, (2005).
11. Schmidt, K., ve Gerpen, J. V., “The Effect of Biodiesel Fuel Composition on Diesel Combustion and Emissions”.**SAE Paper** No: 961086, Warrandale, 1996.
12. Marshall, W. F., “Effects of Methyl Esters of Tallow and Grease on Exhaust Emissions and Performance of a Cummins L 10 Engine”. Report Prepared for the Fats and Proteins Research Foundation by the National Institute for

- Petroleum and Energy Research (**NIPER**), Report No: B 08861, 1993.
13. Lin C-Y ve Lin. H-A., “Diesel engine performance and emission characteristics of biodiesel produced by the peroxidation process”, **Fuel** 85 (2006) 298–305.
 14. Monyem, A., Gerpen, J. V. ve Canakci, M., “The Effect of Timing and Oxidation on Emissions From Biodiesel-Fueled Engines”. **ASAE**. Vol.44(1): 35-42, 2001.
 15. Tat. M.E., ve Van Gerpen. J.H., Biodiesel blend detection with a fuel composition sensor, **Applied. Engineering. Agriculture**. 19 (2) (2003) 125– 131.
 16. Yamık, H., “Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkânlarının Araştırılması” Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 71–90 (2002).
 17. İnternet : “Alternatif Enerji Kaynakları Ders Notları” **Dumlupınar Üniversitesi Web Portalı**, <http://mf.dumlupinar.edu.tr/~biyodizel/biyodizel/html> (2007).
 18. Altın, R., Çetinkaya, S., ve Yücesu, S., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi”, **Türk J Engine Environ Science, Tübitak**, Ankara 25: 39 -49 (2001).
 19. TS 11365, Türk Standartları, “Egzoz Gazı Kirlenmeleri Trafikteki Dizel Motorlu Taşıtları İçin Ölçüm Metodu ve Sınır Değerleri”, **TSE**, Ankara (1998).