



## Fındık Yağı Metil ve Etil Esteri ile Diesel Yakıtı Karışımlarının Küçük Güçlü Bir Diesel Motorda Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi\*

A.Konuralp ELİÇİN<sup>1</sup>

Doğan ERDOĞAN<sup>1</sup>

Geliş Tarihi: 19.12.2006

**Öz:** İçinde yaşadığımız dönem, konvansiyonel olarak bilinen, kullanımdaki enerji kaynaklarının tükenme olasılığı riskinin bilincine varıldığı bir sürecin başlangıcıdır. Fosil kökenli enerji kaynaklarının bir çoğunun hesaplanan sürelerin çok öncesinde tükeneceği, bunun çevremiz için büyük ve geri dönüşümü olmayan felakete sebep olacağı, artan ihtiyacı ve sürekli gelişen teknolojileri karşılamada yetersiz kalacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenlerle, çeşitliliğini artırma ve yayma isteklerinden dolayı, araştırmacılar yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışı üzerine yoğunlaşmaktadırlar. Günümüzde yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği artmakta, bir kısmı ekonomik alternatiflik açısından değer kazanmakta, bir kısmı üzerinde ise teknik ve ekonomik açıdan araştırmalara devam edilmekte ve yeni enerji kaynakları ortaya çıkmaktadır. Bu kaynakların en önemli ortak yönü ise çevreye uzun veya kısa vadede olumsuz etkileri oluşturmamasıdır. Bio yakıtlar bu amaçla en yeniler arasında yer almaktadır. Mevcut motor teknolojilerinde çok büyük bir değişiklik yapılmaksızın kullanılabilir olması, Diesel yakıtına yakın veriminin olması, hayvansal ve bitkisel kaynaklardan elde edilebilir olması ve çevreci olması araştırmaların bu yönde ilerlemesine neden olmaktadır. Bitkisel yağların, doğrudan motorlarda kullanılmaları yüksek viskoziteleri nedeniyle mümkün değildir. Bu nedenle uygulanan yöntemler, bu problemin çözülmesine yöneliktir. Bu araştırmanın amacı, yakıt olarak kullanılan fındık yağının küçük güçlü bir Diesel motor performansına etkilerini incelemek, emisyon kontrollerini yapmak ve uygulanabilirliğini belirlemektir. Bu amaçla, doğrudan püskürtmeli, 5,5 kW anma gücünde 4 zamanlı bir Diesel motoru kullanılmıştır. Yakıt olarak belirli oranlarda fındık yağı / Diesel yakıtı karışımları ve transesterifikasyon yöntemi ile edilen fındık yağı etil ve metil esterleri kullanılmıştır. Denemelerde devir sayılarına bağlı olarak, dönme momenti, yakıt tüketimleri ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Yapılan hesaplamalarla, güç, özgül yakıt tüketimleri ve saatlik yakıt tüketimleri belirlenmiştir. Buna göre fındık yağı alkil esterlerinin Diesel yakıtına benzer değerlere sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Fındık yağı, Emisyon, Performans

### Determination of Using Hazelnut Oil Ethyl and Methyl Esters and Hazelnut Oil-Diesel Blends As a Fuel in Small Internal Combustion Engine

**Abstract:** The term we live in known as conventional is a beginning of the conscious of possibility of risks of depletion. Such reasons like, fossil originated energy sources can be consumed before the time it is guessed, these sources can cause huge and irrevocable catastrophes, they can not be enough to the need of rising energy sources and newly developing technology and for the wish of the developed countries to rise and widen the variety of useable energy, investigators new focused on the searching for new and renewable energy resources. Today, the variety of new and renewable energy sources are increasing, some part gaining value as alternatives of economy, some part of it is still under investigation from its both economic and technical sides and almost everyday, there appears a new source of energy. The most common side of these source are that they do not cause short or long term negative effects. Bio fuels are within the mostly new of these with this aim. The reasons that they can be used in present motor technologies without making any change, as they have a close product to diesel fuel, as it can be gained from both animal and vegetable sources and it has an environment causes investigations to go on this way. It is impossible to use vegetable oils directly to the motors as their high viscosities. So the methods are applied is to solve this problems which. The objective of this research is to determine the feasibility and examine the effect of hazelnut oil methyl and ethyl esters which are produced by transesterification method and blending method used as fuel on the performance and emissions controls of diesel engine. For this purpose, a naturally aspirated, direct injection, single cylinder diesel engine was used. During the test, torque, emissions values and fuel consumption were measured with respect to the engine speed. The brake power, brake specific fuel consumption values are also calculated. Accordingly, hazelnut oil alkyl esters were found to closely similar to those of diesel fuels.

**Key Words:** Biodiesel, Hazelnut oil, Emission, Performance

\*Yüksek Lisans Tezinden hazırlanmıştır.

<sup>1</sup> Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarım Makinaları Bölümü -Ankara

## Giriş

İçinde yaşadığımız dönem, klasik bir deyimle, konvansiyonel olarak bilinen enerji kaynaklarının riskinin arttığı bir sürecin başlangıcıdır. Bu risk dört önemli faktörü içermektedir. Birincisi, klasik enerji kaynaklarının birçoğu hesaplanan bir sürenin sonunda tükenecektir. İkincisi, bu tür kaynaklar çevremiz için büyük ve geri dönüşümü olmayan tehlikeler yaymaktadır. Üçüncüsü, klasik enerji kaynaklarının artan ihtiyacı ve gelişen teknolojiyi beslemede yetersiz kalmasıdır. Dördüncüsü ve en önemlisi, gelişmiş ülkeler enerji çeşitliliğini artırmakta, yaymakta ve belli enerji kaynağı türlerine büyük oranda bağımlı olmamaya çalışmaktadır. Türkiye gibi geçmişte petrol, günümüzde doğal gaz ve petrol ile gelecekte doğal gaz bağımlısı olacak bir ülkenin bugünü ve geleceği açısından alternatif enerji kaynaklarının önemi daha da artmaktadır (Gürleyük ve Akpınar, 2003).

Yeni-yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük teknik potansiyele "*Biyokütle*" sahiptir. Ana bileşenleri karbohidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler "*Biyokütle Enerji Kaynağı*", bu kaynaklardan üretilen enerji ise "*Biyokütle Enerjisi*" olarak tanımlanmaktadır. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolanması sonucu oluşmaktadır. Odun (enerji ormanları, çeşitli ağaçlar), yağlı tohum bitkileri (kolza, ayçiçek, soya v.b.), karbohidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, enginar, v.b.), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, v.b.), protein bitkileri (bezelye, fasulye, buğday v.b.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, v.b.), hayvansal atıklar ile şehirsal ve endüstriyel atıklar biyokütle enerji teknolojileri kapsamında değerlendirilmekte ve mevcut yakıtlara alternatif çok sayıda katı, sıvı ve gaz yakıtlara ulaşılmaktadır. Biyokütle kökenli sıvı yakıtlar içinde günümüzde ön plana çıkan biyomotorindir. Biyomotorin (Biodiesel), biyodizel, Dizel-Bi, Yeşil Dizel adları ile de bilinmektedir. Tercih nedenleri ise;

- Diesel yakıt yerine doğrudan kullanılabilmesi,
- Diesel'e yakın bir yakıt veriminin olması,
- Hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilebilir olması,
- Enerji tarımı için işgücü ve ekonomik sektör oluşturması,
- Çevreci olması, olarak görülmektedir.

Bitkisel yağlar, bazı tarım ürünlerinin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi sonucunda elde edilmektedir. Bunlar petrol esaslı yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Diesel yakıtının büyük oranda parafinler ve aromatiklerden oluşmasına ELİÇİN A. K. ve D. ERDOĞAN, "Fındık yağı metil ve etil esteri ile diesel yakıtı karışımlarının küçük güçlü bir

karşılık, bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış oldukları esterlerdir. Trigliserid, gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubunun yağ asitleriyle esterleşmesi ile elde edilmektedir. Gliserinin 3 karbon atomunun da aynı yağ asidi ile esterleşmesi halinde basit trigliserid, farklı yağ asitleri ile esterleşmesi halinde karışık trigliserid adı verilir. Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır (Erdoğan ve Mohammed 1997).

Doymamış yağ asidi moleküllerinin karbon atomları arasında bulunan çift bağ sayısı, bir ya da daha fazla olabilmektedir. Yağ asitleri, içerdikleri karbon atomu sayısına bağlı olarak uzunluğu farklı zincirler oluştururlar. Bitkisel yağlarda en çok bulunan yağ asitlerine örnek olarak; 16 karbonlu palmitik ile 18 karbonlu stearik, oleik, linoleik ve linolenik asidi gösterilebilir. Bunlardan palmitik asit çift bağ sayısı olmayıp doymuştur. Oleik ve risiloneik bir çift bağa, diğerleri iki çift bağa sahiptir (Erdoğan 1991). Araştırma ve uygulamalar; kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağlı yağ asitlerini içeren yağların uygun Diesel yakıtı alternatifi olduğu ve artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu durum, oleik asitçe zengin yağları ön plana çıkarmaktadır (Karaosmanoğlu ve Aksoy 1994).

Fındık yağı %71 – 85 oranında oleik asit ve %7–22 linoleik asit içeren bir yağdır. Araştırma ve uygulamalar, kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağlı yağ asitlerini içeren yağların uygun Diesel motor yakıtı alternatifi olduğunu ve artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu durum oleik asitçe zengin yağların alternatif yakıt olarak ön plana çıkmasına sebep olmuştur. Yüksek oleik asitli bitkisel yağların oksitlenme direnci daha iyidir. Her bir yağda yağ asidi zincirinin farklı tiplerinin oranı olarak bitkisel yağların kompozisyonları değişmektedir. Monodoymamış zincirler oksitlenme direnci için iyidir. Polidoymamış zincirler fakir oksitlenme direnci verir, fakat düşük sıcaklıkta davranış özelliği iyileşmektedir. Doymuş yağ asidi zincirinin düşük sıcaklık direnci çok azdır. Bu yüzden istenen yağ çoğunlukla monodoymamış, polidoymamış zincirler ve minimum doymuş zincirlerin karışımına sahip olacaktır (Acaroğlu ve Oğuz, 2002). Çizelge 1'de Fındık yağı yağ asitleri kompozisyonları görülmektedir.

Bitkisel yağların enerji içerikleri, petrol kökenli Diesel yakıtları ile hemen hemen aynı düzeydedir. Ancak Diesel yakıtına göre 10 – 20 kat daha fazla yüksek viskozite sebebiyle; enjektörlerde tıkanma, yağlama yağı problemleri, motor ömrünün kısalması ana sorunları ile belirtilebilecek pek çok

diesel motorda yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi”

Çizelge 1. Fındık yağı yağ asitleri kompozisyonları

Fındık yağı yağ asitleri kompozisyonları		
Asitler	Değer	Limit
Miristik Asit	0,03	< 0,1
Palmitik Asit	5,34	4,5 – 7,5
Palmitoleik Asit	0,18	0,1 – 0,4
Heptadekanoik Asit	0,05	< 0,1
Heptadekanoik Asit	0,07	< 0,2
Stearik Asit	2,61	1,8 – 3,2
Oleik Asit	81,62	77,0 – 84,0
Linoleik Asit	9,71	6,0 – 14,0
Linolenik Asit	0,09	< 0,3
Araşidik Asit	0,12	< 0,3
Gadoleik Asit	0,17	< 0,3
Behenik Asit	0,02	< 0,3
Lignoserik Asit	0,01	
Doymuş Yağ Asitleri (%)	8,16	
Tekli Doymamış Yağ Asitleri (%)	82,04	
Çoklu Doymamış Yağ Asitleri (%)	9,80	
Enerji (kcal/100 g)	888	

olumsuzluklara neden olmaktadır. Bitkisel yağların direkt püskürtmeli Diesel motorlarında uzun süreli kullanımları imkansız olup, sadece rafine yağların ön yanma odalı Diesel motorlarında bazı sınırlamalar ile değerlendirilmesi mümkün görülmüştür. (Karaosmanoğlu vd. 2000 ).

Bütün bu olumsuz faktörler, motor bakım masraflarını artırıcı ve motorun ömrünü kısaltıcı yönde etki etmektedir. Bitkisel yağların Diesel yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, ya motorda bir takım değişiklikler yaparak ya da saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları, seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz, transesterifikasyon ve süper kritik yöntemdir (Oğuz 2001).

Şekil 1’de bitkisel yağların Diesel motorlarında kullanılabilmesi için kullanılan yöntemler şematik olarak görülmektedir. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması ile ilgili araştırmalarda, yağların yakıt özelliklerinin belirlenmesi, gerekiyorsa iyileştirilmesi ve referans yakıt olarak Diesel yakıtı ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada yakıt olarak kullanılan fındık yağı, ulusal bir ürün olması nedeniyle, tercih

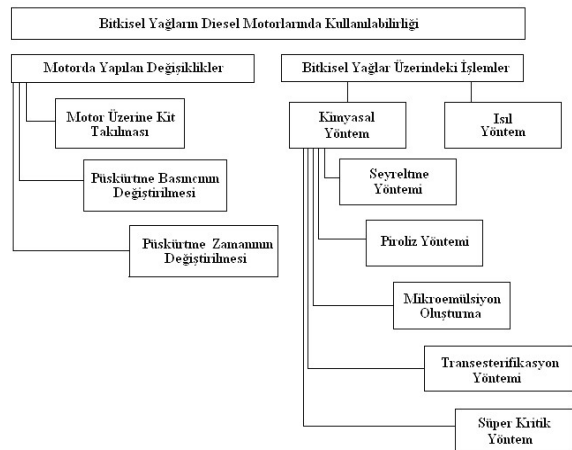
edilmiştir. Çalışmada elde edilen yağ / Diesel yakıt karışımlarının yanı sıra, özellikle çok pratik bir şekilde, transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen fındık yağı etil ve metil esterlerinin yakıt özelliklerinin Diesel yakıtına oldukça benzerlik göstermesi oldukça iyi bir seçim yapılmış olduğunun göstergesidir.

Fındık yağında da oleik yağ asidi miktarı oldukça yüksektir. Bitkisel yağların trans- esterifikasyonundaki temel amaç; yağ içerisindeki gliserini ayırmak, yağın kaynama noktasını, parlama noktasını, akma noktasını ve özellikle viskozitesini düşürmektir (Oğuz 2004).

### Materyal ve Yöntem

Yapılan araştırma çalışmaları iki ana bölüm olarak planlanmıştır. Birinci bölümde fındık yağı, Diesel yakıtı %10/90, %20/80, %30/70, %40/60 ve %50/50 karıştırılmış ve daha sonra ayrı ayrı herbir karışım için emisyon ve motor denemeleri yapılmıştır. İkinci bölümde ise, önceden hazırlanmış biodiesel üretim tesisinde fındık yağı etil ve metil esterleri elde edilmiş, elde edilen yakıtların kimyasal ve yakıt özellikleri incelendikten sonra motor ve emisyon denemeleri yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle fındık yağının yağ asitleri kompozisyonları araştırılmış, daha sonra yakıt olarak kullanılan karışım ve alkil esterlerin viskozite ve özgül ağırlıkları saptanmıştır.

Fındık yağının yakıt olarak kullanımındaki en önemli problem olarak karşımıza çıkan yüksek viskozite sorunu, biyodizel üretim yöntemlerinden transesterifikasyon ile giderilmeye çalışılmıştır. Fındık yağı metil veya etil ester elde etme yönteminin esası,



Şekil 1. Bitkisel Yağların Diesel Motorlarda Kullanılabilmesi İçin Kullanılan Yöntemleri

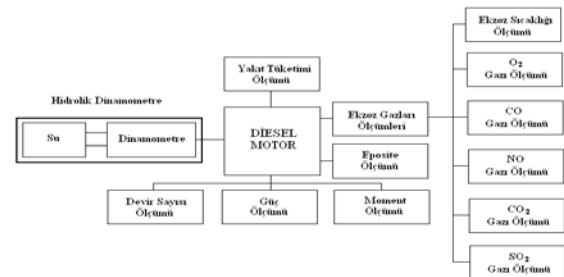
bir trigliserid olan bitkisel yağın etil veya metil alkolle uygun miktarlarda karıştırılması, uygun çeşit ve miktarda katalizörün ilave edilmesi ve belirli bir sıcaklıkta reaksiyonun gerçekleştirilmesidir. Biodiesel olarak adlandırılan tüm yağların yeniden esterleştirme işlemi metanol veya etanol kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Literatür bilgileri incelendiği taktirde asit, baz veya lipaz katalizörlerin kullanılması uygundur. Fakat çoğunlukla baz katalizörler reaksiyon zamanının azaltıcı etkisinden ve ekonomik oluşlarından dolayı tercih edilmektedir. Bu nedenle denemelerde KOH kullanılmıştır. Fındık yağından biodiesel elde etmek için, yağ biodiesel üretim düzeneğinde motorda kullanılacak hale gelinceye kadar aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

- Fındık yağı bir tanka konularak 70 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Mikroişlemcili bir termostat kontrolü ile bu sıcaklığın tüm reaksiyon süresince sabit kalması ve karıştırıcı ile yağ sürekli karıştırılarak yağ sıcaklığının her yerde aynı kalması sağlanmıştır.
- Kullanılan fındık yağının hacimsel olarak %20'sine karşılık gelen metanol / etanol ve fındık yağının ağırlıkça 2,5 g/l yağ oranında KOH ayrı bir kaptaki karıştırılmış ve bir süre bekletilmiştir.
- Süre ve sıcaklık kontrollü kaptaki karışım 6 saat karıştırılmıştır. Karıştırma işleminde, reaksiyonun iyi bir şekilde gerçekleşebilmesi için kullanılan karışımın sıcaklık değeri, karıştırma hızı ve reaksiyon süresi etkili olmaktadır.
- Dinlendirmeye alınan karışım 12 saat dinlendirilerek biodiesel ile gliserinin ayrışması sağlanmıştır. Bu arada pH kağıtları ile üstteki biyodiesel pH'ına bakılmıştır. Reaksiyon bazik karakterli olduğu için nötrleşinceye kadar sülfirik asit ilave edilmiştir.
- Bitkisel yağlardan elde edilen biodiesel içerisinde kalan yağ asitleri, reaksiyona girmeyen alkol, katalizör madde ve ayrışma esnasında kalma ihtimali söz konusu olan gliserinin bünyeden uzaklaştırılması için yıkama işlemi yapılması gerekmektedir. Yıkama işleminde saf suyla kabarcık yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemle elde edilen biodiesel 1/1 oranında saf su ile karıştırılmış, bir hava pompasına (akvaryum hava motoru) bağlanan hava üfleci, karışımın içerisine yerleştirilerek içeriye hava gönderilmiş ve böylece kabarcıkların oluşması sağlanarak ve pH değeri ölçülerek karışım değeri 7 oluncaya kadar sülfirik asit ilave edilmiştir.
- Yıkama işlemi esnasında karışım kontrol edilerek köpürme yapmaması gerekmektedir. Bu işlem 4 saat sürmektedir.
- Yıkama işleminden sonra 12 saat beklenerek su ile biyodizelin faz oluşturarak suyun dibine çökmesi beklenmiş ve su vakum yöntemiyle tahliye edilmiştir. Yıkama tankının içerisinde kalan biyodieselde su kalma ihtimaline karşın suyun kaynama noktası olan 100 °C'ın üzerinde ısıtılarak biodiesel içindeki suyun

buharlaştırılması sağlanmış ve daha sonra biodiesel kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Elde edilen farklı oranlardaki yakıt / fındık yağı karışımları ve fındık yağı etil ve metil esterlerinin, küçük güçlü bir Diesel motorunda performans etkilerini ve çevreye olan olumsuz veya olumlu etkilerini incelemek için motor denemeleri yapılmıştır. Deneyler, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Atelyesinde bulunan tesiste gerçekleştirilmiştir. Deney tesisatı hidrolik dinamometre, motor, eposite ölçüm cihazı, gaz analiz cihazı, yakıt sarfiyatı ölçüm düzeneği ve kontrol ünitelerinden oluşmaktadır. Deneme tesisatı bağlantı şeması Şekil 2'de görülmektedir.

Araştırmada, tek silindri, 5,5 kW gücünde, doğrudan püskürtmeli, hava soğutmalı Lombardini LDA 450 model Diesel bir motor kullanılmıştır. Motor, elde edilen karışımlar ve esterler ile çalıştırılmadan önce, tesisin emniyeti açısından önemli olan, bağlantı elemanlarının kontrolü ve test düzeneğinin kalibrasyonu için başlangıçta Diesel yakıtı kullanılarak sistem boşa denenmiştir. Daha sonra Diesel yakıtı referans yakıt olarak denenmiş ve motor yüklenerek değerler alınmıştır. Daha sonra diğer yakıt türleri için denemelere geçilmiştir. Her bir yakıt türü için denemeye başlanmadan önce mutlaka Diesel yakıtı ile boşa çalıştırılarak diğer yakıt türünden hiçbir yakıt kalıntısının kalmamasına çalışılmıştır. Motor denemeleri tam gaz konumunda iken hidrolik bir güç freni ile yapılmıştır. Denemeler her bir yakıt türü için 3 tekrar halinde yapılmış ve tekrarlar arasında en az 2 saat motorun soğuması için beklenmiştir. Şekil 3'de motor deneme tesisi görülmektedir. Egzoz gazı çıkışı bir bacaya bağlanmıştır. Baca üzerinde daha iyi bir akış için aspiratör bulunmaktadır. Duman yoğunluğu ve emisyon değerlerinin ölçümleri için, ölçüm cihazlarının sensörleri egzoz borusu üzerinde açılan deliklere yerleştirilerek ölçülmüştür. Emisyon ölçümleri de aynı devir sayıları üzerinden alınmıştır.



Şekil 2. Deneme tesisatı bağlantı şeması



Şekil 3. Motor deneme tesisi

Motor tam gazda iken, motor mili kademe kademe yüklenerek motor devir sayısı maksimum devirden 250'şer 250'şer azaltılarak gerekli ölçümler alınmıştır. Aynı devir ve yükte yakıt ölçme düzeneği ile 50 ml yakıtın harcanması için geçen süre ölçülmüştür. TSE'ye göre; ölçülen güç hava şartları dikkate alınarak düzeltilmektedir. Atmosferik koşullar çok fazla değişim göstermediği düşünülerek elemine edilmiştir.

### Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Araştırmaya, denemede kullanılan yakıt karışımlarının ve esterlerin oda sıcaklığı koşullarında viskozite değerleri ve özgül ağırlıkları 3 tekrar olarak ölçülerek başlanmıştır. Çizelge 2'de sonuçlar görülmektedir.

Motor karakteristik eğrilerinden, motor momentlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri Şekil 4 ve Şekil 5'de görülmektedir. Şekil 4

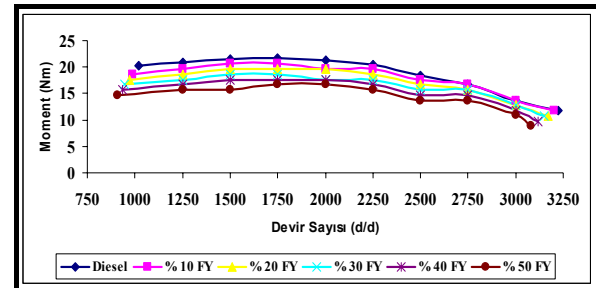
Çizelge 2. Deneme yakıtları 20 °C'de viskozite ve özgül ağırlık değerleri

Yakıt Türü	20 °C'da Viskozite Değeri (cSt)	20 °C'da Özgül ağırlıkları (g/cm <sup>3</sup> )
Diesel Yakıtı	3,626	0,7798
Fındık Yağı	52,745	0,8672
%10 FY + %90 Diesel	4,158	0,7280
%20 FY + %80 Diesel	6,931	0,7362
%30 FY + %70 Diesel	9,848	0,7389
%40 FY + %60 Diesel	13,953	0,7421
%50 FY + %50 Diesel	17,481	0,7494
Fındık Yağı Metil Esteri	4,485	0,8381
Fındık Yağı Etil Esteri	5,542	0,8138

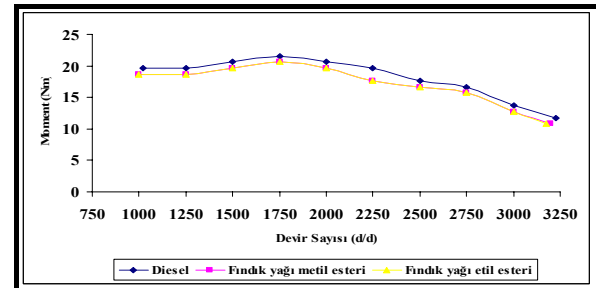
'den de görüldüğü üzere en yüksek moment değerlerine Diesel yakıtı kullanıldığında elde edilmiştir. Aynı devir ele alındığında Diesel yakıtı 1750 devirde 21,582 Nm moment geliştirirken, aynı devirde %10 FY + %90 Diesel yakıtı karışımı 20,601 Nm, %20 FY + %80 Diesel yakıtı karışımı 19,620 Nm, %30 FY + %70 Diesel yakıtı karışımı 18,639 Nm, %40 FY + %60 Diesel yakıtı karışımı 17,658 Nm ve %50 FY + %50 Diesel yakıtı karışımı 16,677 Nm moment geliştirmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere karışıma ilave edilen her %10'luk fındık yağı'na karşılık %5'lik bir moment düşüşü görülmüştür.

Yine aynı şekilde, Şekil 5 incelendiğinde, fındık yağı etil esteri ile fındık yağı metil esteri arasında herhangi bir değişim görülmezken (1750 d/d'de 20,601 Nm), bu ester yakıtların Diesel yakıtından ise yaklaşık %5 daha az bir momente sahip olduğu saptanmıştır.

Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarından elde edilen motor güçlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri Şekil 6 'da görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, Diesel yakıtı ile yapılan denemelerde maksimum güce 2750 d/d'da ulaşılmış ve güç değeri ise 4,8022 kW olarak elde edilmiştir. Aynı devir sayılarına bakıldığında, %10 FY + %90 Diesel yakıtı karışımı 4,8022 kW, %20 FY + %80 Diesel yakıtı karışımı 4,5197 kW, %30 FY + %70



Şekil 4. Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak moment değerlerinin değişimi

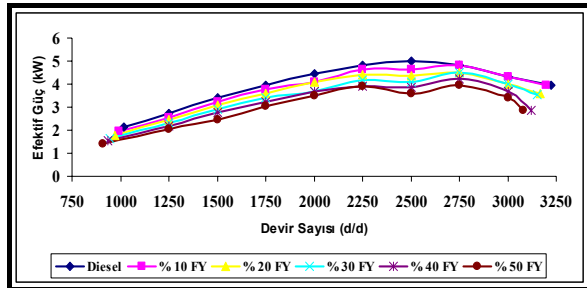


Şekil 5. Diesel yakıtı, fındık yağı metil esteri ve fındık yağı etil esteri yakıtlarının motor devir sayılarına bağlı olarak moment değişimleri

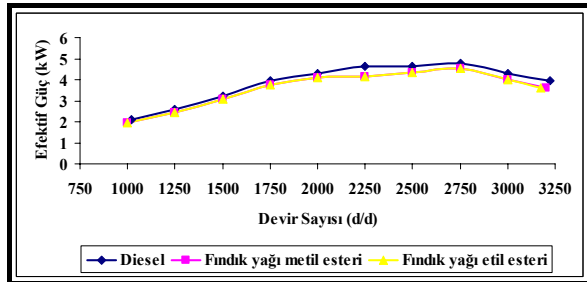
Diesel yakıtı karışımı 4,5197 kW, %40 FY+%60 Diesel yakıtı karışımı 4,2373 kW ve %50 FY + %50 Diesel yakıtı karışımı 3,9548 kW güç geliştirmiştir. Sonuçlara göre, %10 fındık yağı artışlarına karşılık güçte çok az bir azalma söz konusu olmakla beraber, bu düşüş %3 değerinde olmaktadır.

Yine aynı şekilde, Şekil 7. incelendiğinde, fındık yağı etil esteri ile fındık yağı metil esteri arasında herhangi bir değişim görülmemekte ve 2750 d/d'de 4,5197 kW güç geliştirirken, referans yakıt olan Diesel yakıtında ise aynı devirde 4,8022 kW güç geliştirmektedir. Değerlerden de anlaşıldığı gibi, fındık yağı alkil esterleri, Diesel yakıtından yaklaşık olarak %6 daha düşük güç elde edilmesine neden olmuştur.

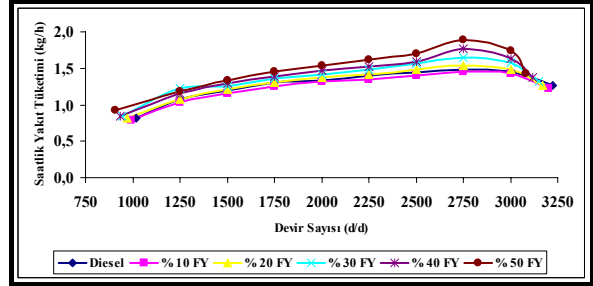
Motor karakteristik eğrileri incelendiğinde güç ve moment değerlerinde %6'lık bir düşüşler görülmekte, buna karşılık yakıt tüketimlerinde ise bir artma gözlemlenmektedir. Şekil 8 'de Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimlerinin elde edilen saatlik yakıt tüketimlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Şekil 9'de ise, fındık yağı etil esteri ile fındık yağı metil esterinin Diesel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak saatlik yakıt tüketimleri görülmektedir. Şekillerden de görüleceği üzere, her %10 luk yağ oranı artışına karşılık, saatlik yakıt tüketiminde %5'lik bir artış belirlenmiştir. Buna karşılık fındık yağı etil



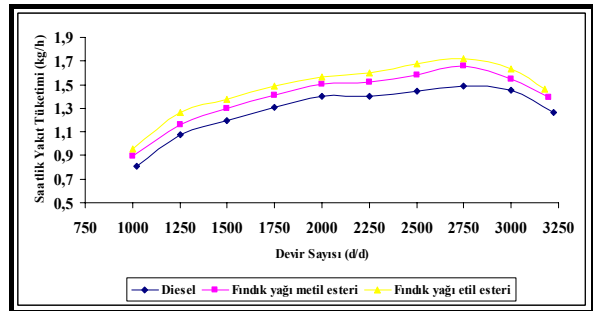
Şekil 6. Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak güç değerlerinin değişimi



Şekil 7. Diesel yakıtı, fındık yağı metil esteri ve fındık yağı etil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak güç değişimleri



Şekil 8. Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değerlerinin değişimi

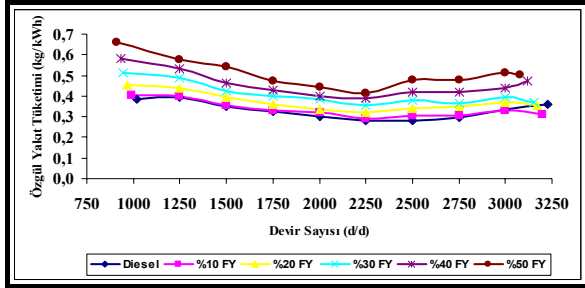


Şekil 9. Diesel yakıtı, fındık yağı metil esteri ve fındık yağı etil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimlerinin değişimleri

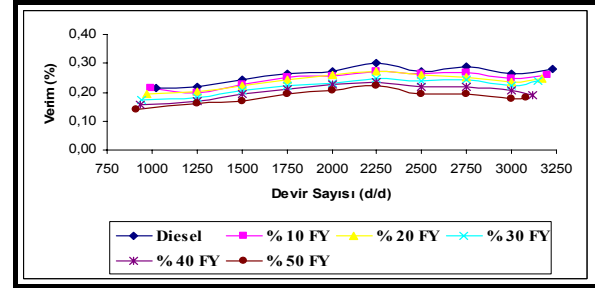
esterinin, Diesel yakıtından %11, fındık yağı metil esterinin ise Diesel yakıtından %6 daha fazla saatlik yakıt tüketimine sahip olduğu belirlenmiştir.

Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarından elde edilen özgül yakıt tüketim değerlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri Şekil 10 'da görülmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere, Diesel yakıtı en düşük özgül yakıt tüketimine 2250 d/d'da 304 gr/kWh değeriyle sahip olmuştur. Aynı devir değeri göz önüne alındığında, %10 FY + %90 Diesel yakıtı karışımı 312 gr/kWh, %20 FY + %80 Diesel yakıtı karışımı 322 gr/kWh, %30 FY + %70 Diesel yakıtı karışımı 356,6 gr/kWh, %40 FY + %60 Diesel yakıtı karışımı 387,1 gr/kWh ve %50 FY + %50 Diesel yakıtı karışımı 412,4 gr/kWh değerleri belirlenmiştir. Açıkça görülmektedir ki, her %10'luk yağ oranı artışına karşılık özgül yakıt tüketimlerinde yaklaşık %3 değerinde bir artış meydana gelmektedir. Bu da yakıtın içerisindeki yağ karışım oranının artmasıyla, karışımın ısısal değerinin düşmesinden ileri gelmektedir.

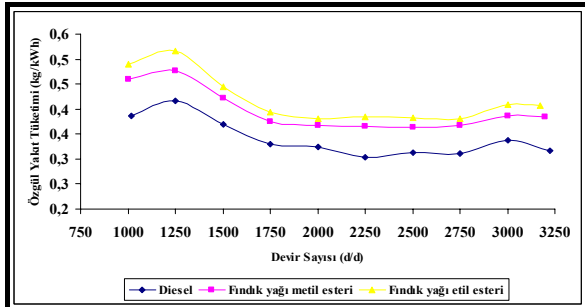
Şekil 11'de ise fındık yağı alkil esterlerinin özgül yakıt tüketimleri çok fazla değişim göstermemekle birlikte, farklı devirlerde Diesel yakıtına oranla fındık yağı metil esteri ortalama %12, fındık yağı etil esteri ise yaklaşık %14 daha yüksek özgül yakıt tüketimlerine sahip oldukları belirlenmiştir.



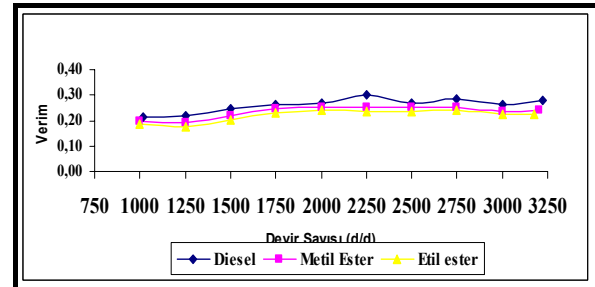
Şekil 10. Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketim değerlerinin değişimi



Şekil 12. Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak toplam verim değerlerinin değişimi



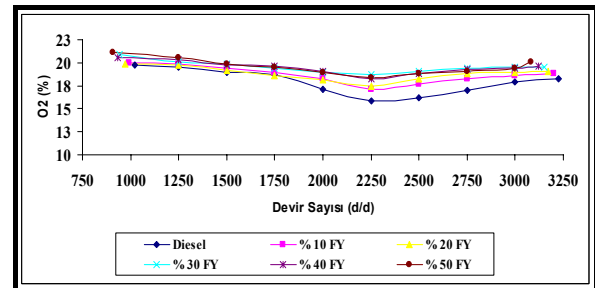
Şekil 11. Diesel yakıtı, fındık yağı metil esteri ve fındık yağı etil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketim değerlerinin değişimleri



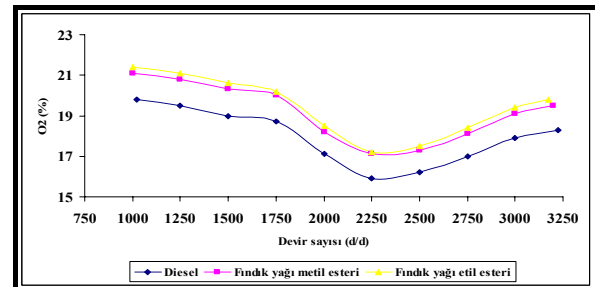
Şekil 13. Diesel yakıtı, fındık yağı metil esteri ve fındık yağı etil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak toplam verim değerlerinin değişimleri

Fındık yağı etil ve metil esterlerinin toplam verimleri Diesel yakıtından daha düşük çıkmaktadır. Ayrıca karışimli yakıtların ısı değerlerindeki düşmeler nedeniyle karışım oranına bağlı olarak toplam verimlerinde de düşme gözlemlenmiştir. Karışimli ve ester yakıtların alt ısı değerlerini ölçme imkanı bulunamamıştır. Fakat, literatür bilgilerinden derlenen, aynı kimyasal özelliklere sahip yağların, karışım oranına bağlı olarak ısı değerlerindeki düşmeler hesaplanmış ve değerler Diesel yakıtına uygulanarak karışimli yakıtların alt ısı değerleri hesaplanmıştır. Fındık yağı etil ve metil esterleri doğrudan literatür bilgilerinden alınmıştır. Şekil 12'de karışimli yakıtların toplam verimleri Diesel yakıtıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yine aynı şekilde, Şekil 13'de ise fındık yağı etil ve metil esterlerinin toplam verimleri Diesel yakıtıyla karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Şekil 14 ve Şekil 15'de fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının ve fındık yağı alkil esterlerinin Diesel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak egzoz gazı içerisinde bulunan  $O_2$  değerleri görülmektedir. Karışımların içerisine katılan yağ oranına bağlı olarak, egzoz gazı içerisinde bulunan  $O_2$  miktarını fazla olmamakla beraber bir miktar artırmıştır. Bunun nedeni, yanmanın tam olarak tamamlanmaması, oksijenin silindir içerisinde reaksiyona girmemesidir.



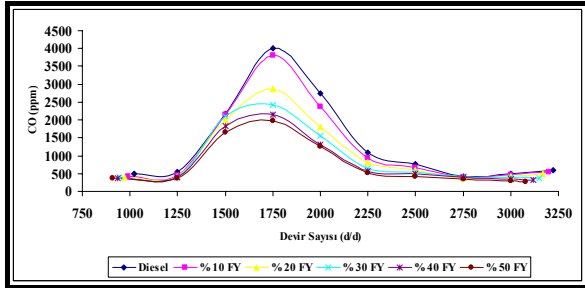
Şekil 14. Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak  $O_2$  değerlerinin değişimi



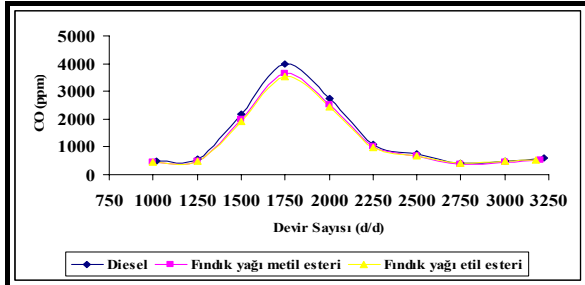
Şekil 15. Diesel yakıtı, fındık yağı metil esteri ve fındık yağı etil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak  $O_2$  değerlerinin değişimleri

Şekil 16 ve Şekil 17'de ise test yakıtlarının CO değerlerinin değişimleri görülmektedir. CO değeri devir sayısına bağlı olarak değişim göstermektedir. Devir sayısı arttıkça CO değeri azalmaktadır. Bu beklenen bir sonuç olmakla beraber, karışım içerisindeki yağ oranının artmasıyla CO miktarı da doğru orantılı bir şekilde azalmaktadır. Fındık yağı alkil esterlerinde ise benzer bir durum söz konusu olup, Diesel yakıtına benzer özellikler göstermişlerdir.

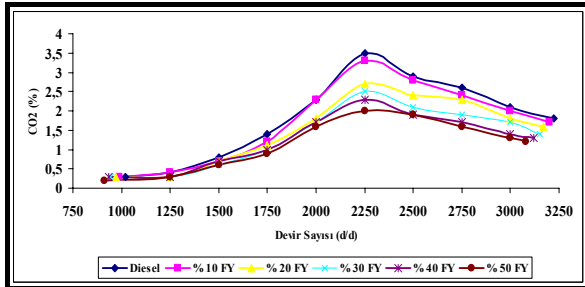
Şekil 18 ve Şekil 19'da test yakıtlarının CO<sub>2</sub> değerleri görülmektedir. Karışımli yakıtların ve alkil ester yakıtların CO<sub>2</sub> değerleri Diesel yakıtından daha düşük çıkmaktadır. Bunun başlıca nedeni yine tam yanma olayının yüksek devirlerde sağlanamamasıdır.



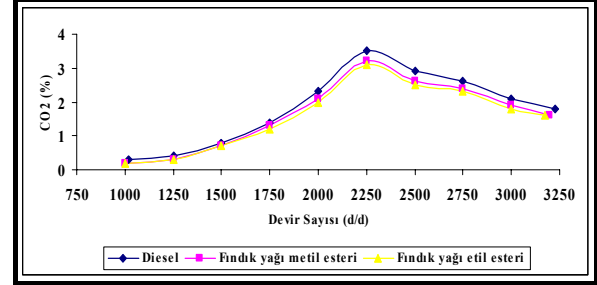
Şekil 16. Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak CO değerlerinin değişimi



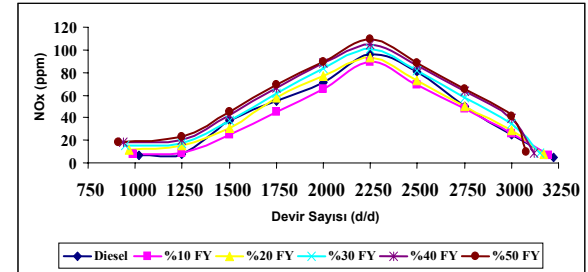
Şekil 17. Diesel yakıtı, fındık yağı metil esteri ve fındık yağı etil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak CO değerlerinin değişimi



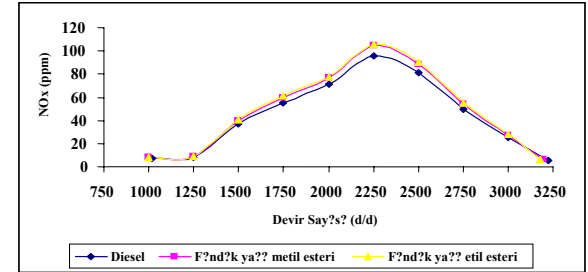
Şekil 18. Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak CO<sub>2</sub> değerlerinin değişimi



Şekil 19. Diesel yakıtı, fındık yağı metil esteri ve fındık yağı etil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak CO<sub>2</sub> değerlerinin değişimi



Şekil 20. Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak NO<sub>x</sub> değerlerinin değişimi



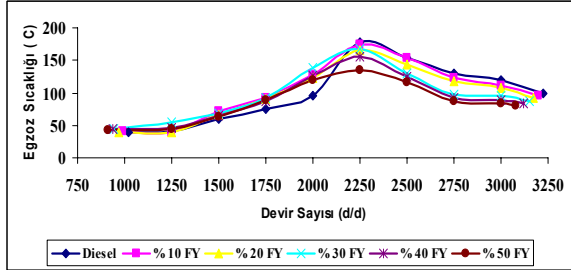
Şekil 21. Diesel yakıtı, fındık yağı metil esteri ve fındık yağı etil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak NO<sub>x</sub> değerlerinin değişimi

Şekil 20 ve Şekil 21'de ise deneme yakıtlarının azotoksit değişimleri görülmektedir.

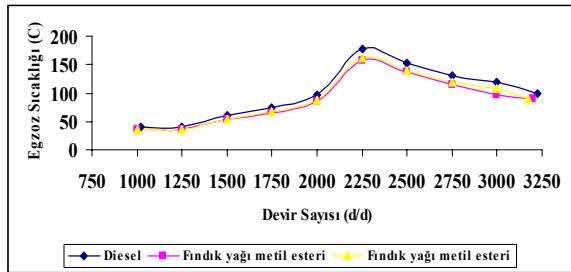
Şekil 22 ve Şekil 23 'de test yakıtlarının egzoz gazı sıcaklık değişimleri görülmektedir. Karışımli yakıtların ve alkil ester yakıtların ısı değerleri düşük olduğu için egzoz gazı sıcaklıkları Diesel yakıtına göre düşük çıkmıştır.

Motor devir sayısına bağlı olarak bağlı olarak, tüm yakıtlarda duman miktarında düşüş gözükmemektedir. Burada aromatik miktarlarına bağlı olarak duman miktarının değişebileceği, karışımların ısı değerlerine bağlı olarak silindir içerisindeki sıcaklık





Şekil 22. Diesel yakıtı ve fındık yağı / Diesel yakıtı karışımlarının motor devir sayısına bağlı olarak egzoz sıcaklık değerlerinin değişimi

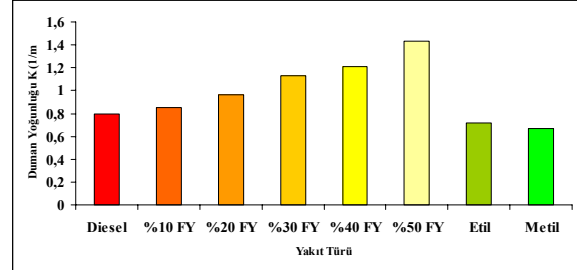


Şekil 23. Diesel yakıtı, fındık yağı metil esteri ve fındık yağı etil esteri yakıtlarının motor devir sayılarına bağlı olarak egzoz sıcaklık değerlerinin değişimi

değişiminin de duman oluşumuna etkin olduğu söylenebilir. Diesel motorundaki güç artışı, silindire püskürtülen yakıtın miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Deney motorunun tasarımı Diesel yakıtına göre yapıldığından, yanma sonucu bazı karışımlardaki duman miktarının Diesel yakıtına göre daha fazla artması mümkün gözükmemektedir. Emme işleminin son sıcaklığına bağlı olarak silindirdeki havanın sıcaklığı artmakta ve hacimsel verim düşerek silindire giren hava miktarını azaltmaktadır. Buna bağlı olarak da normal yanma sağlanamadığından duman oluşumu artabilmektedir (İçingür ve Eray 2003). Yapılan denemelerde özellikle karışimli yakıtlar için yağ oranı artmasıyla duman yoğunluğunda az da olsa bir artış gözlemlenmiştir. Şekil 24'de tüm yakıt türlerinin duman yoğunluğu değerleri görülmektedir.

Esterleştirme işlemi ile ham yağların özelliklerinde iyileşmeler görülmüş, viskozitelerinin azaldığı, ısı değerlerinde bir miktar artış olduğu ve yoğunluklarının azaldığı belirlenmiştir. Bu özellikleri ile yağ asidi metil esterleri No 2-D'na daha yakın özellikler göstermişlerdir. Fındık yağı ile yapılan çalışmada ilk harekete geçişte zorluklar meydana gelmektedir.

Fındık yağı kullanımı ile motor momenti, gücü ve toplam veriminde No 2-D'na kıyasla az da olsa düşüşlerin meydana geldiği, yağ asidi metil esterleri kullanımı ile moment, güç ve toplam verim fındık yağı



Şekil 24. Deneme yakıtlarının duman yoğunluğu değerleri (3000 d/d'da)

+ Diesel yakıt karışımlarına oranla daha yüksek olduğu ve No 2-D'na daha yakın olduğu belirlenmiştir.

Fındık yağı + Diesel yakıt karışımları ile yapılan testlerde duman yoğunluğunun No 2-D'na oranla daha yüksek olduğu, fakat yağ asidi metil esterlerinin kullanımı ile duman yoğunluğu karışım yakıtlarına oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonlarının Fındık yağı kullanıldığında önemli ölçüde azaldığı, yağ asidi metil esterleri kullanıldığında ham Fındık yağlarına oranla NO<sub>x</sub> emisyonlarında kısmen artış belirlenmiştir.

Fındık yağı karışımlarının ürettikleri efektif moment ve güç değerlerinin No 2-D efektif güç ve moment değerinden daha düşük olmasının en önemli sebebi Fındık yağı karışımları ve bunlarda elde edilen yağ asidi metil esterlerin ısı değerlerinin No 2-D'na göre daha düşük olmasıdır. Ayrıca yüksek viskozitelerinden dolayı fındık yağı karışımları enjektörde püskürürken daha iri zerrelidir. Bu ise yakıtın buharlaşma ve yanma süresinin uzatarak, yanmanın daha çok genişleme periyodunda olmasına, motor momenti, gücü ve veriminin azalmasına neden olmaktadır. Fındık yağı karışımları ile yapılan testlerde NO<sub>x</sub> emisyonlarının düşük çıkması, bitkisel yağların ısı değerinin düşük olması ve iri zerrelidir püskürmeleri sonucunda tutuşma gecikmesi periyodunun uzaması ve çevrimde maksimum basınç ve sıcaklığın düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yağ asidi metil esterlerinin kullanımı ile kısmen yakıt kalitesi ve dolayısıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarında artmaktadır. No 2-D ile yapılan testlerde No 2-D'nın ısı değerinin yüksek olması ve enjektörden püskürtme karakteristiğinin daha iyi olması nedeniyle yanma sonu basınç ve sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Yapılan kısa süreli testlerde Fındık yağının Diesel yakıtıyla belli oranlardaki karışımları Diesel motorlarında yakıt olarak kullanılmış, performans ve emisyon karakteristikleri belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları üretim fazlası ham Fındık yağlarının saf olarak ve metil esterlerinin alternatif yakıt olarak Diesel motorlarında kısa süreli kullanılabileceğini göstermiştir.

**Kaynaklar**

- Acaroglu, M. and H. Oguz. 2002. Energy farming and standardization of using biomass – biofuel. Proceedings of the 8th International congress on mechanization and energy in agriculture congress book, pp : 168 – 174.
- Erdogan, D. 1991. Bitkisel yağların Dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması. Tarımsal Mekanizasyon 13.Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı, 25 – 27 Eylül, Konya.
- Erdogan, D. ve A. A. Mohammed. 1997. Yakıt Olarak Kullanılan Bazı Bitkisel Yağların Dizel motor Performanslarına Etkileri". Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı, 17 – 19 Eylül, Tokat.
- Gürleyük, S. S. ve S. Akpınar. 2003. Yeni enerji kaynakları : Biodizel. Yenilenebilir Enerji Kaynakları II. Sempozyumu, YEKSEM 2003, Ekim, İzmir.
- İçingür, Y. ve M. E. Eray. 2003. Değişik yakıt harmanlarının Dizel motorlarda kullanılabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. G.Ü. Fenbilimleri Dergisi, No:16(3), 589 – 599, Ankara
- Karaosmanoğlu, F. ve H. A. Aksoy. 1994. Kullanılmış kızartma atık yağının seyreltme yöntemi ile alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi. Türkiye 6.Enerji Kongresi. s. 461, Ekim 17 – 22, İzmir.
- Karaosmanoğlu, F., G. Kurt and T. Ozakbas. 2000. Long term CI engine test of sunflower oil. Renewable Energy 19(2000), pp : 219-221
- Oğuz, H. 2001. Dizel yakıtı ayçiçek yağı karışımlarının Dizel motorlarında yakıt olarak kullanım imkanlarının araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Oğuz, H. 2004. Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan Dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi. Yayınlanmamış doktora tezi. Konya.

---

**İletişim adresi:****A.Konuralp ELİÇİN**

Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarım Makinaları Bölümü -Ankara

E-posta: akelicin@yahoo.com