

BEŞ FARKLI BİTKİSEL YAĞDAN ÜRETİLEN BİYODİZELLER İLE DİZEL YAKITININ MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

M.Akif CEVİZ*, Fahri KONCUK, Fikret YÜKSEL

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Böl., 25240, Erzurum

Özkan KÜÇÜK

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Müh. Böl., 25240, Erzurum

A.Ceyhan GÖREN

TÜBİTAK, UME, Kimya Grubu, 41470, Gebze-Kocaeli

ÖZET

Biyodizel olarak bilinen farklı bitkisel yağların (ayçiçeği, mısır, soya, fıstık, kolza, Hindistan cevizi, pamuk ve keten tohumu gibi) metil esterlerine olan ilgi özellikle son yıllarda giderek artmaktadır. Bu çalışmada, fındık-ayçiçek yağı karışımı, soya yağı, ayçiçek kızartma yağı, mısır kızartma yağı ve fındık yağı olmak üzere beş farklı bitkisel yağdan transesterifikasyon metodu ile üretilen biyodizeller ile çalıştırılan direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunun performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde motor fren momenti ve gücünde önemli seviyede azalma olmazken, özgül yakıt tüketimi bir miktar artmış ve motor efektif verimi dizel yakıtına nispeten azalmıştır. Fındık yağından üretilen biyodizel ile yapılan çalışmalarda özellikle düşük motor devir sayılarında diğer biyodizellere göre daha iyi performans elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, dizel motorları, transesterifikasyon, motor performansı

A Comparative Analysis of Engine Performance and Emission Characteristics of Biodiesels Produced From Five Different Vegetable Oils With Diesel Fuel

ABSTRACT

The methyl ester of different vegetable oils (i.e. sunflower, corn, soybean, peanut, rape, coconut, cotton and linseed), known as biodiesel, is receiving increasing attention in recent years as an alternative fuel for diesel engines. This paper investigates the effects of using biodiesels produced from five different vegetable oils as hazelnut-sunflower mixture oil, soybean oil, sunflower frying oil, corn frying oil and hazelnut oil by transesterification on direct injection compression ignition engine performance and emission characteristics.

The results show that there is no significant brake torque and power reduction, there is a slight increase in brake specific fuel consumption, and a slight decrease in engine effective efficiency when the engine is operated with biodiesel fuels. At low speeds, the biodiesel from hazelnut oil exhibited better performance characteristics than the other biodiesels.

Keywords : Biodiesel, diesel engines, transesterification, engine performance

* İletişim yazarı

Geliş/Received : 23.09.2008

Kabul/Accepted : 06.01.2009

GİRİŞ

Biyodizel dizel yakıtına alternatif olarak, bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir biyolojik kaynaklardan elde edilir. Biyolojik olarak ayrışabilmesi, zehirli olmaması ve düşük emisyon üretimi nedeni ile çevreye fosil yakıtlardan daha az zarar verir. Biyodizel, petrol kökenli madde içermez, ancak dizel motoru üzerinde her hangi bir değişiklik yapmadan saf biyodizel veya dizelbiyodizel karışımları olarak kullanılabilir.

Biyodizel üretiminde en çok kullanılan yöntem bitkisel yağların transesterifikasyonudur. Transesterifikasyon, bir katalizör eşliğinde trigliseridlerin tepkimeye sokularak gliserol ve yağ asidi esteri üretilmesi işlemidir. Bu tip bir esterin moleküler ağırlığı, bitkisel yağın üçte biri, bunun yanında viskozitesi dizel yakıtının iki katı kadardır. Oysa bitkisel yağların viskozitesi dizel yakıtının yaklaşık 10-20 katı kadardır. Biyodizel, bu tip ester bazlı oksijen içeren yakıtlara verilen isimdir [1].

İçten yanmalı motorlarda kullanılan petrol kökenli yakıtların yerini alabilecek alternatif yakıtların üretim teknolojilerini geliştirmek, motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemek amacıyla tüm dünyada yoğun çalışmalar yapılmaktadır [2]. Dizel yakıtı günümüzde taşımacılık, tarım, ticari, evsel ve endüstriyel birçok uygulamada güç/mekanik enerji üretimi için yoğunlukla kullanılmaktadır. Dizel yakıtına alternatif olan biyodizel ile ilgili farklı ülkelerin üretim potansiyeli yüksek olan farklı bitkisel yağları kaynak olarak kullandığı görülmektedir. Bunun yanında atık bitkisel yağların toplanarak biyodizel üretiminde değerlendirilmesi ile ilgili faaliyetler giderek yaygınlaşmaktadır.

Soya yağı, ayçiçeği yağı, fıstık yağı, Hindistan cevizi yağı gibi yağlardan üretilen biyodizellerin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri detaylı bir şekilde incelenmişken fındık yağı ile ilgili az sayıda çalışma yapılmıştır [3, 4]. Fındık yağı, oleik (%72.8 - %83.5) ve linoleik (%7.6 - %16.6) asitlerden ve az miktarda palmitik (%4.1 - %6.8), stearik (%1.9 - %2.8) ve linolenik (%0.1 - %0.6) asitlerden oluşur [5, 6]. Yaklaşık %70 oranı ile dünyada büyük

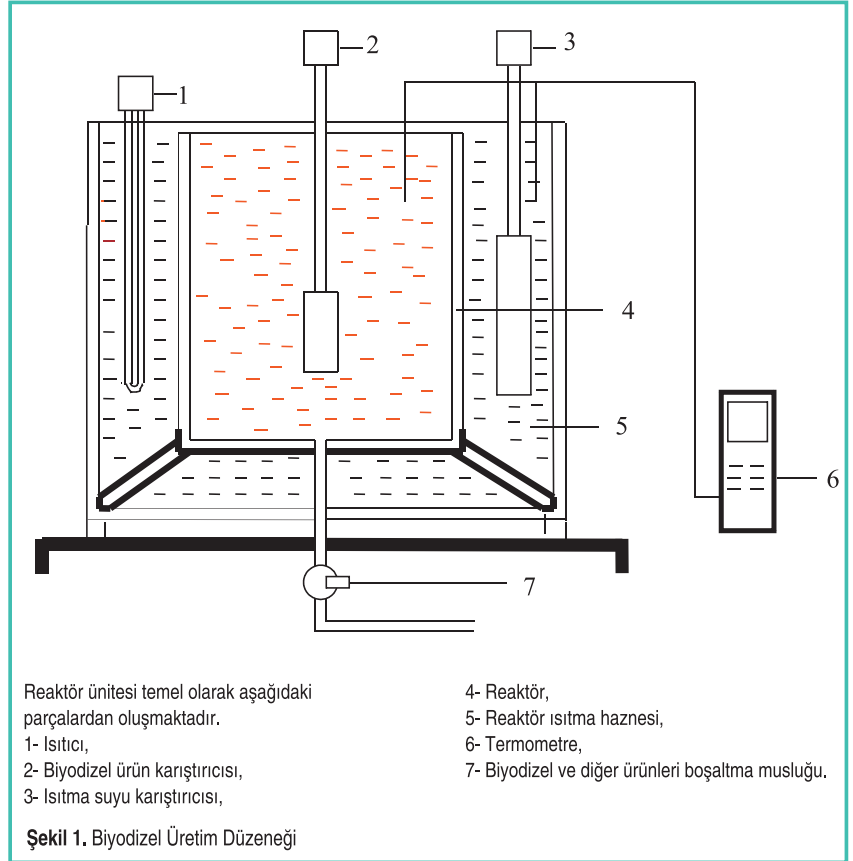
üreticisi Türkiye olan fındığın üretim potansiyeli ve kompozisyonu ile ilgili Gümüş ve ark. [4] tarafından detaylı çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada fındık yağının yanında ülkemizde hâlihazırda üretim potansiyeli yüksek yağlar olan soya yağı, atık ayçiçek ve mısır yağı, fındık ve ayçiçek yağı karışımı kullanılarak üretilen biyodizellerin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir.

BIYODİZEL ÜRETİMİ

Motor deneylerinde kullanılan biyodizeller, transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiştir. Şekil 1'de üretilen transesterifikasyon ünitesinin şematik resmi görülmektedir.

Biyodizel üretiminde en yüksek ester dönüşümünün sağlanabilmesi için 6:1 alkol/yağ molar oranında karışım kullanılmalıdır. Ayrıca katalizör olarak sodyum hidroksit kullanımında en yüksek verim, kullanılan yağın ağırlıkça % 0.4-2 arasında karışıma ilave edilmesi gerekir [7]. Birçok çalışmada % 1 oranında karışım tercih edilmiştir [8]. Bu çalışmada özellikle kullanılmış kızartma yağından biyodizel üretimi esnasında % 1 sodyum hidroksit/yağ oranı kullanılmıştır. Üretim için aşağıdaki işlem sıralaması takip edilmiştir;



Tablo 1. Biyodizellerin Fizikokimyasal Özellikleri ve Temel Yağ Asidi Bileşenleri

	Dizel No.1	FAME	SME	AKME	MKME	FME
Yoğunluk, 15°C'de, kg/l	0.837	0.897	0.897	0.896	0.893	0.891
Alt ısııl değer, kJ/kg	46816	39651	38519	39551	39927	39300
Tutuşma noktası, °C	64	98	90	96	140	86
Kinematik viskozite 40°C'de, mm ² /s	2.15	6.05	6.60	6.55	6.50	6.51
API Gravite	37.56	26.25	26.25	26.42	26.95	27.31
Anilin noktası, °C	70	74	76	74	82	74
Setan sayısı	55	46	46	45	48.5	47
Dizel indeksi	59	43.37	44	43	48.4	45.12
SFTN, °C	-26	3	-2	0	-10	-4
Karbon içeriği, % kütle	85.40	76.99	76.32	76.16	77.33	76.57
Hidrojen içeriği, % kütle	13.24	11.77	11.62	11.63	11.84	11.94
Karbon/Hidrojen oranı	6.45	6.54	6.57	6.55	6.53	6.41
Azot, % kütle	<1	<1	<1	<1	1.17	<1
Oleik asit, % kütle	-	75.0	74.2	77.3	50.1	79.5
Palmitik asit, % kütle	-	12.4	13.6	12.4	-	9.6
Stearik asit, kütle	-	-	9.7	6.9	5.4	4.3

1. Reaktöre metil alkol konulması ve 20 - 25 °C'ye kadar ısıtılması,
2. Isıtılan alkole katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ilave edilerek 25 dakika karıştırılması,
3. Bitkisel yağ ilave edilerek dış gövde içerisinde 60 °C'deki su banyosunda 2 saat süre ile karıştırılması,
4. Faz ayrışması için karıştırmadan soğutmaya terk edilerek 8 saat beklenmesi,
5. Alt kısımda oluşan gliserinin alınması,
6. Biyodizeli saflığını artırma amacıyla yıkamak için üzerine saf su ilave edilmesi,
7. 6 saatlik bekleme süresi sonunda altta oluşan fazın alınması
8. Üretilen biyodizel 100-110 °C arasında ısıtılıp karıştırılarak suyun uzaklaştırılması.

Motorda kullanılan bitkisel yağların metil esterlerinin simgesel tanımı aşağıda verilmiştir.

FAME → Fındık-ayçiçek karışım yağı metil esterleri (% 40 fındık+% 60 ayçiçek)

SME → Soya yağı metil esterleri

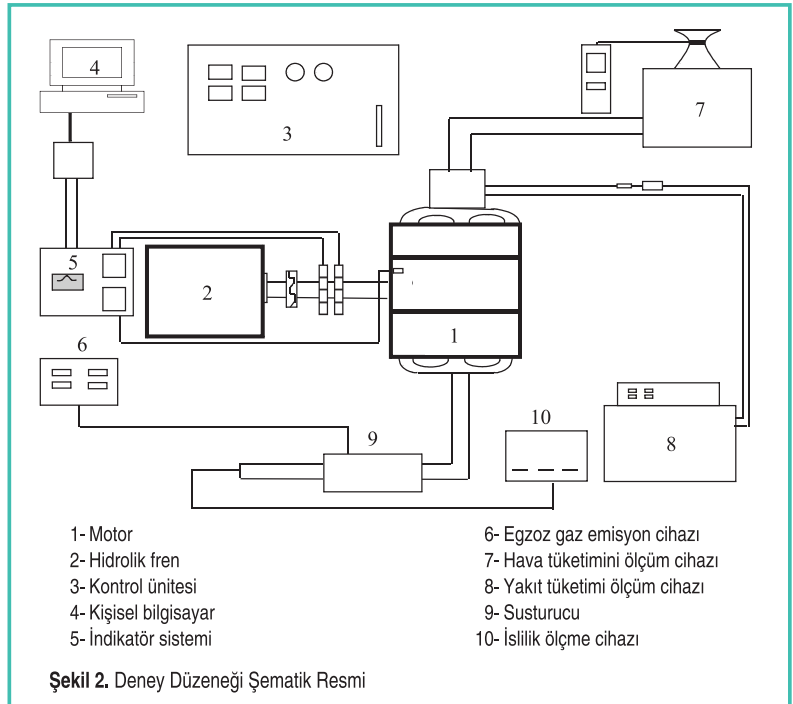
AKME → Ayçiçek kızartma yağı metil esterleri

MKME → Mısır kızartma yağı metil esterleri

FME → Fındık yağı metil esterleri

MOTOR DENEYLERİ

Deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 2'de, kullanılan motorun özellikleri Tablo 2'de, verilmiştir.



Deneyler motor kararlı hâle geldikten sonra yapılmış, bunun için motor ilk olarak 30 dak. rölanti devrinde çalıştırılmıştır. Deneyler sırasıyla 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 ve 2250 (± 25) d/dak devir sayısında gerçekleştirilmiştir. İlk deneyler motorin ile gerçekleştirilmiş, daha sonra motorun yakıtı değiştirilmiş, eski yakıtın tamamen bittiğinden emin olunduktan sonra biyodizel deneylerine geçilmiştir.

Deneylerde motorun yüklenmesi ve moment ölçümü için hidrolik dinamometre kullanılmıştır. VLT marka 3020 model egzoz emisyon cihazı ile CO, CO₂ hacimsel yüzde biriminde, HC ise ppm biriminde ölçülmüştür. Duman koyuluğu Assemblad marka cihaz ile % biriminde ölçülmüştür.

Tablo 2. Deneylerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri

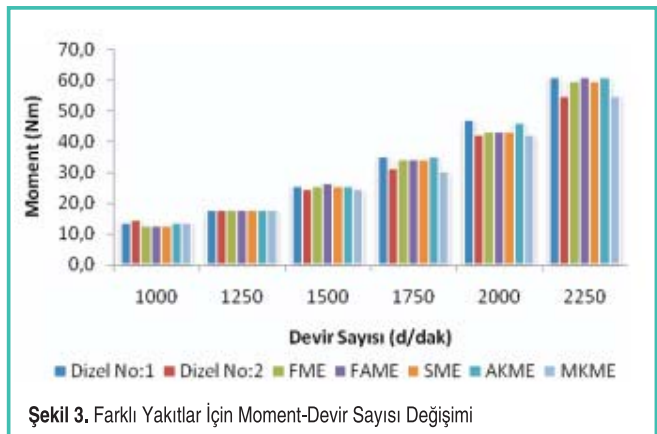
Motor Tipi	Süper Star 7728, 4-stroklı, direkt enjeksiyonlu, su soğutmalı
Silindir Tipi-Sayısı	Sıra Tipi-2
Supap mekanizması tipi - sayısı	OHC-4
Strok	100 mm
Çap	98 mm
Toplam Silindir Hacmi	1540 cm ³
Sıkıştırma Oranı	17 : 1
Maksimum Güç	2750 d/dak'da 20,9 kW
Maksimum Moment	2500 d/dak'da 78 Kgm
Rölanti Hızı	800 \pm 50 d/dak

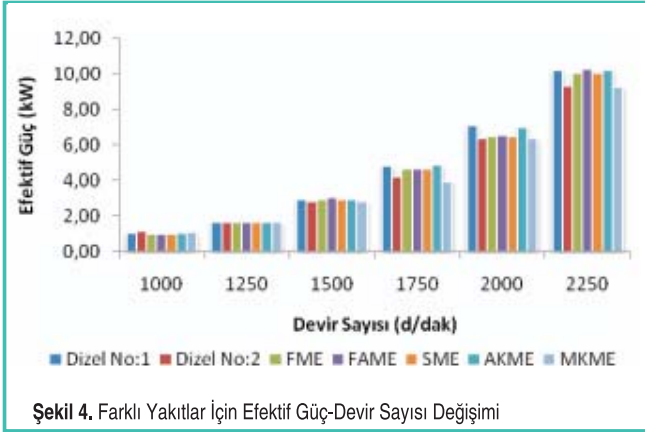
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 3 ile 9 arasında fındık yağı, fındık-ayçiçek karışım yağı, kullanılmış ayçiçek yağı, soya yağı ve kullanılmış mısır yağından üretilen biyodizellerin, No.1 ve No.2 dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak motor performansı ve emisyonlarına etkileri verilmiştir. Şekil 3 ve 4'de devir sayısına bağlı olarak sırası ile moment ve efektif güç karakteristiklerindeki değişim görülmektedir. Tüm yakıtlar için devir sayısı arttıkça, moment ve efektif güçte de artış olduğu görülmektedir. Ayrıca biyodizel yakıtların kullanılması hâlinde, motor momentinde ve efektif güçte dizel yakıtı oranla bir miktar azalma görülmüştür. Bu azalma ortalama değerler dikkate alındığında; soya yağı metil esterinde %3.6, fındık yağı metil esterinde %3.4, kullanılmış mısır yağı metil esterinde %9.2 ve fındık-ayçiçek karışım yağı metil esterinde %2.1 olarak gerçekleşmiştir. Kullanılmış ayçiçek yağından üretilen metil ester ile yapılan çalışmalarda motor efektif gücünde bir düşme

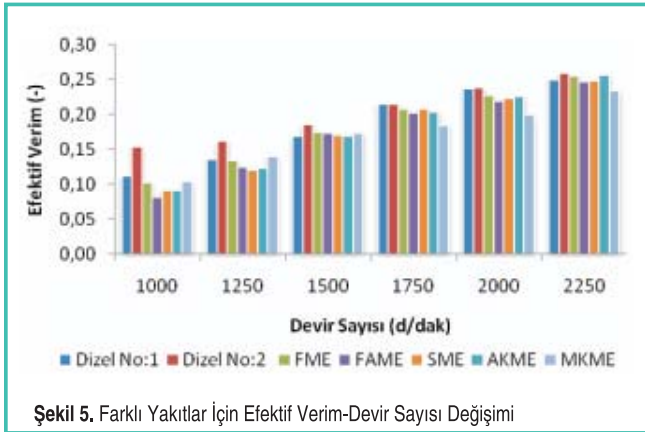
görülmemiştir. Metil esterlerin ısı değerlerinin dizel yakıtına göre yaklaşık %15 oranında düşük olması, motor çıkış gücünde de benzer oranda bir azalmanın olacağını akla getirmektedir. Ancak bu oranın daha düşük düzeyde gerçekleşmesi, söz konusu biyodizellerin, dizel yakıtına göre daha az oranda karbon içermesi ve ilave olarak oksijen içermesi dolayısıyla kimyasal yapısına bağlanabilir. Literatürlerle uygunluk gösteren bu durum, deneylerde kullanılan bitkisel yağ metil esterlerinin, dizel yakıtı alternatif olduğunu göstermektedir. Şekil 3 ve 4 incelendiğinde 1 numara dizel yakıtı ile 2 numara dizel yakıtının artan devir sayısı ile farklı karakteristik özellikler gösterdiği anlaşılabacaktır. 2 numara dizel yakıtının moment ve efektif güç karakteristikleri, düşük devir sayılarında daha yüksek iken devir sayısı yaklaşık 1500 d/dak değerini aştığında 1 numara dizel yakıtının performansının arttığı görülmektedir. 1 numara dizel yakıtının yüksek performans dizel yakıtı olduğu bilinmektedir ve bu durum sonuçların uygunluğunu göstermektedir. Bir diğer önemli nokta ise seçilen biyodizel yakıtlarının performanslarının 1 numara dizel yakıtı ile 2 numara dizel yakıtı arasında olmasıdır. Özellikle yüksek devir sayılarında biyodizellerin performansının 1 numara dizel yakıtına yakın olması ve 2 numaralı dizel yakıtının performansından daha yüksek değerlerde olması, üretilen biyodizel yakıtlarının yüksek performans dizel motorlarında kullanımını destekleyen en önemli parametre olarak görülmektedir.

Şekil 5 ve 6'da farklı bitkisel yağlardan üretilen biyodizellerin devir sayısına bağlı olarak motor efektif verimi ve özgül yakıt tüketimi üzerine etkilerini göstermektedir. Deneylerde karşılaştırma kriteri olan devir sayısının tüm çalışma şartlarında eşdeğer büyüklüğü sağlaması için biyodizel çalışmalarında dizel yakıtına göre daha fazla gaz pedalı açıklığı söz konusu olmuştur. Biyodizelin düşük ısı değeri dolayısıyla oluşan bu durum, biyodizel ile

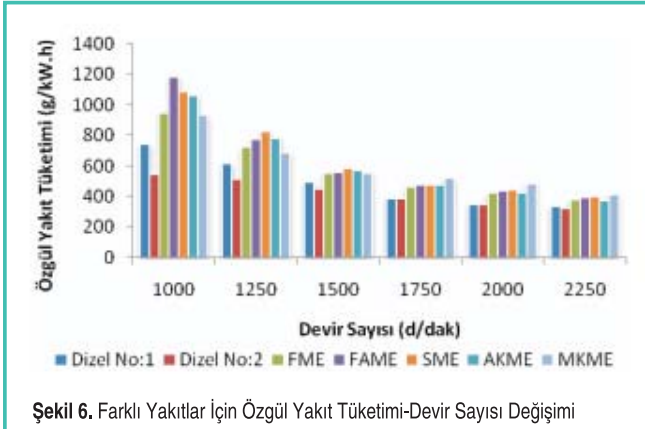




Şekil 4. Farklı Yakıtlar İçin Efektif Güç-Devir Sayısı Değişimi



Şekil 5. Farklı Yakıtlar İçin Efektif Verim-Devir Sayısı Değişimi

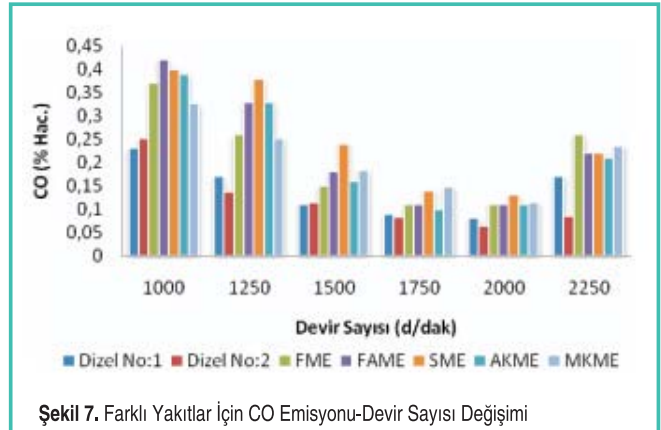


Şekil 6. Farklı Yakıtlar İçin Özgül Yakıt Tüketimi-Devir Sayısı Değişimi

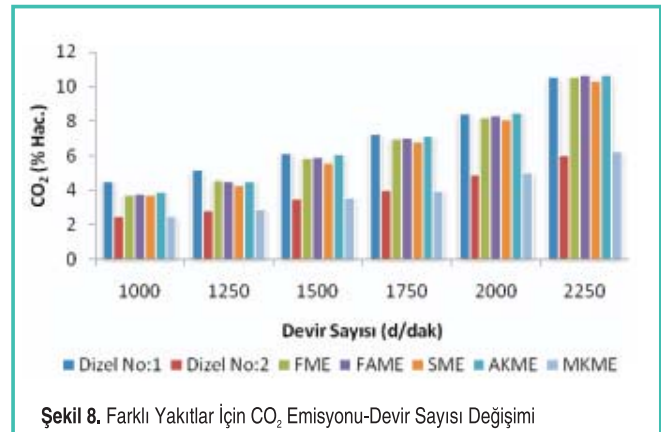
motorun çalıştırılmasında yakıt tüketimini artırmıştır. Dolayısı ile yalnızca üretilen güç başına harcanan yakıt miktarını gösteren özgül yakıt tüketimi biyodizel kullanımında belirgin bir şekilde artmıştır. Ancak bu olumsuz durum efektif verim karakteristiğine eşdeğer ölçüde yansımamıştır. Isıl değer parametresi de göz önünde bulundurularak hesaplanan efektif verim karakteristiği, fındık yağı metil esteri kullanımı esnasında %1.6, fındık-ayçiçek karışımı metil esteri kullanımında %6.4, kullanılmış ayçiçek metil esteri

kullanımında %4.2, soya yağı metil esteri kullanımında %5.3 ve kullanılmış mısır yağı metil esteri kullanımında ise %7.4 oranında azalmıştır. Çalışma sonuçlarının Altın ve ark. [9], Selim ve ark. [10], Çetinkaya ve ark. [11], Çanakçı ve ark. [12] ve Usta ve ark. [3, 13, 14] tarafından yapılan çalışmalar gibi birçok çalışma ile uygun olduğu görülmüştür. Bu grafiklerde dikkat çeken bir diğer husus ise 2.no'lu dizel yakıtı ile yapılan çalışmalardan elde edilen efektif verimin 1 no'lu dizel yakıtından yüksek ve özgül yakıt tüketimi değerlerinin düşük olmasıdır. Bu durum deney motorunun 2. no'lu dizel yakıt ile özellikle düşük devir sayılarında daha yüksek ısıl verimde çalıştığını göstermektedir. Bu da, çalışmanın süperşarj kullanan yüksek devir sayılı dizel motorda gerçekleştirilmesi halinde 1 no'lu dizel yakıt performansının yüksek olacağı anlamını taşımaktadır. Mısır yağından üretilen biyodizel özellikle düşük devir sayılarında diğer biyodizellere göre daha yüksek performans gösterirken artan devir sayılarında daha düşük performans ile çalışmıştır. Bu durum mısır yağı metil esterlerinin düşük performans dizel motorları için daha iyi bir alternatif yakıt olduğunu göstermektedir.

Şekil 7 ve 8'de farklı yakıtların farklı devir sayılarında CO ve CO₂ emisyonları üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 7



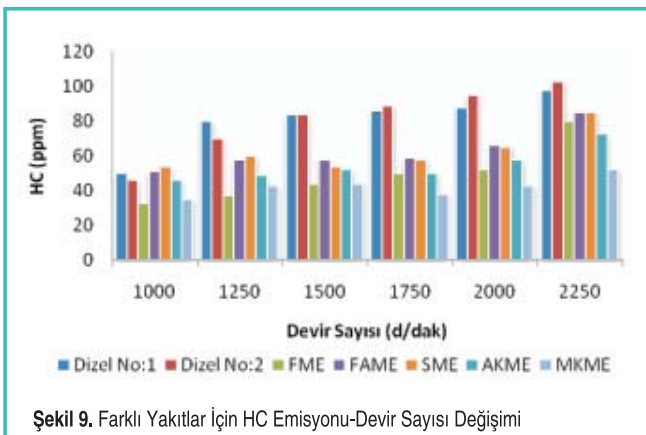
Şekil 7. Farklı Yakıtlar İçin CO Emisyonu-Devir Sayısı Değişimi



Şekil 8. Farklı Yakıtlar İçin CO₂ Emisyonu-Devir Sayısı Değişimi

incelendiğinde devir sayısındaki artışla birlikte CO emisyonu giderek azalmış, buna karşın CO₂ emisyonu artış göstermiştir. Bu durum artan devir sayısı ile silindir içerisinde artan hava hareketlerinin yanmayı olumlu yönde etkilemesinden kaynaklanmıştır. Ancak tüm yağlardan üretilen metil esterlerin CO emisyonunu düşük oranda artırdığı buna karşın Co₂ emisyonunu azalttığı gözlemlenmiştir. CO₂ emisyonundaki azalma, biyodizelin kimyasal yapısında oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. CO₂ emisyonu seviyesinde ortalama %7 oranında azalma olması biyodizel kullanımının daha az sera gazı üretilmesi anlamına gelmektedir. Bu durum biyodizel kullanımına geçişi destekleyen en önemli parametrelerden birisidir. Ancak biyodizel kullanımı ile CO emisyonunda az miktarda dahi olsa artış olması, biyodizelin yaklaşık iki kat yüksek viskoziteye sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 7 incelendiğinde artan devir sayılarında fakın giderek kapandığı ve biyodizel kullanımının dizel yakıtı ile neredeyse aynı CO emisyonu üretimine sebep olduğu görülmektedir. CO emisyonunda az miktarda olan bu artış Lin ve ark. [15] ve Altın ve ark. [9] yaptığı çalışmalarla uygunluk göstermektedir. Ancak literatürün büyük çoğunluğunda biyodizel kullanımın CO emisyonu seviyesini yaklaşık %10 seviyesine kadar azaltacağı belirtilmektedir. Çalışmalarımızda bu durumun yakalanamamasının sebebi olarak motor çalışma koşullarının (püskürtme avansı gibi) biyodizel kullanımı esnasında değiştirilmemesi olduğu düşünülmektedir.

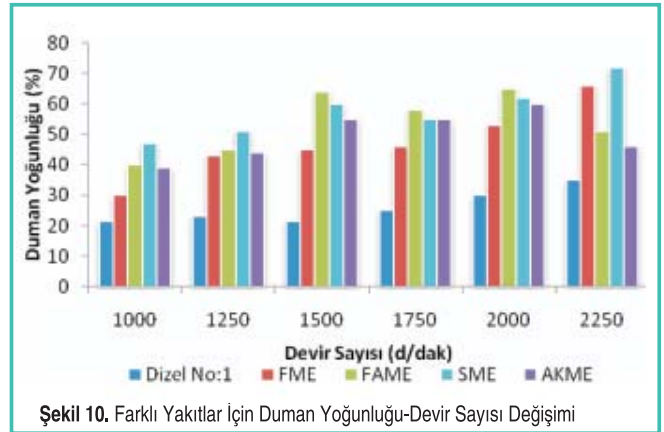
Şekil 9 incelendiğinde; artan devir sayısı ile HC emisyon seviyesinin çok az arttığı görülmektedir. Ancak, bitkisel yağlardan üretilen biyodizellerin yanmasıyla oluşan HC emisyonunun, saf dizel yakıtların yanmasıyla oluşan HC emisyon seviyesinin altında olması biyodizel kullanımını avantajlı kılan en önemli parametre olarak görülebilir. Biyodizelin kimyasal yapısında mevcut olan oksijen zararlı gaz emisyonlarını azaltmaktadır [16]. Ayrıca yapı içerisinde oksijen bulunması, karbon içeriğinin de dizel yakıtına göre



Şekil 9. Farklı Yakıtlar İçin HC Emisyonu-Devir Sayısı Değişimi

daha düşük seviyede olması anlamına gelmektedir. Bu durum toplam HC emisyonlarının azalmasındaki en önemli etkidir. Şekil 9'da verilen HC emisyonundaki değişim aşağıdaki şekilde özetlenebilir; 1 ve 2 no'lu dizel yakıtı ile yapılan çalışmalarda aynı seviyede HC emisyonu görülmüştür. Dizel yakıtları ile karşılaştırıldığında HC emisyonu, fındık yağı metil esterinde %40, fındık-ayçiçek metil esterinde %23, ayçiçek kızartma metil esterinde %33, soya yağı metil esterinde %23 ve kullanılmış mısır yağı metil esterlerinde %48 oranında azaldığı görülmüştür.

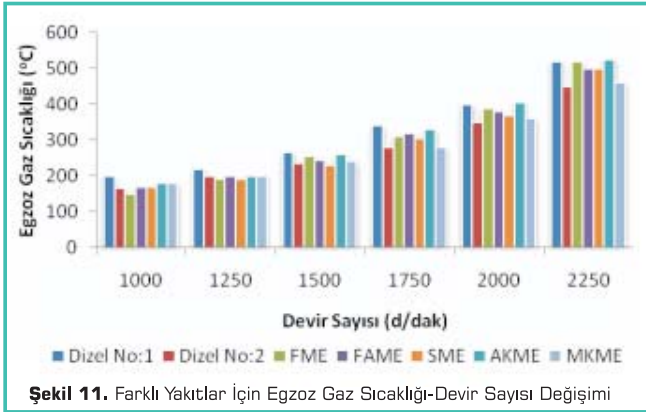
Şekil 10'da devir sayısına bağlı olarak farklı yağlardan üretilen biyodizellerin duman yoğunluğu değişimine etkileri görülmektedir. Grafik incelendiğinde artan devir sayısına bağlı olarak duman yoğunluğunda az miktarda artma görülmektedir. Bu duruma biyodizelin daha uzun zincirli, yani daha ağır HC bileşikleri içermesinin neden olduğu düşünülmektedir. Dizel yakıtına en yakın duman yoğunluğuna sebep olan yakıtın, fındık yağından üretilen biyodizel olduğu söylenebilir.



Şekil 10. Farklı Yakıtlar İçin Duman Yoğunluğu-Devir Sayısı Değişimi

İncelenen tüm motor performans ve egzoz emisyon grafiklerinin analizi sonucunda farklı yağlardan üretilen biyodizeller içerisinde en yüksek performans fındık yağı metil esterlerinden elde edilmiştir. Biyodizeller içerisinde en yüksek efektif verim ve en düşük özgül yakıt tüketimi fındık yağı metil esterleri ile yapılan çalışmalardan elde edilmiştir. Bu durum çalışılan bitkisel yağlar içerisinde fındık yağı metil esterlerinin dizel yakıtı için en iyi alternatif olduğunu göstermektedir. Özel bir sonuç olarak düşük devir sayılarında mısır yağından üretilen metil esterlerin performansının daha iyi olduğu söylenebilir.

Şekil 11'de devir sayısına bağlı olarak bitkisel yağlardan üretilen biyodizeller ile yapılan çalışmalar sonucunda gözlemlenen egzoz gaz sıcaklığı değişimleri verilmiştir. Artan devir sayısı ile egzoz gaz sıcaklığının artış gösterdiği, buna mukabil tüm metil esterlerde egzoz gaz sıcaklıklarının, dizel yakıtın egzoz sıcaklıklarından düşük olduğu belirlenmiştir.



Biyodizellerin oksijen içeriği, tutuşma gecikmesi süresini kısaltmış, dolayısıyla ön karışım yakıt miktarının azalmasına sebep olarak silindir içi maksimum sıcaklığı ve egzoz gazı çıkış sıcaklığını düşürmüştür.

SONUÇ

Çalışma kapsamında kullanılan tüm bitkisel yağlardan üretilen metil esterlerin motor çıkış gücünde çok az dahi olsa düşüşe sebep olduğu görülmüştür. Büyük oranda biyodizellerin, dizel yakıtına göre düşük ısı değere sahip olmasından kaynaklanan bu durum, aynı motor devir sayıları için özgül yakıt tüketimini artırmıştır.

Bu çalışmada kullanılan bitkisel yağlardan üretilen biyodizellerin HC emisyonu seviyesinin dizel yakıtının altında olduğu görülmüştür. Bunun yanında sera gazı emisyonu olan CO₂ emisyonunda da önemli derecede azalma sağlanmıştır. Ancak CO emisyonu seviyesinde az da olsa artış görülmüştür.

Farklı bitkisel yağlardan üretilen biyodizeller arasında en yüksek performans ve en düşük kirletici emisyon seviyesi fındık yağı metil esterleri ile yapılan çalışmalardan elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

1. **Ceviz, M.A.** "Alternatif Yakıtlar", Makina Tek., 95, 150-155, 2005.
2. **Koncuk, F.** "Biyodizel Üretimi ve Dizel Motorunda Motor-Yanma Karakteristiklerinin İncelenmesi". Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
3. **Usta, N., Öztürk, E., Can, Ö., Conkur, E.S., Nas, S., Çon, A.H., Can, A.Ç., Topcu, M.** "Combustion of Biodiesel Fuel Produced From Hazelnut Soapstock/Waste Sunflower Oil Mixture in a Diesel Engine". Energy Conversion and Management, 46, 741-755, 2005.
4. **Gumus, M.** "Evaluation of Hazelnut Kernel Oil of Turkish Origin as Alternative Fuel in Diesel Engines". Renewable Energy, 33, 2448-2457, 2008.
5. **Balta, M.F., Yarılgaç, T., Aşkın, M.A., Kucuk, M., Balta, F., Özrenk, K.** "Determination of Fatty Acid Compositions, Oil Contents And Some Quality Traits of Hazelnut Genetic Resources Grown In Eastern Anatolia Of Turkey". Journal Of Food Composition and Analysis, 19, 681-686, 2006.
6. **Sanchez, P.L.B., Camacho, M.L., Aparicio, R.A.** "Comprehensive Study of Hazelnut Oil Composition With Comparisons to Other Vegetable Oils, Particularly Olive Oil". European Food Research and Technology, 218, 1319, 2003.
7. **Meher, L.C., Sagar, D.V., Naik, S.N.** "Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification: A Review". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10, 248-268, 2006.
8. **Ma, F., Hanna, M.A.** "Biodiesel Production: a Review". Bioresource Technology, 70, 1-15, 1999.
9. **Altın, R., Çetinkaya, S., Yücesu, H.S.** "The Potential of Using Vegetable Oil Fuel for Diesel Engines". Energy Conversion and Management, 42, 529-538, 2001.
10. **Selim, M.Y.E., Radwan, M.S., Elfeky, S.M.S.** "Combustion of Jojoba Methyl Ester in an in Direct Injection Diesel Engine". Renewable Energy, 28, 1401-1420, 2003.
11. **Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y., Karaosmanoğlu, F.** "Engine and Winter Road Test Performances of Used Cooking Oil Originated Biodiesel". Energy Conversion Management, 46, 1279-1291, 2005.
12. **Çanakçı, M.** 2007. "Combustion Characteristics of a Turbocharged DI Compression Ignition Engine Fueled With Petroleum Diesel Fuels and Biodiesel". Bioresource Technology, 98, 1167-1175.
13. **Usta, N.** "An Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled With Tobacco Seed Oil Methyl Ester". Energy Conversion and Management, 46, 2373-2386, 2005.
14. **Usta, N.** "Use of Tobacco Seed Oil Ester in a Turbocharged Indirect Injection Diesel Engine. Biomass and Bioenergy, 28, 7786, 2005.
15. **Lin, Y., Wu, Y.G., Chang, C.** "Combustion Characteristics Of Waste-Oil Produced Biodiesel/Diesel Fuel Blends". Fuel, 86, 1772-1780, 2007.
16. **Murillo, S., Miguez, J.L., Granada, E., Moran, J.C.,** "Performance and Exhaust Emissions In The Use Of Biodiesel In Outboard Diesel Engine". Fuel, 86, 1765-1771, 2007.