

## Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağlardan Üretilen Biyodizellerin Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması

Rasim BEHÇET<sup>1</sup> Selman AYDIN<sup>2</sup> Abdulvahap ÇAKMAK<sup>3</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmanın amacı, çevre ve insan sağlığı açısından zararlı olan atık yağlardan biyodizel üretmek ve bunu içten yanmalı bir motorda yakıt olarak kullanımını araştırmaktır. Bu amaca yönelik olarak dizel motor yakıtına alternatif olarak hamsi balık yağı ve atık kızartma yağından transesterifikasyon yöntemiyle balık yağı metil esteri (BYME) ve atık pişirme yağı metil esteri (APYME) üretilmiştir. Daha sonra metil esterler tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı bir dizel motorda yakıt olarak kullanılarak yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri standart dizel yakıtı (D2) ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Yakıtların test sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmaları neticesinde elde edilen sonuçlar da dikkate alındığında, BYME ve APYME yakıtları egzoz emisyonları bakımından D2 yakıtına oranla daha iyi özellikler gösterdiği gözlemlenmiştir. BYME ve APYME'nin egzoz emisyonları (HC ve CO) dizel yakıtına göre daha düşük çıkması, yakıtların iyi yanma özellikleri ve çevre üzerindeki olumlu etkilerinden dolayı atık yağ kaynaklı biyodizel yakıtlar dizel yakıtına alternatif olarak kullanılabilir.

**Anahtar kelimeler:** Çevre kirliliği, atık yağlar, biyodizel, dizel motor, egzoz emisyonları



## Using As Fuel For A Single Cylinder Diesel Engine Of Biodiesels Produced From Vegetable and Animal Waste Oils

**ABSTRACT:** The purpose of this study, to produce biodiesel from waste oils which are harmful to the environment and human health, and this was to investigate the use of biodiesel as a fuel in internal combustion engines. For this purpose, anchovy fish oil methyl ester (FOME) and waste cooking oil methyl ester (WCOME) was produced by transesterification method from waste fish oil and waste cooking oil as an alternative to diesel engine fuel. Then, methyl esters have been used as fuel in a diesel engine of single-cylinder, four stroke, direct injection and air-cooled; and the effects of fuels on engine performance and exhaust emissions have been comparatively investigated with standard diesel fuel (D2). As a result of the test results obtained from the comparison of results with each other fuels are taken into account, in terms of exhaust emissions of FOME and WCOME fuels were demonstrated better properties than D2 fuel. Exhaust emissions of FOME and WCOME fuels (HC and CO) lower than the emergence of diesel fuel, fuel combustion characteristics of a good and positive effects on the environment taken into consideration, it was concluded that these fuels can be used as an alternative to diesel fuel.

**Keywords:** Environmental pollution, waste oils, biodiesel, diesel engine, exhaust emissions

<sup>1</sup> Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye

<sup>2</sup> Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye

<sup>3</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

## GİRİŞ

Fosil kökenli kaynakların gittikçe azalması ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı alternatif enerji kaynakları gündeme gelmiştir. Bu enerji kaynaklarından biri de içten yanmalı motorlarda dizel yakıtı alternatif olarak kullanılabilen biyodizeldir. Son zamanlarda farklı tür yağlar (bitkisel, hayvansal ve atık yağlar) ve yöntemler kullanılıp biyodizel üretilerek dizel motorlarda saf halde ve standart dizel yakıtı belirli oranlarda karıştırılmak suretiyle yakıt olarak kullanılmaktadır. Biyodizeli motorlarda yakıt olarak kullanmayı cazip hale getiren birçok sebep olmakla birlikte önemli sebepler; düşük maliyet, düşük egzoz emisyonları ve hammadenin temin edilebilme kolaylığıdır. Atık yağlar, bu özelliklere sahip hammaddelerdir. Biyodizel üretiminde kullanılan yağlı tohum bitkilerini yetiştirmek için ekim alanlarının sınırlı olması ve bitkisel yağların gıda amaçlı kullanılması atık yağların önemini arttırmıştır. Atık yağlar kendi arasında; bitkisel yağ kaynaklı atık pişirme yağları, hayvansal atık yağlar (balık atıkları, tavuk atıkları ile küçük ve büyük baş hayvanların kesilmesiyle yararlı olan etlerin alınmasından sonra geriye kalan atıklardan üretilen yağlar) ve atık sanayi yağları şeklinde üç kısma ayrılabilir. Türkiye’de her yıl milyonlarca ton farklı kaynaklı atık yağ oluşmaktadır. Bu yağların sadece küçük bir yüzdesi toplanarak sabun ve hayvansal yem üretiminde kullanılmaktadır ki bu ilgili kurum tarafından yasaklanmıştır ve kullanılmamalıdır. Geriye kalan kısmı çeşitli yollarla çevreye atılmaktadır (Utlu, 2007). Restaurant ve evsel atık yağlar, yağ asidi esterlerine dönüştürülmek suretiyle alternatif dizel yakıt olarak dizel motorlarında kullanımı hem insan sağlığı hem de çevresel açıdan önem arz etmektedir (Çanakçı ve Özsezen, 2005). Atık yağların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ve bu yağları yeniden değerlendirmek için en iyi yöntem, atık yağları biyodizele dönüştürerek içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanmaktır. Atık yağları değerlendirmek ve bu yağları biyodizel yakıtı dönüştürmek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Phan and Phan (2008), ve Çetinkaya ve ark. (2005) otel ve restoranların mutfaklarından temin ettiği atık pişirme yağlarını biyodizele dönüştürerek tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak hem saf halde (B100) hemde dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırarak (B20, B60) test etmiştir. Neticede dizel motorun hiçbir problem ile karşılaşmadan çalışabildiği ve B20 yakıtının motor performansı üzerinde herhangi bir aksaklığa sebep olmadığı ve dizel motorda da her-

hangi bir değişiklik yapılmasının doğrudan yakıt olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Utlu and Koçak (2008), atık kızartma yağı metil esteri (APYME) elde etmek için atık kızartma yağı (AKY) kullanmışlardır. Elde ettikleri yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlendikten sonra APYME turboşarjlı, direkt enjeksiyonlu ve dört silindirli bir dizel motorda test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları dizel yakıtı (D2) ile karşılaştırılmış ve egzoz emisyon değerlerinin (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu) dizel yakıttan daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Özsezen ve Çanakçı (2009), hammadde olarak atık palmiye yağı ve kanola yağı kullanarak biyodizel üretmiş ve ürettikleri biyodizel yakıtları altı silindirli, doğal emişli, ve direkt püskürtmeli bir dizel motorda kullanmak suretiyle yakıtların performans, yanma ve püskürtme karakteristiklerini incelemişlerdir. Yapılan testlerde elde edilen sonuçlara göre dizel benzeri yakıtın özelliklerinin petrol kökenli dizel yakıtı benzer özellikler taşıdığı ve içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir. Tashtoush et al. (2004), tarafından yapılan çalışmada atık hayvansal yağı biyodizele dönüşümü için sıcaklık ve zaman arasındaki etkileşim incelenmiştir. Atık hayvansal yağın biyodizele dönüşümü için en uygun sıcaklık 50 °C ve en uygun zaman ise iki saat olarak tesbit edilmiştir. Gürü et al. (2010)’nın çalışması ise tavuk yağından elde ettikleri biyodizeli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılması ve yakıtın motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi ile ilgilidir. Andersen and Weinbach (2010), Norveç’te biyodizel üretiminde kullanılabilecek atık hayvansal yağ ve atık balık yağı üzerine yaptıkları çalışmada ülkenin bu atıklar bakımından iyi bir konumda olduğunu belirterek bu atıklardan üretilen biyodizel yakıtın petrol tabanlı dizel yakıtın yerine kullanılması ile CO<sub>2</sub> emisyonlarında önemli miktarda azalma olacağını ifade etmişlerdir. Karışık deniz balığı türlerinin atıkları (deri, kuyruk, kemik vb gibi) kullanılarak Lin and Li (2009), tarafından balık yağı üretilmiştir. Üretilen balık yağı daha sonra transesterifikasyon yöntemiyle biyodizele dönüştürülmüştür. Ayrıca, hammadde olarak atık pişirme yağı da kullanılarak aynı yöntemle biyodizel üretilip biyodizellerin yakıt özelliklerinin analizleri yapılmıştır. Yakıtların emisyon değerlerini belirlemek için de üretilen biyoyakıtlar içten yanmalı bir motorda yakıt olarak kullanmış ve yakıtların egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Çalışmada atık pişirme yağı biyodizeli ile de-

niz balığı biyodizelin emisyon özelliklerinin ( $CO$ ,  $O_2$ ,  $NO_x$ , duman koyuluğu, egzoz gazı sıcaklığı, özgül yakıt tüketimi vb.) standart dizel yakıt ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı Türkiye şartları için düşük maliyetli hammaddeler olan atık yağları (atık hamsi balık yağı ve atık kızartma yağı) yeniden değerlendirmek, yenilenebilir ve çevre dostu yakıtlar üretmek ve bu yakıtları bir dizel motorda test ederek yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

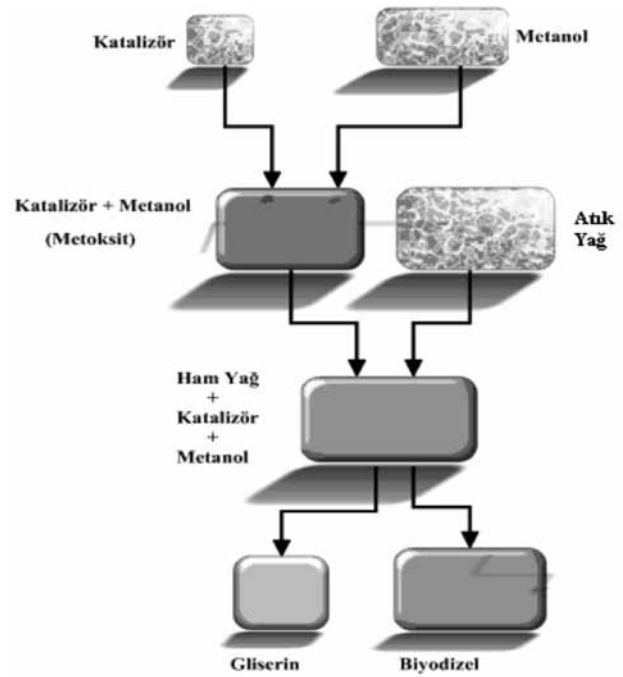
### Türkiyedeki Atık Yağ Potansiyeli

Biyoyakıt elde etmek amacıyla bu çalışmada iki çeşit atık yağ kullanılmıştır. Bunlardan biri atık hamsi balık yağı diğeri ise pamuk yağı kaynaklı atık pişirme yağıdır. Türkiye'deki balık yağı, Türkiye'nin Karadeniz bölgesinde kurulmuş ve balık yemi elde etmek amacıyla, ihtiyaç fazlası balıklardan üretilen balık unu ve yağı fabrikalarında yan ürün olarak açığa çıkmaktadır. Türkiye'deki balık unu ve yağı fabrikaları, Karadeniz Bölgesinde hamsi balıkçılığı potansiyeline dayalı olarak kurulmuş ve sadece bu bölgede gelişmiştir. 1998 - 2008 yılları arasında Türkiye'de 3 231 244 ton hamsi avlanmış ve bu miktarın yaklaşık 1/3'ü kadarı (1 050 497 ton) balık unu fabrikalarında işlenmiş ve 108 577 m<sup>3</sup> balık yağı elde edilmiştir (Behcet, 2011). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın resmi verilerine göre Türkiye'de yılda 1 700 000 ton bitkisel yağ kullanılmaktadır. Bu yağların 950 bin ton likit, 550 bin ton margarin, 200 bin ton civarında da yem, boya ve sabun sanayi ihtiyacı için kullanılmaktadır. Yağ rafinasyon prosesi sonucu ve elde edilen yağın tüketimi sonucu yaklaşık 350 bin ton bitkisel atık yağ oluştuğu tahmin edilmektedir. Atık yağların biyodizel üretiminde kullanılması çevreye ve insan sağlığına büyük zararları bulunan atıkların toplatılmasını ve geri dönüşümünü sağladığından son derece önemlidir.

### Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi

Atık yağların içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilmesi için ya yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi ya da motor yapısında değişikliklerin yapılması gerekir. Motor ayarında yapılacak değişiklik-

ler püskürtme basıncı ve zamanın değiştirilmesi ile sağlanır. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda da yağların viskozitelerinin düşürülmesi önerilebilir (Çanakçı ve Özsezen, 2005; İlkılıç ve ark., 2011). Bu çalışmada yağların viskoziteleri azaltılması amacıyla kimyasal yöntem olarak transesterifikasyon metodu kullanılarak yağ asidi metil esteri (YAME) üretimi yapıldı. YAME üretilmesinde kullanılan atık yağlar, Batman'da tatlı imal eden işyerlerinden kullanım sonucu atık hale gelen pamuk yağı menşeli atık yağ ile Karadeniz bölgesinde işlev gören balık unu-yağı fabrikalarında yan ürün olarak ortaya çıkan atık hamsi balık yağıdır. Bu yağlar, işyerlerinden temin edildikten sonra filtrelenerek içerisinde bulunan yabancı maddeler temizlenmiş ve daha sonra YAME'in üretim işlemi şekil-1 de şematik olarak belirtildiği biçimde kademeli olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Biyodizel üretim aşamaları (Transesterifikasyon).

Atık yağlardan biyodizel üretim aşamaları şu şekilde gerçekleştirilmiştir: (1) Atık yağların içindeki suyun varlığı sabunlaşmaya, katalizörün tükenmesine ve katalizör etkinliğinin azalmasına neden olduğundan dolayı atık yağ ağız açık behere konularak 110 °C'ye kadar ısıtılarak yağın içindeki suyun buharlaşması sağlandı. Ardından oda sıcaklığında 60 °C'ye kadar soğutma bırakıldı. (2) Katalizör olarak kullanılan NaOH metil alkol içerisinde çözününceye kadar karıştırıldıktan

Çizelge 1. BYME, APYME ve dizel yakıtların yakıt özellikleri

Özellikler	EN 14214	BYME	APYME	Dizel Yakıtı
Yoğunluk (g cm <sup>-3</sup> )	0.86 - 0.90	0.881	0.897	0.843
Viskozite (mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ) (40 ° C)	3.50 - 5.00	4.45	6.1	3.66
Alt ısı değeri (kJ kg <sup>-1</sup> )	-	40546	39340	43356
Parlama noktası (° C)	120	155	128	60
Setan sayısı	51	52.4	52.49	52

Çizelge 2. Hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri

Model	BT-140
Max. frenleme gücü	50 kW
Max. Devir ve Max. moment (tork)	7500 dev dak <sup>-1</sup> - 250 Nm
Yük hücresi kapasitesi ve ağırlık sistemi	1000 N - Metrik-Elektronik Yük Hücresi
Max. güç için su sarfıyatı	V maks. 0.75 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Fren suyu basıncı	1 – 2 kg cm <sup>-2</sup>
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz.
Dönüş yönü	Sağa dönüş

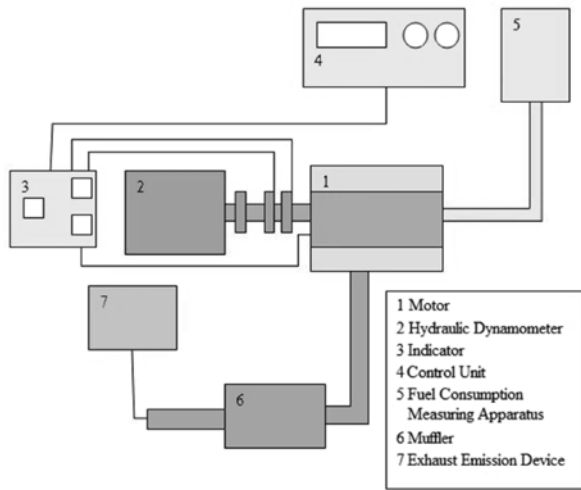
Çizelge 3. Hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri

Markası	RANBOW-LA186 DİZEL
Soğutma sistemi	Hava Soğutmalı
Püskürtme sistemi	Direkt püskürtmeli
Silindir sayısı	1
Silindir çapı	86 mm
Strok	70 mm
Sıkıştırma oranı	18/1
Max. güç	15 HP
Kurs hacmi	0.406 cm <sup>3</sup>
Püskürtme basıncı	19.6 ±0.49 MPa

sonra atık yağa ilave edilerek karışım manyetik karıştırıcıda 60 °C'de sıcaklıkta 2 saat karıştırıldı ve reaksiyon sırasında alkol kaybını önlemek için reaksiyon kabının üst tarafına ıslak bez tutuldu. (3) Reaksiyon sonunda ester ve gliserin fazının ayrışması için karışım 8 saat oda sıcaklığında bekletilerek gliserin ve ester fazının birbirinden ayrılması sağlandı ayırma hunisi ile gliserin alındı. Atık yağlardan elde edilen biyodizel içerisinde kalan yağ asitleri, reaksiyona girmeyen alkol, katalizör madde ve ayrışma esnasında kalma ihtimali söz konusu olan gliserinin biyodizelden uzaklaştırılması için yıkanması gerektiğinden dolayı elde edilen biyodizel bez filtrelerden geçirildi ve daha sonra yıkama işlemine tabi tutuldu. (4) Yıkama işleminden sonra biyodizelin içinde su kalma ihtimaline karşın biyodizel, su-

yun kaynama noktası olan 100 °C'nin üzerine kadar ısıtılarak biyodizelin içindeki suyun buharlaşması sağlandı. Sonuçta sarı renkli ve daha düşük viskoziteli atık balık yağı metil esteri (BYME) ve atık kızartma yağı metil esteri (APYME) elde edildi. Dicle Üniversitesi Fen ve Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü ve Batman TÜPRAŞ yakıt analiz laboratuvarlarında yapılan analizler ile belirlenen atık yağ metil esterlerin bazı özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'de görüldüğü gibi BYME'nin yoğunluk ve viskozite değeri, APYME'nin ise yoğunluk değeri EN 14214 biyodizel standartlarında belirtilen sınır değerleri içinde kalmaktadır. APYME'nin viskozite değeri ise referans alınan standartın üst değerini aşmaktadır.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

### Deneysel Yöntem

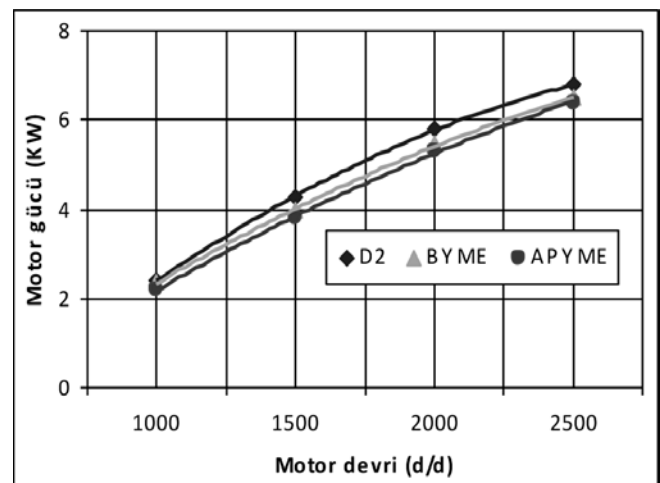
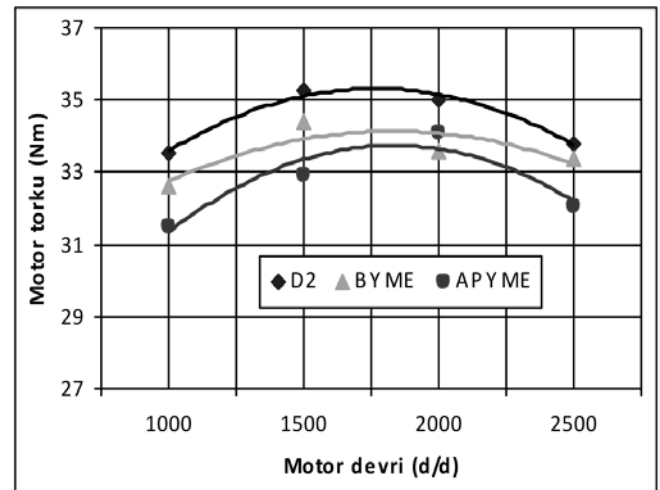
Motor performans ve emisyon deneyleri Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Dizel Motor Atölyesinde yapılmıştır. Deneyler için tek silindirli, dört stroklu, hız değişimli, hava soğutmalı ve direkt enjeksiyonlu RANBOW-LA186 marka bir dizel motor kullanıldı. Deney test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 2’de gösterilmiştir.

Deneylerde kullanılan hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 2’de ve motorun teknik özellikleri de Çizelge 3’de verilmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı ölçümü için Ranyger ST-4 marka Lazer termometre kullanılmıştır. Deneyler, önce dizel yakıt (D2) kullanılarak motor çalıştırılıp rejim sıcaklığına ulaşıldıktan sonra 1000 ile 2500 dev dak<sup>-1</sup> aralığında 500 dev dak<sup>-1</sup> aralıklarla ölçümler alınarak yapılmıştır. Daha sonra dizel yakıt yerine sırasıyla saf haldeki BYME ve APYME motorda yakıt olarak kullanıldı ve aynı deneyler tekrarlandı. Deneylerde elde edilen veriler kullanılarak motor performans ve emisyon grafikleri çizilmiştir.

### BULGULAR VE TARTIŞMA

**Motor Performansı:** D2 ve BYME ve APYME yakıtlarına ait motor performans eğrileri Şekil 3, 4 ve 5’de verilmiştir. Şekil 3’de devir sayısına bağlı olarak motor torkundaki değişim ve Şekil’4 de ise motor gücündeki değişim çizilmiştir. Şekil 3 ve 4 incelendiğinde BYME ve APYME’nin yakıt olarak kullanılması ile motorun moment ve güç değerlerinde D2 yakıtı ile elde

edilen değerlere kıyasla sırasıyla % 3.87 - 3.3 civarında düşüşler gerçekleşmiştir. Biyodizel yakıtlarının moment eğrileri D2 yakıtının moment eğrisine benzer olduğu Şekil 3’te görülmektedir. Dizel yakıtının ısı değeri biyodizel yakıtların ısı değerinden yüksek olduğu için en yüksek motor momenti D2 yakıtının kullanılmasıyla elde edilmiştir. Devir sayılarının artmasıyla test yakıtların motor gücünde artış meydana gelmiş ve maksimum güç 2500 dev dak<sup>-1</sup>’da dizel yakıtın kullanılması ile gerçekleşmiştir. Motor devri arttıkça hava hareketlerinin artması ve yanmanın iyileşmesi moment ve gücü artırmıştır. Dizel yakıtın kullanılması ile daha yüksek gücün elde edilmesi dizel yakıtının BYME ve APYME’na göre daha yüksek ısı değere sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Keskin ve Aydın, 2005; Altun, 2009). Ancak BYME ve APYME’nin kullanılmasıyla elde edilen motor gücü D2 yakıtı ile elde edi-



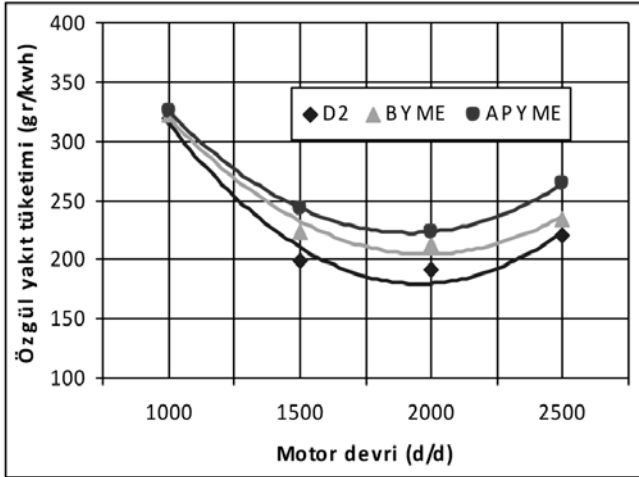
Şekil 4. Test yakıtlarına ait motor gücünün devir sayısına bağlı olarak değişimi.

len güce göre çok az azalmıştır. Bu azalmanın sebebi BYME ve APYME'nin ısı değerinin D2 yakıtına göre düşük ve BYME ile APYME'in yoğunluklarının dizel yakıt yoğunluğuna göre yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Altun, 2009).

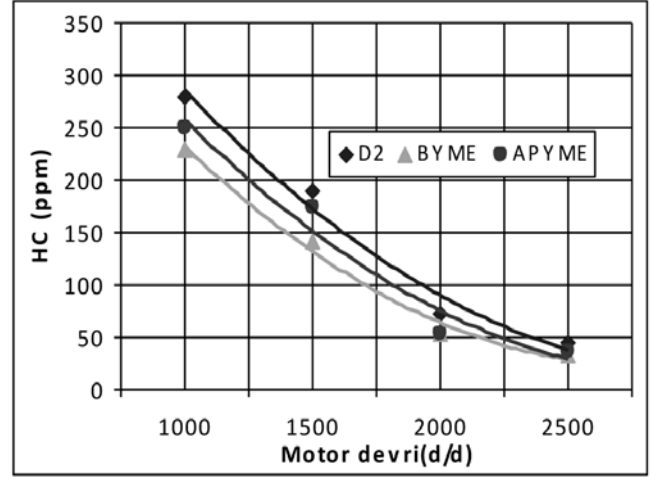
Şekil 5'te dizel yakıtı ile BYME ve APYME'nin motor devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimleri verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde özgül yakıt tüketimi, BYME ve APYME'in kullanılması ile artmış ve tüm devir sayılarının ortalaması alındığında D2 yakıtına göre sırasıyla % 7 ve % 13.6 artış göstermiştir. BYME ve APYME'nin yoğunlukları yüksek olduğu için, bu yakıtları kullanılmasıyla özgül yakıt tüketiminde artış meydana gelmiştir. Ayrıca düşük ısı değe-

re sahip olan BYME ve APYME'in dizel yakıtı ile eşit güç üretebilmesi için daha fazla yakıt tüketimi gerekmektedir (Ulusoy, 1999).

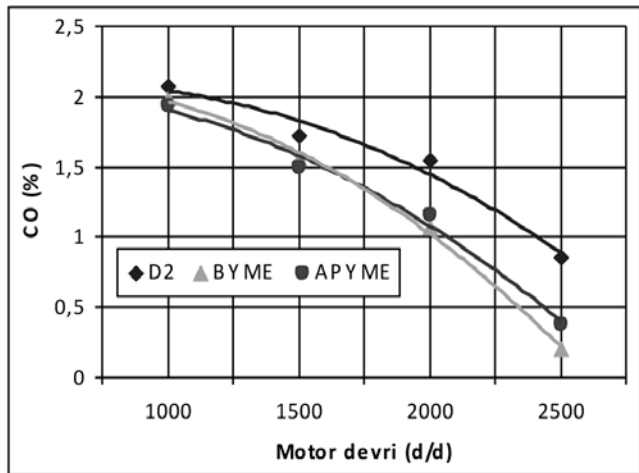
**Egzoz Emisyonları:** Dizel motorlarda kaynaklanan CO, yanmamış hidrokarbon (HC), NOx ve duman koyuluğu kirleticileri emisyon standartlarının temel parametrelerindedir. CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonu motorda kullanılmayan kayıp kimyasal enerjiyi ifade ettiği için, bu emisyonlardaki artış motor performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Arpa ve ark., 2008). Şekil 6'da dizel yakıtı ile biyodizel yakıtların tam yük ve değişik devir sayılarına göre CO emisyonu değişimi görülmektedir. BYME ve APYME'in yakıt olarak kullanılması ile bütün motor devirlerin-



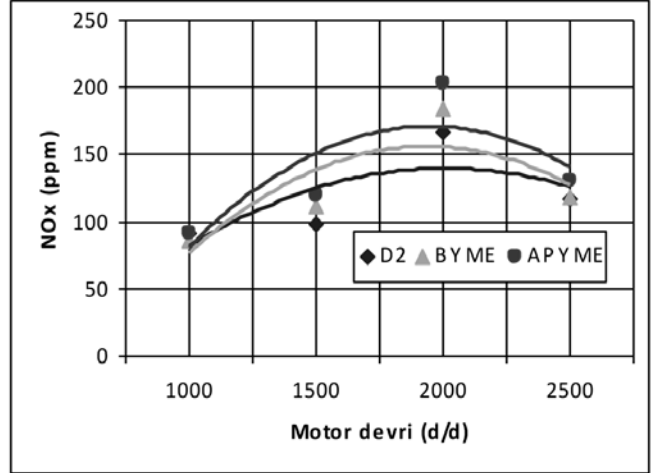
Şekil 5. Test yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimlerinin motor devrine göre değişimi.



Şekil 7. Test yakıtlarına ait yanmamış hidrocarbon emisyonlarının motor devrine göre değişimi.



Şekil 6. Test yakıtlarına ait CO emisyonlarının motor devrine göre değişimleri.



Şekil 8. Test yakıtlarına ait NOx emisyonlarının motor devrine göre değişimleri.

de dizel yakıtından daha düşük CO emisyonu meydana gelmiştir. 1500 dev dak<sup>-1</sup> altındaki düşük devirlerde BYME ve APYME'in CO emisyonları dizel yakıt emisyon değerlerini yakın değerlerde seyrederken 1500 dev dak<sup>-1</sup> üzerindeki devirlerde de tüm yakıtların CO emisyonlarındaki düşüşler devam etmiştir. Bunun nedeni artan devir sayısı ile daha iyi homojen karışımın oluşması ve bunun sonucunda yanmanın iyileşmesidir. BYME ve APYME'in CO emisyonu D2 yakıtından kaynaklanan CO emisyonlarından sırasıyla % 22.4 ve % 19.9 daha düşük çıkmıştır. BYME ve APYME'in dizel yakıtından daha düşük CO emisyonuna sahip olması biyodizel yakıtlarının bünyelerinde oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır (Lin and Lin, 2006; Nişancı, 2007). Setan sayısı da biyodizel yakıtlarında daha yüksek olduğundan, tutuşma gecikmesini kısaltarak yakıtça zengin bölgelerini önler. Bu nedenle CO emisyonu CO<sub>2</sub>'ye daha çok dönüştüğünden biyodizel yakıtlarda CO emisyonlarının dizel yakıtından daha düşük çıkmasına sebep olmuştur.

Şekil 7'de tam yük ve değişik devir sayılarında egzozdan çıkan HC emisyonlarının motor devrine göre değişimi gösterilmiştir. Düşük motor devirlerinde silindir içi sıcaklığının düşük olması nedeniyle tüm yakıtların HC emisyonları yüksek çıkmıştır. Nitekim devir sayısının artmasıyla silindir içi sıcaklığı artmış ve tüm yakıtların HC emisyonları azalmıştır. Biyodizel yakıtlar yapılarında oksijen içerdiğinden dolayı bu yakıtların yanmamış hidrokarbon emisyonları D2 yakıtına göre daha düşük seviyede çıkmıştır. D2 yakıtı ile kıyaslama yapıldığında biyodizel yakıtların hidrokarbon emisyonlarındaki azalma miktarı ortalama olarak % 17.3 civarında olmuştur.

Azot oksitler insan sağlığını tehdit eden ve sera etkisi yapan gazlar arasındadır. Bu yüzden azot oksitlerin, havada mümkün olduğu kadar az olması istenir. Havadaki azot oksit gazlarının bir kaynağı içten yanmalı motorlardır. Dizel motorlarda azot oksit oluşumu, püskürtülen yakıt miktarına, püskürtme zamanına, silindire alınan hava miktarına ve sıcaklığa bağlıdır (Altun, 2009). NOx emisyonları, genellikle motorlarda yakıtın yüksek sıcaklıklarda yakılması sonucu meydana gelir. NOx oluşumu silindir içi sıcaklığı 1800 K'ni aşması durumunda, yeterli oksijenin ve zamanın olması

halinde, oksijen azotla reaksiyona girerek gerçekleşir. Şekil 8'den de görüleceği gibi BYME ve APYME'in NOx emisyon değerleri dizel yakıtına göre yüksek çıkmıştır. 2000 dev dak<sup>-1</sup> seviyelerinde NOx maksimum seviyeye ulaşmış ve bu değerden sonra azalma eğilimi göstermiştir. Tüm devir sayılarının ortalaması alındığında BYME ve APYME yakıtlarının NOx emisyonlarında D2 yakıtına göre sırasıyla % 5.5 ve % 15 artma olmuştur. Bunun nedeni ise biyodizel içerisindeki oksijenin varlığı ve metil ester yakıtların (BYME, APYME) daha yüksek özgül yakıt tüketimine sahip olmasından kaynaklanabilir.

## SONUÇ

Atık yağlar değerlendirilerek biyodizel üretiminde kullanılması ile elde edilen biyoyakıtların, dizel yakıtına alternatif olarak kullanılması hem egzoz emisyonlarını azaltması hemde çevre temizliği bakımından önemlidir. Balık ve atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizelin motor yakıtı olarak kullanılmasından elde edilen motor performansı ve egzoz emisyon değerleri aynı tür biyodizel çalışmaları ile benzerlikler göstermektedir. (Keskin ve Aydın, 2005; Altun, 2009; Behcet ve Oktay, 2011). Deneylerden elde edilen sonuçlara göre fosil tabanlı dizel yakıtına nazaran BYME ve APYME'nin egzoz emisyon değerleri çevre ile daha uyumlu olduğu görülmüş, ancak motor performans değerleri D2 yakıtına göre daha düşük seviyede olmuştur. BYME ve APYME'nin kullanılması ile motor gücü ve torkunda D2 yakıtına kıyasla sırasıyla % 3.3 ve % 3.87'lik azalma olurken özgül yakıt tüketiminde % 10.33'lük bir artış olmuştur. Bununla beraber HC ve CO emisyonlarında ise D2 yakıtına kıyasla sırasıyla % 17.29 ve % 21.15 düzeyinde azalmalar olmuş ancak NOx emisyonunda ortalama olarak % 10.25 artma gözlenmiştir. NOx emisyonunda ki bu artış biyodizel yakıtların dezavantajlarından biri olarak ortaya çıkmaktadır. Çevre ve insan sağlığını tehdit eden atık yağlar biyodizelle dönüştürülerek içten yanmalı motorlarda yakıt olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte biyodizel yakıtların NOx emisyonu dışındaki egzoz emisyonlarını azaltmalarından dolayı atık yağ kaynaklı metil esterler dizel yakıtına alternatif olarak kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Agarwal, A.K., 2007. Biofuels (Alcohols and Biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33(3): 233-271.
- Altun, Ş., 2009, Havyasal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış), Elazığ.
- Andersen, O., Weinbach, J.E., 2010. Residual animal fat and fish for biodiesel production potentials in Norway. *Biomass and Bioenergy*, 34: 1183-1188.
- Arpa, O., Yumrutaş, R., Kaşka, Ö., 2008. Atık motor yağından elde edilen dizel benzeri yakıtın motor performans ve egzoz emisyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi, VII.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES'2008.
- Behcet, R., 2011. Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a Diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 92(6): 1187-94.
- Behcet, R., Oktay, H., 2011. Comparison of exhaust emissions of biodiesel fuels from waste oil. XIX. ISAF International Symposium on Alcohol.
- Çanakçı, M., Özsezen A.N., 2005. Atık mutfak yağlarının dizel yakıtı olarak değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(1): 81-91.
- Çanakçı, M., Özsezen A.N., 2005. Atık mutfak yağlarının dizel yakıtı olarak değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(1): 81-91.
- Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y., Karaosmanoglu, F., 2005. Engine and winter road test performances of used frying oil originated biodiesel. *Energy Convers Manage*, 46: 1279-91.
- Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C., Şahin, F., 2010. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine. *Renewable Energy*, 35(3): 637-643
- İlkılıç, C., Aydın, S., Behçet, R., Aydın, H., 2011. Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 92: 356-362.
- Keskin, A., Aydın, K., 2005. Fındık yağı biyodizeli üretimi ve dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımının araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik –Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(1): 75-83.
- Lin, C.H., Lin, H.A., 2006. Diesel engine performance and emissions characteristics of biodiesel produced by the peroxidation process. *Fuel*, 85: 298.
- Lin, C.Y., Li, R.J., 2009. Engine performance and emission characteristics of marine fish-oil biodiesel produced from the discarded parts of marine fish. *Fuel Processing Technology*, 90: 883-888.
- Nişancı, S., 2007. Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), İstanbul.
- Özsezen, A.N., Çanakçı, M., 2009. Atık palmye ve kanola yağı metil esterlerinin kullanıldığı direkt püskürtmeli bir dizel motorda performans ve yanma. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2): 275-284.
- Phan, A.N., Phan, T.M., 2008. Biodiesel production from waste cooking oils. *Fuel*, 87: 3490-3496.
- Tashtoush, G.M., Al-Widyan M.I., Al-Jarrah M.M., 2004. Experimental study on evaluation and optimization of conversion of waste animal fat into biodiesel. *Energy Convers Manage*, 45(17): 2697-711.
- Ulusoy, Y., 1999. Ayçiçeği, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış), Bursa.
- Utlu, Z., 2007. Evaluation of biodiesel obtained from waste cooking oil. *Energy sources, Part A*, 29: 1295-1304.
- Utlu, Z., Koçak, M.S., 2008. The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy*, 33(8): 1936-1941.