

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Dizel Motor Performans ve Emisyonları Üzerindeki Biyodizel-Dizel Karışım Yakıtların Etkisi**

Rasim BEHÇET<sup>\*1</sup>, Faruk ORAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya*

<sup>2</sup>*Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis*

---

### **Özet**

Bu çalışmada, ham madde olarak Karadeniz Bölgesi kökenli balık yağı ve fındık yağı kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle balık yağı metil esteri (BYME) ve fındık yağı metil esteri (FYME) üretildi. Daha sonra metil esterler ayrı ayrı mineral dizel yakıtıyla hacimsel olarak %50 oranında karıştırılarak BYME50 ve FYME50 olarak isimlendirilen karışım yakıtlar oluşturuldu. Karışım yakıtların her biri, tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı bir dizel motorda yakıt olarak kullanılarak yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelendi. Test sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak karışım yakıtların motor performans ve egzoz emisyon değerlerinin motor devrine göre değişimi grafiklere aktarıldı. Test yakıtların birbirleri ile karşılaştırılmaları neticesinde elde edilen sonuçlar da dikkate alındığında, dizel yakıtına göre karışım yakıtların (BYME50 ve FYME50) motor torku, motor gücü, CO, HC ve SO<sub>2</sub> değerleri azalma gösterirken, özgül yakıt sarfiyatı ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında artma gözlemlendi. Karışım yakıtların iyi yanma özellikleri ve çevre üzerindeki olumlu etkilerinden dolayı bu yakıtlar dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan dizel yakıtına alternatif olarak kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Fındık yağı, Balık yağı, Motor performansı, Egzoz emisyonları.

---

## **Effect of Biodiesel-Diesel Blend Fuels on Diesel Engine Performance and Emissions**

### **Abstract**

In this study, fish oil methyl ester (FOME) and hazelnut oil methyl ester (HOME) were produced by transesterification method using raw oils such as fish oil and hazelnut oil of the Black Sea region origin. Then, fish and hazelnut oil methyl esters (FOME, HOME) 's, each with mineral diesel fuel by mixing 50 % by volume, was transformed into mixture fuels called as FOME50 and HOME50, respectively. The effect of fuels on engine performances and exhaust emissions were investigated by using each of the mixture fuels in a single cylinder, four stroke direct injection and air cooled diesel engine. Utilizing the data obtained from test results, the changes of engine performances and exhaust emissions values according to engine speed were transferred to graphics. Then FOME and HOME, were mixed with diesel fuel 50% by volume and used as fuel in a single cylinder, four stroke, direct injection and air-cooled diesel engine to investigate the effect of each fuels on engine performance and exhaust emissions. As a result of investigations on comparison of diesel fuel with biodiesel-diesel fuel blend, there has been reduction in engine power, engine torque, CO, HC, and SO<sub>2</sub> respectively, conversely, there has been increase in specific fuel consumption and NO<sub>x</sub> emissions has been observed. Because of biodiesel-diesel fuel blends has excellent combustion characteristics and lower exhaust emissions, they can be used a substitute for petroleum diesel in diesel engines without any modification.

**Keywords:** Biodiesel, Hazelnut oil, Fish oil, Engine performance, Exhaust emissions.

---

\* Sorumlu yazar: [rbehcet23@gmail.com](mailto:rbehcet23@gmail.com)

## 1. Giriş

Enerji kaynağı olarak genellikle petrol kökenli yakıtların kullanıldığı içten yanmalı motorlar, icadından sonra hızlı bir şekilde gelişme göstermiş, endüstride ve günlük hayatımızda önemli bir yere sahip olmuştur. İçten yanmalı motorlar deniz, kara ve hava taşımacılığının büyük bir bölümünde kullanılır hale gelmiştir. Sahip olduğu bu potansiyele karşın özellikle son yıllarda gerek enerji kaynakları doğrultusunda yaşanan sorunlar gerekse bu kaynakların kullanımı doğrultusunda meydana gelen çevresel tehditler kaynak kullanımı doğrultusunda yeni arayışlara yönelimi doğurmuş ve alternatif yakıt arayışlarını gündeme getirmiştir[1]. Türkiye gibi enerji ihtiyacının çoğu fosil yakıtlara bağımlı ve ithalat yolu ile karşılanan ülkeler için enerji ihtiyacı büyük problem teşkil etmektedir. Bu nedenle petrole alternatif yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılması ülkemiz için hem ekonomik açıdan hem de stratejik açıdan önemlidir[2]. Petrol kökenli yakıtların rezervlerinin azalması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle alternatif enerji kaynakları alanındaki çalışmalar önem kazanmıştır. Biyodizel dizel yakıtına alternatif olarak, bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilir. Biyodizel üretimi için değişik yöntemler olmakla birlikte en çok kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. En çok kullanılan ham maddeler ise bitkisel, hayvansal ve atık yağlardır. Transesterifikasyon yönteminde, yağın NaOH veya KOH gibi bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile ( $\text{CH}_3\text{OH}$  veya  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) reaksiyona girerek yağ asidi metil/etil esteri oluşturmasıdır. Farklı bitkisel yağlardan üretilen biyodizeller arasında en yüksek performans ve en düşük kirletici emisyon seviyesi fındık yağı metil esterleri ile yapılan çalışmalardan elde edilmektedir[3]. Fındık yağı biyodizelinin alternatif yakıt olarak dizel motorlarda kullanılması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Keven ve arkadaşları[4] tarafından fındık yağından esterifikasyon yöntemi ile fındık yağı etil esteri elde edilmiş ve bu fındık yağı etil esteri motorin ile hacimsel olarak %50 oranında karıştırılarak dört zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu ve hava soğutmalı bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Dizel yakıtı ile yapılan karşılaştırmada karışımı yakıtın motor performans değerlerinde iyileşme sağladığı ancak  $\text{NO}_x$  emisyonunda artış görülmüştür. Fındık yağının yakıt olarak kullanıldığı küçük güçlü bir dizel motorda yakıtın motor performansına etkilerini incelemek, emisyon kontrollerini yapmak ve uygulanabilirliğini belirlemek için Elçin ve Erdoğan[5] deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmada, direkt püskürtmeli, 5,5 kW anma gücünde 4 zamanlı bir dizel motor kullanılmıştır. Motor testlerinde yakıt olarak belirli oranlarda saf fındık yağı/dizel yakıtı karışımları ve transesterifikasyon yöntemi ile edilen fındık yağı etil ve metil esterleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda fındık yağı ve esterlerinin dizel yakıtına benzer özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Fındık yağının dizel motor yakıtı olarak kullanımı ile ilgili çalışmada[2] ise fındık yağı metil esteri üretilerek dört silindirli, direkt enjeksiyonlu, turbo şarjlı bir dizel motorda test edilmiş ve elde edilen sonuçlar standart dizel yakıt değerleri ile karşılaştırılmıştır. Fındık yağı metil esteri ve dizel yakıtının moment, güç ve özgül yakıt tüketimi değerlerinin birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Fındık yağı metil esterinin  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  ve duman koyuluğu emisyonları ile egzoz sıcaklıkları da dizel yakıtına göre daha düşük çıktığından dolayı fındık yağı metil esterinin yenilenebilir kaynaklı ve uygun bir dizel yakıtı alternatifi olabileceği ifade edilmiştir. Biyodizel üretmek için ham madde olarak fındık yağının kullanıldığı çalışmalarda[6,7], üretilen metil esterinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ve fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Fındık yağı metil esteri, dizel motorun farklı devir sayılarında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Araştırmacılara göre; fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı değerlerine yakın olduğu kanıtlanmıştır. Moment ve güç değerlerine bakıldığında ortalama azalma miktarı % 3 civarında gerçekleşirken özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtına göre artış olduğu belirlenmiştir.  $\text{CO}$  ve  $\text{HC}$  emisyonlarında da azalma olduğu tespit edilmiştir. Karaosmanoğlu ve arkadaşları[8], bitkisel yağların dizel motorlarda kullanımı ile ilgili yaptıkları çalışmada bitkisel yağların enerji içeriklerinin petrol kökenli dizel yakıtlarının enerji içerikleriyle hemen hemen aynı olduğunu ifade etmişlerdir. Ancak dizel yakıtına göre daha fazla viskoziteye sahip olmalarından dolayı bitkisel yağlar dizel motorlarında bazı sınırlamalar ile değerlendirilmesi mümkün olabileceği belirtilmektedir. Bitkisel yağların hem gıda amaçlı kullanılmaları hem de ekim alanlarının sınırlı olmasından dolayı dizel motor yakıtı olarak kullanılmaları maliyeti artırmaktadır. Düşük maliyetli ve biyodizel üretiminde kullanılacak en

uygun yağlar atık hayvansal yağlardır. Atık hayvansal yağların biyodizele dönüştürülerek dizel motorlarda yakıt olarak kullanılması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır[9-12]. Deri, kuyruk, kemik vb. gibi balık atıklarından üretilen balık yağı ve atık kızartma yağı transesterifikasyon yöntemiyle biyodizele dönüştürülerek 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 incelenmiştir. Çalışmada atık kızartma yağı biyodizeli ile balık yağı biyodizelin emisyon özelliklerinin (CO, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, duman koyuluğu, egzoz gazı sıcaklığı, özgül yakıt tüketimi vb.) standart dizel yakıt ile karşılaştırılması yapılmıştır[13]. Yağların doğrudan dizel motorunda yakıt olarak kullanılması çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Yağların yüksek viskozite ve yoğunluğa sahip olması pompalama ve atomizasyon problemlerine neden olmaktadır. Atomizasyonun kötüleşmesi durumunda yanma kötüleşmekte dolayısıyla motor performansı ve egzoz emisyonları da kötüleşmektedir[14]. Bu nedenle yağların dizel motorda yakıt olarak kullanılabilmesi için yağların yakıt özellikleri iyileştirilmelidir. Bu amaçla yağlardan bazı işlemlerle daha düşük viskozite ve yoğunluğa sahip biyodizel yakıtlar elde edilir. Bu çalışmanın amacı; Karadeniz Bölgesi kaynaklı balık ve fındık yağlarını değerlendirerek yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilen yağ asidi metil esterleri(BYME, FYME) elde etmek, elde edilen metil esterleri bir dizel motorda yakıt olarak test etmek ve test yakıtların motor performansı ve egzoz emisyon değerleri üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, biyodizel elde etmek amacıyla Karadeniz Bölgesi kaynaklı iki çeşit yağ kullanılmıştır. Bunlardan biri atık hamsi balık yağı olup bu yağ 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 yıllarında 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[14]. Biyodizel üretimi için kullanılan yağlardan bir diğeri ise fındık yağıdır. Fındık ülkemizin önemli tarım ürünlerinden biridir ve dünya fındık üretiminin %70'inden fazlası Türkiye'de gerçekleşmektedir. Bir fındık tanesi ortalama %62,7 oranında yağ içermektedir. %83 oranında yüksek bir oleik asit içeriğine sahip olan fındık yağı, biyodizel üretimi için en uygun yağların başında gelmektedir[3].

Bitkisel ve hayvansal yağların içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilmesi için yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi ya da motor yapısında değişiklikler yapmakla mümkündür. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi yağların viskozitelerinin düşürülmesi ile sağlanmaktadır. Yağların yakıt özelliklerini iyileştirmek için ham madde olarak Karadeniz Bölgesi kökenli balık yağı ve fındık yağı kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle balık yağı metil ester(BYME) ve fındık yağı metil ester(FYME) üretildi. Üretilen metil esterlerin bazı yakıt özellikleri Dicle Üniversitesi Kimya Bölümü Laboratuvarlarında ve Batman TÜPRAŞ Rafinerisinde belirlendi. Belirlenen yakıt özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Daha sonra metil esterler hacimsel olarak %50 oranından standart dizel yakıt(D2) ile karıştırılarak BYME50 ve FYME50 olarak isimlendirilen karışım yakıtlar oluşturuldu. BYME50 ve FYME50 yakıtların motor performans ve emisyonları üzerindeki etkileri incelemek için deneyler Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Motor Test Laboratuvarında yapıldı. Deneylerde maksimum gücü 15HP olan tek silindirli, dört zamanlı hava soğutmalı Rainbow marka bir dizel motoru kullanıldı. Deney motorunun teknik özellikleri tablo 2'de ve deney düzeneğinin şematik resmi şekil 1'de verilmiştir. Deneylerde motorun yüklenmesi için max. gücü 50kW olan BT-140 model hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Tablo 3'te hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri verilmiştir. Motora uygulanan yük, kontrol cihazı üzerinden kademeli olarak (%10'luk dilimler halinde) değiştirilebilmektedir. Motorun tükettiği yakıt miktarı, hacimsel olarak bürüt ve kronometre yardımıyla ölçülmüş ve ölçülen değer her bir yakıtın yoğunluğuyla çarpılarak yakıt tüketimi kg/h olarak hesaplanmıştır. Emisyonları ölçmek için GREENLINE 8000 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Biyodizel ve dizel test yakıtların bazı özellikleri

Özellik/Yakıt	BYME	FYME	Dizel Yakıtı
Yoğunluk(kg/m <sup>3</sup> ),15 °C'de	895	880	844
Kinematik Viskozite(mm <sup>2</sup> /s),40° C'de	4,451	4,534	3,66
Isıl Değer(kj/kg)	40546	39807	43356
Setan Sayısı	52,4	49	52

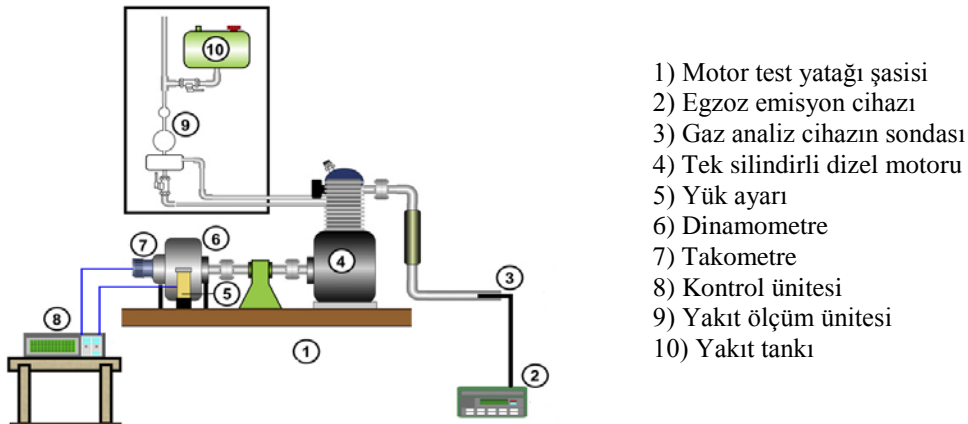
**Tablo 2.** Deney motorunun teknik özellikleri

Markası	Rainbow-186 Dizel
Püskürtme sistemi	Direkt püskürtmeli
Silindir sayısı	1
Strok hacmi	406 cc
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum moment	25.21 Nm (1800 d/d'da)
Maksimum güç	10 HP
Maksimum motor devri	3600 d/d ±20
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Püskürtme basıncı	19.6±0.49 Mpa (200 ±5 Kgf/cm <sup>2</sup> )
Ortalama piston hızı	7.0 m/sn (3000 d/d'da)

Deneylere başlamadan önce motor dizel yakıtı ile çalıştırılıp, motorun rejim sıcaklığına ulaştıktan sonra 1000 d/dk'dan 2500 d/dk'ya kadar 500 d/dk aralıklarla önce dizel yakıtı için ölçümler alınmıştır. Daha sonra karışım yakıtları için de aynı şartlarda ölçümler alınmıştır. Tam gaz değişik devirde yapılan testlerde her deney şartı için üç ölçüm alınıp ölçümlerin ortalaması dikkate alınmıştır.

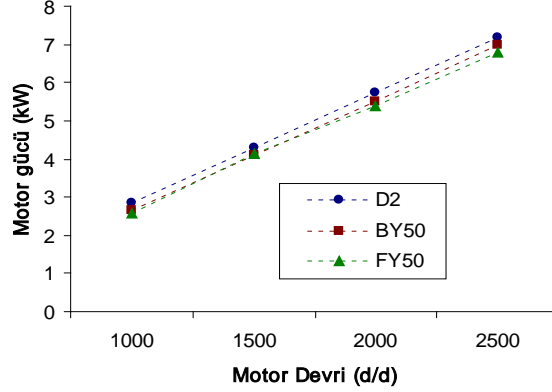
**Tablo 3.** Hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri

Model	BT-140
Max. frenleme gücü	50 kW
Max. Devir ve Max. moment (tork)	7500 dev/dak - 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
Fren suyu basıncı	1-2 kg/cm <sup>2</sup>
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz.
Dönüş yönü	Sağa dönüş

**Şekil 1.** Deney düzeneğinin şematik görünümü

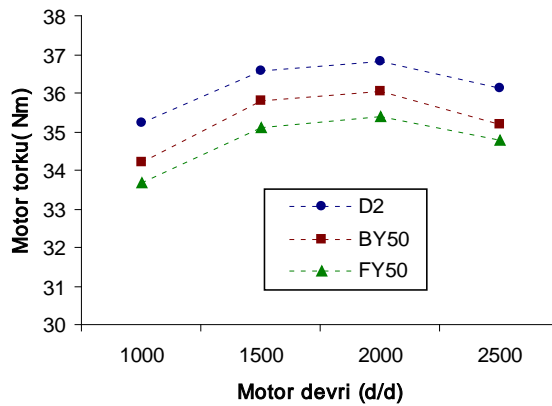
### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 2’de yakıtların tam gaz değişik devirdeki güç değişimleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde bütün motor devirlerinde yüksek ısıl değere sahip olmasından dolayı dizel yakıtı, karışım yakıtlarına göre daha fazla güç üretmiştir. Dizel yakıtı ile kıyaslandığında BYME50 ve FYME50 karışım yakıtlarının kullanılmasıyla motor gücünde sırası ile % 4.2 ve %5.7 azalma olmuştur. Güçteki azalmanın nedeni, metil esterlerin dizel yakıtından daha yüksek yoğunluk ve viskoziteye sahip olmasından dolayı yakıt akış problemi olması, enjektörden yakıtın standart dizelde olduğu şekilde atomize edilerek püskürtülememesi ve ısıl değerinin dizel yakıtından daha düşük olması ile açıklanabilir[1,3].



Şekil 2. Dizel yakıtı ve karışım yakıtların devir sayısına bağlı olarak motor gücü değişimleri

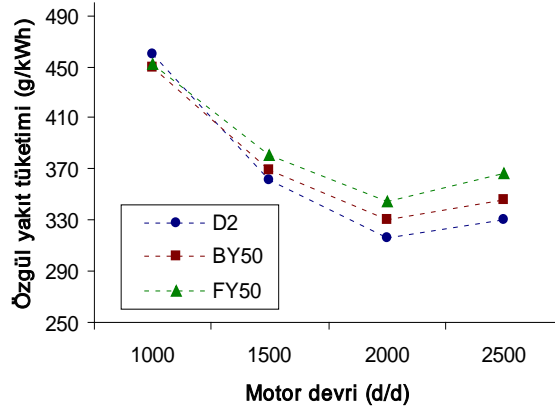
Şekil 3’de dizel yakıtı ve karışım yakıtlarının motor momenti değişimleri görülmektedir. Tüm yakıtların kullanılmasıyla elde edilen motor momenti önce devir sayısının artması ile artış göstermiş daha sonra yüksek devirlerde hacimsel verimin azalması ve mekanik kayıpların artmasıyla motor momenti azalmıştır. Ayrıca yanma olayını dolayısıyla motor performansını etkileyen viskozite, yoğunluk ve ısıl değer gibi özellikler moment değişimini doğrudan etkilemektedir. BYME50 ve FYME50 yakıtlarının motor momenti dizel yakıtı momentine göre sırası ile %2.43 ve %3.99 daha düşük çıkmıştır. Momentteki bu azalmanın bir nedeni, metil ester yakıtların dizel yakıtından daha yüksek viskozite ve yoğunluğa sahip olmasından dolayı özellikle yüksek devirlerde sürtünmelerden dolayı yakıtın pompa elemanı doldurma gecikmesi dizel yakıtına göre fazladır. Diğer bir neden ise, biyodizellerin dizel yakıtından daha düşük ısıl değere sahip olmasından dolayı aynı miktar yakıt püskürtülmesi durumunda dizel yakıtından daha az enerji vermesi ile açıklanabilir[1,3].



Şekil 3. Dizel yakıtı ve karışım yakıtların devir sayısına bağlı olarak motor momenti değişimleri

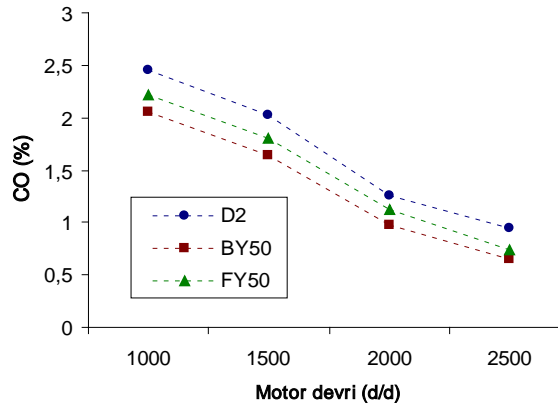
Şekil 4’de yakıtların tam gaz değişik devir sayılarında özgül yakıt tüketimi değişimleri verilmiştir. Karışım yakıtlarının özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni biyodizel yakıtların yoğunluklarının yüksek, ısıl değerlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Düşük ısıl değere sahip olan karışım yakıtlarının dizel yakıtı ile eşit güç üretebilmeleri, daha fazla

yakıt tüketimi ile mümkündür[15]. BYME50 ve FYME50 karışım yakıtların özgül yakıt tüketimi dizel yakıtın özgül yakıt tüketimine göre sırası ile %1.84 ve %5.17 oranında daha fazla çıkmıştır.



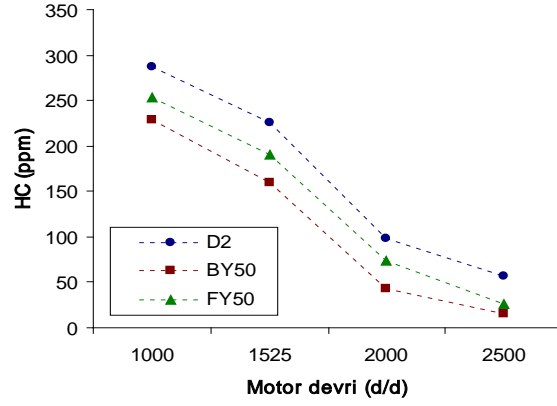
Şekil 4. Dizel yakıtı ve karışım yakıtların devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimleri

Şekil 5’de dizel yakıtı ve karışım yakıtlarının tam gaz değişik devirdeki CO emisyonu değişimi görülmektedir. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni hava-yakıt oranının düşük olmasıdır[1]. Eksik yanma ürünü olan CO emisyonu düşük devirlerde tüm yakıtlar için yüksek seviyelerde iken motor devrinin artmasıyla azalmıştır. Tüm test durumlarında karışım yakıtlarının CO emisyonu dizel yakıtın CO emisyonundan daha azdır. BYME50 ve FYME50 karışım yakıtlarının CO emisyonu dizel yakıtının CO emisyonuna göre sırası ile %20.12 ve %11.59 oranında daha düşük çıkmıştır. Çünkü biyodizelin kimyasal yapısındaki oksijen zararlı emisyonları azaltmaktadır[16]. Biyodizel yakıtlarının yapısındaki oksijenden dolayı yanma iyileşmekte ve CO emisyonu dizel yakıtına göre düşük olmaktadır.



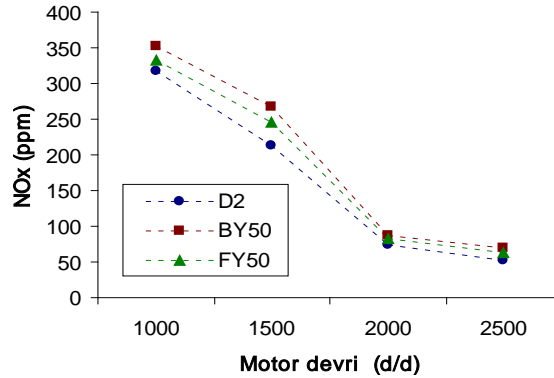
Şekil 5. Dizel yakıtı ve karışım yakıtların devir sayısına bağlı olarak CO emisyonu değişimleri

Şekil 6’da yakıtların HC emisyonlarının değişimleri verilmiştir. Düşük devirlerde HC’nin yüksek olmasının sebebi, bu durumda karışımın zengin ve türbülansın düşük olması nedeniyle karışımın kötüleşmesi olabilir. Şekilden de görüleceği gibi motor devrinin artması ile yüksek olan HC emisyonları önemli derecede azalmıştır. Biyodizelin kütlece %10-11’i oksijen olduğundan karışım yakıtlarının kullanılması ile HC emisyonları azalmıştır. BYME50 ve FYME50 yakıtların HC emisyonu dizel yakıtın HC emisyonuna göre sırası ile %33.08 ve % 18.59 oranında düşük çıkmıştır. Biyodizel ve karışımlarının kullanımı ile yanmamış HC emisyonundaki azalmanın temel nedeni olarak, biyodizelin içeriğinde bulunan oksijenin zengin yakıt-hava karışım bölgelerinde yeterli oksitlenmeyi sağlaması gösterilebilir[1].

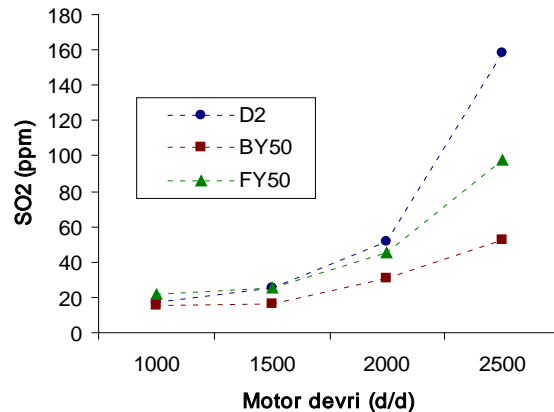


Şekil 6. Dizel yakıtı ve karışım yakıtların devir sayısına bağlı olarak HC emisyonu değişimleri

Şekil 7’de yakıtların  $NO_x$  emisyonları görülmektedir.  $NO_x$  emisyonları yüksek yanma sıcaklıklarında havadaki azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucu oluşur. Dizel motorlarında  $NO_x$  oluşumu püskürtülen yakıt miktarına, silindire alınan hava miktarına ve sıcaklığa bağlıdır. Karışım yakıtlarının  $NO_x$  emisyonları dizel yakıtına göre daha yüksek çıkması karışım yakıt ile motorun daha yüksek sıcaklıklarda çalışması ve biyodizelin yapısındaki oksijenden kaynaklanmaktadır[5,17]. Nitekim birçok araştırmacı tarafından biyodizelin dizel motorlarda kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalarda[1,3,6,19] biyodizel yakıtların  $NO_x$  emisyonları dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada test edilen BYME50 ve FYME50 karışım yakıtlarının  $NO_x$  emisyonları dizel yakıtının  $NO_x$  emisyonuna göre sırası ile %18.26 ve %9.89 oranında daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni ise biodizel içerisindeki oksijenin varlığı ve metil ester yakıtların daha yüksek özgül yakıt tüketimine sahip olmasından kaynaklanabilir. Biyodizelin daha iyi yanma sağlaması  $NO_x$  emisyonlarının artışına sebep olabilecek diğer bir etkidir. Ayrıca karışım yakıtlarının egzoz gaz sıcaklığının yüksek olması karışım yakıtlarının daha çok  $NO_x$  oluşturmasını destekler niteliktedir[1,18,19].



Şekil 7. Dizel yakıtı ve karışım yakıtların devir sayısına bağlı olarak  $NO_x$  emisyonu değişimleri



Şekil 8. Dizel yakıtı ve karışım yakıtların devir sayısına bağlı olarak  $SO_2$  emisyonu değişimleri

Şekil 8’de yakıtların SO<sub>2</sub> emisyonlarının devir sayısı ile değişimleri verilmiştir. SO<sub>2</sub> yakıttaki kükürtün oksitlenmesi sonucu oluşmaktadır. SO<sub>2</sub> emisyonu miktarı yakıttaki kükürt miktarına bağlıdır. Dizel yakıtta, yakıtın yağlayıcılık özelliğini arttırmak için rafineri işlemi sırasında çok az miktarda kükürt katılmaktadır. Biyodizel yakıtlarının yapısında ise kükürt bulunmaz. Bu nedenle BYME50 ve FYME50 karışım yakıtlarının SO<sub>2</sub> emisyonu dizel yakıtına göre ortalama olarak %39,52 oranında düşük çıkmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Balık yağı ve fındık yağından elde edilen biyodizel yakıtları dizel yakıtı ile hacimsel olarak %50 oranında karıştırılarak BYME50 ve FYME50 olarak isimlendirilen karışım yakıtlar oluşturuldu. Karışım yakıtların dizel motorda yakıt olarak kullanılması sonucu elde edilen değerler dizel yakıt değerleri ile karşılaştırıldığında, motor gücü, motor momenti, CO, HC ve SO<sub>2</sub> emisyonlarında ortalama olarak sırasıyla %4.87, %3.2, %15.84, %25.82, %39.52 azalma gözlenirken, özgül yakıt tüketimi ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise sırasıyla %3.51 ve %14.78 artma gerçekleşti. Karışım yakıtların fazla olan NO<sub>x</sub> emisyonları, NO<sub>x</sub> kontrol sistemleri, seçici katalitik redüksiyon (SCR), fakir azot oksit tuzağı (LNT) ve EGR sistemleri kullanılarak azaltılabilir. Fındık yağı ve balık yağı metil esterlerinin yenilenebilir olması, dizel yakıtta benzer özellikler göstermesi ve egzoz emisyonlarını azaltıcı yönündeki özelliklerinden dolayı dizel motorda hiçbir değişiklik yapmadan dizel yakıtta alternatif olarak kullanılması uygun olacaktır.

#### KAYNAKLAR

1. Özesen A. N., Çanakçı M. 2009. Biyodizel ve Karışımlarının Kullanıldığı bir Dizel Motorda Performans ve Emisyon Analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2):173-180.
2. İcingür Y., Koçak M. S. 2006. Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Yakıtı Alternatifi Olarak Performans ve Emisyon Parametrelerinin İncelenmesi, Politeknik Dergisi 9(2):119-124.
3. Ceviz M. A, Koncuk F., Yüksel F. 2009. Beş Farklı Bitkisel Yağdan Üretilen Biyodizeller İle Dizel Yakıtının Motor Performansı ve Emisyon Karakteristiklerinin Karşılaştırmalı Analizi, Mühendis ve Makine, 50(588):20-28.
4. Keven A., Öner C., Altun Ş. 2008. Fındık Yağı Biyodizelinin Alternatif Yakıt Olarak Bir Dizel Motorunda Kullanılması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları (DAUM), s. 102-106.
5. Elçin A. K., Erdoğan D. 2007. Fındık Yağı Metil ve Etil Esteri ile Diesel Yakıtı Karışımlarının Küçük Güçlü Bir Diesel Motorda Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 13 (2): 137-146.
6. Keskin A., Aydın K. 2005. Fındık Yağı Biyodizeli Üretimi ve Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 20 (1): 75-83.
7. Altıparmak D., Keskin A., Yıldırım H. M., Gürü M. 2004. Dizel Motorlarda Fındık Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak İncelenmesi, 8. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, s. 641-646, Ankara.
8. Karaosmanoğlu F., Kurt G., Ozakbas T. 2000. Long Term CI engine test of sunflower oil. Renewable energy, 19: 219-221.
9. Taymaz I., Coban M. 2013. Performance and Emissions of an Engine Fuelled with a Biodiesel Fuel Produced from Animal Fats, Thermal Science, 17(1):233-240.
10. Godiganor, S., Murthy, C. S., Reddy R. P. 2010. Performance and Emission Characteristics of a Kirloskar HA394 Diesel Engine Operated on Fish Oil Methyl Esters, Renewable Energy, 35(2), 355–359.



11. Bhaskar K., Nagarajan G, Sampath S. 2013. Optimization of FOME (fish oil methyl esters) blend and EGR (exhaust gas recirculation) for simultaneous control of NO<sub>x</sub> and particulate matter emissions in diesel engines, *Energy* 62(1):224-234
12. Gürü M., Koca A., Can Ö., Çınar C. 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.
13. 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.
14. Behçet R. 2011. A Comparative Study on Anchovy Fish oil Anchovy Methyl Ester and Diesel Fuel in a Diesel Engine, *Energy Education Science and Technology Part A*, 27(2): 313-322.
15. Ulusoy Y. 1999. Ayçiçeği, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 119s, Bursa.
16. Murilo S., Miguez J. L. Granada E., Moran J. G. 2007. Performance and Exhaust Emissions in The Use of Biodiesel in Outboard Diesel Engine, *Fuel*, 86: 1765-1771.
17. Altun Ş. 2009. Hayvansal Yağlardan Biyoyakıt Üretimi ve Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
18. Özsezen A. N., Çanakçı M. 2009. Atık Palmiye ve Kanola Yağı metil esterlerinin kullanıldığı direkt püskürtmeli bir dizel motorda performans ve yanma, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2):275-284.
19. Behçet R. 2011. Performance and Emission Study of Waste Anchovy Fish Biodiesel in a Diesel Engine, *Fuel Processing Technology*, 92(6):1187-1194.