



Atık Yağlama Yağından Elde Edilen Yakıt-Motorin Karışımlarının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının Araştırılması

Mahmut DEMİR

Yesrib Doğalgaz, Diyarbakır

muh.mahmutdemir@gmail.com ORCID: 0000-0003-4014-8627, Tel: (412) 257 32 13

Orhan ARPA *

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

orhana@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0001-8129-1548, Tel: (412) 241 10 00 (3597)

Recep YUMRUTAŞ

Gaziantep Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

yumrutas@gantep.edu.tr ORCID: 0000-0001-9006-198X, Tel: (342) 317 25 20

Geliş: 06.02.2019 , Kabul Tarih: 20.02.2019

Öz

Endüstrideki hızlı gelişime bağlı olarak atıkların da hızlı bir şekilde arttığı ve çevreyi kirlettiği bilinmektedir. Bu atıkların çevre üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak için geri dönüştürme yapılmalıdır. Bunu yaparken de çevreyi kirletmemek gerekir. Bu amaç ile bir çalışma yapılmıştır. Atık yağlama yağlarından (DBY) pirolitik distilasyon yöntemiyle elde edilmiş olan yakıt hacimce %20, %40 ve %60 oranlarında standart motorine katılarak dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Motorun torku, Özgül yakıt tüketimi ve güç gibi performans parametreleri ile azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), oksijen (O_2), hidrokarbonlar (HC) ve hidrojen sülfür (H_2S) gibi emisyon parametreleri deneysel olarak incelenmiştir. Motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonu tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. %40 dizel benzeri yakıt - %60 dizel yakıt karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte motorin ile karşılaştırıldığında CO_2 emisyonlarının yakıt numuneleri için daha düşük olduğu tespit edilmiştir. 2500 motor devrindeki %20 dizel benzeri yakıt - %80 dizel yakıt karışımı yakıtının emisyonu hariç tüm NO ve NO_x emisyonlarının dizel yakıtına göre daha az olduğu görülmektedir. %40 dizel benzeri yakıt - %60 dizel yakıt karışımı her devirde motorinden yüksek HC emisyonu üretirken %20 dizel benzeri yakıt - %80 dizel yakıt karışımı tüm devirlerdeki ortalamalar alındığında motorinden daha düşük HC emisyonun üretmektedir.

Anahtar Kelimeler: Egzoz Emisyonları, Motor Performansı, NO_x , CO, HC.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.523585

Giriş

Enerji, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan, maddenin içinde yatan potansiyel veya kinetiksel gücün ışık ve ısı gibi farklı biçimler halinde ortaya çıkmasıdır. Enerji kaynaklarının üç temel grubu bulunmaktadır. İlki yenilenebilir enerji kaynakları, ikincisi ise nükleer enerji kaynaklarıdır. Bunlardan sonuncusu ve en popüler olanı fosil yakıtlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynağı güneştir. Yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr, su, güneş enerjisi gibi kendisini yenileyebilen ve tükenmeyen olarak adlandırılan kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları sera gazı salınımı yapmayan veya yaptığı sera gazı salınımı diğer enerji kaynaklarına göre çok az olan enerji kaynaklarıdır. Sera gazı salınımı açısından avantajlı olan bu enerji kaynaklarının dezavantajı her yerde ve her zaman üretilmiyor olmasıdır. Nükleer enerji kaynaklarından en fazla kullanılanı toryum ve uranyumdur. Nükleer enerji tesisi kurulum maliyetinin çok yüksek olması ve istenmeyen bir durum oluşmasıyla çevresel felakete dönüşmesi yüzünden yaygın kullanılabilen bir enerji kaynağı değildir. Fosil enerji kaynakları ise; basınç, nem, sıcaklık ve zaman (milyonlarca yıl) etkisiyle canlı kalıntılarının karbon kökenli yakıtlara dönüşmesiyle oluşan enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlı kaynakların büyük bir kısmı petrol ve türevi kaynaklar olup, artan dünya nüfusu ve sanayi ihtiyaçları göz önünde bulundurulunca bu kaynakların sınırsız olmadığı ve zamanla tükeneceği aşikârdır. Ayrıca fosil yakıtların çevreye olan zararlı etkileri bilim insanlarını ve çevre bilimcileri farklı enerji kaynağı arayışına itmiştir. Çünkü bu yakıtların atıkları küresel iklim değişikliğini tetiklemekte ve solunan havanın kalitesini bozmaktadır. Araştırmacılar bu nedenlerden ötürü doğamızı kirletmeyen, ekonomik ve kullanımı kolay alternatif yakıt geliştirilmesi için veya doğaya atık olarak bırakılacak maddelerden enerji üretebilmek için çalışmalar yapmaktadır. Petrol kökenli yakıtların ve çevrenin hızla tükenmesi sorununa çözüm için alternatif yakıtlar konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Alternatif çözüm yöntemlerinden biri de atık maddelerin işe yarar enerjiye dönüştürülmesidir.

Behera ve ark. (2013) tarafından kullanılmış trafo yağı (KTY) ve dizel yakıt karışımlarından altı farklı karışım yapılmıştır. KTY konsantrasyonu hacim bazında %10'undan düzenli aralıklarla % 60'a kadar farklı karışımlar yapılarak sonuçlar analiz edilip dizel kullanımı ile karşılaştırılmış. KTY- dizel karışımlarının, dizel ile karşılaştırıldığında, dumanın azaltılmasında belirgin bir iyileşme ile ısı veriminde artış gözlenmiştir. KTY- dizel karışımları için NO, HC ve CO emisyonları, tam yükte dizelinkinden daha yüksek çıkmıştır. Tam yükte KTY40'ın duman değerinin dizelden yaklaşık % 5.9 daha düşük çıktığı tespit edilmiştir.

Arpa ve ark. (2013), pirolitik damıtma yöntemiyle dizel benzeri yakıt üretmişlerdir. Ürettikleri bu dizel benzeri yakıtın içindeki kükürt miktarını azaltmak için 50 °C 'de oksidatif kükürt giderme (OKG) yöntemi uygulanmışlardır. Bu çalışma dizel yakıtı göre düşük kükürlü dizel benzeri yakıt için tork, ortalama efektif basınç ve fren termal verimliliğinin biraz daha yüksek olduğu buna karşılık özgül yakıt tüketiminin, egzoz sıcaklığının ve SO₂, CO ve NO_x emisyonlarının daha düşük olduğunu göstermiştir.

Yadav ve Saravanan (2015), atık trafo yağının geri dönüşümü ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma sonucunda atık trafo yağının dizel motorda yakıt olarak kullanılabilir olduğunu ifade edilmiştir.

Wang ve Ni (2017), atık yağlama yağından elde edilen dizel benzeri yakıt ile çalışmıştır. Özgül yakıt tüketimi (be) incelenip DBY' nin dizel ile karşılaştırıldığında hafif ve orta yükler altında 3000 dev/dak. da yaklaşık %3 oranında azaltılmıştır. DBY orta ve ağır yüklerde biraz daha yüksek NO_x emisyonu ve biraz daha fazla duman emisyonuna neden olduğu, özellikle orta yüklerde dizel yakıttan daha yüksek HC ve CO emisyonları gözlemlenmiştir.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada Arpa ve arkadaşları tarafından atık motor yağından (DBY) pirolitik damıtma yöntemiyle elde edilen yakıt, hacimce %20, %40 ve %60 oranında motorin ile karıştırılarak motorda test edilmiştir. Atık yağdan elde edilen yakıtın özellikleri Tablo1.'de verilmiştir.

Tablo 1.Dizel yakıt ve çalışmada elde edilen dizel benzeri yakıtın özellikleri (Arpa ve ark. 2010).

Özellikler	Dizel yakıt	
	TS3082-EN 590	DBY
Yoğunluk 15°C'de (kg/m ³)	820 - 845	818
Vizkozite 40°C'de (mm ² /s)	2 - 4.5	3.49
Parlama Noktası (°C)	> 55	57
Sülfür (ppm)	50	3500
Su (mg/kg)	< 200	130
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	42.700	42.500
Maksimum Hacim, 250°C'de (% v/v)	65	20

Üretilen DBY-dizel yakıt karışımı numunelerinin Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan tek silindirli, dört zamanlı, doğal emişli ve doğrudan enjeksiyonlu dizel motorda (Antor 4 LD 820 dizel motor) yakıt olarak kullanılıp test edilmiştir. Motor yükünü ayarlamak için elektronik kontrollü hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Deney sırasında motordan ölçülen tork, güç ve devir sayısını gösteren elektronik kontrol ünitesi şekil 1 de gösterilmiştir. Elektronik kontrol ünitesi hızı, yakıt ölçümünü ve fren gücünü sırasıyla ± 5 devir/dakika, ± 0.5045 , ± 0.5055 hassasiyetle okumaktadır. Ancak yakıt, depodan kontrollü bir akış yolu hazırlanan bir düzeneğin içinde yer alan 50 ve 100 mililitrelik haznelere sahip şiber vanalı bir cam kontrol ünitesinden geçirilerek ölçüm yapılmıştır. Test süreleri kronometre tutularak üç deneyin ortalamasının alınması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Böylece ölçümdeki hata oranı düşürülmek istenmiştir.



Şekil 1. Dizel test motoru ve dinamometresi kontrol paneli.

Motor performans ve emisyon testlerini gerçekleştirmek için motor başlangıçta 3000 dev/dak'da yüksüz olarak sürekli rejim şartlarına gelinceye kadar çalıştırılıp daha sonra hidrolik dinamometre ile motor devri sırasıyla 2500, 2000, 1500 ve 1000 dev/dak' ya düşürülerek ölçümler alınmıştır. Şekil 2.' de dizel test motoru ve dinamometresinin görüntüsü yer almaktadır. Şekil 3. ise test motoru, hidrolik dinamometre ve egzoz analiz cihazını şematik olarak göstermektedir.



Şekil 2. Dizel test motoru ve dinamometresi.

Test motorundan çıkan emisyonları (O₂, CO, HC, NO_x, NO ve egzoz gazı sıcaklığını) ölçmek için portatif emisyon cihazı Testo 350 gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Egzoz gazı ölçüm cihazı %0.8 hassasiyetle oksijen, %10 hassasiyetle karbon monoksit, kükürt dioksit ve azot oksit emisyonlarını ve ayrıca %5 hassasiyetle hidrokarbon ve azot dioksit emisyonlarını ölçmektedir. Motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra cihazın ölçme probu motorun egzoz borusuna yerleştirilmiştir. Motorun ayrıntılı teknik özellikleri Tablo 2' de, egzoz

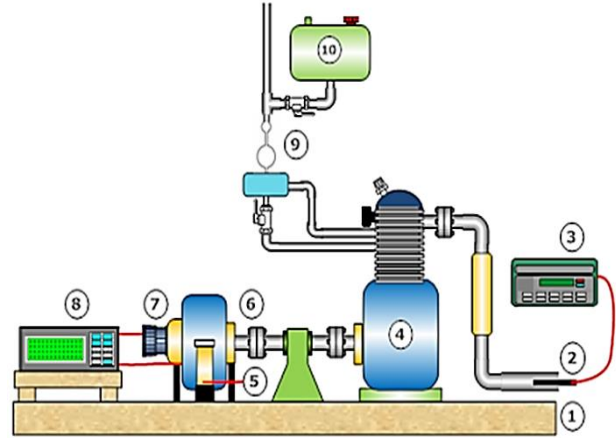
gazı ölçüm cihazının teknik özellikleri ve ölçüm hassasiyeti ise Tablo 3' te verilmiştir

Tablo 2. Test motorunun detaylı teknik özellikleri.

Motor Markası	Antor
Motor Modeli	4 LD 820
Motor Türü	Tek silindirli, Dört zamanlı
Yakıt Türü	Dizel
Silindir Çapı	102 mm
Strok	100 mm
Hacim	817 cm ³
Sıkıştırma Oranı	17:1
Soğutma Tipi	Hava soğutmalı
Maksimum Devir	3000 dev/dak
Maksimum Güç	12.7 kW 3000 dev/dak
Maksimum Tork	50 Nm 1600 dev/dak
Püskürtme Basıncı	20 MPa
Özgül Yakıt Tüketimi	255 g/kWh 2800 dev/dak

Tablo 3. Egzoz gazı ölçüm cihazının detaylı teknik özellikleri (testo 350)

Ölçülen Parametre	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
O ₂	0.. +25 % hacim	±0,8%
CO	0-10000 ppm	±10 %
SO ₂	0..+5000 ppm	±10 %
HC	100-40000 ppm	± 5 %
NO	0-4000 ppm	±10 %
NO _x	0-500 ppm	± 5 %
Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)	-200 ... +1370°C	±1°C



- 1) motor şasisi,
- 2) egzoz gazı analiz probu,
- 3) egzoz gazı analizörü,
- 4) tek silindirli dizel motor,
- 5) yük hücresi,
- 6) dinamometre,
- 7) hız ölçer,
- 8) kontrol paneli,
- 9) yakıt haznesi,
- 10) Yakıt deposu.

Şekil 3. Motor test teçhizatının ve egzoz analiz cihazının şematik olarak gösterilmesi.



Şekil 4. Egzoz gazı ölçüm cihazı.

Motor Performans Hesaplamaları

Bir yakıtın motorun performansı ve emisyonu üzerindeki etkilerini gözlemlemek için performans ve egzoz emisyon testleri yapılır. Bu test sonuçları yakıtın bir motorda verimli kullanılıp kullanılmadığı konusunda fikir vermektedir. Bu nedenle, bir motorun performans parametrelerini belirlemek gerekir. Tork, güç ve özgül yakıt tüketimi gibi çeşitli performans parametreleri incelenmektedir. Güç torkun bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. (Heywood 1988).

$$T = F \cdot d \quad (1)$$

Burada;

T: tork (Nm),

F: uygulanan kuvvet (N),

d:rotorun merkezinden metre (m) cinsinden mesafeyi göstermektedir.

Motor tarafından sağlanan ve dinamometre tarafından emilen güç, aşağıdaki denklemde verilen tork ve açısal motor hızının ürünüdür (Heywood 1988).

$$P_b = \frac{2\pi \cdot \omega \cdot T}{1000} \quad (2)$$

Bu formülde;

P_b: güç (kW) ,

ω: açısal hızı (dev/sn) cinsinden ifade etmektedir.

İçten yanmalı motorlar için önemli parametrelerden biri hacimsel yakıt tüketiminin bir ölçüsü olan özgül yakıt tüketimidir (Agarwal 2009).

$$be = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \cdot 10^3 \quad (3)$$

be: Özgül yakıt tüketimi (g/kW.h),

P_b: güç (kW),

\dot{m}_f : Yakıt Kütle Debisi (kg/h).

Bulgular ve Tartışma

Motor Performans Testleri

Standart dizel yakıt için ölçümler aldıktan sonra farklı hacim oranlarında üç numune yakıt hazırlanarak test edilmiştir. Bu yakıtlar ve hacimsel oranları tablo 4.' te verilmiştir.

Dizel ile kıyaslandığında tüm yakıt karışım örneklerinde motor devri arttıkça tork düşmektedir. Motor devir sayısı ile güç arasındaki ilişkiye bakıldığında ise, dizel yakıt dahil tüm yakıtlarda 2000 dev/dak için en yüksek gücün elde edildiği görülmektedir.

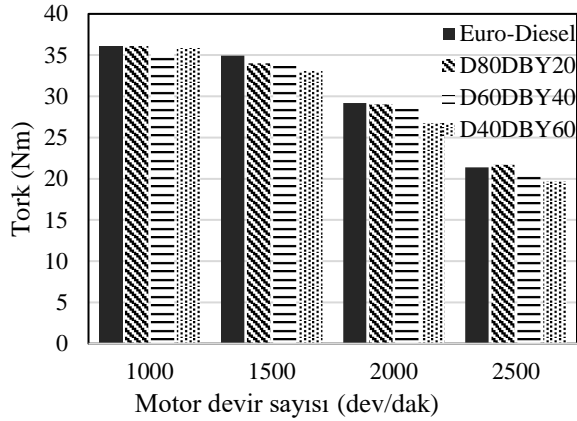
Tablo 4. Dizel ve dizel benzeri yakıtların hacimsel oranları.

KOD	Dizel yakıt Hacimsel yüzdesi	Dizel Benzeri Yakıt Hacimsel yüzdesi
D80DBY20	80	20
D60DBY40	60	40
D40DBY60	40	60

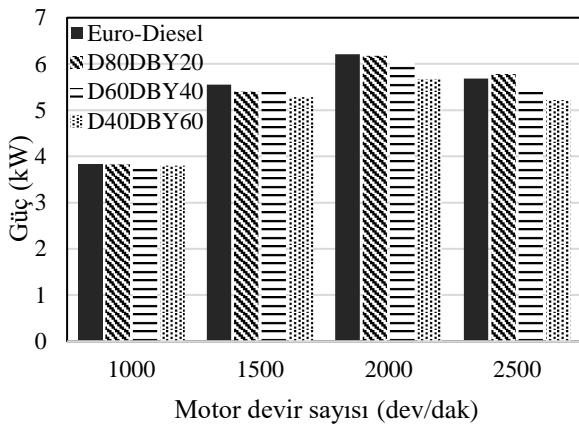
Özgül yakıt tüketimi ise genel olarak azalırken atık yağlama yağı oranı (DBY) hacimce %40 olan D60DBY40 karışımında özgül yakıt tüketiminde ufak miktarda artış gözlemlenmiştir. Tork, güç ve özgül yakıt tüketimi grafikleri şekil 5, şekil 6 ve şekil 7' de yer almaktadır. Değişimleri madde madde açıklamak gerekirse;

- Hacimce %20'si DBY olan D80DBY20 yakıt karışımının torkun da dizel yakıtı göre ortalama %0.61' lik bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışım için güçte %0.44'lük bir düşüş ve özgül yakıt tüketiminde %2.53' lük bir düşüş olmuştur.
- Hacimce %40'ı DBY olan D60DBY40 yakıt karışımının torkunda dizel yakıtı göre ortalama %2.30'luk bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışım için güçte %2.61'lik bir düşüş olurken özgül yakıt tüketiminde %2.92'lik bir artış olmuştur.
- Hacimce %60'ı DBY olan D40DBY60 yakıt karışımının torkunda dizel yakıtı göre ortalama %5.13'lik bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışım için güçte %6.09'luk bir düşüş ve özgül yakıt tüketiminde %0.11'lük bir düşüş olmuştur.

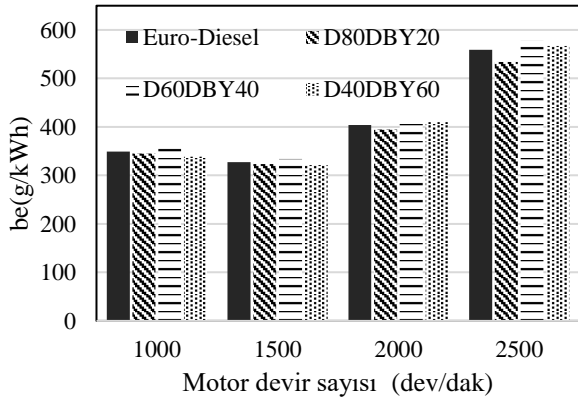
Arpa ve ark. (2010) tarafından saf DBY ile dizel yakıt karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada DBY' nin ortalama efektif basıncı, torku ve motor ısıl veriminin dizelinkinden daha büyük çıkmıştır. Özgül yakıt tüketimi dizel ile kıyaslandığında tüm devirlerde biraz daha düşük çıkmıştır. Böyle bir sonuç motorlarda istenen bir durum olması sebebiyle DBY' nin yakıt olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Tork, motor ısıl verimi ve ortalama efektif basıncın 2000 dev/ dak 'da en yüksek çıkmıştır.



Şekil 5. Torku'n motor devri ile değişimi.



Şekil 6. Motor gücünün motor devri ile değişimi.



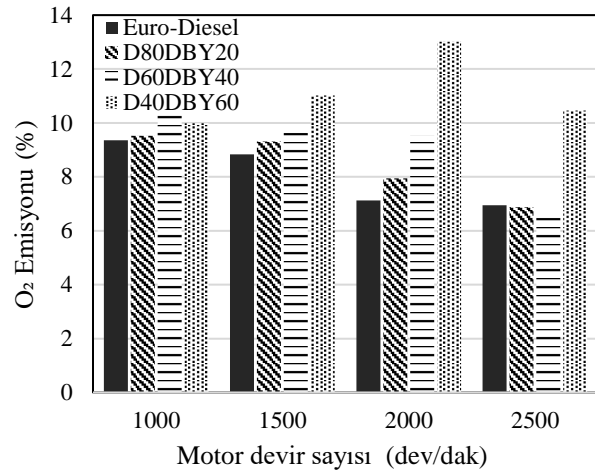
Şekil 7. Özgül yakıt tüketiminin motor devri ile değişimi.

Egzoz Emisyon Testleri

Oksijen(O₂) emisyonu ölçümü egzozdan dışarıya atılan toplam havanın hacimsel yüzdesi olarak Testo 350 egzoz gazı ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Egzoz gazıyla dışarı atılan O₂'nin hızlara göre miktarı Şekil 8.'deki grafikte görülmektedir. Standart dizel de olduğu gibi

D80DBY20 ve D60DBY40 yakıt karışımlarının egzozdan attığı oksijen miktarının motor hızı artışıyla ters olduğu tespit edilmiştir.

D40DBY60 yakıt karışımında egzozdan atılan oksijen miktarının motor hızı artışıyla beraber neredeyse orantılı olarak artmaktadır. Yani motor hızı artırıldıkça egzoz ile atılan oksijen miktarı da arttığı ölçülmüştür. Buna sebep olarak yanma veriminin iyi gerçekleşmediği gösterilebilir.

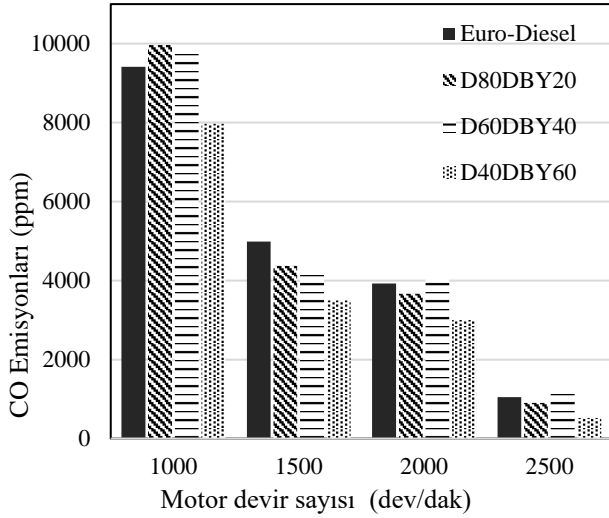


Şekil 8. Oksijen emisyonlarının motor devri ile değişimi.

Motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonunun tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. D80DBY20 karışımı 1000 dev/dak hariç tüm devirlerde dizele göre daha az CO emisyonu olduğu tespit edilmiştir. D60DBY40 karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahiptir.

Motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonunun tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. D80DBY20 karışımı 1000 dev/dak hariç tüm devirlerde daha az CO emisyonu olduğu tespit edilmiştir. D60DBY40 karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahiptir. Her iki devirde de yaklaşık 400 ppm gibi bir miktarda dizel yakıtına göre daha fazla karbon monoksit miktarına sahip egzoz gazı tespit edilmiştir. Ancak bu iki yakıt

örneğinde de emisyonlar kabul edilebilir düzeydedir. Yüksek sıcaklık, eksik hava ve eksik yanma düşük devirlerde CO miktarını artırmıştır. Çünkü yükleme ile devir düşmüştür. Devir yükseldikçe hava hareketleri artmış ve artan hava hareketleri yanmayı iyileştirmiştir.

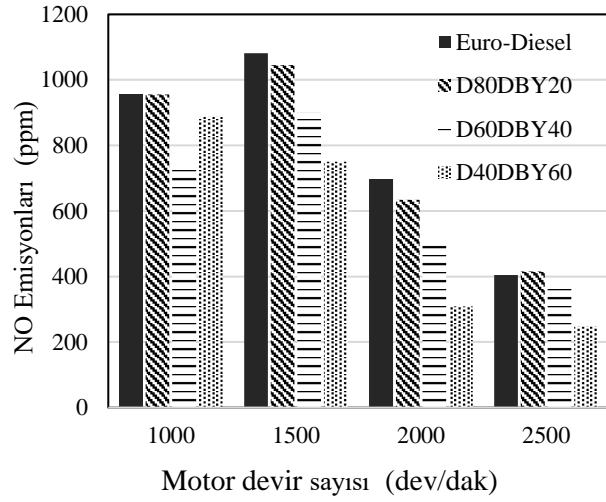


Şekil 9. Karbon monoksit emisyonlarının motor devri ile değişimi.

Test edilen dizel yakıt ve diğer yakıt numunelerinde genel olarak motor devrinin artırılmasıyla CO₂ emisyonunun arttığı verilerden anlaşılmaktadır. Şekil 9’da görüldüğü üzere 2500 dev/dak hariç diğer hızların hepsinde yakıt karışımlarının motorinden daha az CO₂ emisyonuna sahip olduğu görülmektedir. Devir yükseldikçe artan hava hareketleri nedeniyle yanma daha iyi olmaktadır. Ayrıca yüke bağlı olarak zengin bir karışım oluştuğundan düşük devirlerde yanma eksik kalmıştır. Bu durum miktarını CO artırırken ve CO₂ ‘nin azalmasına sebep olmuştur. Eksik hava nedeniyle zengin karışım oluşunca eksik yanmaya sebebiyet vermektedir. Ayrıca düşük hava hareketleri yanmayı düşük devirlerde kötüleştirir.

Azot oksit (NO) emisyonlarından elde edilen verilerle oluşturulan grafik Şekil 10.’da verilmiştir. 2500 motor devrindeki D80DBY20 yakıtının emisyonu hariç tüm NO

emisyonlarının dizel yakıtı göre daha az olduğu görülmektedir.

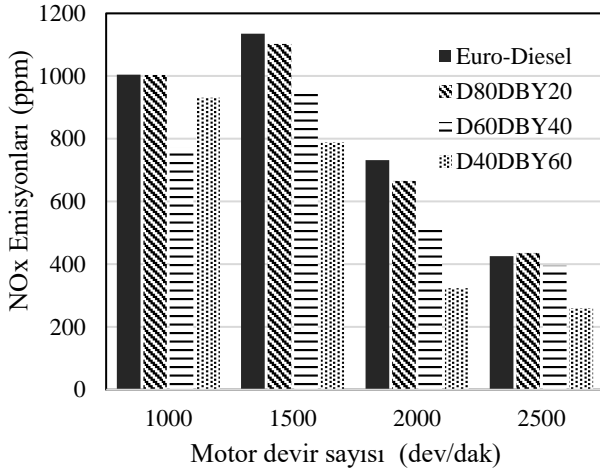


Şekil 10. NO emisyonlarının motor devri ile değişimi.

Düşük devirlerde fazla yük ve eksik havadan dolayı kötü yanma gerçekleştiği söylenebilir. Yüke bağlı sıcaklık artışı NO miktarını 1000 dev/dak için artırmıştır. 1500 dev/dak’ da ise yanma nispeten daha iyi olduğundan ve yüke bağlı sıcaklık artışı olduğundan NO miktarını maksimum seviyeye yükselmiştir. 2500 devirde artan hava hareketleri ve düşük yük sıcaklığı düşürmüş ve NO emisyonu azalmıştır. NO_x için de aynı yorumlar yapılabilir. NO_x emisyonlarından elde edilen verilerle çizilen grafik Şekil 11.’de yer almaktadır. Veriler incelendiğinde hemen hemen tüm devirlerde DBY yakıt karışımlarının motorine göre daha az NO_x emisyonuna sahip olduğu görülmektedir.

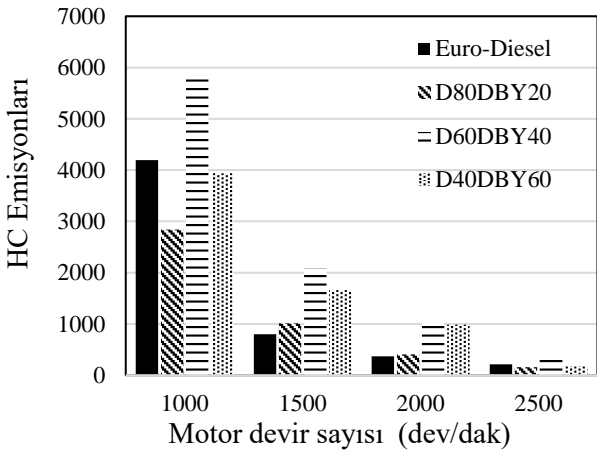
Arpa ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada DBY’ nin NO emisyonları dizelere göre yüksek çıkmıştır. Motor devrinin 2000 dev/dak olduğu anda bu değerler en yükseğe çıktığı ortaya konulmuştur.

İyi bir yanmanın gerçekleştiği silindirden dışarıya atılan karbon sayısında düşüş olması beklenirken kötü yanma sonucunda da egzozdaki karbon miktarının artması beklenir.



Şekil 11. NOx emisyonlarının motor devri ile değişimi.

Motorin ile kıyaslanan yakıt karışımlarının grafiği şekil 12’ de verilmiştir. Verilerden anlaşıldığı üzere D60DBY40 her devirde dizelden yüksek HC emisyonun üretirken D80DBY20 tüm devirlerdeki ortalamalar alındığında dizelden daha düşük HC emisyonun üretmektedir.

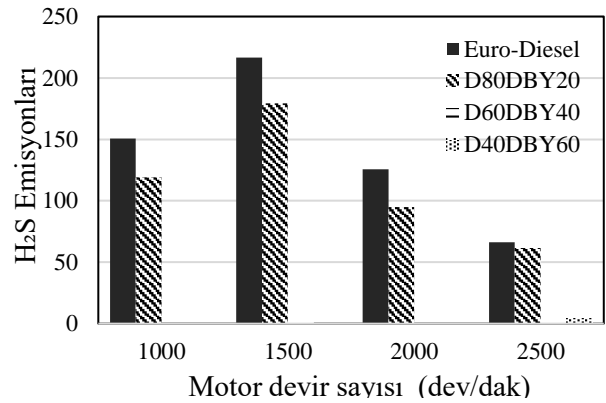


Şekil 12. HC emisyonlarının motor devriyle değişimi.

HC emisyonlarının düşük devirlerde yüksek olmasının sebebi zengin karışım ve eksik yanma olarak gösterilebilir. 1500 ve 2000 devirlerdeki motor hızında D60DBY40 ve D40DBY60 karışımlarının yüksek HC emisyonu üretmesinin nedeni sıcaklığın düşük olmasına bağlı sönmeye bölgesi kalınlığının artması gösterilebilir.

Emisyon testleri yapıp hidrojen sülfür ile ilgili

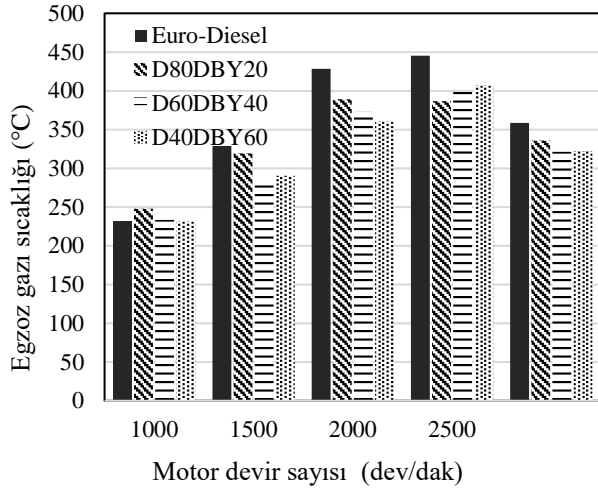
veriler şekil 13.’deki grafikte verilmiştir. Kükürt miktarı Euro VI standardı ile motorindeki kükürt miktarı 10 ppm’ e düşürülmüştür. Bu miktar çok az olsa da yanma sonucu bir miktar H₂S oluşabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Şekil 13’ te görüleceği üzere saf motorin ve hacimce dizel oranı yüksek olan D80DBY20 karışımında diğer karışımlara göre yüksek ancak dizel yakıtına göre düşük çıkmaktadır. D60DBY40 ve D40DBY60 karışımlarında yok denecek kadar az miktarda H₂S emisyonu bulunmaktadır.



Şekil 13. Hidrojen sülfür emisyonlarının motor devriyle değişimi.

İçten yanmalı dizel motorunun içinde yüksek sıcaklıkta bir yanmanın gerçekleşmesiyle bağlantılı olarak egzoz gazı sıcaklığı da artacaktır. Yanma sonucu elde edilen enerjinin egzozdan ısı olarak atılması istenmeyen bir durumdur. Çünkü egzoz sıcaklığı yüksek olduğunda motor ısıl veriminin düştüğü anlamına gelmektedir. Motorin ve test edilen yakıt karışımları için motor hızlarına göre elde edilen egzoz gazı sıcaklıkları değişimi Şekil 14.’de verilmiştir.

Egzoz gazı sıcaklığına bakıldığında tüm yakıtlar için hız ile doğru bir orantı olduğu görülmektedir. Dizel ile kıyaslandığında karışımların daha düşük egzoz gazı sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir. Egzoz gazı sıcaklığının düşük olması yakılan yakıttan daha fazla iş elde edildiğini göstermektedir. Egzoz gazı sıcaklık ölçümü ve diğer tüm ölçümler motorun çıkışından ölçülmüştür.



Şekil 14. Egzoz gazı sıcaklığının motor devri ile değişimi.

Sonuç

Dünya genelinde her yıl milyonlarca ton madeni yağ üretilmekte ve kullanıldıktan sonra büyük bir bölümü atık haline dönüşmektedir. Bunların çoğu petrol kaynaklı yağlardır ve yağlama yağlarının bu üretim içindeki payı yaklaşık %97'sini kapsamaktadır (Bhaskar ve ark. 2004). Çevreye boşaltılan bir litre atık motor yağı, 800.000 litre suyu kullanılamaz ve 5.000.000 ton temiz suyu içilemez hale getirmektedir (Batmaz 2007). Bunun yanında gün geçtikçe artan enerji talebi ve tüketimi görmezden gelinemez. Bu artışın özellikle Asya bölgesindeki gelişmekte olan ülkelerdeki büyük enerji tüketimi nedeniyle 2030'da %1,5'e kadar çıkacağı tahmin edilmektedir (Mohsin ve ark. 2014). Enerji elde edebilmek için farklı kaynaklar keşfetmezsek veya mevcut atıklarımızı yakıtlara dönüştürebilecek teknolojiler geliştirmesek artan enerji talebi karşılanamayacak boyutlara geleceği görülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmada;

- Atık yağlama yağından pirolitik distilasyon ile elde edilen dizel benzeri yakıt ile dizel %20, %40, %60 DBY karıştırılarak elde edilen numunelerin özgül yakıt tüketimleri, genel olarak azalırken DBY oranı hacimce %40 olan D80DBY20 karışımının özgül yakıt tüketiminde bir artış gözlemlenmiştir.

- D80DBY20 ve D60DBY40 yakıt karışımlarının egzozdan attığı oksijen miktarının motor hızı artışıyla ters olduğu tespit edilmiştir. Verimli bir yanmanın gerçekleştiği söylenebilmektedir. Ancak D40DBY60 yakıt karışımında bu durumun farklı olduğu ve motor hızı artırıldıkça egzoz ile atılan oksijen miktarının da arttığı görülmüştür. Buna sebep olarak yanma veriminin iyi gerçekleşmediği gösterilebilir. Başka çalışmalarda yanma tepkimesinin daha iyi gerçekleşmesi için yakıt karışımına başka maddelerin ilave edilmesi gerektiği düşünülmektedir.
- Motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonu tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. D60DBY40 karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahiptir. Ancak bu standartlara göre kabul edilebilir düzeydedir.
- Motor devrinin artırılmasıyla CO₂ emisyonlarının da dizel yakıt ve diğer yakıt örenleri için arttığı verilerden anlaşılmaktadır. Ancak dizel yakıt ile kıyaslandığında CO₂ emisyonu yakıt örnekleri için daha düşüktür.
- Test sonuçları yapılan çalışmanın amacına uygun sonuçlandığını göstermektedir. Çünkü 2500 motor devrindeki D80DBY20 yakıtının emisyonu hariç tüm NO ve NO_x emisyonlarının dizel yakıtta göre daha az olduğu görülmektedir.
- Yakıtın tamamı yanma tepkimesine girmediği için egzozdan tahliye olan O₂ ve HC miktarı dizel yakıtta göre yüksek çıktığı düşünülmektedir.
- Motorda yanmayı iyileştirecek yeni katkı maddeleri eklenerek HC emisyonlarının iyileştirilebileceği ön görülmektedir.
- Motorin ile kıyaslandığında yeni yakıt karışım örneklerinin daha düşük egzoz gazı sıcaklığına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Dünya genelinde atık hale gelen yağların miktarı göz önüne alındığında, bu yağların uygun yöntemlerle yakıtla dönüştürülmesiyle hem ekonomik bir katkı sağlanacağı, hem de çevre kirliliğinin önüne geçileceği

görülmektedir. Bu ve bundan önceki çalışmalar atıl durumdaki yağların, piroliz işlemi ile yakıtı dönüştürülebileceğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi MÜHENDİSLİK.16.002 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Agarwal, A.K., & Rajamanoharan, K. (2009). Experimental investigations of performance and emissions of Karanja oil and its blends in a single cylinder agricultural diesel engine. *Applied Energy*, 86(1), 106-112.
- Arpa, O. (2009). "Performance and Exhaust Emission Tests of Fuels Obtained from Waste Lubrication Oil by Pyrolytic Distillation", (Doctoral Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Arpa, O., Yumrutas, R., & Demirbas, A. (2010). Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolytic distillation. *Applied Energy*, 87(1), 122-127.
- Arpa, O., Yumrutaş, R., & Kaşka, Ö. (2013). Desulfurization of diesel-like fuel produced from waste lubrication oil and its utilization on engine performance and exhaust emission. *Applied Thermal Engineering*, 58(1-2), 374-381.
- Batmaz, İ. (2007). Buji ateşlemeli motorlarda yakıtı hidrojen ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1).
- Bhaskar, T., Uddin, M. A., Muto, A., Sakata, Y., Omura, Y., Kimura, K., & Kawakami, Y. (2004). Recycling of waste lubricant oil into chemical feed stock or fuel oil over supported iron oxide catalysts. *Fuel*, 83(1), 9-15.
- Behera, P., & Murugan, S. (2013). Combustion, performance and emission parameters of used transformer oil and its diesel blends in a DI diesel engine. *Fuel*, 104, 147-154.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. - McGraw-hill New York.
- Mohsin, R., Majid, Z. A., Shihnan, A. H., Nasri, N. S., & Sharer, Z. (2014). Effect of biodiesel blends on engine performance and exhaust emission for diesel dual fuel engine. *Energy Conversion and Management*, 88, 821-828.

- Maceiras, R., Alfonsín, V., & Morales, F. J. (2017). Recycling of waste engine oil for diesel production. *Waste Management*, 60, 351-356.
- Mahari, W. A. W., Zainuddin, N. F., Chong, C. T., Lee, C. L., Lam, W. H., Poh, S. C., & Lam, S. S. (2017). Conversion of waste shipping oil into diesel-like oil via microwave-assisted pyrolysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(6), 5836-5842.
- Mastral, A. M., Callen, M. S., Garcia, T., & Navarro, M. V. (2000). Improvement of liquids from coal-tire co-thermolysis characterization of the obtained oils. *Fuel Processing Technology*, 64(1-3), 135-140.
- Oğuz, H. (2004). Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Oğuz, H., Oğüt, H., Gökdoğan, O. (2012). Türkiye tarım havzaları üretim ve destekleme modelinin biyodizel sektörüne etkisinin incelenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2 Sp: A), 77-84.
- Öztürk, M. (2006). Kanalizasyonlarda Hidrojen Sülfür Gazı Oluşumu Sağlık Üzerine Etkileri.
- Salem, S., Salem, A., & Babaei, A. A. (2015). Preparation and characterization of nano porous bentonite for regeneration of semi-treated waste engine oil: Applied aspects for enhanced recovery. *Chemical Engineering Journal*, 260, 368-376.
- Singhabhandhu, A., & Tezuka, T. (2010). The waste-to-energy frame work for integrated multi-waste utilization: Waste cooking oil, waste lubricating oil, and waste plastics. *Energy*, 35(6), 2544-2551.
- Sinha, S., Agarwal, A. K., & Garg, S. (2008). Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization. *Energy Conversion and Management*, 49(5), 1248-1257.
- Wang, X., & Ni, P. (2017). Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel-like fuel from waste lubrication oil. *Energy Conversion and Management*, 133, 275-283.
- Yadav, S. P. R., & Saravanan, C. G. (2015). Engine characterization study of hydrocarbon fuel derived through recycling of waste transformer oil. *Journal of the Energy Institute*, 88(4), 386-397.

Investigation of Engine Performance and Exhaust Emissions of Fuel-Diesel Mixtures Obtained from Waste Lubricating Oil

Extended abstract

Most of the fossil fuel sources are petroleum and derivative sources, and it is obvious that these resources are not unlimited and will be depleted over time due to the increasing world population and industrial needs. In addition, the harmful effects of fossil fuels on the environment have led scientists and environmental scientists to seek different sources of energy. Because the waste of these fuels triggers global climate change and disrupts the quality of the air. For these reasons, the researchers are working to develop an alternative fuel that is not polluting our nature, economical and easy to use, or to generate energy from substances to be left as waste to nature. In order to solve the problem of oil-fueled fuels and the rapid depletion of the environment, intensive studies are being carried out on alternative fuels.

Behera et al. (2013) used by six different mixtures of transformer oil (WTO) and diesel fuel mixtures. WTO concentrations of 10% by volume at regular intervals up to 60% of different mixtures were made by analyzing the results were compared with the use of diesel. Compared to diesel, WTO-diesel mixtures have been shown to increase thermal efficiency with a significant improvement in smoke reduction. NO, HC and CO emissions for WTO-diesel mixtures were higher than diesel at full load. At full load, the smoke value of the WTO 40 was found to be about 5.9% lower than the diesel.

Yadav and Saravanan (2015) conducted a study on the recycling of waste transformer oil. As a result of this study, they showed that waste transformer oil can be used as fuel in diesel engine.

Wang and Ni (2017) have worked with similar fuel derived from waste lubricating oil. Specific fuel consumption (be) was reduced by approximately 3% at 3000 rpm under light and medium loads when compared to DLF's diesel. It has been observed that the DLF has slightly

higher NO_x emissions in medium and heavy loads, resulting in slightly more smoke emissions, and higher HC and CO emissions than those of diesel fuel, especially at medium loads.

In this study, the fuel obtained by Arpa et al. the waste motor oil (DLF) by pyrolytic distillation was tested in the engine by mixing with 20%, 40% and 60% by volume of diesel.

Compared to diesel, all the fuel mixture samples reduce torque as the engine speed increases. When the relationship between engine speed and power is examined, it is seen that the highest power is obtained at 2000 rpm for all fuels including diesel fuel and the power is increased with increasing speed in general.

Specific fuel consumption decreased in general, while the D60DBY40 mixture with 40% by volume of waste lubricating oil (DLF) showed a slight increase in specific fuel consumption.

The D80DBY20 fuel mixture, which has 20% DLF volume, has an average of 0.61% reduction in diesel fuel compared to diesel fuel. For the same mix, there was a 0.44% decrease in power and a 2.53% decrease in specific fuel consumption. The D60DBY40 fuel mixture, which has a 40% DLF volume, was found to have a decrease of 2.30% on average compared to diesel fuel. There was a 2.61% decrease in power for the same mixture and a 2.92% increase in specific fuel consumption.

The D40DBY60 fuel mix with 60% DLF has an average of 5.13% decrease in diesel fuel compared to diesel fuel. For the same mix, there was a 6.09% decrease in power and a 0.11% decrease in specific fuel consumption.

Considering the amount of oils that become waste worldwide, it is seen that by converting these oils to the fuel by appropriate methods, an economic contribution will be provided and environmental pollution will be prevented. Studies show that the oil in the idle state can be converted to fuel by pyrolysis process.

Keywords: Exhaust Emissions, Engine Performance, NO_x, CO, HC.