

ATIK MOTOR YAĞINDAN ELDE EDİLEN DİZEL BENZERİ YAKITIN MOTOR PERFORMANS VE EKSOZ EMİSYONU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Orhan ARPA¹, Recep YUMRUTAŞ² ve Önder KAŞKA²

¹Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü
21280 DİYARBAKIR

²Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü
27310 GAZİANTEP

orhana@dicle.edu.tr ; yumrutas@gantep.edu.tr ; kaska@gantep.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, atık motor yağlarında bulunan toz, metal paçacıkları, kükürt ve su gibi maddelerden arıtılarak, dizel motorlarında kullanılabilecek yakıt eldesi ve elde edilen bu yakıtın motor performansı ve eksoz emisyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Atık yağı arıtıp yakıt elde edebilmek için, bir sistem tasarlanıp imal edilmiştir. Bu sistem atık yağ toplama tankı, filtreler, reaktör, ürün depolama tankı, normal ve kızgın yağ pompası, varyak, ısıtıcı, termostat ve kontrol panelinden meydana gelmiştir. Bu sistemle elde edilen yakıt numunelerinin yoğunluk, viskozite, yanma ve parlama noktası, ısı değer, kükürt oranı ve distilasyon testleri yapılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre, atık motor yağından yaklaşık % 60 oranında dizel motorlarda kullanılabilecek Dizel Benzeri Yakıt (DBY) elde edilmiştir. DBY ve tipik bir motorin dizel bir motorda kullanarak, motor performans ve eksoz emisyon testleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan maliyet hesaplamalarında DBY'nin üretim maliyetinin 1.016 TL/litre olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık motor yağı, piroliz, dizel motor performansı, eksoz emisyonu

Abstract

In this study, production of diesel fuel used in diesel engines from waste lubrication oil by purifying the waste oil from dust, metal particulates, sulfur and water, and investigation on effects of the produced fuel on the engine performance and exhaust emission tests are proposed. For that reason, a system is designed and manufactured to purify and obtain waste oil. The system is consisting of a waste oil storage tank, filters, a reactor, a product storage tank, normal and hot oil pumps, variac, heaters, thermostats and control panel. Density, viscosity, flash and fire points, heating value, sulfur amount and distillation tests of the fuel samples obtained using the system are performed using test equipments. According to the test results, Diesel Like Fuel (DLF) to be used in diesel engines is obtained approximately as ratio of 60 percent of total waste engine oil. Performance and exhaust emission tests are carried out utilizing the DLF and a typical diesel fuel in a diesel test engine and the obtained results are compared. Production cost of the DLF was obtained as 1.016 TL/liter.

Key Words: Waste engine oil, pyrolysis, diesel engine performance, exhaust emission.

1. GİRİŞ

Günümüzde sanayinin hızlı bir şekilde gelişmesine bağlı olarak birçok alanda çevre için zararlı atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların çevreye verdikleri zararı en aza indirmek için, bu atıkların geri dönüştürülerek yeniden kullanıma sunulması gerekmektedir. Bu yüzden, son zamanlarda atık yağların arıtılarak geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanıma sunulması önemli ve dikkat çekici bir araştırma konusu olmuştur. Yağlama yağları ise, atık yağların büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Çünkü yağlama yağları, sanayinin değişik dallarında gün geçtikçe artan bir oranda kullanılmakta ve bu yağların % 97'sini de petrol kaynaklı yağlar oluşturmaktadır [1]. Ülkemizde büyük çoğunluğu motor yağları olmak üzere, yıllık yağ tüketiminin 500.000 ton olması ve çevreye atılan 1 litre motor yağının 800.000 litre suyu kullanılamaz, 5.000.000 ton temiz suyu ise içilemez hale getirmesi, bu enerji kaynağının geri dönüşümünün ne derece önemli ve isabetli olduğunu göstermektedir.

Atık motor yağlarının doğrudan kullanılması insan ve çevreye zarar vereceği birçok çalışmada vurgulanmıştır [1-3]. Bu yağların yapısında bulunan inorganik maddelerden kurşun (Pb), bakır (Cu) ve halojenler (Cl, F, Br, vb.) olduğundan dolayı, herhangi bir işleme tabi tutulmadan enerji kaynağı olarak kullanılmasının uygun olmayacağı, ancak çimento sanayinde kullanılabileceği belirtilmiştir [1-3]. Petrol kaynaklı atık maddeler çeşitli işlemlerden geçirilerek, ya yakıt olarak kullanılmakta, ya da çeşitli kimyasallara dönüştürülerek bu atıkların zararlı etkileri en aza indirilmektedir [2]. Ancak, atık yağların içinde bulunan kükürt (S), azotklorin ve bromin gibi maddeler, bu yakıtların yakıt olarak veya diğer amaçlar için geri dönüştürülmesini zorlaştıran en önemli nedenlerdendir [1]. Atık yağların içinde bulunan S, çinko oksit (ZnO), demir oksit (Fe₂O₃) ve bakır oksit (CuO) gibi metal oksit tozlarıyla belirli bir sıcaklıkta reaksiyona girerek çökelmekte ve böylece kükürt yağdan ayrıştırılabilmektedir [3-4]. Atık yağlar oksijensiz ortamda ısıtılarak kimyasal olarak yeniden yapılandırılmaktadır [5]. Bu yöntemin en önemli avantajı, doğru biçimde yapıldığında çevreyi kirletmemesidir. Buna karşılık pirolize olan yağ, çok miktarda doymamış hidrokarbon içerdiğinden, tekrar polimerize olabilmektedir [6]. Atık motor yağları ve plastiklerden 300–385 °C sıcaklık aralığında ısı çöktürme yöntemiyle gemi motorlarında kullanılabilecek bir yakıt elde edilmiştir [7-8].

Atık yağların geri dönüştürülerek tekrar kullanılması durumunda petrole dayalı yakıt kullanımının azaltılması özellikle ülkemiz için son derece önemlidir. Bilindiği gibi benzinli ve dizel motorlar, gün geçtikçe kaynakları azalan, fiyatları artan ve eksoz emisyonları sera etkisine sebep olan petrol kaynaklı yakıtları kullanmaktadırlar [9-10]. Dizel motorlar verim

bakımından avantajlı olmalarına rağmen, kullandıkları yakıt itibarıyla SO₂ ve NO_x emisyonları ile çevreyi kirletmekte ve asit yağmurlarının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilmesi sadece motor tasarımı ile mümkün görülmemekte, aynı zamanda bu motorlarda kullanılan yakıtın karakteristik özelliklerinin değiştirilmesi gerekmektedir [13]. Williams vd. [13] ile Zabaniotou ve Stavropoulos [14] atık otomobil lastiğinden elde ettikleri yakıtları, özel tasarlanmış fırında yakarak eksoz emisyonlarını incelemişlerdir. Eksoz içerisinde bulunan NO_x ve SO₂ miktarlarını ölçmüşler ve lastikte kütleli olarak % 1.4 S, % 0.45 civarında N bulunduğunu ve bu miktarların dizel yakıtıyla yaklaşık eşit olduğunu tespit etmişlerdir. Chan Wei Wu vd. [15] tarafından yapılan çalışmada hava-yakıt oranının motor performans ve eksoz emisyonlarına etkilerini incelemiş ve sonuç olarak CO, CO₂ ve HC emisyonlarının hava-yakıt oranına bağlı olduğunu belirtilmiştir.

Atık motor yağlarının geri dönüşümü ile ilgili literatür araştırması yapılmış ve bu konuda çok az sayıda çalışma olduğu anlaşılmıştır. Yapılan çalışmalarda ise, geri dönüşüm işleminden sonra elde edilen yakıtın fiziksel özellikleri, motor performans ve eksoz emisyon parametreleri incelenmemiştir. Atık motor yağının yüksek enerji kapasitelerine sahip olmaları (43070 kJ/kg) ve çevreye verdiği zararların en aza indirilmesi düşüncesi, bu çalışmanın ana fikrini oluşturmuştur. Bu düşünceden hareketle, bu çalışmada atık yağlama yağlarından motorlarda kullanılacak bir yakıt eldesi ve elde edilen bu yakıtın motor performansı ve eksoz emisyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. ATIK YAĞIN ARITILMASI VE YAKIT ELDESİ

Bu çalışmada atık yağlama yağlarının arıtılarak dizel motorlarda kullanılacak bir yakıt elde etmek amacıyla, arıtma ve piroliz işleminin uygulanabileceği bir geri dönüşüm sisteminin tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Fotoğrafi Şekil 1'de görülen bu sistem temel olarak; atık yağ toplama tankı, filtreler, reaktör, ürün depolama tankı, normal ve kızgın yağ pompaları, varyak, ısıtıcı, termostat ve kontrol panelinden oluşmaktadır. Atık yağ depolama tankından yağ pompası aracılığı ile alınan atık yağ önce filtrelerden geçirilerek içindeki metal parçacıklar ve diğer partiküllerden temizlenerek reaktöre alınmıştır. Reaktöre alınan atık yağa % 2 oranında kireç (CaO) katılarak, piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Piroliz işleminin gerçekleştiği reaktör, 25 litre kapasitede olup, içindeki yağ 600 °C sıcaklığa kadar ısıtılabilir kapasitesine sahiptir. İşlem süresince reaktörde bulunan karıştırıcı sürekli olarak atık yağ ve katkı maddesini karıştırmıştır. Piroliz işleminden sonra distilasyon işlemine geçilmesi için reaktörün sıcaklığı elektronik kontrol ünitesi yardımıyla yükseltilerek ısıtma işlemi devam

etmiştir. Isıtma sonucunda buharlaşan yakıt, su soğutmalı yoğuşturucuda yoğuştuktan sonra depolama tankında depolanmıştır. Elde edilen numunenin termofiziksel özellikleri ile distilasyon testleri Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde yağ-yakıt laboratuvarında bulunan test ekipmanları ile yapılmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda seçilen numunenin bu haliyle ne motorin nede benzin motorunda kullanıma uygun olmadığı görüldükçe, numunenin iki bileşene ayrılması gerektiği düşünülmüştür. Distilasyon testleri göz önüne alınarak, numunenin % 25 hafif yakıt, % 75'i ise ağır yakıt olarak ikiye ayrılmıştır. Ağır yakıt numunesinin karakteristikleri motorine benzediği için Dizel Benzeri Yakıt (DBY) olarak adlandırılmış ve bundan böyle DBY olarak anılacaktır.



Şekil 1. Atık yağ geri dönüşüm sistemi.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

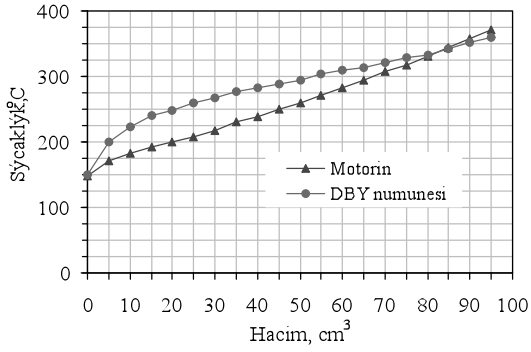
Atık yağ geri dönüşüm sisteminden elde edilen yakıt numunesi atık yağa kütleli olarak % 2 oranında kireç katılmasıyla en düşük kükürtlü ve en uygun Dizel Benzeri Yakıt (DBY) numunesi elde edildiği Kaynak [11]'de verilmişti. Bu yüzden bu çalışmada da aynı oranda CaO katılarak elde edilen DBY numunesinin termofiziksel özellikleri test edilerek Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1 incelendiğinde; DBY numunesinin yoğunluk, viskozite, parlama ve kaynama noktası, su miktarı ve alt ısıl değeri, motorin numunesinin aynı değerlerine oldukça yakın olduğu, fakat kükürt miktarının ise oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda DBY içerisinde bulunan kükürt miktarının düşürülmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

Motorlarda kullanılan yakıtların termofiziksel özelliklerinin yanında distilasyon eğrilerinin karakteristikleri de çok önemlidir. Çünkü bu eğri, yakıtın motorlarda problemsiz

bir şekilde yanıp yanmayacağını gösterdiği için, yakıtın motorlarda kullanılıp kullanılmayacağına da bu eğriye bakılarak karar verilebilir. DBY ile tipik bir motorin numunesinin distilasyon eğrileri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, DBY'nin distilasyon eğrisi motorinin distilasyon eğrisine yakın ve daha yüksek sıcaklıkta distile olduğu anlaşılmaktadır. Numunenin distilasyon eğrisinin motorin distilasyon eğrisine yakın olması, DBY'nin kimyasal yapısının motorinin kimyasal yapısına yakın olduğunu gösterir. Bu eğriye bakarak numunenin dizel motorlarda problemsiz bir şekilde kullanılabilceğini, motor performansında herhangi bir problem olmayacağını hatta performansın artabileceği sonucuna varılabilir. Çünkü DBY artan sıcaklıkla distile olmaktadır. Yakıtın her bir zerresinin düzgün ve artan bir sıcaklıkta distile olması, motor performansını pozitif yönde etkileyecektir. Çünkü yanma başladığında yanma odasının sıcaklığı artacağı için, her bir zerrinin artan sıcaklıkta yanması, yanmanın sürekliliğine ve sıcaklığın artmasına sebep olacak, bunun sonucu olarak yanma verimi ve dolayısı ile motor performansı artacaktır. Bunun tersine olarak yakıtın sabit sıcaklıkta distile olması, arzu edilen bir durum değildir. Çünkü yakıtın sabit sıcaklıkta distile olması, motora giren yakıtın tamamının aynı anda yanması manasına gelmektedir. Yakıtın aynı anda yanması ise, motorda basıncın ani yükselmesine, vuruntu ve dengesiz çalışmanın meydana gelmesine ve bu durumlar ise motorda çeşitli arızalara sebep olacaktır. DBY numunesinin motorda problemsiz olarak kullanılabilceğini görmek amacıyla, motor performans ve eksoz emisyon sonuçlarının incelenmesi ve irdelenmesi gerekmektedir.

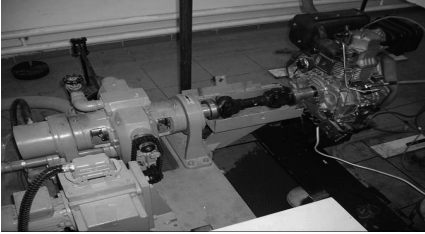
Tablo 1. Motorin ve DBY'nin termofiziksel özellikleri

Özellikler	Motorin	DBY
Kimyasal formül	$C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$	---
Molekül ağırlığı	120-320	---
Yoğunluk, g/cm ³	0.82-0.845	0.818
Kaynama noktası, °C	148-350	150-360
Parlama noktası, °C	>55	57
Viskozite cSt	2.5 -3.5	3.49
Alt ısı değer, kJ/kg	42700	42500
Kükürt miktarı, ppm	650	3500
Su miktarı, mg/kg	<200	130



Şekil 2. DBY ve tipik bir motorinin distilasyon eğrileri

Dizel Benzer Yakıt (DBY), Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Otomotiv Bölümünde bulunan bir dizel test motorunda kullanılarak motor performans parametreleri ve eksoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Su frenli dinamometre ile teçhiz edilmiş test motorunun resmi Şekil 3'te, teknik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Motor eksoz emisyonları Drager marka, MSI Compact 150 model gaz analiz cihazı ile ölçülmüştür. Bu analiz cihazı karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), ve azot oksit (NO_x) emisyonlarını ppm cinsinden, 5 ppm hassasiyetle ölçmekte, O₂ ve CO₂ emisyonlarını ise hacimsel olarak % 0.3 hassasiyet ile ölçmektedir.



Şekil 3 Dizel test motoru ve dinamometresi

Tablo2 Dizel test motorunun özellikleri

Marka	Rainbow-186
Motor türü	Dört zamanlı, dizel
Motor hacmi	406 cm ³
Sıkıştırma oranı	18:1
Silindir sayısı	1
Soğutma tipi	Hava soğutmalı
Maksimum tork	40 Nm 2000 dev/dak
Maksimum güç	10 kW/HP 2000 dev/dak

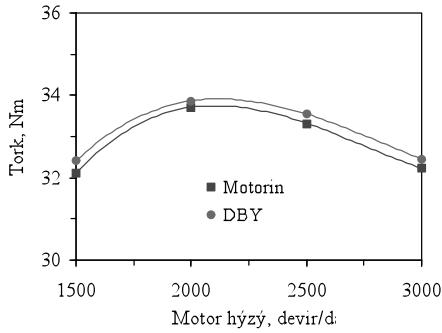
Şekil 4, 5, 6 ve 7 sırasıyla motorda DBY ve motorin kullanılması durumunda elde edilen tork, ortalama efektif basınç, ısıl verim ve özgül yakıt tüketiminin motor devir sayısı ile değişimini göstermektedir. Şekil 4, 5, 6'dan, DBY numunesi kullanıldığında tork, ortalama efektif basınç ve motor ısıl veriminin motorinin bu değerlerinden daha yüksek olduğu, Şekil 7'den ise DBY için motorin için motorin için özgül yakıt tüketiminin daha düşük olduğu görülmektedir. Zaten bir motorda da tork, efektif basınç ve ısıl verimin yüksek, yakıt tüketiminin ise düşük olması

istenen bir durumdur. Motor hızı 2000 devir/dak olduğunda, tork, ortalama efektif basınç ve ısı verim en yüksek değere ulaştığı, özgül yakıt tüketiminin ise yine aynı hızda en düşük olduğu gözlenmektedir. DBY ve motorin için en yüksek tork değerleri 2000 devir/dak'da sırasıyla 33.86 Nm ve 33.71 Nm olarak elde edilmiştir. Her iki numune için Şekil 6'da verilen ısı verim değerleri Şekil 4 ve 5'te verilen sonuçları desteklemektedir. Bu grafiklerden de anlaşılacağı gibi, DBY numunesinden kaynaklanan herhangi bir olumsuz durum görülmemektedir. DBY için elde edilen tork, efektif basınç ve özgül yakıt tüketimi değerleri, motorin için elde edilen değerlerden biraz daha yüksek olup, motorin değerlerini düzgün bir şekilde takip etmektedir. Bu şekillerden DBY'nin motor performansını az da olsa artırdığını, negatif bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Bu veriler, DBY numunesinin diğer termodinamik özelliklerine de bağlı olarak emniyetli bir şekilde, dizel bir motorda kullanılabilmesinin bir göstergesidir.

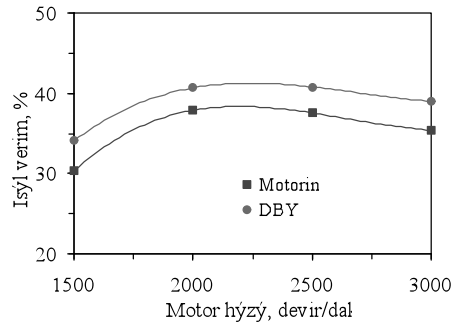
Motor performansının yanında, eksoz sıcaklığı ve emisyon değerlerinin de son derece önemli olduğu bilinmektedir. Bu bakımdan test sırasında her bir ölçüm için alınan motor eksoz sıcaklığı da ölçülmüş, sıcaklığın değişimi Şekil 8 ile verilmiştir. DBY numunesi kullanıldığında eksoz sıcaklığı diğerine göre yüksek ve motor hızına bağlı olarak artmaktadır. DBY için eksoz sıcaklığının yüksek olması, distile sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü bir yakıtın distile sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, yanma sıcaklığının da o derece yüksek olması ve sonuç olarak eksoz sıcaklığının da yükselmesine sebep olacaktır. Aslında, eksoz sıcaklığının mümkün olan en düşük sıcaklıkta olması, motorun ısı veriminin daha yüksek olması anlamına gelmektedir. DBY kullanıldığında eksoz sıcaklığının motorine göre daha yüksek olması, performans parametrelerinin de daha düşük olmasını gerektirirdi. Ancak sıcaklığın yüksekliği, bu parametrelerin olması gereken değerlerin altına düşürmüştür.

DBY ve motorin numuneleri için eksoz analiz cihazı ile ölçülen SO₂, CO, NO ve O₂, değerlerinin motor hızıyla değişimleri sırasıyla Şekil 9, 10, 11 ve 12'de gösterilmiştir. Şekil 9'da gösterilen SO₂ miktarlarının değişiminde, DBY numunesi için SO₂ değerlerinin yüksek çıkması normaldir. Çünkü DBY içerisindeki kükürt (S) miktarı motorine göre yüksektir. SO₂ miktarı hem enerji kaybı, hem de çevresel değerler bakımından oldukça önemlidir. Bu yüzden, DBY içerisinde bulunan kükürt miktarının standart değerlerin altına düşürülmesi gereklidir. Eksozda ölçülen CO ve NO miktarlarının değişimleri Şekil 10 ve 11'de verilmiştir. Motor devri yaklaşık 2200 dev/dak olduğunda CO miktarı en az, NO miktarı ise en yüksek seviyededir. DBY kullanıldığında ölçülen CO ve NO miktarları ise, motorine göre daha yüksektir. DBY için eksozdaki CO miktarının motorine göre yüksek olmasının bir delili, Şekil

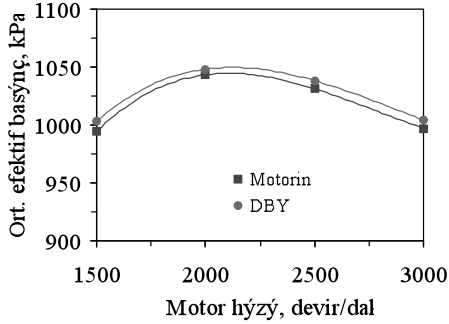
12'de verilen O_2 miktarının azlığıdır. Ayrıca, DBY için eksozda görülen O_2 değerinin motorinden az oluşu, bu test için hava yakıt oranının düşüklüğünden kaynaklanabilir. Hava yakıt oranının artırılması sonucunda CO miktarında azalma görüleceği açıktır. Her iki bileşiğin de eksozda yüksek çıkması istenmeyen bir durumdur. Sonuçta her ikisi de enerji kaybına ve çevre kirliliğine sebep olan bileşiklerdir. Yanma sonucunda ortaya çıkan CO ve NO bileşiklerinin azaltılması konusunda yapılacak çalışmalar, hem çevresel değerler, hem de enerji tüketimi bakımından önemli bir kazanç olacaktır.



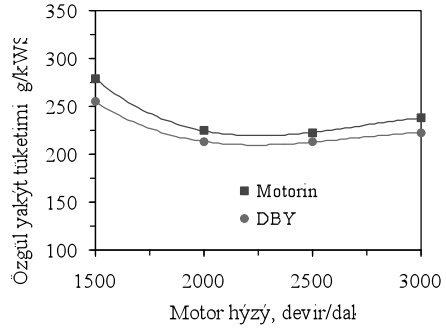
Şekil 4. Torkun motor devri ile değişimi.



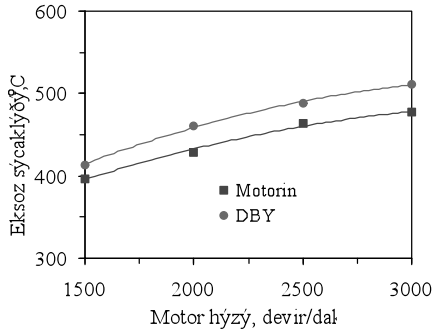
Şekil 6. Isıl verimin değişimi.



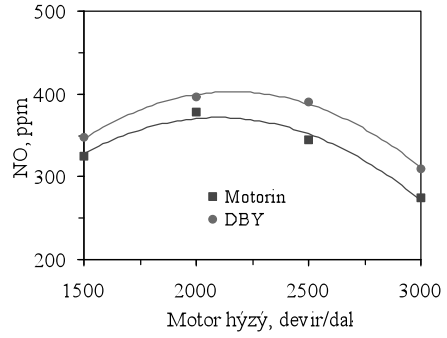
Şekil 5. Ortalama efektif basıncın değişimi



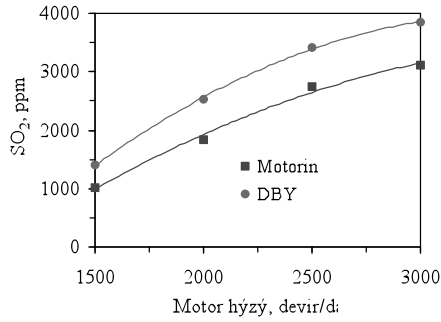
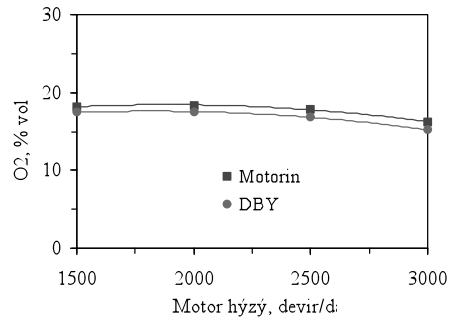
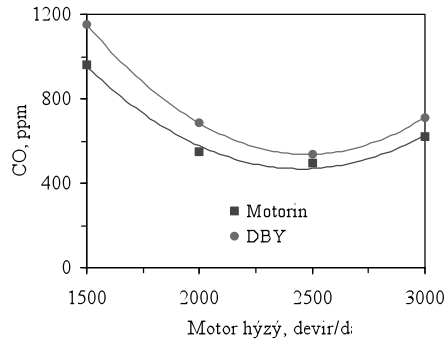
Şekil 7. Özgül yakıt tüketiminin değişimi



Şekil 8. Egsoz sıcaklığının değişimi



Şekil 11. Eksozdaki NO değişimi

Şekil 9. Eksozdaki SO₂ değişimi.Şekil 12. Eksozdaki O₂ miktarının değişimi

Şekil 10. Eksozdaki CO nun değişimi.

4. SONUÇLAR

Elde edilen Dizel Benzeri Yakıt (DBY) numunesinin yoğunluk, viskozite, yanma ve parlama noktası, ısıl değer, kükürt oranı ve distilasyon testleri Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan yağ-yakıt laboratuvarında, motor performans testleri ise Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Motor Bölümünde bulunan dizel motoru ile, eksoz emisyon testleri ise Drager marka, MSI Compact 150 model gaz analiz cihazı ile yapılmıştır. Yapılan testlerden çıkarılan en önemli hususlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Her 100 cc'lik atık yağın yaklaşık olarak 60 cc'si DBY olarak elde edilmiştir.
2. DBY'nin termofiziksel özellikleri ve distilasyon değerleri tipik bir motorin numunesinin değerlerine yakındır.
3. Yapılan testlerin sonuçlarına göre DBY'nin dizel motorlarda kullanılabileceği ve motor performansı açısından herhangi bir problem olmayacaktır.
4. DBY numunesi kullanıldığında tork, ortalama efektif basınç ve ısıl veriminin motorinin aynı değerlerinden daha yüksek, özgül yakıt tüketiminin ise daha düşük olduğu gözlenmiştir.
5. DBY içerisinde bulunan kükürt değeri standart değerlerin çok çok üzerindedir. Bu nedenle kimyasal yöntemlerle kükürt miktarının düşürülmesi gerekmektedir.
6. Yapılan maliyet hesaplamalarında DBY'nin üretim maliyetinin 1.016 TL/litre olduğu tespit edilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 105M284 kod numaralı TUBİTAK araştırma projesi kapsamında yapılmıştır. Çalışmanın gerçekleşmesi için maddi desteği sağlayan TUBİTAK'a teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Bhaskar, T., Uddin, M.A., Muto, A., Recycling of Waste Lubricant Oil into Chemical Feedstock or Fuel Oil Over Supported Iron Oxide Catalysts. Fuel, 83, 9-15, 2004.
2. Mastrral, A.M., Callen, M.S., Garcia, T., Navarro, M.V., Improvement of liquids from coal-tire co-thermolysis Characterization of the obtained oils. Fuel Processing Technology, 68, 45-55, 2000.

3. Sakata, Y., M.A., Uddin, Muto, A., Degradation of Polyethylene and Polypropylene into Fuel Oil by Using Solid Acid and Non-Acid Catalysts. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 51, 135-155, 1999.
4. Lazaro, M. J., Moliner, R., Suelves, I., A. A. Herod, A.A., and Kandiyoti, R., Characterisation of Tars from the Co-Pyrolysis of Waste Lubricating Oils with Coal. *Fuel*, 80, 179-194, 2001.
5. Bockhorn, H., Hornung, A. and Hornung, U., Stepwise pyrolysis for raw material recovery from plastic waste. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 46 1-13, 1998.
6. Poutsma, M.L., Fundamental Reactions of Free Radicals Relevant to Pyrolysis Reactions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 54, 5-35, 2000.
7. Wada Y., Waste oil Recycling System to Produce Diesel Fuels for Ships, *Jpn Kokai Tokyo Koho JP*, 55, 673-685, 2003.
8. Daniel, M., Otto, J., Centereach, N.Y., Method and Apparatus for Recycling Waste Lubrication Oil for Reuse as Fuel, USA Patent No: 5507307, 2004.
9. Kesse D.G., Global warming-facts, assessment, countermeasures, *J. Petrol Sci Eng*, 26, 57-68, 2000.
10. Johansson T, McCharthy S., Global warming post-Kyoto: continuing impasse or prospects for progress. *Energy Dev Rep Energy*, 69-71, 1999.
11. Yumrutaş R., Arpa O. ve Demirbaş A., Atık motor yağlarından katalitik distilasyon yöntemi ile dizel benzeri yakıt üretilmesi, 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran, Kayseri, 2007.
12. Yumrutaş R., Alma M.H., Özcan H. and Kaska Ö., Investigation of purified sulfate turpentine on engine performance and exhaust emission, *Fuel*, 87, 252-259, 2008.
13. P.T. Williams, R.P. Bottrill, A.M. Cunliffe (1998). Combustion of tyre pyrolysis oil. *ICChemE*, 76, 291-301
14. A.A. Zabaniotou, Stavropoulos (2003). Pyrolysis of used automobile tires and residual char utilization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 70, 711-722.
15. Chan-Wei Wu, Rong-Horng Chen, Jen-Yung Pu, Ta-Hui Lin. (2004). The influence of air-fuel ratio on engine performance and pollutant emissions of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment*, 38, 7093-7100.

