

Dizel Motorlarda Benzin ve Atık Araç Lastiklerinden Elde Edilen Pirolitik Yağın Dizel Yakıt ile Karışımlarının Araştırılması

Mesut UÇAR¹, Murat KOCAGÜL^{2*}, Burak TANYERİ³, Müjdat FIRAT⁴

¹Jandarma Genel Komutanlığı, İçişleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye

²Elektrik ve Enerji Programı, Akdağmadeni MYO, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, Türkiye

³Uçak Bakım Onarım Bölümü, Sivil Havacılık YO, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

⁴Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹mesutucar1476@gmail.com, ^{2*}murat.kocagul@yobu.edu.tr, ³buraktanyeri.23@gmail.com, ⁴mfirat@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 19/01/2023);

Kabul/Accepted: 10/02/2024)

Öz: İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt arayışları uzun yıllardır araştırmaların yoğunlaştığı konulardan birisini oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında, dizel bir motorda atık taşıt lastiklerinden (ATL) elde edilmiş pirolitik yağ (PY) yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonlarına etkileri üzerine bir araştırma yürütülmüştür. ATL piroliz yöntemiyle üretilmiş ve hazır olarak temin edilmiştir. Bu amaçla, 4 zamanlı 4 silindri 1.9 litre hacmine sahip, multijet bir dizel motor üzerinde deneysel bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, dizel yakıtı ve %20 karışım oranlarında benzin B20(%80 dizel + %20 benzin) ve pirolitik yağ P20(%80 dizel + %20 pirolitik yağ) yakıt olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada benzin ve pirolitik yağ kıyaslanarak dizel motorlarda uygulanan çift yakıt metodunda, benzine alternatif bir alternatif yakıt araştırması yürütülmüştür. Çalışmada, maksimum motor momentinin %25 kadar bir motor yükü sabit tutularak değişen motor devirlerinde araştırma yürütülmüştür. Elde edilen verilere göre kullanılan yakıtların motor yakıt sisteminde bir revizyon gerektirmeden kullanılabilmesi gösterilirken, gelişmiş yanma stratejileri için bir bakış açısı ortaya konulmuştur. Özellikle P20 yakıt kullanımında özgül yakıt tüketimi ve termal verimde iyileşme gözlenmiştir. Ayrıca B20 ve P20 kullanımları ile HC emisyonlarının kontrolüne dair umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, mevcut çalışmada kullanılan ATL'den üretilmiş PY'nin dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Pirolitik Yağ, Atık Taşıtların Lastiği, Kirletici Emisyonlar, Dizel Motor

An Investigation of Blends of Gasoline and Pyrolytic Oil Derived from Waste Vehicle Tires with Diesel Fuel in Diesel Engines

Abstract: Researchers have focused on the search for alternative fuels for internal combustion engines for many years. The effects of pyrolytic oil derived from waste vehicle tires on the combustion and exhaust parameters of diesel engines were investigated in this study. ATL was produced by pyrolysis and is commercially available. For this purpose, an experimental study was carried out on a 4-stroke, 4-cylinder, 1.9 L multi-jet diesel engine. Pure diesel and B20 (80% diesel + 20% gasoline) and P20 (80% diesel + 20% pyrolytic oil) were used as fuel. In this study, gasoline and pyrolytic oil were compared to investigate an alternative fuel to gasoline in the dual fuel method applied in diesel engines. In this study, engine load was kept constant at 25% of maximum engine torque and examined at various engine speeds. The data obtained have shown that the fuels utilized can be used without the engine fuel system needing to be modified. Thermal efficiency and specific fuel consumption both increased, when P20 fuel was used. Moreover, B20 and P20 have been used to decrease HC emissions, and the results are promising. It has been found that the pyrolytic oil made from the used tires of the vehicles used in the current investigation can be used as an alternative fuel in diesel engines.

Key words: Pyrolytic Oil, Waste Vehicle Tires, Pollutant Emissions, Diesel Engine

1. Giriş

Dünya'da gün geçtikçe artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye olan talep artmıştır. Artan talepler doğrultusunda doğada var olan fosil enerji kaynakları azalmaya başlamıştır. Son yıllarda bu alanda yapılan çalışmalarda, azalan kaynakları korumak ve enerji çeşitliliğine alternatif geliştirmek için, biyodizel, alkol ve petrol içerikli atıklar kullanarak elde edilen sıvılar içten yanmalı motorlarda temel alternatif yakıtlar olarak kullanılmaktadır.

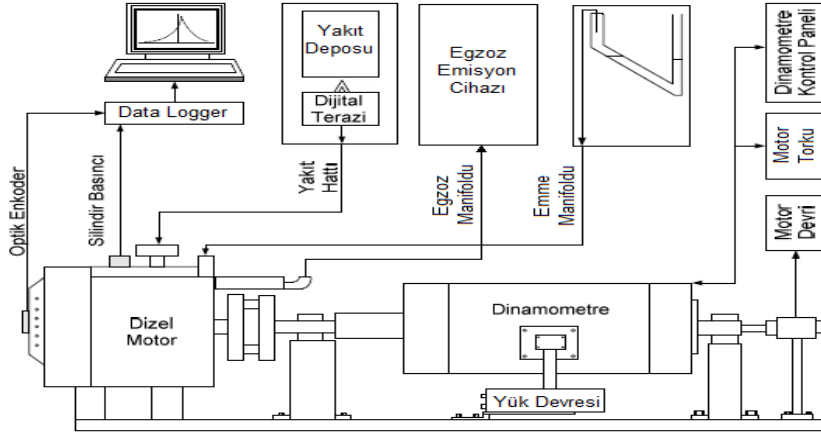
* Sorumlu yazar: murat.kocagul@yobu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0002-3346-3015, ²0000-0002-4703-2865, ³0000-0002-3517-9755, ⁴0000-0001-6978-9044

Yüksek verimli olmasından dolayı dizel motorların ulaştırma, tarım ve ticari alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar [1]. Buna karşın dizel motorların yüksek emisyon değerleri oluşturmalarından dolayı çevre kirliliğinin başlıca etkenlerinden birisi olduğu bilinmektedir [2]. Dizel araçlar, düşük yakıt tüketimleri ve yüksek torkları nedeniyle ulaşım ve taşımacılık sektörlerinde oldukça fazla tercih edilmektedir. Enerji taleplerindeki artış ve petrol rezervlerinin azalması nedeniyle araştırmacılar dizel motorlar için alternatif yakıtlar üzerinde çalışmaktadırlar [3]. Artan yakıt fiyatları, küresel ısınma, çevresel tahribatlar, fosil yakıtların sağlık üzerindeki negatif etkileri ve özellikle yüksek dizel emisyonları nedeniyle yeni motor yakıtları ve yakıt katkı maddeleri araştırmaları gündeme gelmiştir [4]. Bu kapsamda yapılan alternatif çalışmalardan birisi de zaman içerisinde aşınarak atıl konuma gelen taşıt lastiklerinin geri kazanımı ve dizel motorlarda kullanımlarıdır. Bu atıl durumdaki lastiklerin yok edilmesi hem ülkelerin ekonomisi hem de temiz çevre açısından büyük öneme sahiptir [5]. Atık lastiklerin bertaraf edilmesinde en çok kullanılan metotlardan biri piroliz yöntemidir. Piroliz sonucunda elde edilen sıvı lastik yağları içten yanmalı motorlarda ve enerji üretiminde kullanılmaktadır [6]. TÜİK verilerine göre 2020 yılında Türkiye’de motorlu karayolu taşıt sayısının 23 milyonun geçtiği [7] ve ortalama bir araç lastiğinin kullanım ömrünün beş yıl olduğu kabul edilmiştir. Her yıl dünya çapında yaklaşık 1.5 milyar kullanılmış lastik ortaya çıkmaktadır [8]. Bu sayısal ifadeler ek olarak Avrupa Lastik ve Kauçuk Üreticileri Birliği verilerine göre ise her yıl Avrupa birliğinde 289 milyon lastik satıldığı ve satılan lastiklerin dünya pazarının %20’sini oluşturduğu belirtilmiştir [9]. Bu verilerin de gösterdiği gibi, yıllar geçtikçe atık lastiklerin sayısı katlanarak artmaktadır ve bu sebeple bu lastiklerin bir şekilde faydalı hale getirilmeleri elzem bir hal almıştır. Literatürde yapılan incelemelerde doğal kauçuk bütadien kauçuk (butadiene rubber (BR)) ve stiren-bütadien kauçuk (styrene-butadiene rubber (SBR)) çoğunlukla taşıt lastiklerinin üretiminde kullanıldığı tespit edilmiştir [10]. Yine literatürde yapılan çalışmalarda atıl durumda kullanılan lastiklerin, geri dönüşümde değerlendirilmesi için bazı işlemlere tabi tutulduğu görülmüştür. Kumararayer vd.[11] yaptıkları çalışmada, %90 motorine %5 pirolize lastik yağı ve %5 oranında seryum oksit karıştırılarak elde edilen yakıt ile motorin yakıtının kimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır. İncelenen performans değerlerine göre; motorine göre ısı veriminde artış, is emisyonlarında ise azalma gözlemlenmiştir. Bodisco vd. araştırmalarında motorin ve atık lastik yağı-motorin (L10) karışımı kullanan hafif dizel motora sahip bir araçta yol testi yaparak NOx emisyonlarını araştırmışlardır. Araç dört farklı koşulda test edilmiştir. Bu sürüşler sırasında %23,7 rölanti, %44,1 şehir içi, %47,3 şehirlerarası (90 km/s) otoban sürüşü nedeniyle her güzergahta toplam 46,6 km yol kat edilmiştir. Yol testleri sonuçlarına göre, L10 ve motorin test yakıtı ile NOx emisyonları arasında önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir [12]. Karagöz vd. [13] çalışmalarında tek silindri bir dizel motorda motorine (0, %10, %30 ve %50) pirolize lastik yağı ekleyerek bir karışım hazırlamışlardır. Prolitik yağ kullanımına bağlı olarak silindir içi basınç ve ısı salınımında artış gözlenirken, HC emisyonlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bunun yanında farklı çalışmalarda atık lastiklerden elde edilen yakıtın iyileştirilmesi sonucunda %90 oranına kadar dizel motorlarda kullanılabileceği belirtilmiştir [14]. Farklı bir çalışmada ise atık plastik piroliz yağ karışımlarının oranlarının artması CO, NOx ve is emisyonlarında artışlara sebep oluşturmuştur. Motor performans verileri incelendiğinde ise dizel yakıtlarla karşılaştırılabilecek termik verim değerleri gözlenmiştir [15].

Yukarıda sunulan tüm araştırmalar incelendiğinde atık taşıt lastiklerinden elde edilen pirolitik yağın alternatif yakıt olarak özellikle dizel motorlarda kullanılabilir olduğu gözlenmektedir. Bu çalışmada, dizel esaslı bir motorda %100 dizel yakıtı %20 oranlarında pirolitik yağ ve benzin karışımları sonucunda sabit motor yükü (maksimum motor momentinin %25’ine kadar) altında ve farklı motor devirlerinde performans ve emisyon değerlerinin analizi yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarında silindir içi basıncı, ısı salınım oranları CO emisyonu, HC emisyonu, Özgül yakıt tüketimi, ve fren termal veriminin sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar atık taşıt lastiklerinden elde edilen pirolitik yağın alternatif bir yakıt olarak kullanımına katkı sağlayacak ve literatürdeki boşluğu dolduracak niteliktedir.

2. Materyal ve Yöntem

Yapılan çalışmada, atık taşıt lastiklerinin geri kazanılması sonucu elde edilen pirolitik yağın ve benzinin dizel motorlarda kullanımı üzerine çalışılmıştır. Çalışmada dört silindri, dört zamanlı bir dizel motoru, Bosch BEA 150 egzoz emisyon, duman ölçüm cihazı ve Cussons P1860 marka motor dinamometre tezgahı kullanılmıştır [16]. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1’de ve deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü[16].

Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Silindir Sayısı	4
Toplam Silindir Hacmi	1.910L
Çap/Strok	82mm /90.4mm
Sıkıştırma Oranı	18:1
Enjektör Sistemi	Common Rail
Püskürtme Tipi	Çok Püskürtmeli (Multijet)
Maks. Tork	250Nm
Maks. Güç	102BG
Maks. Tork Devri	2000d/d

Silindir içi basınç motorun kızdırma bujisi yerine yerleştirilen Optrand marka bir basınç sensörüyle çalışma boyunca ölçülmüştür. Krank mili çıkışına yerleştirilen bir enkoder yardımıyla ölçülen basınç verisi krank mili açısı cinsinden anlık olarak kaydedilmiştir. NEL Presto Firmasına ait Febris isimli yanma analiz yazılımı ile yanma analizleri yapılmıştır.

Çalışmada benzin, dizel ve pirolitik yağlar olmak üzere üç farklı yakıtın farklı çalışmalarda %20 oranlarından meydana gelmiş karışım yakıtları kullanılmıştır. Literatürde çok farklı oranlarda benzin kullanılan çalışmalar görülmektedir. Bu oranlar incelenerek, motor çalışmasının düzenli olduğu ve yüksek çalışma sorunları bulunmayan oran seçilmiştir. Hazır olarak temin edilen benzin ve pirolitik yağ ayrı ayrı hacimsel olarak %80 dizel ve %20 ikincil yakıt olacak şekilde karıştırılmış ve yakıt tankına doldurulmuştur. Çalışmada kullanılan yakıtların bazı özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Dizel ve benzin yakıtları ticari satış tesislerinden temin edilirken, pirolitik yağ, atık taşıt lastiklerinin bertaraf edildiği bir tesisten temin edilmiştir[16].

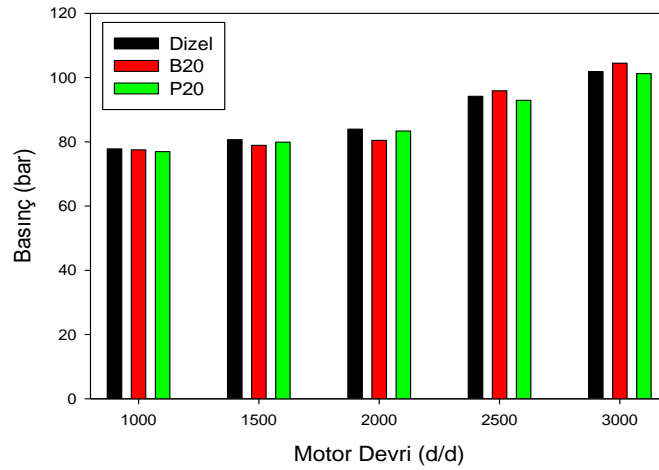
Tablo 2. Çalışmada kullanılan yakıtların özellikleri

Özellikler	Dizel	Benzin	Pirolitik Yağ
Alt Isıl Değeri (Mj/kg)	43.3	44.3	42.767
Yoğunluk (kg/m ³)	830	727	909
Vizkozite (mm ² /sn)	2,9	0.55	5.82
Setan Sayısı	55	0-10	28
Oktan Sayısı	--	96	80-112
Buharlaştırma Gizli Isısı (kJ/kg)	301	314	--

Deneyel çalışma, öncesinde deney düzeneğimizde gerekli tüm bakım ve ayarlar titizlikle yapılmıştır. Deneylerde maksimum 250 Nm torka sahip bir motorda farklı oranlarda dizel yakıt, dizel-benzin ve dizel-pirolitiktan oluşan yakıtlar kullanılmıştır. Deneyel çalışmada maksimum motor yükünün %25’ine (62Nm) karşılık gelen sabit motor yüklerinde saf dizel, dizel yakıtı %20 oranlarında pirolitik yağ ve benzin (P20(%80 dizel + %20 pirolitik yağ) , B20(%80 dizel + %20 benzin)) yakıtlarının kullanıldığı şartlarda ve farklı motor hızlarında (1000- 3000d/d aralığında) test edilecek şekilde deneyel çalışmalar yürütülmüştür.

3. Bulgular ve Tartışma

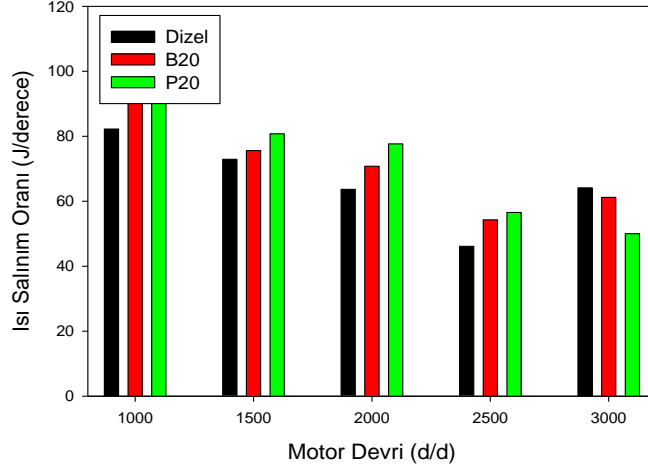
Şekil 2’de %25 motor yükü ve farklı motor hızları altında silindir içi maksimum basınç oluşumu üç farklı yakıt durumu için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Grafikte, dizel yakıtın 2000 d/d kadar daha yüksek silindir içi basınca ulaştığı, motor hızının artışına bağlı olarak ise dizel + benzin karışımı şartların en yüksek basınç değerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun benzinin özellikle yüksek devirlerde oktan sayısının yüksek olmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek oktan sayısına sahip yakıtların tutuşma gecikmesini artırdığı bilinmektedir [17]. Ek olarak çalışmamızda elde edilen sonuçların Fırat ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da olduğu görülmüştür. Bu çalışmaya göre, motor yükü arttıkça benzinin yüksek oktan sayısının tutuşma gecikmesini artırdığı ve buna bağlı olarak ani basınç artışlarına sebep olduğu görülmüştür [18]. Ayrıca, silindir içi maksimum basınç değişiminin özellikle yüksek motor hızlarında, pirolitik yağın viskozitesinin yüksek olduğu ısı değerinin daha düşük olduğu düşünülürse basınç oluşumunun kısmen olumsuz etkilendiği düşünülmektedir. Tüm motor hızları için yapılan çalışmada silindir içi basınçlar bakımından her üç yakıt için önemli bir sapma görülmemiş olup, kullanılan karışımların dizel motorlarda benzer yanma karakteristiği gösterdiği ve alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.



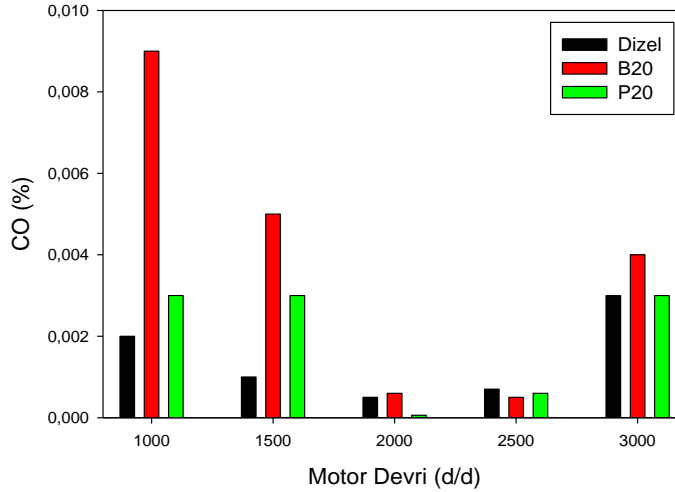
Şekil 2. Silindir içi basınçın motor devrine bağlı değişimi

Isı salınım oranlarının farklı yakıt kullanımı ve motor hızlarına bağlı değişimi sabit motor yükü altında Şekil 3’de görülmektedir. Farklı motor devirlerinde pirolitik yağ ve benzin karışımlarının ısı salınım oranları dizelden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Grafik değerleri incelendiğinde çalışılan maksimum motor hızı hariç tüm motor hızlarında benzer eğilim görülmüştür. Şekilde yakıtların ve motor devirlerinin ısı salınım oranlarına etkisi net olarak izlenmiştir. Karışım yakıtlarının ısı değerine bağlı olarak karışım yakıtları durumunda ısı salınım oranlarını etkilediği görülmüştür. Yüksek motor devrinde ise gerek diğer yakıtların soğutma etkisi gerekse yeterli süre bulunmaması sebebiyle özellikle karışım yakıtların maksimum ısı salınım değerlerinin azaldığı görülmektedir. Tüm sonuçlarda devir sayısı artışına bağlı olarak maksimum ısı salınım değerlerinin düşmesi doğrudan motor hızının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 4’ de %25 sabit yük altında ve farklı motor hızlarında, farklı yakıt kullanımlarına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi gösterilmiştir. CO emisyonunun eksik yanma ürünlerinden olduğu bilinmektedir [19]. Motorun düşük devirlerinde saf dizel yakıtın en düşük CO emisyon değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. 1500 d/d motor hızına kadar farklı yakıt kullanımlarına bağlı olarak CO emisyonu değerleri arasındaki fark daha fazla olduğu görülmüştür. Özellikle B20 ve P20 durumunda kullanılan benzin ve pirolitik yağın buharlaşma ısılarına bağlı olarak silindir için sıcaklıkları azalttıkları ve daha düşük sıcaklıklı yanmaya sebep oldukları bu grafikten çıkarılan önemli sonuçlardır. Bu sebeple CO emisyonlarında özellikle düşük motor hızlarında artış görülmektedir. Bunun yanında motor hızının artışı ile birlikte artan motor sıcaklıkları neticesinde CO emisyonlarında beklenen azalma elde edilmiştir. Fırat ve arkadaşları yaptıkları çalışmada azalan yanma sıcaklık değerinin de CO emisyonunun değişiminde önemli rol oynadığı belirtilmiştir [20].



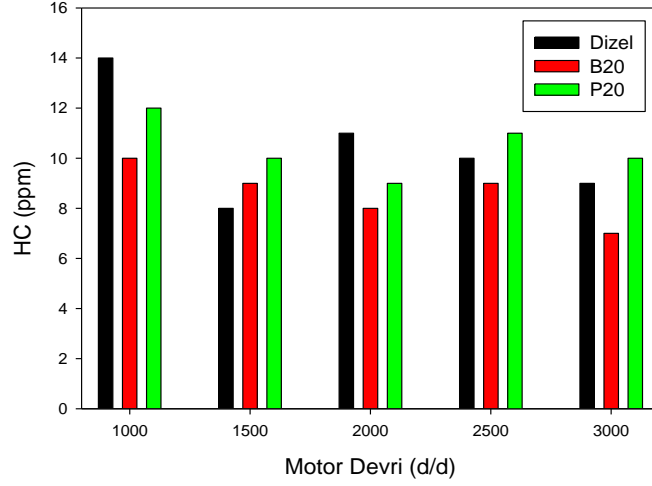
Şekil 3. Motor hızına bağlı ısı salınım oranının değişimi



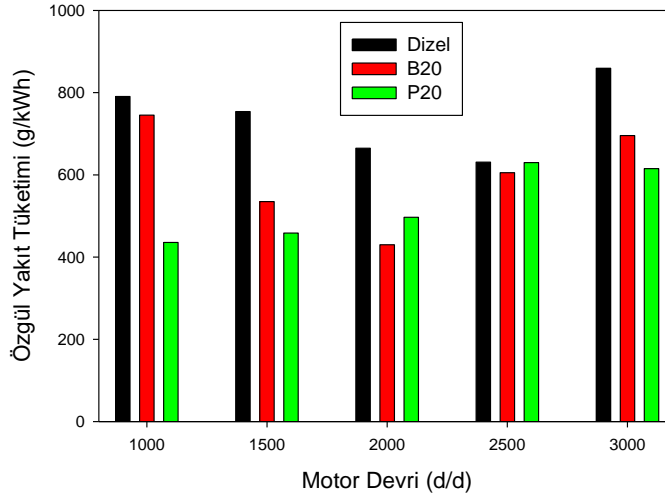
Şekil 4. Motor hızına bağlı CO emisyonunun değişimi

Şekil 5' de %25 yük altında farklı motor devirlerindeki HC emisyonunun değişimi farklı yakıt kullanımlarına bağlı olarak gösterilmiştir. Dizel motorlarda HC emisyonu büyük oranda eksik yanma ve dolgu viskozitesine bağlı olarak oluşan bir emisyon türü olarak bilinmektedir [21,22]. Bununla birlikte, HC emisyonları oluşumu, yakıtın tutuşma gecikmesi, yanma odasında oksijen oranı, yakıtın buharlaşması ve sıcaklıklarının gibi nedenlerden kaynaklanabilir [23]. Deneysel çalışmada B20 karışım yakıtının kullanımında en az HC emisyonu görülmüş olup bunu genel olarak P20 ve saf dizel yakıtları izlemiştir. Motor yük altında iken düşük motor hızlarında HC emisyonlarının arttığı ve yüksek motor hızlarında düştüğü görülmektedir. Bu durum CO emisyonu sonuçları ile uyumakta olup yanmanın iyileşmesi ile HC emisyonlarının azalmasına bir göstergesidir.

Şekil 6'da sabit motor yükü altında farklı devir sayılarına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin değişimi gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi maksimum moment devri olan 2000 d/d'ya kadar özgül yakıt tüketimlerinde dizel ve B20 yakıtları için düşüş görülmüştür. Kullanılan tüm test yakıtları içinde özgül yakıt tüketiminin en düşük değerleri de 2000 d/d elde edilmiş, 2000 d/d'dan sonra özgül yakıt tüketimi değerleri artış göstermiştir. Bu durumun, motor gücü ve momentinin artan mekanik kayıplara bağlı olarak azalmasına bağlı olduğu değerlendirilmiştir. Özgül yakıt tüketimi yakıtın ısı değerine bağlı olarak da değişim göstermektedir. Özgül yakıt tüketimi bakımından değerlendirildiğinde atık taşıt lastiklerinden elde edilen pirolitik yağ kullanımı önemli bir alternatif yakıt olarak görülmektedir.



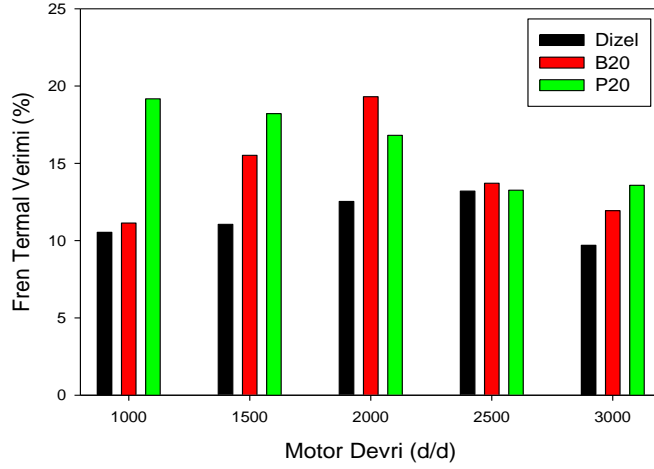
Şekil 5. Motor hızına bağlı HC emisyonunun değişimi



Şekil 6. Özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı değişimi

Şekil 7’de farklı yakıt tipleri ve sabit motor yükü altında farklı devir sayılarına bağlı olarak fren termal veriminin değişimleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde Dizel ve B20 yakıtlarının fren termal verimleri artan motor devriyle 2000 d/d’ye kadar arttığı görülmüştür. P20 yakıtı kullanımında ise verimin daha düşük devirlerde etkin olduğu görülmektedir. En yüksek fren termal verimleri tüm test yakıtları için 2000 d/d elde edilmiştir. P20 yakıtının ise önce yüksek olduğu ve motor hızına bağlı azaldığı görülmüştür.

Genel olarak fren termal verimlerinin saf dizel yakıtı göre karışimli yakıtlardan daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca değişen motor devirleri için P20 yakıtı etkin sonuçlar göstermiştir. Düşük özgül yakıt tüketimine bağlı olarak elde edilen motor performansındaki değişim termal verimleri doğrudan etkilemiş olup, dizel motorlarda alternatif yakıt olarak atık taşıt lastiklerinden elde edilmiş pirolitik yağ kullanımı bakımından umut verici sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 7. Fren termal veriminin değişimi

4. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışma, 4 zamanlı 4 silindirli 1.9 litre hacmine sahip, multijet bir dizel motorda üç farklı yakıt (Saf dizel, %20 karışım oranlarında (P20(%80 dizel + %20 pirolitik yağı) , B20(%80 dizel + %20 benzin), %25 sabit motor yükü ve değişen motor devirlerinde emisyon ve performans etkilerini içermektedir. Çalışmadan elde edilen önemli çıkarımlar aşağıda sunulmuştur.

- Silindir içi basıncında motor devri ile önemli bir değişiklik olmamasına rağmen, karışım yakıtlarında yüksek motor devirlerinde daha yüksek silindir içi basıncına neden olduğu bulunmuştur. Tüm yakıtlar benzer maksimum basınç değerleri sağlamıştır.
- Hem B20 hem de P20 karışımları için farklı motor devirlerinde ısı salınımının dizelden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Maksimum ısı salınım oranlarının motor devrine bağlı olduğu gösterilmiştir.
- CO emisyonunun 2000 d/d'ya kadar saf dizel ve karışımli yakıtların azaldığı 2000 d/d'dan sonra arttığı gözlemlenmiştir. P20 kullanımı CO emisyonlarını indirgeme bakımından B20 yakıtından daha etkin görülmüştür.
- HC emisyonu tüm devirlerde en düşük B20 yakıtı kullanımı durumunda elde edilmiştir. Karışım yakıtlar HC emisyonları bakımından genel olarak sürdürülebilir olarak değerlendirilmiştir.
- Özgül yakıt tüketiminin B20 ve P20 kullanımı durumunda saf dizel yakıtına göre daha az olduğu görülmüştür.
- Fren termal verimi B20 ve P20 yakıtı kullanımdan saf dizel yakıtına kıyasla daha yüksek olarak elde edilirken, P20 kullanımı daha etkin olarak değerlendirilmiştir.

Yürütülen çalışma neticesinde ATL'den elde edilen pirolitik yağın dizel motorlarda kullanımının araştırılması sağlanmış olup, alternatif yakıt olarak kullanımı gösterilmiştir. Çalışmanın farklı karışım oranları motor yükleri altında tekrarı veya farklı yanma stratejilerine uygulanması gelecek çalışmalar için mümkün olabilecektir.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmayı TEKF.17.04 proje numarasıyla destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Ebrahimi M, Jazayeri SA. Effect of hydrogen addition on RCCI combustion of a heavy duty diesel engine fueled with landfill gas and diesel oil. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2019; 44(14): 7607-7615.
- [2] Rao YK, Krishna BB. Modeling diesel engine fueled with tamanu oil-Diesel blend by hybridizing neural network with firefly algorithm. *Renewable Energy*, 2019; 134: 1200-1212.
- [3] Demirbas A, Demirbas MF. Importance of algae oil as a source of biodiesel. *Energy conversion and management*, 2011; 52(1): 163-170.
- [4] Giakoumis EG, Rakopoulos CD, Dimaratos AM, Rakopoulos DC. Exhaust emissions of diesel engines operating under transient conditions with biodiesel fuel blends. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2012;38(5): 691-715.
- [5] Öztöp HF, Varol, Y, Altun, Ş, Fırat M. (2014). Using gasoline-like fuel obtained from waste automobile tires in a spark-ignited engine. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2014; 36(13): 1468-1475.
- [6] İsmailoğlu E, Piroalize Atık Lastik Yağı-Motorin Karışımının Common-Rail Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kocaeli 2021
- [7] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), [Erişim tarihi: 14.03.2020], <http://www.tuik.gov.tr>
- [8] Baškovič UŽ, Seljak T, Katrašnik T. Feasibility analysis of 100% tire pyrolysis oil in a common rail Diesel engine. *Energy*, 2017;137: 980-990.
- [9] European tyre and rubber manufacturers' association (ETRMA). <https://www.etrma.org/>, Yıllık rapor. [Erişim tarihi: 27.01.2020]
- [10] Barlow F W. *Rubber compounding: principles, materials, and techniques*, M. Dekker, New York, 9–55, 1993.
- [11] Kumaravel ST, Murugesan A, Vijayakumar C, Thenmozhi M. Enhancing the fuel properties of tyre oil diesel blends by doping nano additives for green environments. *Journal of Cleaner Production*, 2019;240: 118128.
- [12] Bodisco TA, Rahman SA, Hossain FM, Brown RJ. On-road NOx emissions of a modern commercial light-duty diesel vehicle using a blend of tyre oil and diesel. *Energy Reports*, 2019;5: 349-356.
- [13] Karagöz M, Ağbulut Ü, Sarıdemir S. Waste to energy: Production of waste tire pyrolysis oil and comprehensive analysis of its usability in diesel engines. *Fuel*, 2020;275: 117844.
- [14] Doğan O, Çelik MB, Özdalyan B. The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 2012; 95: 340-346.
- [15] Mani M, Nagarajan G, Sampath S. and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Energy*,2011; 36(1): 212-219.
- [16] Uçar M, Dizel motorlarda atık taşı lastiklerinden elde edilen pirolitik yağın yanma ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,2017.
- [17] Chen G, Shen Y, Zhang Q, Yao M, Zheng Z, Liu H. Experimental study on combustion and emission characteristics of a diesel engine fueled with 2, 5-dimethylfuran–diesel, n-butanol–diesel and gasoline–diesel blends. *Energy*,2013; 54: 333-342.
- [18] Fırat M, Altun S, Okcu, M, Varol Y. of the effect of gasoline premixed ratio and engine load on the combustion and exhaust emission characteristics of an RCCI Engine. *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 2022;37(1): 541-554.
- [19] Devarajan Y, Jayabal R, Munuswamy DB, Ganesan S, Varuvel EG. Biofuel from leather waste fat to lower diesel engine emissions: Valuable solution for lowering fossil fuel usage and perception on waste management. *Process Safety and Environmental Protection*, 2022;165: 374-379.
- [20] Fırat M, Altun Ş, Okcu M, Varol Y. Comparison of ethanol/diesel fuel dual direct injection (DI2) strategy with reactivity controlled compression ignition (RCCI) in a diesel research engine. *Energy*, 2022; 255: 124556.
- [21] Imtenan S, Varman M, Masjuki HH, Kalam MA, Sajjad H, Arbab MI, Fattah IR. Impact of low temperature combustion attaining strategies on diesel engine emissions for diesel and biodiesels: A review. *Energy Conversion and Management*, 2014;80: 329-356.
- [22] Yıldız M, Çeper BA. A comparative study on gasoline/diesel-fueled RCCI combustion at different premixed ratios and high-EGR diesel CI combustion in an IC engine under low load conditions. *Fuel*, 2022;324: 124596.
- [23] Okcu, M, Varol Y, Altun Ş, Fırat M. Effects of isopropanol-butanol-ethanol (IBE) on combustion characteristics of a RCCI engine fueled by biodiesel fuel. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2021;47: 101443.