

## Pirolitik Yakıtın Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi

Halil İbrahim Sönmez<sup>1\*</sup> ve Aykut Safa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği / Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği / Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye

\*([h.ibrahimsonmez@gmail.com](mailto:h.ibrahimsonmez@gmail.com)) Başlıca yazarın mail adresi

**Özet** – Her geçen gün artan enerji ihtiyacıyla beraber enerji kaynaklarının azalması, araştırmaların alternatif enerji kaynaklarına ve atıktan enerji dönüşümüne yönelmesine yol açmıştır. Çevresel açıdan kirliliğin önlenmesine yönelik kısıtlamalarda günden güne artmaktadır. Bu kapsamda araştırmacıların atık lastiklerin dönüşümü ve enerji talebini karşılamaya yönelik çalışmaları artmaktadır. Bu çalışmada da atık lastiklerden elde edilmiş pirolitik yakıtın, tek silindirli bir dizel motorda, %10 ve %20 oranlarında oluşturulan karışımlarıyla, motor performansı ve emisyon sonuçları değerlendirilmiştir. Maksimum gücün elde edildiği 2800 d/d motor hızında gerçekleştirilen deneylerde, dört farklı motor yükünde, silindir içi basınçlar, özgül yakıt sarfiyatı, termik verim, NO<sub>x</sub>, CO ve HC emisyon verileri belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre pirolitik yakıtın tutuşma gecikmesinin artmasına ve P20 yakıtının en yüksek CO ve HC emisyonlarına neden olduğu görülmüştür. Tam yük koşullarının emisyonları kötüleştirdiği ancak özgül yakıt sarfiyatını düşürdüğü belirlenmiştir.

*Anahtar Kelimeler – Yakıtlar ve Yanma, Pirolitik Yakıt, Atık Lastik Yağı, Emisyon, Dizel Motor*

### I. GİRİŞ

Dünya nüfusunun günden güne artışı ile enerji talebinin artması kaçınılmazdır. Ancak bu talebin bir kısmına karşılık olabilecek fosil yakıtlar ise günden güne azalmakla beraber çevresel açıdan kısıtlamalarla da karşı karşıyadır [1]. Bu durum özellikle son yıllarda araştırmacıların dizel ve benzin gibi geleneksel yakıtlara alternatif olabilecek yakıtlara yönelimine yol açmıştır [2]. Atıktan enerji elde etme çalışmaları bu yönelimler arasında yer almakta ve atıklardan kaynaklı kirliliği önleme yönüyle de bir gereklilik haline gelmiştir [3].

Hacimsel olarak kapladıkları alan, doğada çözünme süresi, atıkların arasında oluşan çevreye zararlı mikroorganizmalar atık lastiklerin bertaraf edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bunun yanında atık lastiklerin pirolizi sonucu elde edilen karbon siyahı kauçuk endüstrisinde ve pirolitik yakıt ise dizel yakıt alternatif oluşturabilecek enerji tesislerinde kullanılmaktadır. Literatürde ise pirolitik yakıt kullanılabilirliğinin test edildiği birçok çalışma mevcuttur. Murugan vd. dizel yakıtı pirolitik yakıt ilave ederek tek silindirli, dört zamanlı ve hava

soğutmalı bir motorda performans, emisyon ve yanma karakterizasyonunu incelemişlerdir. Saf dizel yakıt ile %80 ve %90 gibi oldukça yüksek oranlarda pirolitik yakıt içeren yakıt kullandıkları çalışmalarında pirolitik yakıtın saf dizele göre ısı verimi %3 oranında düşürürken NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarında iyileşme sağlamışlardır [4]. Ayrıca pirolitik yakıtın enjektörde kirliliğe neden olduğunu ancak aşınma görülmediğini belirlemişlerdir [5]. Nabi vd. dizel, atık lastik yağı ve biyodizel yakıt karışımlarından oluşan yakıtları bir dizel motorda test etmiş ve yakıt karakteristiklerinin saf dizele oldukça yakın olduklarını tespit etmişlerdir [6]. Diğer bir çok çalışmada olduğu gibi deneylerde atık lastik yağı oranını % 30 ile sınırlandırmaları, bu sınırdan yüksek değerlerde motor performansı ve emisyonlarının olumsuz etkilenmesi neden olarak belirtilmiştir [7]–[9]. Buna karşın piroliz esnasında sıcaklığı arttırmak gibi müdahalelerle pirolitik yakıtın performans ve emisyonları iyileştirebileceği de görülmektedir [10]. Kumar ve Prabu tek silindirli deney motorunda %5, 15, 25, 50 ve %75 oranlarında pirolitik yakıtı dizel ile karışım oluşturarak

gerçekleştirdikleri deneylerde yüksek alt ısı değerine sahip pirolitik ile yüksek performans verileri elde etmişlerdir. Ayrıca CO, HC ve NOx emisyonlarını pirolitik yakıt ile düşürmüşlerdir [11].

Pirolitik yakıtın setan sayısının düşük olması tutuşma gecikmesini artırarak yanma kabiliyetini ve motor performansını düşürmüştür. Bu durumu önlemeye yönelik bazı çalışmalarda yakıt karışımlarına nanopartikül, katalizör ve bazı setan arttırıcılar ilave edilmiştir. Sharma vd. 4 zamanlı, tek silindri ve direk püskürtmeli bir dizel motorda, bitkisel bazlı metil ester biyodizele %10, 20 ve %30 oranlarında pirolitik yakıtın yanında karbon nanotübü ve CeO<sub>2</sub> nanopartikülü ilave ederek saf dizele göre %20 pirolitik kullanımında termik verimin %30,26 düştüğünü ancak nano katkıları termik verimle beraber yakıt sarfiyatını da iyileştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre saf dizele göre pirolitik yakıt ile yakıt tüketimi %34,23 artarken Nano katkılarıyla bu oran %10,18 artmıştır. Bunun yanında pirolitik yakıtın NOx emisyonlarını artırırken nanopartikül ilavesi ile artış miktarı %12,59 azalmıştır. Ayrıca Pirolitik yakıt katkısıyla, HC emisyonlarını %4 oranında iyileştirmişlerdir [12]. Yine pirolitik yakıtı dietil eter ilavesinin tutuşma gecikmesini düşürdüğünü ve dolayısıyla performansa olumlu katkı yaptığını belirleyen çalışmalar mevcuttur [13]. Pirolitik yakıtın saf dizel dışında atık kızartma yağları ve fuzel yağları gibi çeşitli alternatiflerle beraber kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır [14], [15]. Böylelikle pirolitik yakıtın kullanım koşulları genişlemekte ve dizele alternatif oluşturabilecek iyileşmeler görülmektedir.

Fosil yakıtların azalması ve buna bağlı olarak petrol fiyatlarının artması alternatif araştırmalarını yoğunlaştırmıştır. Gelişen dünyada kirliliğin artmasını önleme çalışmaları da dizel motor kaynaklı emisyonların düşürülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmada atık lastiklerin pirolizinden elde edilmiş pirolitik yakıt dizel yakıt ile belli oranlarda karışım oluşturularak bazı motor testleri yapılmıştır. Bu deneylerde performans ve emisyon verileri alınarak değerlendirmeler yapılmış olup pirolitik yakıt kullanımının atık lastik kirliliğini önleme ve kazanılan yakıttan enerji elde edebilme özelliği incelenmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve

Denizcilik Fakültesi, Motor Araştırmaları Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine ait fotoğraf Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği

### Dizel motor Özellikleri

Dizel motorlar, dayanım kabiliyetleri, alternatif yakıtların kullanımında herhangi bir modifikasyon gerektirmemeleri ve yüksek termik verimleri sayesinde günümüzde geniş bir alanda tercih edilmektedirler [16].

Deney düzeneği, motor performans ve emisyon verilerini ölçebilmek amacıyla çeşitli ekipmanlarla kurulmuştur. Bu sayede, gerekli olan basınç, sıcaklık, yakıt tüketimi ve farklı emisyon verileri belirlenmiştir. Deneyler esnasında sıcaklık ve nem miktarının sabit ya da ihmal edilebilir düzeyde değişkenlik gösterebileceği şartlar sağlanmıştır. Veri alımı başlamadan önce gerekli bakım ve onarım yapıldıktan sonra motorun uygun rejime girmesi ve verilerin değişkenlik göstermediği duruma kadar yeterince çalıştırılmıştır.

Deneylerde ANTOR marka, 3 LD 510 model dizel motor kullanılmıştır. Motora ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir [17].

Tablo 1. Deney motorunun özellikleri

Motor marka ve modeli	ANTOR 3 LD 510
Püskürtme	Direk
Srok hacmi (cm <sup>3</sup> )	510
Strok uzunluğu (mm)	90
Piston çapı (mm)	85
Sıkıştırma Oranı	1:17,5

Motorun yük ile yüklenmesi Kemsan marka dinamometre ve Esit marka S tipi yük hücresi ile sağlanmıştır. Yakıt tüketiminin belirlenmesinde Krohne Optimas marka debi ölçer kullanılmıştır.

Yakıt tankı ile enjektör arasında bulunan debimetre %0,1 hassasiyetle ölçüm yapabilmeye kapasitesine sahiptir. Tekon marka TT-23 model K tipi termokupullar ile motor soğutma suyu sıcaklıkları ölçülmüştür. Motor hızı Bedok marka devir sensörü ile ayarlanıp, silindir içi basınçlar AVL marka QC34D model ve 0-250 bar arasında çalışabilen basınç sensörü ile belirlenmiştir. Bu veriler AVL indicom v2.4 programı ile bilgisayara aktarılmıştır. Emisyon değerlerini ölçebilmek için ise egzoz hattı üzerinden MRU Vario Plus marka egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Emisyon cihazına ait teknik özellikler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Emisyon cihazına ait özellikler

Gazlar	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0-4000 (ppm)	10 (ppm)
HC	0-10000 (ppm)	0,03 (%)
NO <sub>2</sub>	0-200 (ppm)	5 (ppm)
NO	0-1000 (ppm)	5 (ppm)

### Yakıt Özellikleri

Deneylerde saf dizel yakıtta %10 (P10) ve %20 (P20) oranlarında pirolitik yakıt ilavesiyle elde edilen yakıt karışımları test edilmiştir. Saf dizel yakıtı referans olarak kabul edilen çalışmada yakıtlara ait özellikler Tablo 3’te gösterilmiştir. Anlaşılabileceği üzere pirolitik yakıtın alt ısıl değeri dışında diğer özellikleri dizel yakıtına göre daha yüksektir.

Tablo 3. Yakıt Özellikleri

Özellik	Dizel	Pirolitik
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	0,8316	0,9247
Viskozite @50 °C(mm <sup>2</sup> /s)	2,44	2,80
Toplam kirlilik (mg/kg)	13,29	63,49
Alt ısıl değeri (Mj/kg)	42,31	41,3

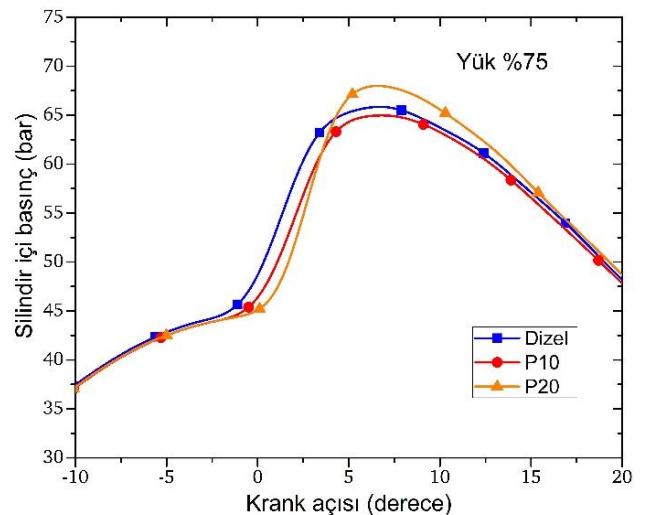
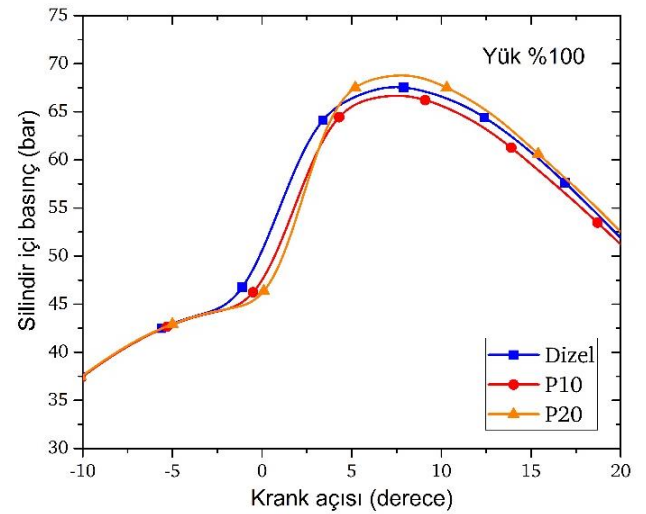
### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneyler maksimum gücün elde edildiği 2800 d/d motor hızında ve 2,3, 4,6, 6,9 ve 9,2 kg olmak üzere 4 farklı motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Motor performans ve emisyonlarının değerlendirilmesinde basınç, yakıt tüketimi ve termal verim değerleri önem arz etmektedir.

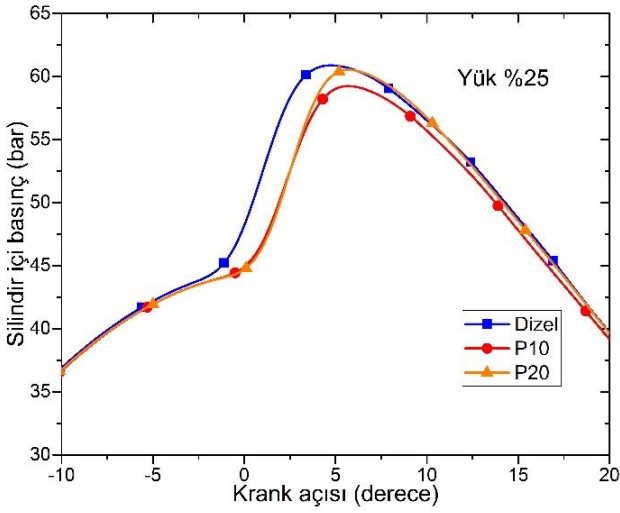
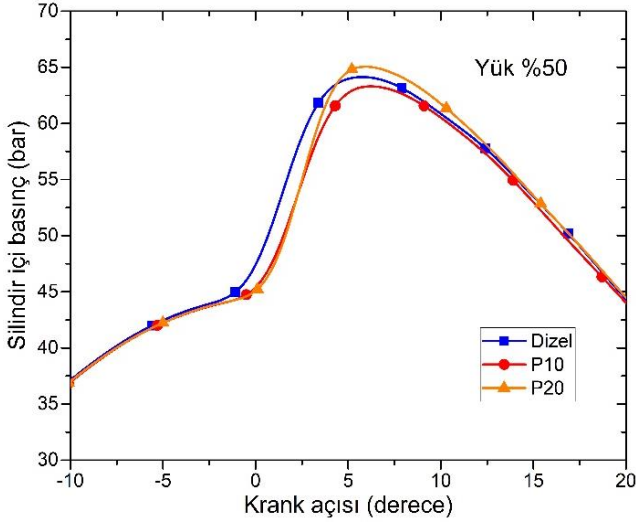
#### Silindir İçi Basınç

Şekil 2’de %100, %75, %50 ve %25 olmak üzere farklı motor yükleri için krank açısına bağlı silindir içi basınç değişimleri gösterilmiştir. Yanma

başlangıcı ve devamında oluşan basınç değişimleri yanma karakteristiklerini değerlendirme açısından önemli bir parametredir [18]. Dizel yakıtına göre düşük setan sayısına sahip atık lastik yakıt miktarının artmasıyla tutuşma gecikmesinin arttığını göstermiştir. Maksimum basıncın elde edildiği açısı değeri, ısı enerjisinin mekanik enerjiye verimli bir şekilde dönüştürülmesi için önemlidir. Dizel motorlarda, 5-10° krank açısı civarında maksimum basınçlara ulaşılır. Maksimum basınç beklenildiği gibi P20 yakıtı için tam yükte 7,8° de 68,77 bar olarak ölçülmüştür. Pirolitik yakıt ilavesiyle tutuşma gecikmesi, artmış ve buna bağlı olarak maksimum basınç artmıştır. Bu durumun nedeni pirolitik yakıtın dizel yakıtına göre daha düşük setan sayısına sahip olmasıdır. [19]. Yük miktarı arttıkça sırasıyla P20 karışımı için 60,53, 65,05, 67,98 ve 68,77 bar değerleri görülmüştür. Silindir içerisine gönderilen yakıt miktarının artmasına bağlı olarak yükselen sıcaklıklar aynı zamanda maksimum basınçların artmasına da yol açmıştır [20], [21].





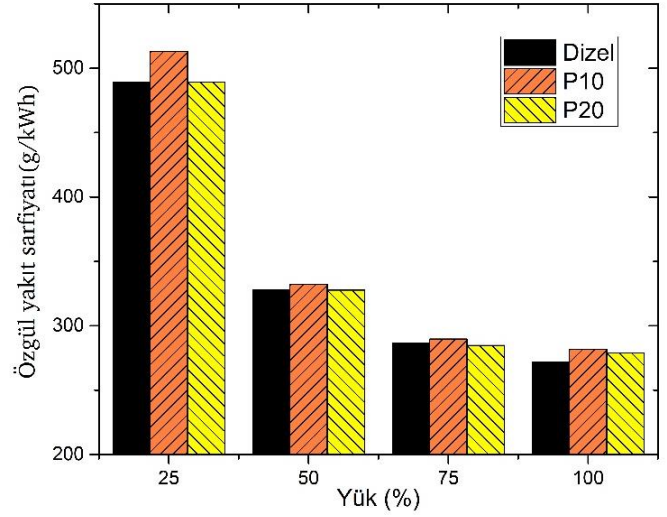


Şekil 2. Krank açısına bağlı silindir içi basınç değişimleri

### Özgül Yakıt Sarfıyatı

Şekil 3’ te farklı yük değişimlerine bağlı dizel ve pirolitik yakıt karışımlarına ait özgül yakıt sarfiyatları yer almaktadır. Aynı motor yükleme koşullarında yakıt tüketimleri birbirine oldukça yakındır. Ancak yük miktarı arttıkça tüm karışımlar için ÖYS değerlerinin azaldığı belirgin bir şekilde görülmektedir. Bunun nedeni düşük yüklerde daha düşük silindir içi sıcaklıklar olabilir [22]. Yüksek motor yükü için pirolitik ve dizel yakıtı ait özgül yakıt tüketimlerinin oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. En düşük ÖYS değerleri %100 yükte, dizel, P10 ve P20 yakıt karışımları için sırasıyla 271.73, 281.73 ve 278.76g/kWh olarak belirlenmiştir. Ayrıca yüksek viskozitesi ve buna bağlı olarak aromatik yapısı bu artışa da neden olarak gösterilebilir [23]. Bununla beraber pirolitik yakıtın dizel yakıtı göre alt ısıl değerinin daha düşük olması ÖYS değerlerinin yüksek olmasının

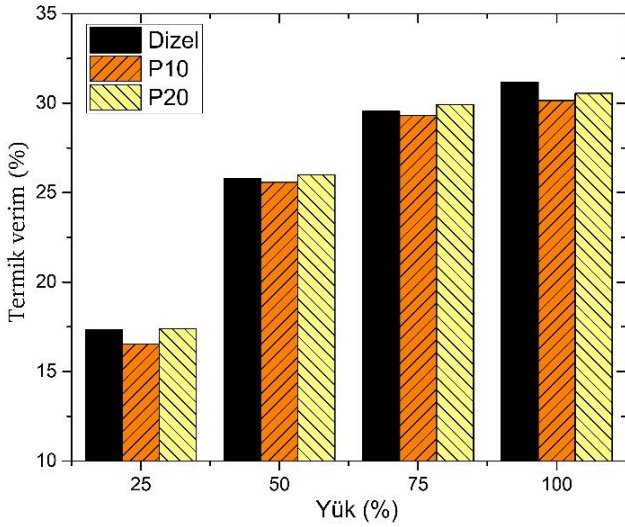
temel nedenidir. Dizel yakıtın alt ısıl değerinin yüksek olması ve yapılan deneylerde diğer karışımların aynı güç değerine ulaşabilmek için daha fazla yakıt tüketimine neden olduğu bilinmektedir. [24].



Şekil 3. Motor yüküne bağlı özgül yakıt sarfiyatları değişimi

### Termik Verim

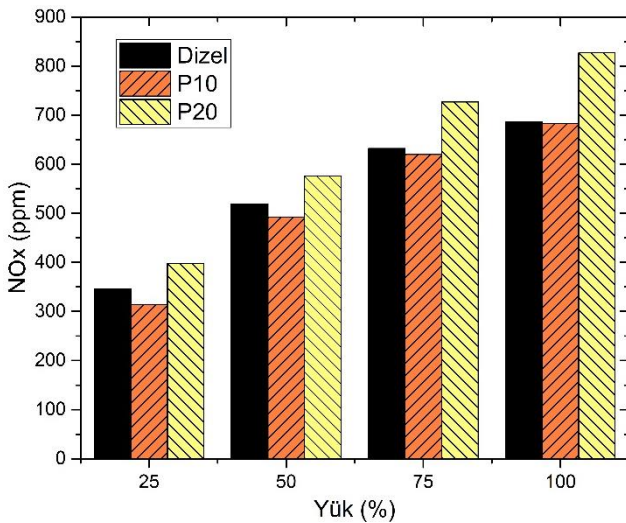
Şekil 4’ te motor yüküne bağlı termik verim değişimlerine yer verilmiştir. Termik verimin motor yüküyle beraber arttığı görülmektedir. Tam yükte maksimum termik verimler edilmiştir. Saf dizel, P10 ve P20 karışımları için %25 motor yükünde termik verim değerleri sırasıyla %17.33, %16.55 ve %17.40 iken motor yükü %100 e çıktığında bu değerler 31.16, 30.14 ve %30.71 olarak elde edilmiştir. Silindir içi sıcaklıklar tam yükte maksimum değerlere çıkmakta ve ısı kayıplarının azalması termik verimin artmasına yol açmaktadır [25]. Dizel yakıtı oranla yüksek viskoziteye sahip pirolitik karışımlarının püskürtme sonunda damlacık çaplarının daha yüksek olacağı ve yanma eğiliminin dizele göre daha zayıf olması termik veriminin düşüşüne neden olacaktır [26].



Şekil 4. Termik verimin yüke bağlı değişimi

### NOx emisyonları

Yanma sonucu oluşan Azot oksit emisyonlarının oluşumunu yakıt içerisindeki oksijen miktarı, silindir içi sıcaklıklar ve yanma esnasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon süresi etkilemektedir [27]. Şekil 5' te motor yüküne bağlı NOx değişimleri gösterilmiştir. En yüksek NOx emisyonları P20 karışımı için %25, 50, 75 ve tam yük için sırasıyla 398, 576, 727 ve 827 ppm değerleri tespit edilmiştir. Motor yükü arttıkça yanma odasına gönderilen yakıt miktarı silindir içi sıcaklarının artmasına ve NOx emisyonunun artmasına neden olmuştur [28].

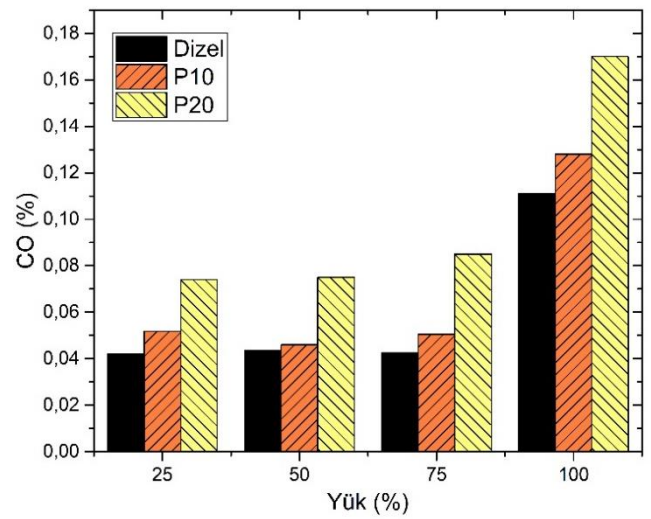


Şekil 5. NOx emisyonlarının yüke bağlı değişimi

### CO Emisyonları

CO egzoz emisyonları, eksik yanma nedeniyle kaybedilen kimyasal enerji anlamına gelir. Bilindiği üzere yakıt özellikleri, yanma odası tasarımı, denklik oranı, kütleli debi, enjeksiyon başlama

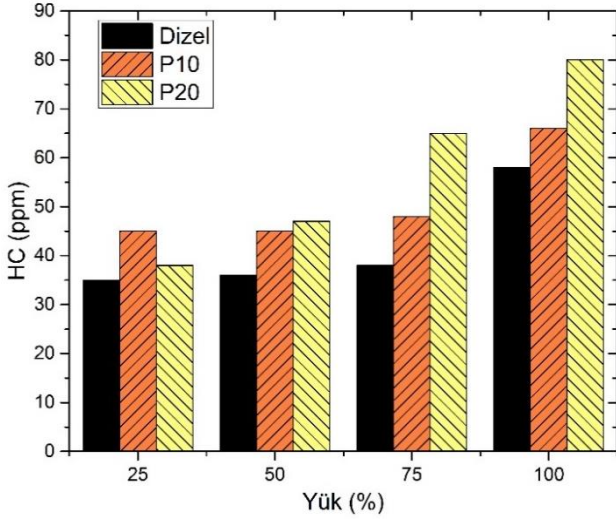
zamanı, motor yükü ve diğer parametreler CO emisyonunun oluşumunu etkileyebilmektedir [29]. Şekil 6' da 2800 d/d motor hızında farklı yük ve farklı yakıtlara ait karbon monoksit emisyonlarının değişimine yer verilmiştir. Maksimum CO beklendiği üzere tam yük koşullarında saf dizel, P10 ve P20 karışımları için sırasıyla %0,111, %0,128 ve %0,147 değerleri ölçülmüştür. Bütün yüklerde pirolitik yakıt ilavesinin CO emisyonunu arttırdığı görülmektedir. Yüksek viskozitesi ve düşük setan sayısına bağlı tutuşma gecikmesinin artması referans yakıt olan saf dizele göre pirolitik yakıtın CO emisyonunu kötüleştirdiği düşünülmektedir [8].



Şekil 6. CO emisyonun değişimi

### HC Emisyonları

Yanma odasında zengin karışım oluşmasına bağlı yakıtın yeterince hava ile reaksiyona girememesi nedeniyle hidrokarbon emisyonları oluşmaktadır. Şekil 7' de HC emisyonların değişimi gösterilmiştir. Tam yükte en yüksek HC verilerinin elde edildiği açıkça görülmektedir. İkili yakıt karışımlarının tam yükte silindir içi sıcaklıkları arttırdığı ve yeterince oksidasyon olamadığı bilinmektedir. Ayrıca pirolitik yakıtın düşük alt ısıl değeri ve yüksek viskozitesi HC emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Yük miktarının artmasıyla silindir içerisine gönderilen yakıt miktarının artması ve buna bağlı olarak HC emisyonunun artması bu durumu açıklamaktadır [30].



Şekil 7. HC emisyonunun değişim

#### IV. SONUÇLAR

Pirolitik yakıtın pirolizi esnasında yapılacak müdahalelerle yakıtın emisyon sonuçlarının iyileştirilebileceği literatürde vurgulanmıştır. Aynı zamanda setan sayısının düşük olmasından dolayı yanma kabiliyetinin zayıf olduğu ancak bazı setan arttırıcılar, katalizör ve nanopartiküller ile iyileştirilebileceği görülmüştür.

Bu çalışmada;

P20 yakıt karışımının pirolitik yakıtının düşük alt ısıl değerinden dolayı yakıt tüketimini artırırken termik verimi düşürdüğü belirlenmiştir. Benzer şekilde yüksek viskozite, yoğunluk ve aromatik yapısı nedeniyle pirolitik yakıtın emisyonları arttırdığı görülmüştür. Tam yük koşullarında en yüksek NOx, CO ve HC emisyonları tespit edilmiştir.

Atık lastiklerin pirolizi işlemiyle elde edilen pirolitik yakıtın performans ve emisyon açısından değerlendirildiği çalışmada yakıt tüketimi ve termik verim değerlerinin referans yakıt olarak alınan saf dizele yakın sonuçlar vermesi umut vericidir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında kullanılan yakıtların tedarikinde yardımlarını esirgemeyen Era Çevre Teknolojileri A.Ş. ye teşekkürlerimizi sunarız.

#### KAYNAKLAR

[1] J. Lin, G. Gaustad, and T. A. Trabold, "Profit and policy implications of producing biodiesel-ethanol-diesel fuel blends to specification," *Applied Energy*, vol. 104, pp. 936–944, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.11.049.

[2] S. Vellaiyan, "Enhancement in combustion, performance, and emission characteristics of a biodiesel-fueled diesel

engine by using water emulsion and nanoadditive," *Renewable Energy*, vol. 145, pp. 2108–2120, 2020.

[3] U. Rajak and T. N. Verma, "A comparative analysis of engine characteristics from various biodiesels: Numerical study," *Energy Conversion and Management*, vol. 180, pp. 904–923, 2019.

[4] S. Murugan, M. C. Ramaswamy, and G. Nagarajan, "Performance, emission and combustion studies of a DI diesel engine using Distilled Tyre pyrolysis oil-diesel blends," *Fuel Processing Technology*, vol. 89, no. 2, pp. 152–159, Feb. 2008, doi: 10.1016/j.fuproc.2007.08.005.

[5] S. Murugan, M. C. Ramaswamy, and G. Nagarajan, "Assessment of pyrolysis oil as an energy source for diesel engines," *Fuel Processing Technology*, vol. 90, no. 1, pp. 67–74, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.fuproc.2008.07.017.

[6] Md. N. Nabi, W. K. Hussam, H. M. M. Afroz, A. B. Rashid, J. Islam, and A. N. M. M. I. Mukut, "Investigation of engine performance, combustion, and emissions using waste tire Oil-Diesel-Glycine max biodiesel blends in a diesel engine," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 39, p. 102435, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.102435.

[7] A. B. Koc and M. Abdullah, "Performance of a 4-cylinder diesel engine running on tire oil-biodiesel-diesel blend," *Fuel Processing Technology*, vol. 118, pp. 264–269, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.fuproc.2013.09.013.

[8] S. Karthikeyan, A. Prathima, M. Periyasamy, and G. Mahendran, "Assessment of the use of Codium Decorticafum [Green seaweed] biodiesel and pyrolytic waste tires oil blends in CI engine," *Materials Today: Proceedings*, vol. 33, pp. 4224–4227, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.235.

[9] F. Polat, "Experimental evaluation of the impacts of diesel-nanoparticles-waste tire pyrolysis oil ternary blends on the combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 160, pp. 847–858, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.psep.2022.03.003.

[10] W.-C. Wang, C.-J. Bai, C.-T. Lin, and S. Prakash, "Alternative fuel produced from thermal pyrolysis of waste tires and its use in a DI diesel engine," *Applied Thermal Engineering*, vol. 93, pp. 330–338, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.09.056.

[11] R. S. Kumar and M. Prabu, "Experimental Investigation of A Di Diesel Engine Using Tyre Pyrolysis Oil-Diesel Blends as A Biodiesel," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 5, no. 2, 2014.

[12] S. K. Sharma, R. K. Das, and A. Sharma, "Improvement in the performance and emission characteristics of diesel engine fueled with jatropa methyl ester and tyre pyrolysis oil by addition of nano additives," *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 38, no. 7, pp. 1907–1920, Oct. 2016, doi: 10.1007/s40430-015-0454-x.

[13] S. Hariharan, S. Murugan, and G. Nagarajan, "Effect of diethyl ether on Tyre pyrolysis oil fueled diesel engine," *Fuel*, vol. 104, pp. 109–115, Feb. 2013, doi: 10.1016/j.fuel.2012.08.041.

[14] Ü. Ağbulut, M. K. Yeşilyurt, and S. Sarıdemir, "Wastes to energy: Improving the poor properties of waste tire

- pyrolysis oil with waste cooking oil methyl ester and waste fusel alcohol – A detailed assessment on the combustion, emission, and performance characteristics of a CI engine,” *Energy*, vol. 222, p. 119942, May 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.119942.
- [15] H. İ. Sönmez, F. Okumuş, C. Kaya, Z. Aydın, A. Safa, and G. Kökkülünk, “Waste to energy conversion: Pyrolytic oil and biodiesel as a renewable fuel blends on diesel engine combustion, performance, and emissions,” *International Journal of Green Energy*, pp. 1–12, Oct. 2021, doi: 10.1080/15435075.2021.1996367.
- [16] F. Okumuş, G. Kökkülünk, C. Kaya, and Z. Aydın, “Thermodynamic Assessment of Water Diesel Emulsified Fuel Usage in a Single Cylinder Diesel Engine,” *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 0, no. 0, pp. 1–14, Apr. 2021, doi: 10.1080/15567036.2021.1900458.
- [17] “Anadolu Motor,” *Anadolu Motor*. <https://www.anadolumotor.com> (accessed Jun. 01, 2022).
- [18] M. Akcay and S. Ozer, “Experimental investigation on performance and emission characteristics of a CI diesel engine fueled with fusel oil/diesel fuel blends,” *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, pp. 1–16, 2019.
- [19] N. Krishania, U. Rajak, T. Nath Verma, A. Kumar Birru, and A. Pugazhendhi, “Effect of microalgae, tyre pyrolysis oil and Jatropa biodiesel enriched with diesel fuel on performance and emission characteristics of CI engine,” *Fuel*, vol. 278, p. 118252, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.118252.
- [20] I. Kalargaris, G. Tian, and S. Gu, “Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil,” *Fuel Processing Technology*, vol. 157, pp. 108–115, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.fuproc.2016.11.016.
- [21] D. Balasubramanian, I. Papla Venugopal, and K. Viswanathan, “Characteristics Investigation on Di Diesel Engine with Nano-Particles as an Additive in Lemon Grass Oil,” presented at the International Conference on Advances in Design, Materials, Manufacturing and Surface Engineering for Mobility, Oct. 2019, pp. 2019-28–0081. doi: 10.4271/2019-28-0081.
- [22] E. Cecrle *et al.*, “Investigation of the Effects of Biodiesel Feedstock on the Performance and Emissions of a Single-Cylinder Diesel Engine,” *Energy Fuels*, vol. 26, no. 4, pp. 2331–2341, Apr. 2012, doi: 10.1021/ef2017557.
- [23] D. Subramaniam, A. Murugesan, A. Avinash, and A. Kumaravel, “Bio-diesel production and its engine characteristics—An expatiated view,” *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 22, pp. 361–370, 2013.
- [24] M. Puškár, J. Živčák, Š. Král, M. Kopas, and M. Lavčák, “Analysis of Biodiesel Influence on Unregulated Gaseous Emissions of Diesel Motor Vehicles,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 10, p. 4646, May 2021, doi: 10.3390/app11104646.
- [25] A. Dhar and A. K. Agarwal, “Performance, emissions and combustion characteristics of Karanja biodiesel in a transportation engine,” *Fuel*, vol. 119, pp. 70–80, 2014.
- [26] N. Banapurmath, P. Tewari, and R. Hosmath, “Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operated on Honge, Jatropa and sesame oil methyl esters,” *Renewable energy*, vol. 33, no. 9, pp. 1982–1988, 2008.
- [27] İ. Sezer, “Dizel Motorlarda Dimetil Eter Kullanımının Nox Emisyonlarına Etkileri Üzerine Bir Derleme Çalışması,” *KSU J. Eng. Sci.*, vol. 25, no. 3, pp. 381–398, Sep. 2022, doi: 10.17780/ksujes.1120494.
- [28] S. M. Auti and W. S. Rathod, “Effect of hybrid blends of raw tyre pyrolysis oil, karanja biodiesel and diesel fuel on single cylinder four stokes diesel engine,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 2214–2220, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.04.007.
- [29] H. Koten, “Hydrogen effects on the diesel engine performance and emissions,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 22, pp. 10511–10519, May 2018, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.04.146.
- [30] K. Srihar, K. Arun Balasubramanian, V. Pavendan, and B. Ashok Kumar, “Experimental investigations on mixing of two biodiesels blended with diesel as alternative fuel for diesel engines,” *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 29, no. 1, pp. 50–56, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.jksues.2014.04.008.