

	<b>MÜHENDİSLİKTE YAKITLAR, YANGIN VE YANMA DERGİSİ</b> <i>FUELS, FIRE AND COMBUSTION IN ENGINEERING JOURNAL</i>		
	eISSN: 2564-6435		
	Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/fce">http://dergipark.gov.tr/fce</a>		
	<u>Geliş/Received</u> 11/11/2020		
	<u>Kabul/Accepted</u> 28/12/2020		<u>Doi</u>

## Pirolize Edilmiş Lastik Yağı Kullanılarak Elde Edilen Yakıtın Tek Silindirli Dizel Motor Performans ve Emisyonlara Etkisi

Süleyman ŞİMŞEK<sup>1</sup>

### ÖZ

Gerçekleştirilen deneysel uygulamada pirolize edilmiş lastik yağının dizel motorlar için alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Bu amaçla, pirolize lastik yağı (PLY) ve euro dizel (ED) kullanılmıştır. Bu çalışmada tek silindirli bir dizel motorda; ED ve ED-PLY karışımlarının performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Testler; tek silindirli bir dizel motorda ED100 (standart dizel yakıtı), EPLY10 (%10 PLY+%90 ED) ve EPLY20 yakıtları ile değişik yük (500, 750, 1000, 1250, 1500 W) ve sabit motor hızında (3600 d/d) gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler ile motor performansı ve egzoz emisyon değerleri grafiksel olarak çıkarılmıştır. Ayrıca, karışım yakıtlarından elde edilen test sonuçları dizel yakıtından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deney sonuçlarına göre, motor yakıt sisteminde herhangi bir değişikliğe gidilmeksizin ED içerisine %20 PLY ilavesinin egzoz emisyonu ve özgül yakıt tüketimini artırdığı tespit edilmiştir. EPLY yakıtı ile çalışan motorda, egzoz emisyonlarında is, hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksitin (CO) azaldığı, azot oksitinin (NO<sub>x</sub>) arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dizel yakıt, egzoz emisyonu, motor performans, pirolize edilmiş lastik yağı.

### INFLUENCE OF THE FUEL OBTAINED BY USING PYROLYZED RUBBER OIL ON THE PERFORMANCE AND EMISSION OF SINGLE-CYLINDER DIESEL ENGINE

It was evaluated the usability of pyrolyzed rubber oil for diesel engines as an alternative fuel in the experimental practice. Accordingly, pyrolyzed rubber oil (PLY) and euro diesel (ED) were used. In this study, the influence of ED and ED-PLY mix on performance and emission for a single-cylinder diesel engine was experimentally examined. The tests were done for a single-cylinder diesel engine by using ED100 (standard diesel fuel), EPLYO10 (10% PLY + 90%ED) and EPLY20 fuels in different loads (500, 750, 1000, 1250, 1500 W) and constant engine speed (3600 rpm). The results of the experiments, and engine performance and exhaust emission values were illustrated in graphics. Besides, test results obtained from the mixed fuels were illustrated as in comparison with diesel fuel. Nothing was changed in the engine fuel system, and it was observed that adding 20% PLY to ED increased the exhaust emission and specific fuel consumption. It was observed that hydrocarbon (HC) and carbon monoxide (CO) decreased, and nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) increased in the engine running with EPLY fuel.

**Keywords:** Diesel fuel, exhaust emission, engine performance, pyrolyzed tire oil.

<sup>1</sup> Mühendislik Fakültesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul; email: [suleymansimsek@aydin.edu.tr](mailto:suleymansimsek@aydin.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Enerji, özellikle sanayi devriminin başlamasıyla insanlık tarihinde önemli bir yer edinmiştir. Petrol ise temel enerji kaynakları arasında kullanımı en yaygın olan enerji çeşididir. Ekonomik kalkınmayı enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği belirlemektedir. Kişi başı enerji tüketimi ülkenin gelişmişliğinin bir göstergesidir. Bu nedenle ülkeler enerji kaynaklarını milli refahın anahtarı olarak görmektedirler ve enerjinin ekonomik, yenilenebilir, çevre ve insan sağlığına duyarlı olmasını istemektedirler.

Petrolün özellikle ulaşım sektöründe yaygın olarak kullanılması ve rezervlerinin sınırlı olması dünya ekonomisi için kırılgan bir yapı oluşturmaktadır. Bu kırılgan yapıdan kurtulmak için alternatif yakıtlar konusunda çalışmalar yürütülmektedir ve özellikle atıkların geri dönüşümü üzerine yapılan araştırmalara yoğunlaşmıştır. Gün geçtikçe insan nüfusunun artması ve artan nüfusa paralel oluşan atıkların çevre ve insan sağlığına etkileri ortaya çıktıkça, her atık için çeşitli yönetim biçimlerinin oluşturulması zorunlu hale gelmiştir.

Otomotiv sektörünün ülkemizde olduğu gibi dünya ekonomisinde de önemli bir paya sahiptir. Artan otomotiv üretimi beraberinde lastik üretimini de artırmıştır. Alternatif yakıtlar oluşturulmasına yönelik yapılan çalışmalarda atık lastiklerin değerlendirilmesi, atık lastiklerin çevre ve insan sağlığına etkilerinin minimize edilmesi ve ekonomik kazanç açısından önemlidir. Azami ömrünü tamamlayan lastiklerin çevreye atılması lastik geri dönüşümünü zorunlu kılmıştır. Çünkü lastiklerin çevrede çok uzun süreler sonunda yok olmaları büyük problemleri beraberinde getirmektedir. Kimyasal sızıntıların habitata verdiği zararlar ve lastik yığınlarının kontrolsüz yanması sonucu çıkan yangınlar, bu yangınların atmosfere saldırdığı emisyonlar büyük sorunlar oluşturmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yapılan araştırmalarda biyokütlenin büyük potansiyel taşıyan bir alternatif enerji kaynağı olduğu belirtilmiştir [22]. Bitkisel ve hayvansal kökenli maddelerden elde edilen enerjiye biyokütle enerjisi denilmektedir. Bitkilerin fotosentez tepkimesi sonucu ile elde ettikleri yıllık enerji miktarı dünyanın harcadığı enerjiyi on kata kadar karşılayabilecek düzeydedir. Odonlar, bitkisel ve hayvansal atıklar ile evsel ve endüstriyel atıklar

biyokütle enerjisinin elde edilebileceği bazı kaynaklardır [1]. Bu kadar yüksek potansiyele sahip biyokütle enerjisinin değerlendirilmesi fosil temelli yakıtların oluşturduğu kırılgan ekonomik pazarın dengelenmesi açısından önemlidir.

Atık plastik piroliz yağı ve dizel yakıt temel alan test yakıtları oluşturulmuş ve bu yakıtlar ile testler yapılmıştır. Yapılan testlerde plastik piroliz yağının karışımında oranının artmasına paralel emisyonlarda (NO<sub>x</sub>, CO ve is) artış ölçülmüştür. Motor performans verileri incelendiğinde dizel yakıt ile karşılaştırılabilecek termik verim değerleri tespit edilmiştir [2].

Açık literatürde pirolize lastik yağının dizel motorlarda kullanılabilirliği üzerine çalışmalar mevcuttur. Desülfürizasyon işleminden geçirilen pirolize lastik yağı içindeki sülfür oranı %0.9 değerine kadar düşürülmüş ve pirolize lastik yağı, dizel ve farklı oranlarda karışımları (%5-10-15-25-35-50-75) ile motor testleri yapılmıştır. Veriler incelendiğinde %5-10-15-25-35 oranlarına sahip karışımın dizel yakıt verilerine yakın sonuçlar içerdiği ifade edilmiştir. Pirolize lastik yağı (%100) yakıtının özgül yakıt tüketimi ve emisyon (is, HC, CO ve SO<sub>2</sub>) değerlerinde diğer yakıtlara göre daha yüksek artış olduğu ölçülmüştür [3].

Atık lastik üzerine yapılan başka bir araştırmada, lastikten elde edilen yakıtın iyileştirilmesi sonucu dizel motorlarda %90 orana kadar kullanılabilirliğin mümkün olduğu belirlenmiştir. Emisyonlar açısından lastikten elde edilen yakıtın karışımında artmasıyla HC, is ve CO azalış eğilimi göstermiş NO<sub>x</sub> emisyonunda ise artış eğilimi gerçekleşmiştir. Referans yakıtı dizele göre yakıt sarfiyatı ve termik verim değerleri yakın sonuçlar içerdiği ifade edilmiştir [4].

Pirolize lastik yağı ve biyodizel karışımlarını içeren deneysel uygulamalar yapılmıştır. Farklı oranlarda karışımlar oluşturulmuştur; dizel yakıt (%97) ile lastik yağı (%3) veya biyodizel (%3), dizel yakıt (%94) ile lastik yağı (%3) ve biyodizel (%3). Test sonuçlarına göre dizel yakıt ve biyodizel karışımı, lastik yağı içeren karışıma göre daha yüksek oranda NO<sub>x</sub> emisyonu oluşturduğu ölçülürken üçlü yakıt karışımının dizel ve lastik yağı içeren yakıtı göre daha az CO emisyonu salınımı yaptığı tespit edilmiştir [5-6].

Atık plastik maddelerden ve atık taşıt lastiklerinden elde edilen piroliz yağı temelinde yakın özellikler sergileyen yakıtlar olduğu literatürde yer almaktadır. Ancak piroliz prosesine giren maddelerin ihtiva ettikleri kimyasal

formülasyonları ve proses metotların çeşitliliği nihai ürünün farklılaşmasına neden olmaktadır [2, 7-11].

Bu makalede amacımız, biyokütlesel yakıt türü olan pirolize lastik yağının içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olma potansiyeli ortaya çıkarmaktır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan deneysel uygulamada, tek silindirli dizel motor sabit devir şartları ve beş farklı yük altında ED, PLY kullanılarak oluşturulan karışımlar ile testler yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında yakıt karışımlarının emisyonlara (HC, NO<sub>x</sub>, CO ve is) ve motor performansına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada; endüstriyel lastik geri kazanım tesisinden pirolize lastik yağı, ulusal akaryakıt ağı olan şirketten eurodizel temin edilerek kullanılmıştır. Tablo 1’de Euro dizel ve pirolize edilmiş lastik yağına ait özellikler verilmiştir.

Table 1. Euro dizel ve pirolize edilmiş lastik yağı özellikleri.

Özellikler	Euro Dizel	Pirolize Lastik Yağı	Analiz Yöntemi
Kinematik viskozite (40 °C, mm <sup>2</sup> /s)	2.96	1.6540	TS 1451 ISO 3104
Kül (%)	0.01	0.0061	TS EN ISO 6245
Yoğunluk (15 °C, kg/cm <sup>3</sup> )	829	878.02	ASTM D 5002
Karbon kalıntısı (%)	0.30	0.0980	EN ISO 10370
Kükürt (mg/kg)	6.50	8784.0	EN ISO 8754
Toplam su (ppm)	200	1624.7	TS 6147
Parlama noktası (°C)	65.0	-*	TS EN ISO 2719
Alt Isıl değer (MJ/kg)	42.9	41.110	ASTM D 240
Setan İndisi	56.0	-*	TS EN ISO 4264
			-* İlgili değer ölçülememiştir veya ölçüm alınmamıştır.

### 2.1. Deneysel Yakıtları

Deneysel yakıtları; euro dizel (ED100) ve pirolize lastik yağı (PLY) kullanılarak hacimsel karışımlar

yapılarak oluşturulmuştur. Bu yakıt çeşitleri ED100, EPLY10 ve EPLY20 olarak belirlenmiştir. Yakıt karışımlarına ait bilgi Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca bu yakıt çeşitlerine ilişkin ısıl değer ve yoğunlukları Tablo 3’te yer almaktadır.

Table 2. Deneysel yakıtların hacimsel karışımların oranları.

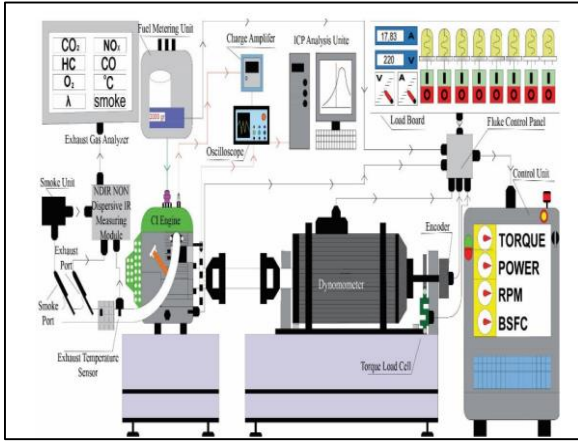
Yakıt Karışımın İsmi	Euro Dizel (%)	Pirolize Lastik Yağı (%)
ED100	100	0
EPLY10	90	10
EPLY20	80	20

Table 3. Deneysel yakıtları ve karışımlarının özellikleri

Yakıt	Alt Isıl Değer (MJ/kg)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
ED100	42.900	829.000
PLY	41.110	878.020
EPLY10	42.711	833.902
EPLY20	42.525	838.804

### 2.2. Deneysel Düzeneği ve Ölçüm Cihazları

Şekil 2.1’de deneysel çalışmaya ait şematik görünüm verilmiştir. Gerçekleştirilen testler için Datsu marka DDJ8000E jeneratör ve jeneratöre entegre 186FAE tek silindirli, hava soğutmalı dizel motor kullanılmıştır. Tablo 4’de kullanılan jeneratörün teknik özellikleri yer almaktadır. Tablo 5’de ise entegre motorun teknik özelliklerine ilişkin bilgiye yer verilmiştir. Deneysel sırasında ortaya çıkan HC, NO<sub>x</sub>, CO emisyonları için ITALO Plus Spin egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Ayrıca, is emisyonunu ölçmek için SMOKY Smokemeter Opacimetre test cihazından yararlanılmıştır. Tablo 6’da kullanılan egzoz gaz analiz cihazları teknik özellikleri yer almaktadır.



Şekil 2.1. Uygulama alanının şematik görüntüsü

Table 4. Datsu DDJ8000E teknik özellikleri.

Datsu DDJ8000E Marşlı Dizel Monofaze Jeneratör	
Motor Gücü (HP)	11
Maks.-Sürekli Çıkış Gücü (kVa)	7-6
Frekans (Hz)	50
Faz Sayısı	Monofaze
Çıkış Voltajı (V)	220

Table 5. Datsu 186FAE teknik özellikleri.

Datsu 186FAE 4 Zamanlı Marşlı Dizel Motor	
Maks. Çıkış Gücü (HP/rpm)	10-3600
Motor Hacmi (cc)	406
Çap x Strok (mm)	86x70
Sıkıştırma Oranı	20:1
Silindir Sayısı	1

Table 6. ITALO Plus Spin ve SMOKY Opacimetre teknik özellikleri

ITALO Plus Spin Egzoz Gaz Analiz Cihazı	
CO (% hacimsel)	0-15.00 ± 0.01
CO <sub>2</sub> (% hacimsel)	0-20.00 ± 0.01
NO <sub>x</sub> (ppm)	0-20.00 ± 0.01
HC (ppm)	0-20000 ± 12
SMOKY Smokemeter Opacimetre	
İs (Opasite) (% hacimsel)	0-100 ± 2

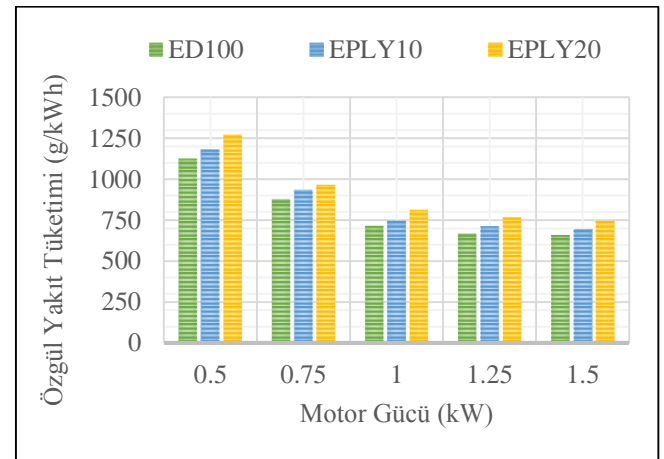
### 3. BULGULAR

#### 3.1. Özgül Yakıt Tüketimi

Test yakıtlarının ihtiva ettiği farklı yoğunluk ve kalorifik değerleri yakıt tüketiminin bir göstergesidir. Yakıt kimyasal özellikleri silindir içerisinde gerçekleşen yanma reaksiyonunun verimini belirleyen ana etkenlerden birisidir.

Birim güç başına yapılan yakıt sarfiyatına özgül yakıt tüketimi olarak nitelendirilmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.1'de farklı oranlarda oluşturulan yakıt karışımlarının farklı motor yüklerinde ölçülen özgül yakıt miktarına ait veriler gösterilmiştir. EPLY10 ve EPLY20 yakıtlarının ED100 karşılaştırıldığında sırasıyla tüm yüklerde ortalama %5.6908 ve %12.8732 artış tespit edilmiştir. Bu verilere göre yakıt içerisinde PLY oranındaki artış ile düşen alt ısıl değer neticesinde ED100 referans yakıtına göre yakıt sarfiyatında yükselme gözlemlenmiştir.

Grafikler incelendiğinde özgül yakıt tüketimi yük artışıyla ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Bu davranışın temel nedeni olarak silindir içindeki sıcaklık ve basınç değerlerindeki artış gösterilebilir. Özgül yakıt tüketimindeki düşüş efektif verim değerlerinde artış olarak kendini göstermektedir.



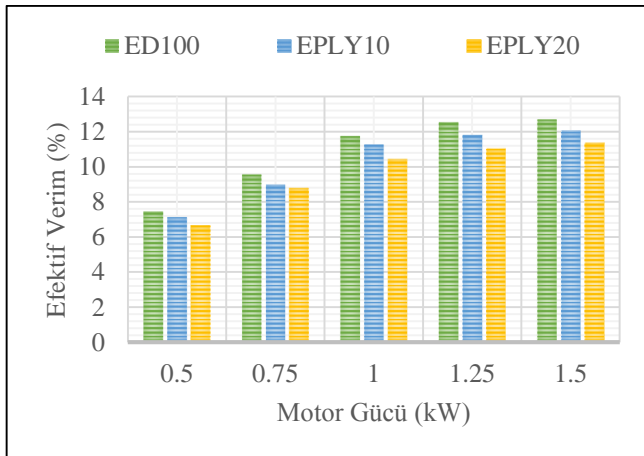
Şekil 3.1. Test yakıtlarının ve motor gücünün özgül yakıt tüketimine etkisi.

#### 3.2. Efektif Verim

Efektif (termik) verim; yakıtın yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkardığı ısı enerjisinin ne kadarlık kısmının yararlı işe dönüştüğünün bir tanımıdır. Yakıtın yanması ile elde edilen ısı enerjisi içten yanmalı motorlarda tamamı faydalı güce dönüşmemektedir. Isı enerjisinin bir kısmı soğutma suyu, egzoz gazları ve yağlama sistemi tarafından motordan uzaklaştırılmaktadır. Uzaklaşan bu ısı değerinden arta kalan miktar efektif verim değerini oluşturan enerjiyi temsil etmektedir. Efektif verim kısaca; faydalı güç/yakıtın verdiği ısı olarak ifade edilmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.2'de farklı oranlarda oluşturulan yakıt karışımlarının farklı motor yüklerinde ölçülen efektif (termik) verime ait veriler gösterilmiştir. EPLY10 ve EPLY20 yakıtlarının

ED100 karşılaştırıldığında sırasıyla tüm yüklerde ortalama %5.0422 ve %10.7677 azalış tespit edilmiştir. Bu verilere göre yakıt içerisinde PLY oranındaki artış ile düşen alt ısıl değer neticesinde ED100 referans yakıtına göre efektif verimde azalma gözlemlenmiştir. Daha önceki çalışmalar incelendiğinde yakıtın alt ısıl değerindeki azalma, yakıt yanma sonu sıcaklık değerinde azalmaya neden olduğundan efektif verim üzerinde düşüş meydana getirdiği görülmüştür [12-14].

Literatür araştırmasında iyileştirme proseslerinden geçirilen pirolize lastik yağının bile setan (<40) değerinin dizel yakıtının setan (>50) değerine göre düşük olduğu rastlanmıştır [6]. Bu deneysel çalışmada hiçbir işlemle geçirilmeden kullandığımız ham pirolize lastik yağına ilişkin Tablo 1’de yer alan analiz sonuçlarında setan tespiti sağlanamamıştır. Karışımın setan oranındaki düşüş yakıtın tutuşma kabiliyetinin bir göstergesi olduğundan PLY oranındaki artış tutuşma gecikmesinin daha da fazla artmasına neden olmakta ve efektif verimin düşmesine sebebiyet vermektedir.

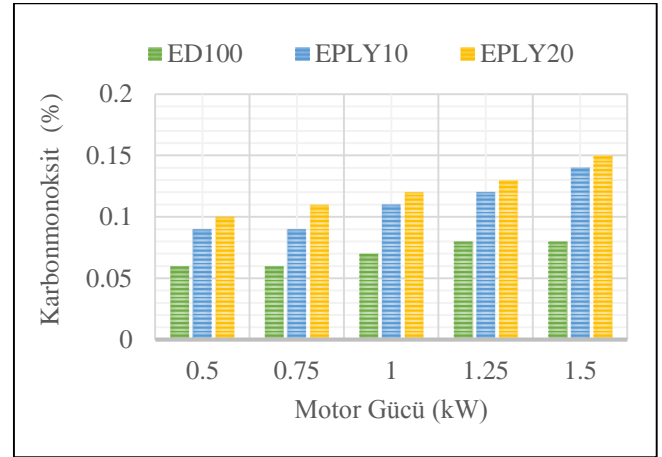


Şekil 3.2. Test yakıtlarının ve motor gücünün efektif verime etkisi.

### 3.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

Hidrokarbon içeren yakıtların silindir içerisinde yanma reaksiyonu için sürenin kısıtlı olması nedeniyle eksik yanması sonucunda CO emisyonları oluşmaktadır [15]. Karbon, silindir içerisinde oksijen yetersizliği nedeniyle CO<sub>2</sub> yerine CO molekülleri olarak egzozdan atmosfere salınmaktadır. Aşağıdaki Şekil 3.3’te deneysel uygulamada ortaya çıkan CO emisyonuna ilişkin grafik verilmiştir. CO emisyon oluşumunu etkileyen bir diğer unsur reaksiyon sıcaklığıdır. Reaksiyon sıcaklığındaki artış reaksiyonu hızlandırarak CO oksidasyonuna yardımcı

olmaktadır. Daha önceki çalışmalarda, PLY yakıtının uçuculuk kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle yanma odasından ısı emerek ortam sıcaklık değerini düşürdüğü ve CO oksidasyonu yavaşlatarak egzoz emisyonunda CO oranının artmasına neden olduğu tespit edilmiştir [6]. EPLY10 ve EPLY20 yakıtlarının ED100 karşılaştırıldığında sırasıyla tüm yüklerde ortalama %57.1428 ve %74.2857 artış tespit edilmiştir.



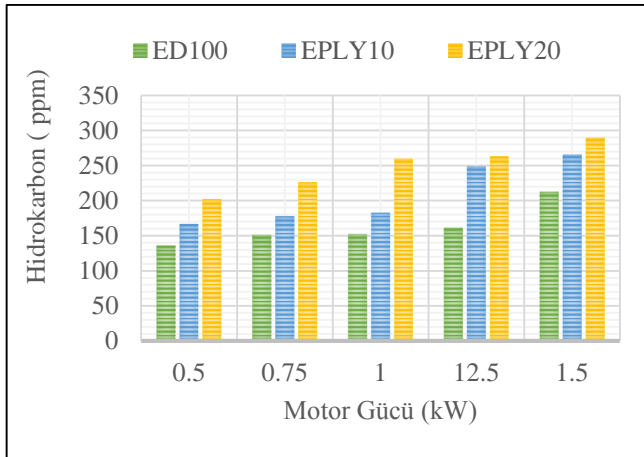
Şekil 3.3. Test yakıtlarının ve motor gücünün CO emisyonlarına etkisi.

### 3.4. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Egzoz gazında yer alan HC emisyon oranı, silindir içine püskürtülen yakıtın kısmen ya da büyük kısmının yanma reaksiyonuna katılmadan motoru terk ettiği anlamı taşımaktadır. Silindir içerisinde bazı bölgelerde oksijen azlığı nedeniyle oksidasyon gerçekleşmemesi HC emisyonlarını oluşmasında etkilidir. Silindir içerisinde artan basınç yakıt taneciklerini yanma odasında ve piston üzerindeki bazı boşluklara sıkıştırılmaktadır. Ve bu bölgelere alevin ulaşamaması yakıtların egzozdan yanma reaksiyonuna katılmadan atılmasına neden olmaktadır [16]. Egzozda tespit edilen HC emisyonunun konsantrasyonu yanmadan atılan yakıtın bir göstergesidir [15].

Aşağıdaki Şekil 3.4’de deneysel uygulamada ortaya çıkan HC emisyonuna ilişkin grafik verilmiştir. PLY oranı artışıyla beraber HC emisyonları artma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Daha önceki yapılan çalışmalarda yakıt yoğunluğundaki artış HC emisyonlarını yükselttiği görülmüştür [17]. EPLY10 ve EPLY20 yakıtlarının ED100 karşılaştırıldığında sırasıyla tüm yüklerde ortalama %28.2394 ve %53.879 artış tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek aromatik içerik ve düşük setanlı yakıtlar diğer yakıtlara göre egzoz

gazında daha yüksek oranda HC emisyonu içerdiği daha önceki yapılan çalışmalarda yer almaktadır [18, 19].



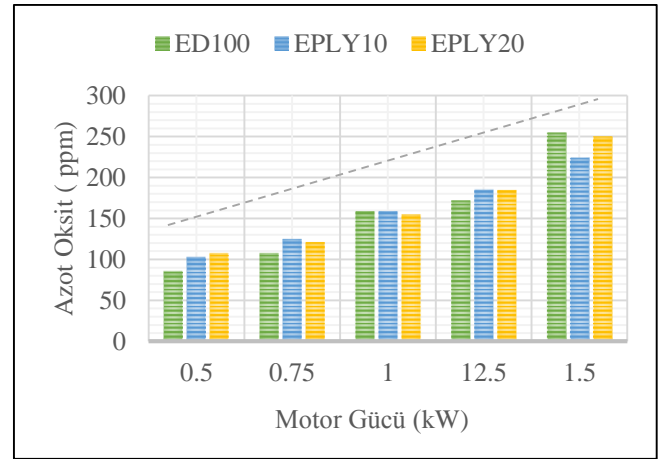
Şekil 3.4. Test yakıtlarının ve motor gücünün HC emisyonlarına etkisi.

### 3.5. Azot Oksit (NO<sub>x</sub>) Emisyonu

Yanma reaksiyonun gerçekleşebilmesi için oksijene ihtiyaç vardır. Oksijen temini için silindire alınan hava içerisinde büyük oranda (%79) azot barındırmaktadır. İdeal yanma reaksiyonunda azot tepkimeye girdiği gibi tepkime sonu çıkar ancak silindir içerisindeki yanma koşulları (yüksek sıcaklık ve basınç) nedeniyle azot ve oksijen tepkimeye girerek NO<sub>x</sub> emisyonlarını oluşturur. Aynı zaman yakıt özellikleri NO<sub>x</sub> emisyonu oluşmasında etkilidir. Daha önceki yapılan çalışmalarda, yakıtın ihtiva ettiği oksijen oranındaki artış NO<sub>x</sub> emisyonunun artmasına neden olduğu tespit edilmiştir [15]. PLY üzerine yapılan çalışmalarda PLY içeriğinde oksijen ve azot barındırdığı tespit edilmiştir [20]. PLY yakıt oranının %60 seviyesine kadar NO<sub>x</sub> emisyon değerine etkisinin az olduğu saptanmıştır ve ayrıca PLY yakıtının yüksek yoğunluk ve aromatik içeriklerinin fazla olması NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışa neden olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada, yakıt yoğunluğundaki artış yanma odasındaki yakıt miktarında artışa neden olduğundan bölgesel sıcaklık değerlerini yükseltmektedir. Yakıtın aromatik içeriğinin fazla olması adyabatik alev sıcaklığına etki ederek NO<sub>x</sub> emisyonunu yükselttiği tespit edilmiştir. Bu sıcaklık değerlerindeki artış NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşmasına yardımcı olmaktadır [6].

Test yakıtları değerlendirildiğinde en düşük yoğunluk ED100 referans yakıtında (829.0 kg/m<sup>3</sup>) tespit edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 3.5’de deneysel uygulamada ortaya çıkan azot oksit emisyonuna

ilişkin grafik verilmiştir. Deneysel uygulamada elde ettiğimiz NO<sub>x</sub> emisyon verileri incelendiğinde daha çok NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki eğilim motor yüküne endeksi olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Test yakıtlarının 500 W ve 1500 W motor yüklerinde gerçekleşen NO<sub>x</sub> emisyon (ED100 %196.511, EPLY10 %117.475, EPLY20 %131.481) miktarlarındaki artış eğilimini net olarak tespit edilmiştir. Bu eğilimin ana nedeni motor yük artışı ile gerçekleşen sıcaklık değerindeki yükselme ve buna bağlı oluşan NO<sub>x</sub> emisyonlarıdır.



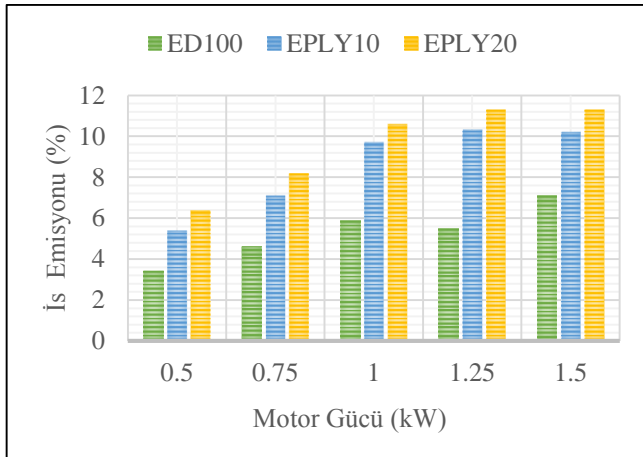
Şekil 3.5. Test yakıtlarının ve motor gücünün NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkisi.

### 3.6. İS Emisyonu

ED100 ve PLY gibi hidrokarbon ihtiva eden yakıtların yanma reaksiyonu sırasında hidrojen molekülleri karbon moleküllerine nazaran daha aktif davranarak ortamdaki oksijeni bünyelerine katar ve ortamda karbon moleküllerinin tamamının yanması için gerekli oksijen bırakmazlar. Bu durumda karbon birikmesi meydana gelir ve egzozda is emisyonu olarak atmosfere atılmaktadır.

Tablo 1’de yer aldığı gibi PLY kükürt (8784 mg/kg) miktarı, ED100 referans yakıtının kükürt (6.5 mg/kg) miktarı göre çok yüksektir. Yakıtın yüksek oranda kükürt içermesi is emisyonlarına etki etmektedir. Çünkü kükürt, is parçacıklarının boyutu artırmaktadır [4]. Ayrıca motor yükündeki artış ile silindir içine püskürtülen yakıtın miktarı da artmaktadır. Yakıt miktarının artmasıyla, hava/yakıt oranı değişmekte ve bu değişim is emisyon miktarını yükselmesine neden olmaktadır. Kısaca is emisyonu motor yükü ile doğru orantılı bir şekilde gerçekleşmektedir. Şekil 3.6’da bahsettiğimiz parametreler dahilinde test yakıtlarından atmosfere salınan is miktarını

gösterilmektedir. Ölçülen verilere göre en yüksek is miktarı EPLY20 (1250 W ve 1500 W’da %11.3) test yakıtında tespit edilmiştir.



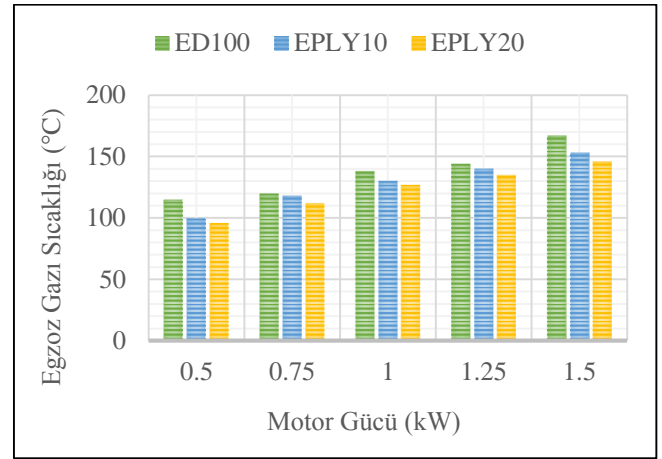
Şekil 3.6. Test yakıtlarının ve motor gücünün Is emisyonlarına etkisi.

### 3.7. Egzoz Gazı Sıcaklığı

Yakıtın silindir içerisinde yanma reaksiyonu sonucunda ısı açığa çıkmaktadır. Bu ısının bir miktarı faydalı güce dönüşür, bir kısmı soğutma ve yağ vasıtasıyla motordan uzaklaşmaktadır geri kalan kısım ise egzoz gazları ile motordan atılmaktadır.

Şekil 3.7 incelendiğinde ED100 yakıtına PLY eklendikçe egzoz sıcaklık değerinde düşüş meydana geldiği gözlenmektedir. Bu durumun temel nedeni Tablo 1’de yer aldığı gibi PLY ısıl değerinin ED100 yakıtına göre daha düşük olması bir yakıt olmasındandır. Literatüre bakıldığında PLY gibi uçuculuk kabiliyeti yüksek yakıtlar yanma odasında diğer yakıtlara göre daha çok ısı emerek buharlaşmaya yönelmek isterler ve ortamdaki sıcaklık değerinin düşürdükleri tespit edilmiştir [21]. Şekil 3.7’de bahsettiğimiz parametreler dahilinde test yakıtlarından tespit edilen egzoz gazı sıcaklık verileri gösterilmektedir.

Ayrıca yük artışıyla beraber egzoz gazı sıcaklıkları artmıştır bunun temel sebebi yanma odasının sıcaklık ve basınç değerlerinin artması ve daha fazla silindire giren yakıtın yanma reaksiyonuna katılmasıdır. Motorun 1500 W ile yüklendiğinde, tüm yakıtlarda (ED100 167 °C; EPLY10 153 °C; EPLY20 146 °C;) en yüksek egzoz sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.7. Test yakıtlarının ve motor gücünün egzoz sıcaklığına etkisi.

## 4. SONUÇLAR

Atık lastiklerin proseslerden geçirilmesi sonucu elde edilen PLY, alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi hem ekonomik bakımından hem de çevre ve canlı hayatının korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Gerçekleştirilen deneysel uygulamada PLY dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Motorumuz ilk olarak referans yakıtımız olan ED100 ile çalıştırılmıştır. Üç temel yakıt belirlenen oranlarda karıştırılması ile oluşturulan; EPLY10 ve EPLY20 yakıtları kullanılarak motor performans ve emisyon (CO, HC, NO<sub>x</sub> ve is) testleri yapılmıştır.

Yakıtlara ait yoğunluk ve kalorifik değerlerinin özgül yakıt tüketimine doğrudan etki ettiği tespit edilmiştir. Karışımda PLY oranındaki artış neticesinde yakıt sarfiyat değerlerinde yükselme olduğu ölçülmüştür. Bu yüksek yakıt sarfiyatı ED100 ve EPLY20 arasında gerçekleşmiştir. EPLY20 test yakıtı ile yapılan deneylerde tüm yüklerde ortalama %12.8732 daha fazla yakıt sarfiyatı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

Test yakıtlarının CO emisyonunun değerlendirilmesinde büyük ölçüde yakıtlara ait özelliklerinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. EPLY10 ve EPLY20 yakıtlarında, PLY yakıtının uçuculuk özelliği etkili olmuş ve silindir içi sıcaklık değerlerini düşürerek CO oksidasyon reaksiyonunu yavaşlatması sonucunda CO emisyonlarında artış tespit edilmiştir. HC emisyon verileri değerlendirildiğinde PLY oranına paralel artan yakıt yoğunluğunun etkili olduğu tespit edilmiştir. Tüm motor yüklerinde PLY artışı HC emisyon artışı olarak kendini göstermiştir.

NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki değişim motor yükündeki artışa bağlı yükselen silindir içi sıcaklığa paralel bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Motor yükünün 1500 W seviyelerine gelmesiyle motor sıcaklık değerleri yükselmiş ve tüm test yakıtlarında bu yükte en yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüştür. PLY ihtiva ettiği yüksek kükürt oranı is parçacıklarının boyutlarını artırarak is emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Test verileri incelendiğinde motor yükündeki artışa paralel egzoz sıcaklık değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Motor yükündeki artış ile silindire giren yakıtın miktarı artarak yanma reaksiyonuna katılması ve silindir içi sıcaklık değerinin yükselmesidir. En yüksek egzoz gazı sıcaklığı motorun 1500 W ile yüklendiğinde ED100 yakıtında 167 °C olarak ölçülmüştür.

Bu sonuçlara göre PLY yakıtının %10 ve %20 oranlarında ED100 yakıtına eklenmesi motor performans ve emisyon değerlerinde çok yüksek oranlarda kötüleşmeye neden olmadığı sonucuna varılmıştır.

## REFERANSLAR

- [1] Nişancı, S., Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması. 2007.
- [2] Mani, M., G. Nagarajan, and S. Sampath, Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Energy*, 2011. 36(1): p. 212-219.
- [3] İlkılıç, C. and H. Aydın, Fuel production from waste vehicle tires by catalytic pyrolysis and its application in a diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 2011. 92(5): p. 1129-1135.
- [4] Doğan, O., M.B. Çelik, and B.J.F. Özdalyan, The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions. 2012. 95: p. 340-346.
- [5] Koc, A.B., et al. Exhaust emissions of a 4-cylinder diesel engine fueled with biodiesel, tire oil and diesel fuel blends. in 2010 Pittsburgh, Pennsylvania, June 20-June 23, 2010. 2010. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [6] Doğan, O., Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması, in Fen Bilimleri Enstitüsü. 2012, Karabük Üniversitesi: Karabük.
- [7] Lee, S. and T.Y. Kim, Feasibility study of using wood pyrolysis oil-ethanol blended fuel with diesel pilot injection in a diesel engine. *Fuel*, 2015. 162: p. 65-73.
- [8] Lin, Y.-f., Y.-p.G. Wu, and C.-T.J.F. Chang, Combustion characteristics of waste-oil produced biodiesel/diesel fuel blends. 2007. 86(12-13): p. 1772-1780.
- [9] Murugan, S., M. Ramaswamy, and G.J.W.m. Nagarajan, The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines. 2008. 28(12): p. 2743-2749.
- [10] Devaraj, J., Y. Robinson, and P.J.E. Ganapathi, Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine. 2015. 85: p. 304-309.
- [11] Hürdoğan, E., et al., Experimental investigation on performance and emission characteristics of waste tire pyrolysis oil-diesel blends in a diesel engine. 2017. 42(36): p. 23373-23378.
- [12] Al- Hasan, M.I. and M.J.T. Al- Momany, The effect of iso- butanol- diesel blends on engine performance. 2008. 23(4): p. 306-310.
- [13] Simsek, S. and Uslu, S., Comparative evaluation of the influence of waste vegetable oil and waste animal oil-based



biodiesel on diesel engine performance and emissions. 2020. 280: p. 118613.

- [14] Özer, S., E. Vural, and B.J.E.J.o.V.T. Özdayan, Dizel Motorlarında Kanola Yağı Metil Esteri-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri. 2011. 3(1): p. 9-18.
- [15] Şimşek, S., Fuzel Yağı Özelliklerinin İyileştirilmesi Ve Buji Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi. 2018, Karabük Üniversitesi: Karabük.
- [16] Özdemir, M., Bir Dizel Motorda Biyodizel Ve Etanol Kullanımının Motor Performansına Ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması. 2011, Karabük Üniversitesi Karabük.
- [17] Yamane, K., A. Ueta, and Y. Shimamoto, Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuels on injection, combustion and exhaust emission characteristics in a direct injection compression ignition engine. International Journal of Engine Research, 2001. 2(4): p. 249-261.
- [18] Zannis, T. and D. Hountalas, Effect of fuel aromatic content and structure on direct-injection diesel engine pollutant emissions. Journal of the Energy Institute, 2004. 77(511): p. 16-25.
- [19] Ickes, A.M., Fuel Property Impact on a Premixed Diesel Combustion Mode. 2009.
- [20] Islam, M. and M. Nahian, Improvement of waste tire pyrolysis oil and performance test with diesel in CI Engine. Journal of Renewable Energy, 2016. 2016.
- [21] Hall, D., Automotive Engineering. 2008, Delhi, India: Global Media.

- [22] Uslu, S. (2019). Dizel motor performansının ve atık lastik piroliz yağı-dizel karışımlarını çalıştıran emisyon parametrelerinin yanıt yüzey metodolojisi kullanılarak optimizasyonu. Makine mühendisleri kurumunun bildirimleri, bölüm I: Sistemler ve kontrol mühendisliği dergisi , 0959651819864851.