

## Atık Kızartma Yağı Biyodizelinin Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerinin Pamuk Yağı ve Aspir Yağı Biyodizelleri ile Karşılaştırılması

İlker Örs<sup>1</sup>, Murat Ciniviz<sup>2</sup>, Bahar Sayın Kul<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Uçak Gövde ve Motor Bakımı, KONYA, TÜRKİYE  
<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği, KONYA, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 11.04.2020, Kabul / Accepted: 12.09.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.10.2021)

### Anahtar Kelimeler

Atık kızartma yağı,  
Biyodizel,  
Dizel motor,  
Pamuk yağı,  
Aspir yağı

**Öz:** Bu çalışmada, atık kızartma yağından elde edilen biyodizel, tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir motorda yakıt olarak kullanılmış, performans, yanma ve emisyon sonuçları petrol kökenli dizel yakıtı, pamuk yağı biyodizeli ve aspir yağı biyodizeli ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre; atık kızartma yağından üretilen biyodizel, geleneksel dizel yakıtına göre motor performans parametrelerini düşürse de diğer biyodizel yakıtlarına göre daha iyi performans parametrelerine sebep olmuştur. Pamuk ve aspir biyodizeli ile benzer yakıt özellikleri göstermesi sayesinde, emisyon değerlerinde de dizel yakıtına göre önemli iyileşmeler gözlemlenmiştir. Yanma karakteristikleri bakımından incelendiğinde, maksimum silindir basıncının atık kızartma yağı biyodizeli ile elde edildiği görülmektedir. Bu sayede de diğer biyodizellere göre daha yüksek performans değerlerine sahiptir. Biyodizel hammaddesi olarak tercih edilmesi durumunda diğer biyodizeller ile benzer sonuçların elde edileceği bu çalışmanın sonuçları ile ortaya konulmuştur.

## Comparison of Performance, Emission and Combustion Characteristics of Waste Frying Oil Biodiesel with Cotton Oil and Safflower Oil Biodiesels

### Keywords

Waste frying oil,  
Biodiesel,  
Diesel engine,  
Cotton oil,  
Safflower oil

**Abstract:** In this study, biodiesel obtained from waste frying oil was used as fuel in a single cylinder direct injection engine, the performance, combustion and emission results were compared with petroleum-based diesel fuel, cotton oil biodiesel and safflower oil biodiesel. According to the results of the experiment; although biodiesel produced from waste frying oil reduced engine performance parameters compared to conventional diesel fuel, it has caused better performance parameters compared to other biodiesel fuels. Due to its similar fuel characteristics with cotton and safflower biodiesel, significant improvements were observed in emission values compared to diesel fuel. When examined in terms of combustion characteristics, it is seen that the maximum cylinder pressure is obtained with waste frying oil biodiesel. Thus, it has higher performance values than other biodiesels. It is demonstrated by the results of this study that if it is preferred as biodiesel feedstock, similar results will be obtained with other biodiesel fuels.

\*İlgili Yazar, e-mail: ilkerors@hotmail.com

## 1. Giriş

Biyodizel, günümüzde en yaygın kullanılan alternatif dizel motor yakıtlarındandır. Biyodizel, Yenilenebilir ve sürdürülebilir özellikleri sayesinde biyodizel araştırmacıları cezbetmiştir. Ayrıca, atıkların yok edilmesi için kullanılabilen ve sınırsız hammadeden üretilebilen çevre dostu bir yakıttır. Bu özellikleri, onun en önemli avantajlarıdır. Dahası, günümüz dizel motorlarında önemli bir yapısal değişiklik olmadan da kullanılabilirliği biyodizelin sık sık gündeme gelmesine sebep olmaktadır.

Biyodizel üretimi için en çok kullanılan yöntem, katalizör olarak etanol ve metanol gibi kısa zincirli alkollerin kullanıldığı, katalitik bir reaksiyon olarak da bilinen ve biyokimyasal bir süreç olan transesterifikasyondur [1]. Biyodizel hem bitkisel hem de hayvansal yağlardan elde edilebilir. Biyodizel üretim süreci için kullanılacak hammaddenin seçiminde, yakıtın kullanılacağı bölgenin iklimsel özellikleri, hammaddenin yenilebilen veya yenilmeyen ürünlerden olması, hammaddenin bölgesel bolluğu, hayvansal ve bitkisel üretim yoğunluğu gibi çeşitli faktörler vardır [2,3]. Son yıllarda, yakıt olarak kullanılan biyodizel üretiminde en çok seçilen hammaddeler kanola [4,5], ayçiçeği [6,7], pamuk [8-9], hurma [10-11], aspir [12,13], soya fasulyesi [14,15] ve kolza tohumudur. Ancak, biyodizel üretiminde kullanılan hammadde üretim maliyetini de belirler. Biyodizelin yüksek üretim maliyeti, ticarileştirilmesinin önündeki en büyük engel olarak görülmektedir. Bu nedenle, günümüzde kullanılan kızartma yağları, atık pişirme yağları, atık hayvansal yağlar, sabun artıkları, sarı ve kahverengi gresler de biyodizel üretimi için hammadde olarak tercih edilmeye başlanmıştır [16-18].

Biyodizelerin saflık, yanma, depolama ve akış gibi fizikokimyasal özellikleri, kullanımları esnasındaki etkileri belirler [19]. Örneğin, ester içeriği ve su içeriği değerleri saflığını gösterir, parlama noktası depolama güvenliğini belirtir, setan sayısı yanma karakteristiklerini, bakır şeridi belirtir korozyon değeri ise malzemeler üzerindeki aşınma etkisini gösterir. Bu özelliklerden en önemlisi, dizel motor yakıtı olarak kullanılabilirliğinin bir göstergesi için yoğunluk, kinematik viskozite, ısı değeri, setan sayısı ve soğuk akış özellikleri gibi bazı yakıt özellikleridir. Yoğunluk ve viskozite püskürtme ve atomizasyon özelliklerini belirler ve bu özellikler özellikle yanma ve performans karakteristiklerini etkiler. Isıl değeri, yanma sonunda yakıttan alınan enerji miktarıdır ve biyodizelin motor performansı üzerindeki etkisini gösterir. Setan sayısı, yakıtın kendiliğinden tutuşabilme özelliğidir. Dizel motor yakıtları için çok önemli bir parametredir. Çünkü ateşleme gecikmesi, ısı salınım hızı, yanma başlangıcı, kontrollü yanma gibi önemli yanma özellikleri setan sayısına bağlıdır. Soğuk akış özellikleri aynı zamanda biyodizelin kullanılabilirliği iklim özelliklerinin seçilmesi için bir göstergedir. Biyodizel hammadde türleri bu özelliklere göre belirlenir.

Pamuk ve aspir, coğrafi şartları uygun olan ülkeler için önemli biyodizel hammaddelerindedir. Özellikle aspir, kuraklığa dayanıklı olması ve ürün verimliliğinin yüksek olması sebebi ile tercih edilmektedir. Pamuk ise daha ılıman iklimlerde yetişebilen bir bitkidir. Ayrıca her iki yağ da biyodizel üretimi için ideal yağ asidi içeriklerine sahiptir ve sülfür içermezler [12,20]. Aspir ve pamuk yağından üretilen biyodizelin dizel motorlarda kullanımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan güncel ve önemli sonuçlara sahip olanlardan bazılarını ait sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Aydoğan, dizel yakıtını %20 oranında aspir ayağı biyodizeli ile karıştırarak belirli oranlarda biyoetanol ilave etmiş, performans, emisyon ve yanma karakteristiklerini incelemiştir. Aspir biyodizelinin düşük alt ısı değerinin motor performansını olumsuz etkilediğini, emisyonları ise iyileştirdiğini belirtmiştir. Bununla birlikte, %20 biyodizel karışımının dizel yakıtı il benzer yanma karakteristikleri gösterdiğini ortaya koymuştur [21]. Özçelik, dizel yakıtı %2, 10 ve 50 oranlarında aspir biyodizeli harmanlayarak motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, karışımdaki biyodizel miktarının artması ile tork ve güç değerlerinin azaldığını, özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise arttığını belirtmiştir. Egzoz emisyon değerlerinde ise, karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarında önemli bir azalma, azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarında da artış olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, biyodizelin içeriğindeki oksijen sayesinde, egzoz emisyonlarında dizel yakıtı göre ortalama olarak yaklaşık %40'a kadar bir artış olduğunu göstermiştir [22]. Aydın ve Ögüt aspir yağından elde ettikleri biyodizeli %5 oranında dizel yakıtı ile harmanlayarak motor performans parametrelerini incelemişlerdir. Biyodizelin düşük ısı değeri nedeni ile tork ve güç değerlerini azalttığını, özgül yakıt tüketimi değerlerini ise yaklaşık %7'e kadar artırdığını tespit etmişlerdir [23]. Çelebi ve Aydın çalışmalarında, yakıt olarak aspir biyodizeli ve %50 dizel-biyodizel karışımını bir dizel jeneratör motorunda test etmişler, performans, emisyon ve yanma analizlerini incelemişlerdir. En yüksek silindir basıncı ve ısı salımı hızı değerlerini aspir biyodizeli ile elde etmişlerdir. Performans parametreleri olarak, biyodizelin özgül yakıt tüketimini artırdığını, termal verim değerlerini de azalttığını belirtmişler, bu artış ve azalmanın lineer olduğunu göstermişlerdir. Bunun yanında eksik yanma yüzünden CO emisyonlarının artmasına rağmen HC emisyonlarının azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca hem NO<sub>x</sub> hem de CO<sub>2</sub> emisyonlarının arttığını ortaya koymuşlardır [24]. Oğuz ve diğ., yakıt olarak saf aspir biyodizeli kullanarak performans ve emisyon sonuçlarını dizel yakıtinkiler ile

karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, motor performansında yaklaşık %10 oranında azalma, CO, HC ve SO<sub>2</sub> emisyonların çok önemli bir azalma ve CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise gözle görülür bir artış olduğunu çalışmalarında sunmuşlardır [25]. Aydın, bir jeneratör dizel motorunda aspir yağı biyodizelin ve %50 dizel yakıtla harmanlanmış biyodizeli yakıt olarak kullanmış ve dizel yakıtın performans, emisyon ve yanma parametreleri ile karşılaştırmıştır. Aspir biyodizelinin hem silindir basıncını hem de ısı salınım hızı değerlerini düşürdüğünü, performans değerlerini olumsuz etkilediğini, CO, CO<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub> değerlerini de artırdığını belirtmişlerdir [26].

Keskin ve diğ., pamuk yağından ürettikleri biyodizeli %20, 40 ve 60 oranlarında dizel yakıt ile harmanlayarak tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanmışlardır. Test sonuçlarına göre, pamuk yağı biyodizelinin performans değerlerini düşürdüğünü, karışımdaki biyodizel oranının artması ile değerlerdeki düşme miktarının arttığını, maksimum tork değerlerinin %5.09'a, maksimum güç değerlerinin %6.2'ye kadar azaldığını, özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise ortalama olarak %7.8'e kadar arttığını ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte, partikül madde emisyonu değerlerinin %46.6'ya kadar azaldığını belirtmişlerdir [27]. Subbarayan ve diğ., çalışmalarında %25, 50, 75 ve 100 oranlarında pamuk yağı biyodizelin bir dizel motorda yakıt olarak kullanarak performans ve emisyon parametrelerine etkilerini incelemişlerdir. En yüksek özgül yakıt tüketimi değerinin saf biyodizel ile elde edildiğini, en düşük değerini ise dizel yakıtla elde edildiğini, karışımdaki biyodizel oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerlerinin %2.11'e kadar arttığını belirtmişlerdir. Termal verim değerleri incelendiğinde ise, %25 biyodizel içeren yakıtın dizel yakıtı göre %1.65'e kadar termal verimi artırdığını ancak biyodizel oranındaki artışla bu değer azaldığını göstermişlerdir. Ayrıca pamuk yağı biyodizeli, CO ve HC emisyonlarının genel olarak artmasına, duman ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise azalmasına sebep olduğunu ortaya koymuşlardır [28]. Nabi ve diğ., pamuk yağından elde ettikleri biyodizeli %10, 20 ve 30 oranlarında dizel yakıtına karıştırmışlar ve yakıt olarak kullanmışlardır. Pamuk yağı biyodizeli karışimli yakıtlar dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimi değerini artırırken termal verimi değerini düşürdüğünü, CO emisyonu değerlerini %24'e kadar azalttığını, NO<sub>x</sub> emisyonunu %10'a kadar artırdığını, partikül madde emisyonunu %24, duman emisyonunu ise %14 iyileştirdiğini tespit etmişlerdir [29]. Sundar and Udayakumar çalışmalarında, dizel yakıtına %5-20 oranlarında hacimsel olarak %5'er farkla pamuk yağı biyodizeli ilave etmişler, performans ve emisyon sonuçlarına etkilerini sunmuşlardır. Sonuç olarak, biyodizel ilavesi ile termal verimin %4.13'e kadar azaldığını, özgül yakıt tüketiminin %17.1'e kadar arttığını, CO ve HC emisyonlarında sırası ile %18.4'e ve %3.86'ya kadar bir azalma olduğunu, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise sırası ile %14 ve %8 arttığını belirtmişlerdir [30].

Bugünün şartlarında her iki bitkinin tohumundan elde edilen yağlar başta kızartma yağı olmak üzere gıda olarak tüketilebilmektedir. Bu nedenle, bu yağlar da günümüzde ticari değeri yüksek olan yağlar sınıfına dahil olmuşlardır. Bu yağların değer kazanması sebebi ile biyodizelin üretim maliyetleri de yükselmiştir. Böylece araştırmacılar, hem maliyeti düşürebilmek hem de atıkların geri kazanımını sağlayabilmek amacı ile biyodizel üretiminde atık yağların kullanımına odaklanmışlardır.

Uyumaz ve diğ., atık zeytin yağından üretmiş oldukları biyodizeli %10 ve %20 oranlarında dizel yakıt ile harmanlayarak dizel motorun çalışma parametrelerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, yüksek motor yükünde biyodizel ilavesinin silindir basıncı, ısı salınım hızını artırdığını, tutuşma gecikmesini ve yanma süresini artırdığını, termal verimi %11.7'e kadar düşürdüğünü, CO emisyonunu %17.6, duman emisyonunu %49.5 azalttığını, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını ise sırasıyla %8.49 ve %7.5 artırdığını göstermişlerdir [31]. Calam, direkt püskürtmeli bir dizel motorda yakıt olarak atık kızartma yağı kullandığı çalışmada, biyodizeli hem tek yakıt hem de %50 karışimli yakıt olarak test etmiştir. Biyodizelin dizel yakıtı göre %3.25 daha düşük motor torkuna, %15.39 da özgül yakıt tüketimi değerine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, biyodizelin daha yüksek maksimum silindir basıncı değerine sahip olmasına rağmen daha düşük ısı salınım hızına sahip olduğunu, yanma süresinin de dizel yakıttan yaklaşık 5 crank açısı kadar daha kısa olduğunu belirtmiştir. CO ve is emisyonlarında çok önemli bir azalma meydana geldiğini, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise %50.45'e kadar arttığını sunmuştur [32]. Aksoy ve diğ. atık kızartma yağından natürelize metodu ile elde ettikleri biyodizeli %30 oranında dizel yakıtla karıştırmışlar ve tek silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. %30 biyodizel ilavesinin silindir basıncı, ısı salınım hızı ve tutuşma gecikmesi değerlerini artırdığını, yanma süresini ise kısalttığını belirtmişlerdir. Biyodizel ilavesinin performans değerlerini olumsuz etkilediğini, CO ve duman emisyonlarının düşürürken NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırdığını ortaya koymuşlardır [18].

Günümüzde, biyodizelin yakıt özellikleri yeni nesil dizel motorlarda saf olarak kullanımını pek mümkün kılmaya da özellikle zirai araçlar, ağır iş makineleri ve elektrik üreten jeneratörler halen yüksek oranda biyodizelin harmanlanarak yada saf yakıt olarak kullanılmasına izin verecek motorlara sahiptirler. Ancak, biyodizel kullanımının cazip hale gelebilmesi için üretim maliyeti olarak çok yüksek bir orana sahip olan hammadde maliyetinin en aza düşürülebilmesi çok önemlidir. Bu çalışmada da hammadde maliyetinin (atık kızartma yağının toplam biyodizel maliyetine oranı %0, pamuk yağının %17 ve aspir yağının %32) azaltılabilesine imkan verebilmek amacı ile hammadde olarak atık kızartma yağının tercih edilmesi için bu yağdan üretilen biyodizelin, günümüzde popüler olan pamuk ve aspir yağından üretilen ile performans, emisyon ve yanma karakteristikleri

karşılaştırılmıştır. Böylece, atık kızartma yağının, diğer hammaddelerin yerini alabileceğini göstermek hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Test yakıtlarının hazırlanması, deney düzeneğinin oluşturulması, deneylerin yapılışı ve deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarına ait özellikler aşağıda detaylı olarak belirtilmiştir.

### 2.1. Biyodizel üretimi ve yakıt özellikleri

Bu çalışmada, Aksaray Üniversitesi bünyesinde faaliyet gösteren öğrenci kafeteryalarında, sadece bitkisel ürünlerin kızartılması için kullanılan atık kızartma yağları toplanmış ve içerisindeki yabancı maddeler filtre edilerek biyodizel hammaddesi olarak kullanılmıştır. Kullanılan atık kızartma yağının maruz kaldığı sıcaklık 160-180 °C'dir. Aspir ve pamuk tohumları, bölgesel olarak faaliyet gösteren tarım ürünleri tedarikçisi bir firmadan temin edilerek presleme yöntemi ile yağları çıkarılmış, ham aspir ve pamuk yağları elde edilmiştir. Elde edilen yağların her birinden transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiştir. Transesterifikasyon sürecinde, alkol olarak %99 saflıkta metanol ve katalizör olarak ta sodyum hidroksit kullanılmıştır. Elde edilen biyodizeller ve petrol kökenli dizel yakıtta ait bazı önemli fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Dizel yakıt Dizel, Pamuk yağından üretilen biyodizel P<sub>100</sub>, Aspir yağından üretilen biyodizel A<sub>100</sub> ve atık kızartma yağından üretilen biyodizel K<sub>100</sub> olarak kodlanmıştır.

**Tablo 1.** Test yakıtlarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Dizel	P <sub>100</sub>	A <sub>100</sub>	K <sub>100</sub>
Yoğunluk [gcm <sup>3</sup> ] 15°C'de	0.841	0.888	0.886	0.893
Viskozite [mm <sup>2</sup> /s] 40°C'de	2.811	4.455	4.353	4.511
Alt ısı değer [MJ]/kg]	43.88	39.31	38.59	40.71
Setan sayısı	50.4	54.8	55.7	58
Bulutlanma noktası [°C]	-8	0	-4	3
SFTN [°C]	-14	-7	-10.5	-1
Donma noktası [°C]	>25	-17	-20	-15
O atomu oranı [%]	-	14.25	11.26	10.55
Ester muhtevası [%]	-	97,73	98.18	97.95

### 2.2. Deney düzeneği ve test prosedürü

Deneylerde kullanılan motora ait teknik özellikler Tablo 2'de sunulmuştur. Test motoru, direkt olarak bir shaft mili aracılığı ile hidrolik bir dinamometreye bağlanmıştır. Motor torkunu ölçmek için kullanılan yük hücresi 1 g hassasiyete sahiptir. Motorun yakıt tüketimi 0.01 g hassasiyete sahip yük hücresi ile kütleli olarak ölçülmüştür. Egzoz gaz sıcaklığının ölçümü 1°C hassasiyete sahip PT100 sıcaklık ölçer ile yapılmıştır.

**Tablo 2.** Test motorunun teknik özellikleri

Model	3 LD 510
Motor tipi	Dört zamanlı, Direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi, cm <sup>3</sup>	510
Çap X Strok, mm X mm	85 X 90
Sıkıştırma oranı	17.5:1
Soğutma şekli	Su soğutmalı

Yanma analizi için silindir basıncı ve krank açısını ölçmekte kullanılan ekipmanların teknik özellikleri Tablo 3'de, egzoz emisyonlarının ölçülmesinde kullanılan BOSCH BEA 350 ve MRU Optima 7 gaz analiz cihazlarının teknik özellikleri de Tablo 4'de verilmiştir. Yanma analizi için ölçülen silindir basıncı değerleri art arda gerçekleşen 100 çevrimin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3.** Yanma analizi ekipmanlarının teknik özellikleri

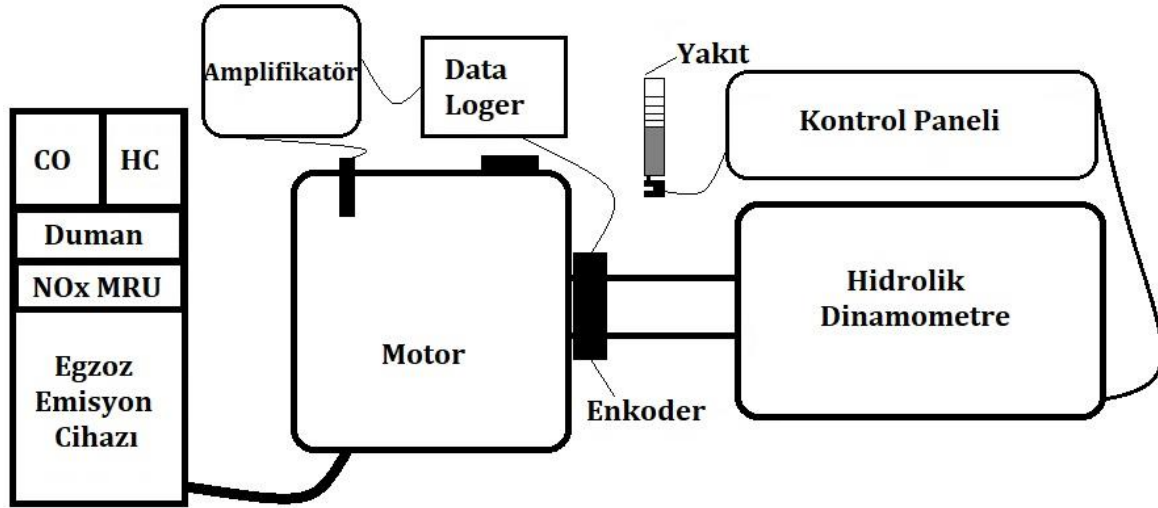
Basınç Sensörü	
Marka - Model	Kistler - 6052C
Tip	Piezoelektrik
Ölçüm aralığı, bar	0 - 250
Çalışma sıcaklığı, °C	-20 - 350
Amplifikatör	
Marka - Model	Kistler - 5018A
Kanal sayısı	1

Ölçüm aralığı, pC	2 - 2200000
Çıkış sinyali, volt	-10 - 10
Frekans, kHz	0 - 200
Çalışma sıcaklığı, °C	0 - 50
Enkoder	
Marka - Model	Kübler - Sendix 5000
Ölçüm aralığı, d/d	0 - 12000
Çalışma sıcaklığı, °C	-40 - 85

**Tablo 4.** Egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri

ÖLÇÜM	ÖLÇME ARALIĞI	HASSASİYET
CO [% v/v]	0 - 10	0.001
HC [ppm]	0 - 9999	1 ppm
NO <sub>x</sub> [ppm] MRU Optima 7 ile	0 - 5000	5 ppm
Duman [k, m <sup>-1</sup> ]	0 - 100	0.1

Test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir. Deneylerden önce, testlerde kullanılan tüm cihazların kalibrasyonları yaptırılmıştır. Tüm testler motorun çalışma sıcaklığı olan 85-110°C'de gerçekleştirilmiştir. Tüm yakıtlar için maksimum tork değeri 1400 rpm motor hızında elde edilmiştir. Bu nedenle, testler tüm yakıtlar için 1400 rpm motor hızında %25, 50, 75 ve 100 motor yükünde gerçekleştirilmiştir. Yakıt tüketimi, tork, basınç, egzoz gaz sıcaklığı ve emisyon değerleri ölçümleri aynı anda kaydedilmiştir.

**Şekil 1.** Deney test düzeneğinin şematik görünümü

Deneyler esnasında ölçüm ekipmanları ile elde edilen sonuçların doğrulukları ile hesaplamaların belirsizliği Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Ölçümlerin doğruluğu ve hesaplamaların belirsizliği

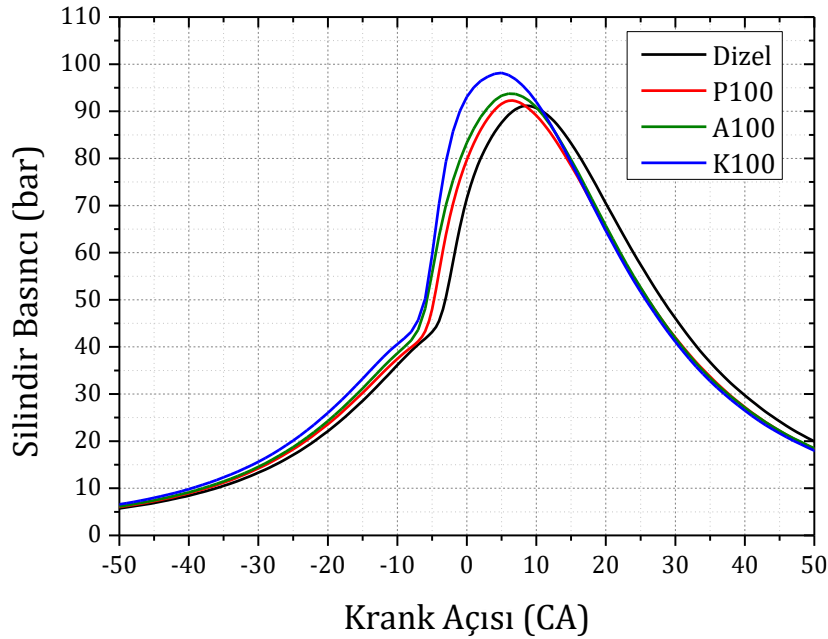
Ölçümler	Doğruluk	Hesaplanan parametre	Belirsizlik (%)	
Hidrolik dinamometre	± 0.02 %	Tork	0.5784	
Basınç Sensörü	± 1 %	Güç	0.087	
Enkoder	± 0.01 rpm	Özgül Yakıt Tüketimi	0.764	
Silindir Hacmi	± 1 %	Ortalama Efektif Basınç	0.096	
Silindir Basıncı	± 1 %	Termal Verim	0.0014	
Emisyon Ölçüm Cihazı	CO <sub>2</sub>	± 0.1 %	Toplam Motor Performansı	0.9553
	CO	± 0.01 %	Isı Salınım Hızı	0.0066
	HC	± 1 ppm	Emisyonlar	0.0586
	NO <sub>x</sub>	± 1 ppm	Toplam Sistem	0.8312
	Duman	± 0.01 %		

### 3. Bulgular

Deney sonuçları; yanma analizi, motor performans parametreleri ve egzoz emisyon karakteristikleri olarak incelenmiştir.

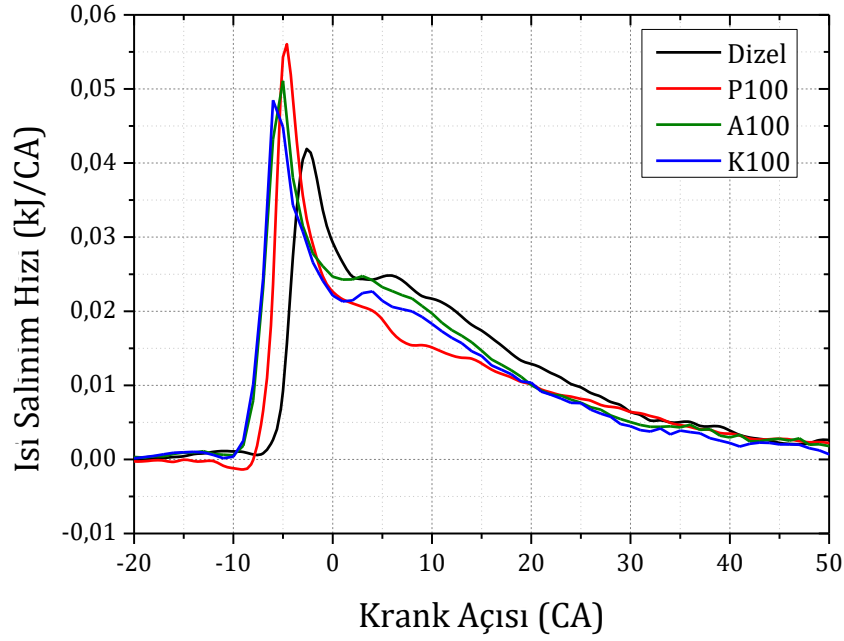
#### 3.1. Yanma analizi

Yanma analizi, tam yük durumunda ölçülen silindir basıncı değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Silindir basıncı, başta ısı salınım hızı olmak üzere yanma başlangıcı, yanma safhaları, yanma sonu, tutuşma gecikmesi gibi diğer yanma karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır. Yakıtın yoğunluk ve viskozite değerleri, bir önceki çevrimden kalan atık gaz miktarı ve sıcaklığı gibi silindir basıncını etkileyen pek çok etken vardır. Silindir içerisinde oluşan basınç, piston tepesine etki eden kuvveti oluşturduğu için önemlidir. Çünkü bu kuvvet motor torkunu da oluşturan kuvvettir. Şekil 2, 1400 rpm motor hızında tam yük durumunda elde edilen krank açısına bağlı silindir basıncı değerlerini göstermektedir. Biyodizelin yüksek yoğunluk değeri püskürtülmesi esnasında daha yüksek bir yakıt yığılmasına sebep olduğu için daha erken püskürtülmeye başlar. Böylece, daha fazla yakıt bir anda yanma başladığından maksimum silindir basıncı da yüksek olur. Silindir basıncı değerlerine göre, maksimum silindir basıncı K<sub>100</sub> yakıtı ile 98.14 bar olarak üst ölü noktadan 5 CA sonra elde edilmiştir. Daha sonra A<sub>100</sub>, P<sub>100</sub> ve Dizel yakıtları ile sırası ile 93.75, 92.22 ve 91.15 bar olarak üst ölü noktadan 6, 6 ve 9 CA sonra elde edilmiştir. Tablo 1’de de görüldüğü gibi K<sub>100</sub> en yüksek yoğunluk değerine sahiptir. Bu nedenle en yüksek basınç değeri de bu yakıtla elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Rounce ve diğ. (33)’nin, Su ve diğ. (34)’nin ve Lesnik ve diğ. (35)’nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.



Şekil 2. 1400 rpm motor hızı ve tam yükte yakıtlarının krank açısına bağlı silindir basınçlarının değişimi

Şekil 3’de gösterilen ısı salınım hızı eğrileri, yakıtların yanma sürelerinin ve hızlarının bir göstergesidir. Biyodizel, yapısında oksijen bulunduğu için daha hızlı yanmaktadır. Yine Tablo 1’de görüldüğü gibi, P<sub>100</sub> yakıtı en yüksek oksijen içeriğine sahiptir. Bu nedenle de maksimum ısı salınım hızı P<sub>100</sub> yakıtı ile elde edilmiştir.



Şekil 3. 1400 rpm motor hızı ve tam yükte yakıtlarının krank açısına bağlı ısı salınım hızlarının değişimi

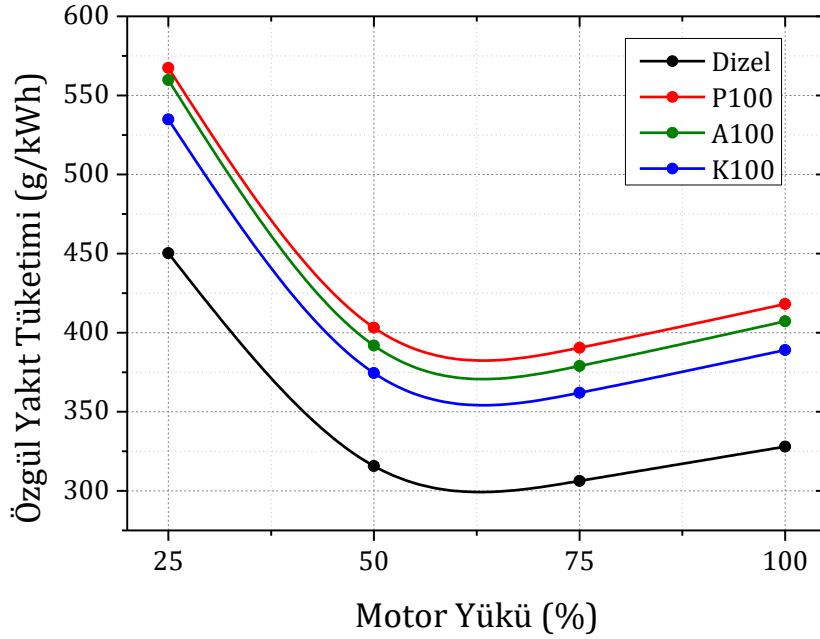
Tablo 6. Yanma analizi verileri

	Dizel	P <sub>100</sub>	A <sub>100</sub>	K <sub>100</sub>
Püskürtme anı [CA] üst ölü noktadan önce	13	14	14	15
Yanma başlangıcı [CA] üst ölü noktadan önce	6	8	8	10
Tutuşma gecikmesi [CA] süre	7	6	6	5
CA10 [CA] üst ölü noktadan sonra	8	5	7	10
CA50 [CA] üst ölü noktadan sonra	28	23	24	25
CA90 [CA] üst ölü noktadan sonra	34	31	32	35
Yanma sonu [CA]	62	56	57	60
Toplam yanma süresi [CA] süre	80	69	71	77

Tutuşma gecikmesi, yakıtın püskürtüldüğü an ile yanma başladığı ana kadar geçen süredir. Setan sayısının yüksek olması yakıtın daha erken tutuşmasına etki eder. Tablo 6'da da görüldüğü gibi en yüksek setan sayısına sahip olan K<sub>100</sub> yakıtı diğerlerine göre daha erken tutuşmaya başlamıştır. Bu nedenle de daha düşük tutuşma gecikmesi süresine sahiptir. Diğer biyodizeller de Dizel yakıttan daha yüksek setan sayısına sahip oldukları için daha erken tutuşmaya başlamışlardır. CA10, CA50 ve CA90 yakıtların kütleli olarak yanma miktarlarının gerçekleştiği krank açısı değerleridir. Yani, CA10 yakıtın %10'unun yandığı krank açısını gösterir. P<sub>100</sub>'ün yüksek oksijen miktarı yanma hızını artırdığı için en kısa yanma süresi de bu yakıt ile elde edilmiştir. Aksoy ve diğ.[36] ile Aydın [26]' da benzer sonuçları çalışmalarında rapor etmişlerdir.

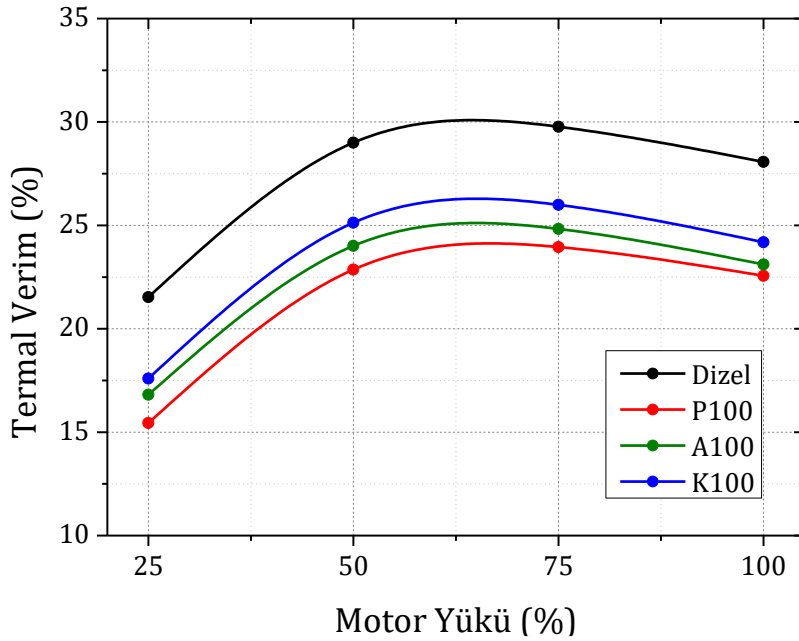
### 3.2. Motor performans parametreleri

Birim güç için tüketilen yakıt miktarı özgül yakıt tüketimi olarak tanımlanır. Termal verim ise tüketilen yakıtın faydalı işe dönüşüm oranını gösterir. Hem Şekil 4 hem de Şekil 5, biyodizel yakıtlarının performans değerlerini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Bunun en önemli nedeni, yakıtların kalorifik değerleridir. Alt ısıl değer, performans parametreleri için en belirleyici özelliklerden birisidir. En yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri P<sub>100</sub> yakıtı ile elde edilmiştir. P<sub>100</sub>, A<sub>100</sub> ve K<sub>100</sub> yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri Dizel yakıtına göre sırası ile ortalama %27,05, %24,1 ve %18,58 daha yüksektir. K<sub>100</sub> yakıtı ise P<sub>100</sub> ve A<sub>100</sub> yakıtlarına göre sırası ile ortalama %6,67 ve %4,45 daha iyi özgül yakıt tüketimi değerine sahiptir.



Şekil 4. Farklı yük koşullarındaki özgül yakıt tüketimi eğrileri

Kalorifik değerin yanı sıra yanmanın kalitesi de performansı önemli ölçüde etkilemektedir. Biyodizellerin yüksek viskoziteleri püskürtülen yakıtın damlacık çaplarının daha büyük olmasına [37] ve bu nedenle yakıtın kötü atomizasyonu yüzünden silindir içerisinde sıkıştırılmış olan havaya iyi nüfuz edememesine sebep olmaktadır. Biyodizel yakıtlarının ısı değerlerinin düşük olması ve yüksek viskoziteleri nedeni ile P<sub>100</sub>, A<sub>100</sub> ve K<sub>100</sub> yakıtları için Dizele göre sırasıyla ortalama %21.72, %18.09 ve %14.27 azalma gözlemlenmiştir. Biyodizel yakıtları arasında da yine en iyi termal verim değerleri K<sub>100</sub> yakıtı ile elde edilmiştir. Literatürde de benzer sonuçlar ortaya konulmuştur [24,32].

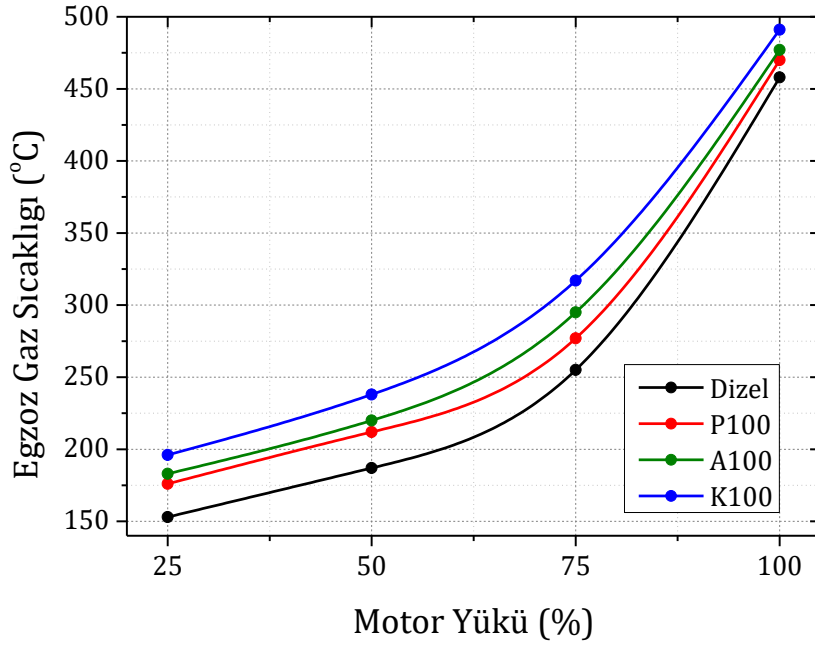


Şekil 5. Farklı yük koşullarındaki termal verim eğrileri

### 3.3. Egzoz emisyonları

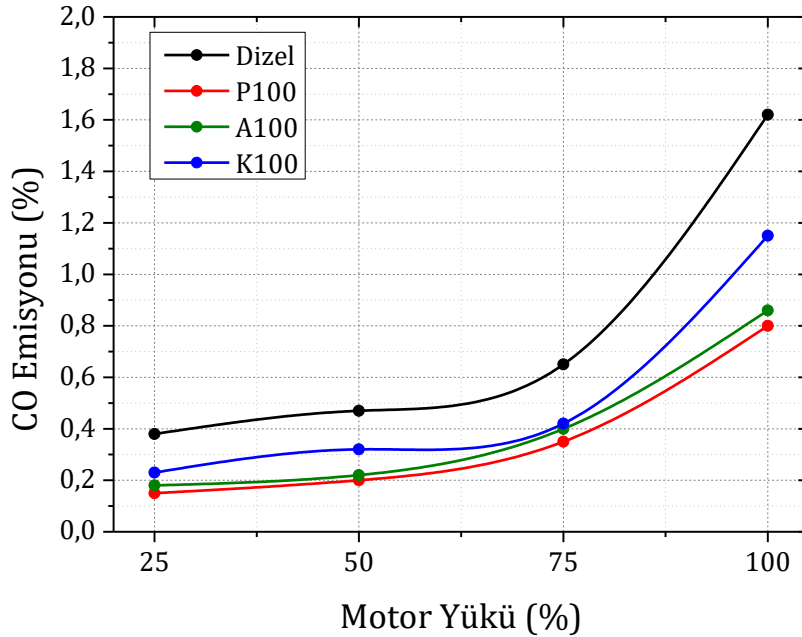
Egzoz gaz sıcaklığı değerleri, emisyon oluşumlarında etkili bir parametredir. Silindir içerisinde, yanma sonucu oluşan sıcaklığın bir göstergesidir. Biyodizel yakıtlarının oksijen içeriği yanma veriminin artmasına sebep olmuş ve böylece Dizel yakıtına göre daha yüksek egzoz gaz sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Alt ısı değeri yüksek olan K<sub>100</sub> yakıtı ise en yüksek egzoz gaz sıcaklığı değerine sahiptir. Ayrıca, Şekil 6'da da görüldüğü gibi, motor yükünün artması ile daha fazla miktarda yakıt silindire alındığı için tüm yakıtların egzoz gaz sıcaklığı değerleri de artmıştır.





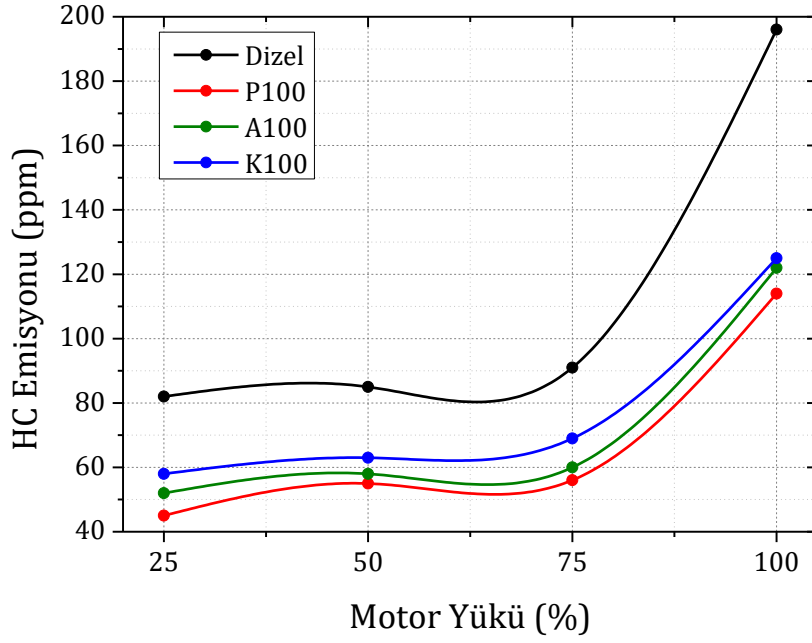
Şekil 6. Farklı motor yüklerindeki egzoz gaz sıcaklığı eğrileri

Şekil 7, test yakıtlarının CO emisyonu karakteristiklerini göstermektedir. Yanma esnasında, oksijen miktarının yetersiz olması yanma ürünlerinde CO gazının oluşmasına sebep olur. Renksiz, kokusuz ve oldukça zehirli olan bu gaz Euro normları ile kontrol altında tutulmaktadır. Biyodizel yakıtları oksijen içerdiği için CO emisyon değerleri Dizele göre daha düşüktür. P<sub>100</sub> yakıtı ile ortalama %52'ye kadar bir azalma görülmektedir. K<sub>100</sub> yakıtı diğer biyodizellerden daha yüksek CO emisyonuna sahip olmasına rağmen yine Dizele göre %32 oranında daha düşüktür. Fattah ve diğ. [38] ile Uyumaz ve diğ. [31] de CO emisyonlarının biyodizel kullanımı ile azaldığını göstermişlerdir.



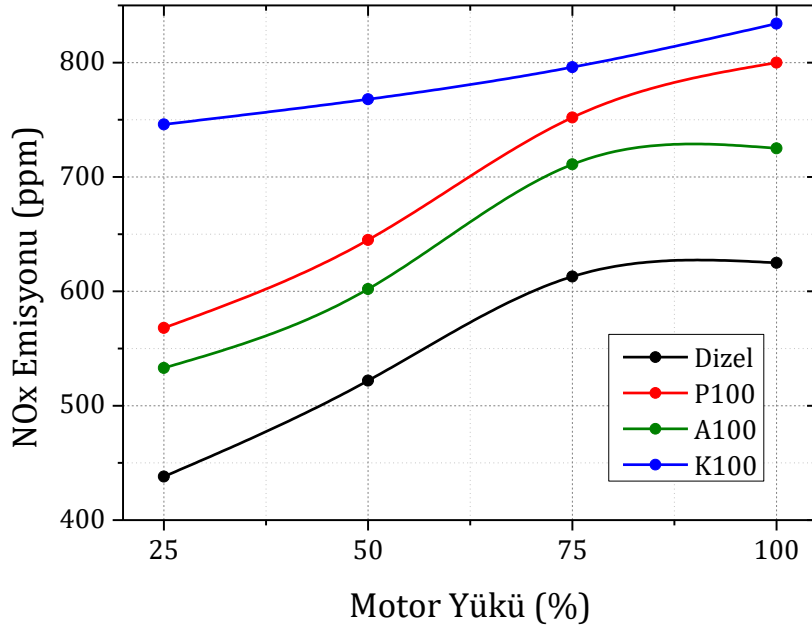
Şekil 7. Farklı motor yüklerindeki CO emisyonu eğrileri

Test yakıtlarına ait HC emisyonu değerleri Şekil 8'de sunulmuştur. Hidrokarbonlu yakıtların yanması sonucunda yanma ürünleri arasında HC gazının görünmesi, yakıtın tam olarak yanmadığını gösterir. Yani HC yanmamış yakıttır. Bazı araştırmacılar [26, 28] kötü atomizasyon ve zengin karışım nedenlerinden dolayı biyodizelin HC emisyonlarını artırdığını ortaya koysa da farklı pek çok araştırmacı [33, 35, 38-41] biyodizelin oksijen içeriğinin yanma verimini iyileştirdiğini ve böylece HC emisyonlarını azalttığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, biyodizel yakıtların egzoz gaz sıcaklıklarının yüksek olması da HC emisyonlarının azalması gerektiğinin bir göstergesidir. En düşük HC emisyonu değerleri P<sub>100</sub> yakıtı ile elde edilmiş olup, K<sub>100</sub> yakıtının HC emisyonu değerleri P<sub>100</sub> yakıtına göre %16.67 daha fazla olsa da Dizele göre ortalama %30.62 daha azdır.



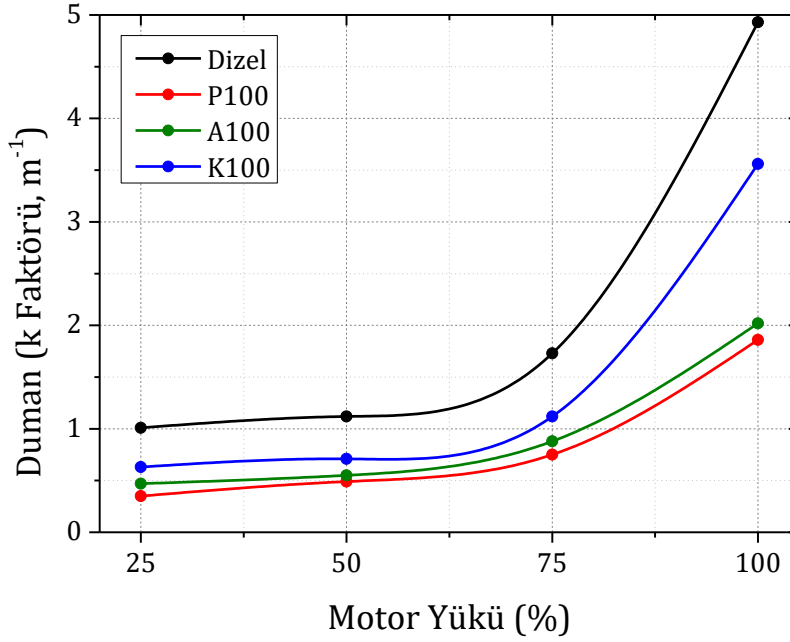
Şekil 8. Farklı motor yüklerindeki HC emisyonu eğrileri

Azot ve oksijen gazları yüksek sıcaklıklarda tepkimeye girerler. Silindir içerisinde yanma sonucu oluşan yüksek sıcaklıkta bu atomların tepkimeye girmesi için yerlidir. Azot ve oksijen atomları tepkimeye girerek  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  ve  $\text{NO}_4$  gibi bileşimlerin açığa çıkmasına neden olur. Bu formların tamamı  $\text{NO}_x$  olarak adlandırılmaktadır. Bu formların atmosfere salınması asit yağmurlarının oluşmasına sebep olmaktadır.  $\text{NO}_x$  emisyonu, sıcaklığın yükselmesi ve ortamdaki oksijenin artması ile daha fazla miktarda oluşmaktadır. Biyodizellerin yanması sonucu Dizele kıyasla ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve oksijen içerikleri Şekil 9'da görüldüğü gibi daha yüksek emisyonuna sebep olmuştur. Benzer sonuçlarında gösterildiği farklı çalışmalar literatürde mevcuttur [23, 42-43]. Bu çalışmada da, en yüksek  $\text{NO}_x$  emisyonu, Dizele göre %43.04 oranla daha yüksek olarak  $\text{K}_{100}$  yakıtı ile elde edilmiştir.

Şekil 9. Farklı motor yüklerindeki  $\text{NO}_x$  emisyonu eğrileri

Dizel motorlar, fakir karışımla çalışan motorlardır. Ancak özellikle yüksek motor yüklerinde zaman zaman kısmi olarak karışımın zenginleşmesi duman emisyonunun oluşmasına sebep olur. Şekil 10, test yakıtlarındaki duman emisyonlarının değişimini göstermektedir. Biyodizel yakıtları içerisindeki oksijen zengin karışım bölgelerinin oluşmasını nispeten engelleyerek Dizele göre daha düşük duman emisyonlarının oluşmasına sebep olmuştur. Ayrıca Şimşek [43]'e göre, biyodizelin aromatik bileşik içermemesi ve kükürt içeriğinin düşük olması, duman emisyonlarının önemli miktarda azalmasına sebep olmaktadır. En düşük duman emisyonu  $\text{P}_{100}$  ile elde edilse de, Dizele göre  $\text{K}_{100}$  yakıtının duman emisyonu değerleri de %31.51 gibi oldukça önemli bir oranda daha düşüktür.

Aksoy ve diğ.[36], Çelik ve diğ. [45] de Ardebili ve diğ. [46] de aynı sebeplerden dolayı duman emisyonunun azaldığını belirtmişlerdir.



Şekil 10. Farklı motor yüklerindeki duman emisyonu eğrileri

#### 4. Sonuç

Biyodizel, motor performans parametrelerini olumsuz olarak etkilese de egzoz emisyonlarında çok önemli iyileşmelere sebep olduğu görülmektedir. Biyodizelin üretim maliyetlerinin hammadde seçimi ile azaltılmasını hedeflediğimiz bu çalışmada, atık kızartma yağından üretilen biyodizelin diğer biyodizel yakıtları ile benzer yakıt özellikleri ve yanma karakteristiklerine sahip olduğu görülmektedir. Özellikle hem pamuk hem de aspire göre daha yüksek motor performans değerleri elde edilmesi atık kızartma yağı biyodizelinin en önemli tercih edilme sebeplerinden birisi olabilir. Bunun yanında, yakıtta bazı katkı maddelerinin ilave edilmesi veya motor işletme parametrelerindeki birkaç basit değişiklik, biyodizelin yakıt olarak kullanılabilirliğini artıracaktır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, biyodizel hammadde olarak yüksek ticari değere sahip yağların yerine atık kızartma yağı gibi hammaddeler tercih edilebilir. Böylece, hem atıkların doğaya daha az zararla bertaraf edilmesi sağlanmış olur hem biyodizelin üretim maliyeti azalmış olur hem de yenilenebilir ve sürdürülebilir yeni bir alternatif yakıt seçeneği ortaya çıkmış olur.

#### Kaynakça

- [1] Arce, P. F., Guimarães, D. H., de Aguirre, L. R. 2019. Experimental data and prediction of the physical and chemical properties of biodiesel. *Chemical Engineering Communications*, 206(10), 1273-1285.
- [2] Moser, B. R. 2009. Biodiesel production, properties, and feedstocks. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 45(3), 229-266.
- [3] Ahmia, A. C., Danane, F., Bessah, R., Boumesbah, I. 2014. Raw material for biodiesel production. *Valorization of used edible oil. Revue des Energies Renouvelables*, 17(2), 335-343.
- [4] Efe, Ş., Ceviz, M. A., Temur, H. 2018. Comparative engine characteristics of biodiesels from hazelnut, corn, soybean, canola and sunflower oils on DI diesel engine. *Renewable Energy*, 119, 142-151.
- [5] Can, Ö., Öztürk, E., Yücesu, H. S. 2017. Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine. *Renewable Energy*, 109, 73-82.
- [6] Swaminathan, C., Sarangan, J., Michael, B. S. 2019. Investigation of performance and emission characteristics of IC engine using sunflower oil methyl ester as fuel with oxygenated additive and EGR. *Biofuels*, 10(5), 583-589.
- [7] Ahranjani, P. E., Kazemeini, M., Arpanaei, A. 2019. Green Biodiesel Production from Various Plant Oils Using Nanobiocatalysts Under Different Conditions. *BioEnergy Research*, 1-11.

- [8] Erdoğan, S., Aydın, S., Balki, M. K., Sayin, C. 2020. Operational evaluation of thermal barrier coated diesel engine fueled with biodiesel/diesel blend by using MCDM method base on engine performance, emission and combustion characteristics. *Renewable Energy*, 151, 698-706.
- [9] Máquina, A. D. V., Siteo, B. V., Buiatte, J. E., Santos, D. Q., Neto, W. B. 2019. Quantification and classification of cotton biodiesel content in diesel blends, using mid-infrared spectroscopy and chemometric methods. *Fuel*, 237, 373-379.
- [10] Şanlı, B. G., Uludamar, E., Özcanlı, M. 2019. Evaluation of energetic-exergetic and sustainability parameters of biodiesel fuels produced from palm oil and opium poppy oil as alternative fuels in diesel engines. *Fuel*, 258, 116116.
- [11] Ge, J. C., Kim, H. Y., Yoon, S. K., Choi, N. J. 2020. Optimization of palm oil biodiesel blends and engine operating parameters to improve performance and PM morphology in a common rail direct injection diesel engine. *Fuel*, 260, 116326.
- [12] Eryılmaz, T., Cesur, C., Yeşilyurt, M., Aydın, E. 2014. Fuel Properties of Biodiesel Produced from Balci Variety Oil of Safflower (*Carthamus tinctorious* L.). *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 3(2), 74-78.
- [13] Selvaraj, R., Praveenkumar, R., Moorthy, I. G. 2019. A comprehensive review of biodiesel production methods from various feedstocks. *Biofuels*, 10(3), 325-333.
- [14] Azimov, U., Ngu, D. H. Multiparametric engine optimization with application of biodiesel blends for better performance and lower exhaust gas emissions. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 7(2), 88-98.
- [15] Veinblat, M., Baibikov, V., Katoshevski, D., Wiesman, Z., Tartakovsky, L. 2018. Impact of various blends of linseed oil-derived biodiesel on combustion and particle emissions of a compression ignition engine—A comparison with diesel and soybean fuels. *Energy conversion and management*, 178, 178-189.
- [16] Canakci, M., Sanli, H. 2008. Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 35(5), 431-441.
- [17] Şanlı, H. 2019. Influences of biodiesel fuels produced from highly degraded waste animal fats on the injection and emission characteristics of a CRDI diesel engine. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 8(1), 11-21.
- [18] Aksoy, F., Uyumaz, A., Boz, F., Yılmaz, E. 2017. Experimental investigation of neutralized waste cooking oil biodiesel and diesel fuels in a direct injection diesel engine at different engine loads. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 1(1), 7-15.
- [19] Sarıkoç, S. 2020. Diesel and Gasoline Engines. Ss 1-16. Viskup, R. Ed 2020. *Fuels of the Diesel-Gasoline Engines and Their Properties*, IntechOpen, United Kingdom, 188s.
- [20] Keskin, A. 2017. Pamuk Yağı Biyodizeli-Eurodizel Karışımlarının Tam Yükte Yanma, Performans ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 797-809.
- [21] Aydoğan, H. 2015. Performance, emission and combustion characteristics of bioethanol-biodiesel-diesel fuel blends used in a common rail diesel engine. *J. of Thermal Science and Technology*, 35(2), 19-27.
- [22] Özçelik, A. E. 2017. Investigation of the effects of safflower biodiesel blends with Eurodiesel fuel on engine performance and emissions in common-rail diesel engine. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(1), 9-16.
- [23] Aydın, F., Ögüt, H. 2017. Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions. *Renewable Energy*, 103, 688-694.
- [24] Çelebi, Y., Aydın, H. 2018. Investigation of the effects of butanol addition on safflower biodiesel usage as fuel in a generator diesel engine. *Fuel*, 222, 385-393.
- [25] Oğuz, H., Ögüt, H., Aydın, F., Ciniviz, M., Eryılmaz, T. 2019. Investigation of engine performance and kit design for the usage of safflower oil as in diesel engine. *Renewable Energy*, 143, 692-702.
- [26] Aydın, S. 2020. Detailed evaluation of combustion, performance and emissions of ethyl proxitol and methyl proxitol-safflower biodiesel blends in a power generator diesel engine. *Fuel*, 270, 117492.

- [27] Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D., Aydın, K. 2008. Using of cotton oil soapstock biodiesel–diesel fuel blends as an alternative diesel fuel. *Renewable Energy*, 33(4), 553-557.
- [28] Subbarayan, M. R., Kumaar, J. S., Padmanaban, M. A. 2016. Experimental investigation of evaporation rate and exhaust emissions of diesel engine fuelled with cotton seed methyl ester and its blend with petrodiesel. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 369-377.
- [29] Nabi, M. N., Rahman, M. M., Akhter, M. S. 2009. Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust emissions. *Applied thermal engineering*, 29(11-12), 2265-2270.
- [30] Sundar, K., Udayakumar, R. 2020. Comparative evaluation of the performance of rice bran and cotton seed biodiesel blends in VCR diesel engine. *Energy Reports*, 6, 795-801.
- [31] Uyumaz, A., Boz, F., Baydır, Ş. A. 2018. Direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda atık zeytinyağı biyodizelinin yanma, performans ve emisyon karakteristikleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1), 55-66.
- [32] Calam, A. Atık Kızartma Yağı Biyodizeliyle Çalışan Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorun Yanma Performans ve Emisyon Özellikleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(64), 97-106.
- [33] Rounce, P., Tsolakis, A., York, A. P. E. 2012. Speciation of particulate matter and hydrocarbon emissions from biodiesel combustion and its reduction by aftertreatment. *Fuel*, 96, 90-99.
- [34] Su, J., Zhu, H., Bohac, S. V. 2013. Particulate matter emission comparison from conventional and premixed low temperature combustion with diesel, biodiesel and biodiesel–ethanol fuels. *Fuel*, 113, 221-227.
- [35] Lesnik, I., Iljaz, J., Hribernik, A., Kegl, B., 2014. Numerical and experimental study of combustion, performance and emission characteristics of a heavy-duty DI diesel engine running on diesel, biodiesel and their blends. *Energy Conversion and Management*, 81, 534-546.
- [36] Aksoy, F., Akay, F., Baydır, Ş. A., Solmaz, H., Yılmaz, E., Uyumaz, A., Calam, A. 2019. An Experimental Investigation on The Effects of Waste Olive Oil Biodiesel on Combustion, Engine Performance and Exhaust Emissions. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 8(3), 103-116.
- [37] Kegl, B., Kegl, M., Pehan, S. 2008. Optimization of a fuel injection system for diesel and biodiesel usage. *Energy & Fuels*, 22(2), 1046-1054.
- [38] Fattah, I. M. R., Masjuki, H. H., Kalam, M., Wakil, M. A., Ashraful, A. M., Shahir, S. A. 2014. Experimental investigation of performance and regulated emissions of a diesel engine with *Calophyllum inophyllum* biodiesel blends accompanied by oxidation inhibitors. *Energy Conversion and Management*, 83, 232-240.
- [39] Parekh, P. R., Goswami, J. 2012. Emission and performance of diesel engine using waste cooking oil bio diesel blends-review. *Journal of Engineering Research and Studies*, 3(1), 34-39.
- [40] Tan, P., Hu, Z., Lou, D., Li, Z. 2012. Exhaust emissions from a light-duty diesel engine with *Jatropha* biodiesel fuel. *Energy*, 39(1), 356-362.
- [41] Mofijur, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Atabani, A. E., Arbab, M. I., Cheng, S. F., Gouk, S. W. 2014. Properties and use of *Moringa oleifera* biodiesel and diesel fuel blends in a multi-cylinder diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 82, 169-176.
- [42] Bayındırlı, C., Çelik, M. 2019. Investigation of combustion and emission characteristics of n-hexane and n-hexadecane additives in diesel fuel. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(4), 1937-1946.
- [43] Dhar, A., Kevin, R., Agarwal, A. K. 2012. Production of biodiesel from high-FFA neem oil and its performance, emission and combustion characterization in a single cylinder DIC engine. *Fuel Processing Technology*, 97, 118-129.
- [44] Simsek, S. 2020. Effects of biodiesel obtained from Canola, sefflower oils and waste oils on the engine performance and exhaust emissions. *Fuel*, 265, 117026.
- [45] Çelik, M., Bayındırlı, C. 2020. Enhancement performance and exhaust emissions of rapeseed methylester by using n-hexadecane and n-hexane fuel additives. *Fuel*, 202, 117643.
- [46] Ardebili, M., Calam, A., Yılmaz, E., Solmaz, H. 2021. A comparative analysis of the engine performance and exhaust emissions characteristics of a diesel engine fueled with Mono ethylene glycol supported emulsion. *Fuel*, 11