

Benzin-Biyodizel Yakıt Karışımlarının Kısmi Yükteki bir SI Motorda Performans ve Emisyonlar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

H. Enes FİL^{*1,2} 

^{*1}Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Enerji ABD, KAYSERİ

^{*2}Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Motorlar Laboratuvarı, KAYSERİ

(Alınış / Received: 23.07.2025, Kabul / Accepted: 13.08.2025, Online Yayınlanma/ Published Online: 30.08.2025)

Anahtar Kelimeler

Biyodizel,
Benzin,
Kıvılcım ateşlemeli motor,
Emisyon analizleri.

Öz: Bu çalışma, çeşitli benzin-biyodizel yakıt karışımlarıyla çalışan bir kıvılcım ateşlemeli (SI) motorun performans ve emisyon davranışlarını deneysel olarak incelemektedir. Deneylerde saf benzin (B100), %95 benzin + %5 biyodizel (B95BD5) ve %90 benzin + %10 biyodizel (B90BD10) içeren yakıt karışımları; 0,9, 1,0 ve 1,1 hava fazlalık katsayıları (λ) altında test edilmiştir. Kullanılan motor, dört silindirli, dört zamanlı ve çok noktalı enjeksiyon (MPFI) sistemine sahip bir SI motor olup, testler Eddy-Current tipi bir şasi dinamometresinde 1500 dev/dak motor hızı ve %25 yük (yaklaşık 30 kW) altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, özellikle %5 oranında biyodizel ilavesinin hacimsel verimde iyileşme sağladığını, özgül fren yakıt tüketimini azalttığını ve yanmamış hidrokarbon (HC) ile karbonmonoksit (CO) gibi zararlı emisyonların düşmesine katkı sunduğunu göstermektedir. Bu bulgular, benzin-biyodizel karışımlarının kısmi yük ve fakir yanma koşullarında kıvılcım ateşlemeli motorlarda başarıyla kullanılabileceğini ve hem performans hem de çevresel açıdan avantajlar sunduğunu ortaya koymaktadır.

Investigation of Effects on Gasoline Added Biodiesel Fuel Blends on the Performance and Emissions in A Spark Ignition Engine

Keywords

Biodiesel,
Gasoline,
Spark Ignition Engine,
Emission Analyses.

Abstract: This study presents an experimental investigation into the performance and emission behavior of a spark ignition (SI) engine operated with various Gasoline-Biodiesel fuel blends. The tested mixtures included pure gasoline (B100), 95% gasoline with 5% biodiesel (B95BD5), and 90% gasoline with 10% biodiesel (B90BD10), examined under excess air ratios (λ) of 0.9, 1.0, and 1.1. The engine employed was a four-cylinder, four-stroke, multi-point fuel injection (MPFI) SI engine, tested on an eddy-current chassis dynamometer at 1500 rpm and 25% load (approximately 30 kW). Findings indicate that the inclusion of biodiesel particularly at 5% resulted in improved volumetric efficiency and reduced brake specific fuel consumption, alongside noticeable decreases in harmful emissions such as unburned hydrocarbons (HC) and carbon monoxide (CO). These results suggest that gasoline-biodiesel blends are viable for use in SI engines operating under partial load and lean-burn conditions, offering both environmental and performance advantages.

*İlgili Yazar, email: h.enesfil@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Yakıt katkı maddelerinin, benzinli ve dizel motorlarda performans ve emisyon parametreleri üzerindeki etkileri uzun süredir araştırılmaktadır. Alkol bazlı yakıtlar, benzinle karıştırılarak veya saf halde yaygın şekilde kullanılabilmektedir. Özellikle alkollü yakıtların yüksek oktan sayısına sahip olması, benzinle birlikte kullanım potansiyelini ön plana çıkarmaktadır. Biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları ise genellikle dizel motorlarda kullanılmaktadır. Homojen dolgulu sıkıştırılmalı ateşleme (HCCI) sistemine sahip motorlarda, dizel yakıtı benzin veya yüksek oktanlı yakıtlarla karıştırılmaktadır ve bu motorlar genellikle dizel motorlardır. Reaktivite kontrollü

sıkıştırılmalı ateşleme (RCCI), ön karışimli şarjlı sıkıştırılmalı ateşleme (PCCI) ve kısmi ön karışimli yanma (PPC), içten yanmalı motorlarda (ICE) kullanılan diğer yeni uygulamalardır. Bu uygulamalarda genellikle alkoller, benzin ve gaz yakıtları dizel yakıtla birlikte kullanılmaktadır [1].

Alkollerin içten yanmalı motorlarda kullanımı 100 yılı aşkın bir geçmişe sahiptir [2]. Alkoller benzinle karıştırıldıklarında emisyon değerlerinde azalma gözlemlenmektedir. Özellikle 1970'lerde yaşanan petrol krizi sonrası, alternatif yakıtlara yönelim artmış ve bu alandaki çalışmalar hız kazanmıştır. Deneysel çalışmalarda alkol genellikle benzinle karıştırılarak katkı maddesi şeklinde kullanılmaktadır. Metanol, etanol, propanol ve bütanol gibi alkoller en yaygın kullanılan katkı maddeleridir. 1990'lı yıllardan sonra küresel ısınmanın artmasıyla birlikte, yenilenebilir yakıtların kullanımına yönelik ilgi de artmıştır. Rice ve ark.[3], bütanol, metanol ve etanolün benzinle karıştırılmasının emisyon değerleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Alkol/benzin karışımlarıyla elde edilen motor çalışmaları sonucunda, karbon monoksit (CO) emisyonlarının azaldığı ve motorun daha düşük stokiyometrik hava-yakıt oranlarında çalıştırılabildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, yüksek alkol oranına sahip yakıt karışımlarının emisyon oranlarını düşürdüğü vurgulanmış [4–10], dolayısıyla alkol oranı arttıkça fosil yakıt tüketiminin azaldığı ifade edilmiştir. Literatürde alkol, benzin ve gaz karışımıyla çalışan kıvılcım ateşlemeli (SI) motorlara da rastlanmaktadır [11–22].

Bu çalışmada biyodizel, benzine katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Biyodizelin dizel yakıtına katkı olarak kullanıldığı birçok çalışma bulunmasına rağmen, benzin yakıtına katkı olarak kullanıldığı çalışmalar sınırlıdır. Benzinli motorlarda alternatif yakıt kullanımı üzerine bazı araştırmalar yapılmıştır. Bayram ve ark.[23], iki zamanlı bir kıvılcım ateşlemeli motorda benzin-biyodizel karışımının performans ve emisyon üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, 100 birim benzine sırasıyla 1, 2 ve 3 birim biyodizel ile 100 birim benzine 2 birim standart mineral yağ eklenerek oluşturulan karışımlar, 5 farklı motor yükünde (sırasıyla %13,3, %26,6, %40, %53,3 ve %66,6) test edilmiş ve bu koşulların motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkisi incelenip; biyodizelin benzinle karıştırılmasıyla HC emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Özellikle motor rölantide çalışırken HC emisyonlarında %51,3 iyileşme kaydedilmiştir. Benzer şekilde, alternatif yakıt olarak kullanılan karışımın CO emisyonlarının benzinden daha düşük olduğu görülmüştür. Diğer araştırmaların sonuçlarına göre, benzine biyodizel eklenmesiyle elde edilen alternatif yakıtların fosil kaynaklı emisyonlarda azalma sağladığı ve performansta büyük farklılıklar olmaması nedeniyle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Yüksel ve ark. [24], dizel motorlarda biyodizel kullanımının egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Dört farklı kaynaktan elde edilen biyodizelin %5 oranında dizel yakıtı karıştırılması sonucu, tam yükte CO, SO₂, NO_x ve O emisyonları analiz edilmiştir. Farklı kaynaklardan elde edilen biyodizeller ayrı ayrı test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırıldığında aralarında büyük farklılıklar olmadığı görülmüştür. %5 biyodizel katkısıyla CO ve is emisyonlarında azalma sağlanırken, SO₂ ve NO_x emisyonlarında kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Motor performansında belirgin bir değişiklik olmamakla birlikte, özgül yakıt tüketiminde bir miktar artış olduğu sonucuna varılmıştır. Özdemir ve arkadaşları [25] ise biyodizel ve etanolün dizel motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiş; biyodizel oranı arttıkça motor güç ve torkunda hafif bir düşüş, özgül yakıt tüketiminde ise artış gözlemlenmiştir. CO emisyonlarında azalma, HC ve NO_x emisyonlarında ise artış olmuştur. Günümüze kadar yapılan araştırmalar incelendiğinde, biyodizelin genellikle dizel yakıtlarına eklendiği ve motor performansı ile gaz emisyon değerlerinin incelendiği görülmektedir. Tomar ve ark.[26], kıvılcım ateşlemeli bir motorda oksijenli biyo-katkı maddesi (tri-asetin) kullanımını yanıt yüzeyi yöntemiyle incelemişlerdir. Araştırdıkları çeşitli alternatifler arasında, gliserolün asetilasyonu ile elde edilen tri-asetinin ideal bir çözüm olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Alkol yakıtlarının benzine eklenmesiyle emisyon değerleri düşerken yakıt tüketimi artırmaktadır. Gaz yakıtların benzine eklenmesiyle ise emisyon değerleri düşmekte ve yakıtın özelliklerine bağlı olarak motor performansı artmaktadır. Hidrojenin benzine ilave edilmesi hâlinde, özellikle fakir karışımlarda hem performans hem de emisyon değerlerinde iyileşme sağlanmaktadır. LPG ve CNG gibi yakıtların katkısı performans üzerinde büyük bir değişiklik yaratmazken, ateşleme avansı ve hava fazlalık katsayısına bağlı olarak emisyonlarda hafif bir düşüş gözlemlenmektedir. Oktan sayısı düşük yakıtların katkısı ise özellikle fakir karışımlarda (asetilen gibi) performans değerlerini artırabilmektedir.

Dizel motorlarda benzin ve alkol yakıtlarının dizel yakıtına eklenmesiyle ilgili hem ticari hem de akademik çalışmalar mevcuttur (HCCI, PCCI, RCCI gibi).

Bu çalışmada, biyodizelin benzine %5 ve %10 oranlarında hacimsel olarak eklenmesiyle oluşturulan yakıt karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Biyodizelin alternatif yakıt olarak kullanımı ile, performans üzerinde önemli bir değişim olmasa da, gaz emisyonlarında belirgin farklılıklar ortaya çıktığı görülmüştür. Çalışmanın yapılma amacı da zaten hali hazırda biyodizel-dizel karışımlarının dizel motorlarda uygulandığına dair çok sayıda çalışma olmasına rağmen, biyodizel-benzin karışımlarının benzinli motorlarda kullanımına dair sınırlı kaynakların olmasıdır. Literatürdeki

bu belirgin araştırma boşluğu göz önüne alındığında, bu çalışma, benzin-biyodizel karışımlarının modern bir SI motorda, özellikle pratik önemi yüksek olan kısmi yük ve fakir karışım koşullarındaki potansiyelini sistematik olarak inceleyerek literatüre temel ve özgün bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deney Düzeneği



Şekil 1. Deney Düzeneği

Şekil 1'de, dört zamanlı kıvılcım ateşlemeli bir benzinli motor kullanılarak gerçekleştirilen deney düzeneği gösterilmektedir. Deneylerde kullanılan SI motor, 5500 dev/dak motor hızında 75 kW maksimum güce ve 10:1 sıkıştırma oranına sahiptir. Motorun teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Motorun hız ve tork değerleri, SAJ SE 150 model Eddy-current tipi dinamometre ile ölçülmüştür. Benzin-biyodizel karışımı yakıtların debisi, Krohne Optimass 3300C sıvı kütesel debi ölçer ile belirlenmiştir. Silindir içi basınç değerleri ise PCB 113B22 piezoelektrik basınç sensörü kullanılarak elde edilmiştir. Egzoz gazı emisyon değerleri (CO, CO₂, HC ve NO) Bosch BEA 060 gaz analizörü ile ölçülmüştür.

Tablo 1. Motorun Özellikleri

Motor	Ford Dohc 16V
Silindir sayısı	4
Çap x Strok	80.6 x 88 mm
Strok hacmi	1796 cm ³
Sıkıştırma oranı	10:1
Maksimum hız	5500 rpm
Maksimum güç (DIN)	75 kW, 102 PS
Maksimum tork (DIN)	150 Nm (4000 rpm)

Deneylerde kullanılan yakıt karışımları hacimsel olarak %100 benzin (B100), %95 benzin + %5 biyodizel (B95BD5) ve %90 benzin + %10 biyodizel (B90BD10) içermektedir. Hazırlanan yakıt karışımları, bir yakıt pompası aracılığıyla 2,5–3 bar basınç aralığında yakıt enjektörlerine iletilmiştir. Deneyler, motorun 1500 dev/dak sabit hızda ve %25 yük altında çalıştırılması koşuluyla şasi dinamometresi üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak referans yakıt olarak %100 benzin kullanılarak motor performansı ve egzoz emisyon değerleri belirlenmiş, ardından diğer yakıt karışımları için aynı test prosedürü uygulanmıştır. Tüm deneyler, 0.9 (zengin), 1.0 (stokiyometrik) ve 1.1 (fakir) şeklinde üç farklı hava fazlalık katsayısı (λ) değerlerinde tekrarlanmıştır. Her bir yakıt karışımı ve hava fazlalık oranı için ateşleme avansı, üst ölü noktadan (TDC) sonra 15 krank açısında (CA) maksimum basınç noktasını sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca, test düzeneğine motorun elektronik kontrol ünitesinden bağımsız olarak 0 ile 60 CA arasında ateşleme avansı değişimi sağlayabilen bir elektronik kart entegre edilmiştir [20]. İlgili yakıt karışımları için kullanılan ateşleme avansı değerleri Tablo 2'de; benzin ve biyodizel yakıtlarının temel fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 2. Yakıtların Max. Basınç ve Ateşleme Avansları

λ	Yakıtlar	Max. Basınç (bar)	Ateşleme Avansı (KMA ÜÖNÖ)
0.9	B100	14.77	20
	B95BD5	16.77	22
	B90BD10	17.18	25
1.0	B100	14.70	23
	B95BD5	16.91	23

1.1	B90BD10	16.70	25
	B100	13.78	23
	B95BD5	15.64	23
	B90BD10	16.40	25

Tablo 3. Yakıtların Özellikleri [31]

Özellikler	Benzin	Biyodizel
Formül	C ₈ -C ₁₈	C ₁₉ H ₃₅ O ₂
Yoğunluk (kg/m ³)	720-755	860-900
Kendi kendine tutuşma sıc. (° C)	370	375-430
Adyabatik alev sıc. (K)	2270	2278-2559
Isıl değer (MJ/kg)	43.5	38.5
Gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)	305	300
Alevlenme noktası (° C)	-43	160-170
Alev hızı (m/s)	0.4	0.4-0.6
Oktan sayısı	100	20
Setan sayısı	<15	55

2.2. Hata Analizi

Tablo 4, deneysel sistemde kullanılan cihazların hassasiyetlerini ve teknik özelliklerini sunmaktadır. Hata analizi, Denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu denkleme göre, verim ve güç hesaplamalarındaki belirsizlikler sırasıyla %3,5-5 ve %3,7-5,8 aralığında bulunmuştur [20].

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \omega_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \omega_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \omega_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Burada, W_R hesaplanan değer toplam belirsizliğini, R ölçülen miktar, $x_1, x_2, \dots, x_n$ ölçüm üzerinde etkili olan değişkenleri ve $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ bağımsız değişkenlere ait hata sınırlarını ifade etmektedir [20].

Tablo 4. Cihazların Hassasiyetleri ve Teknik Özellikleri

Cihaz adı	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
Basınç sensörü (PCB 113B22)	0-5000 psi	±%1
Sıvı akış ölçer (Krohne)	1.2-130 kg/h	±%0.1
Egzoz Gaz Analizörü (Bosch BEA 060)		
CO	%0-10 vol.	±%0.06
CO ₂	%0-18 vol.	±%0.5
O ₂	%0-22 vol.	±%0.1
HC	0-9999 ppm	±%0.5
NO	0-5000 ppm	±%0.12

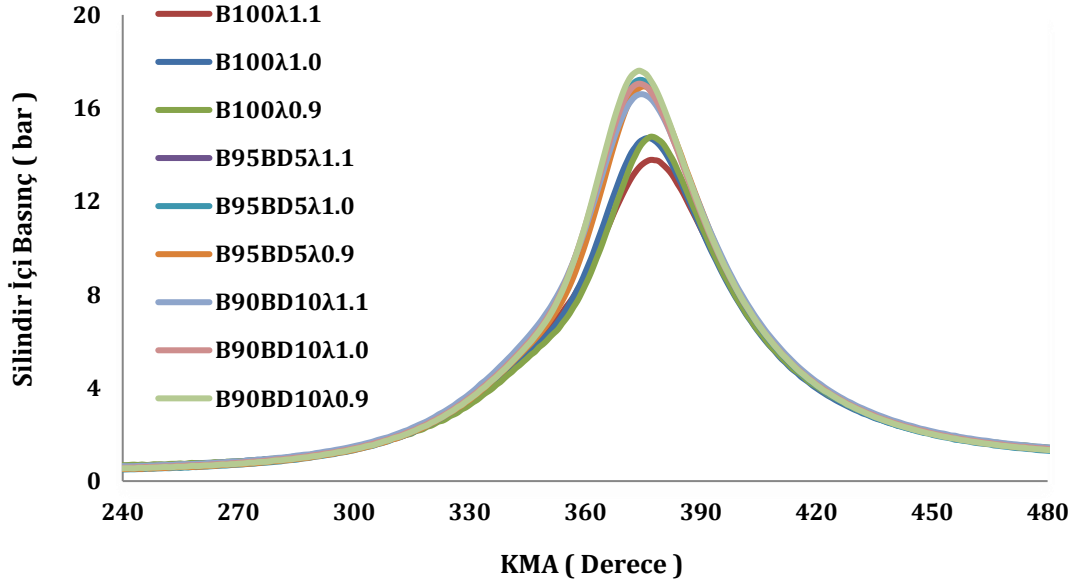
3. Bulgular

3.1. Silindir İçi Basınç

Şekil 2, farklı benzin-biyodizel karışımlarına ait 0,9, 1,0 ve 1,1 hava fazlalık katsayılarında (λ) krank açılarına göre silindir içi basınç değerlerini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, saf benzin (B100) kullanımında maksimum basınç değerleri 377 KMA'da sırasıyla 14.77, 14.71 ve 13.71 bar olarak ölçülmüştür. Benzine biyodizel ilave edildiğinde, silindir içi basınç değerlerinin arttığı görülmektedir. Özellikle $\lambda=0,9$ koşulunda, en yüksek basınç değerleri B90BD10 yakıt karışımında elde edilmiştir. Biyodizelin yüksek oksijen içeriği ve setan sayısı, tutuşma gecikmesini kısaltmaktadır [32]. Bu nedenle, ateşlemeden sonra biyodizel karışımları ile elde edilen basınç artışları, yalnız benzin kullanımına kıyasla daha yüksektir.

$\lambda=1.0$ stokiyometrik koşullarda, B90BD10 ve B95BD5 karışımlarının basınç değerleri birbirine yakın ölçülmüş olup maksimum basınçlar 374-375 KMA'da elde edilmiştir. Biyodizel içeren karışımlarda basınç artış oranları, benzinli yakıtlara göre daha yüksek olmuştur. Her ne kadar biyodizelin oktan sayısı oldukça düşük olsa da, $\lambda = 0,9$ ve 1,0 hava fazlalık oranlarında, %25 kısmi yük altında motorda herhangi bir vuruntu gözlemlenmemiştir. Bu durum, düşük yük koşullarında ateşleme avansının kontrol edilebilir olmasıyla açıklanabilir.

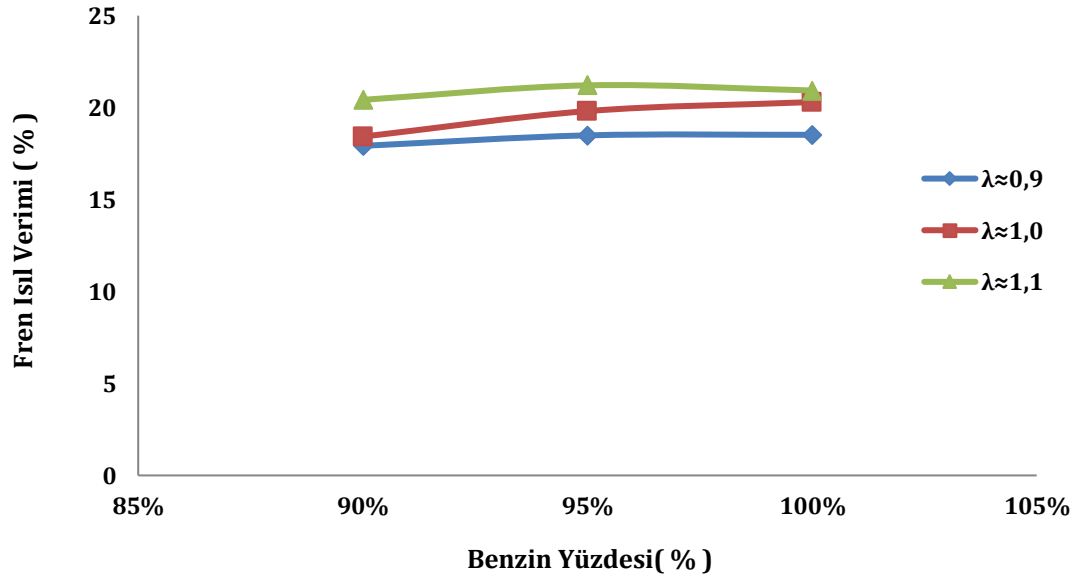
Şekil 2’de görüldüğü üzere, fakir karışım koşullarında ($\lambda=1.1$) biyodizel oranı arttıkça silindir içi basınç değerleri yükselmektedir. Literatürde biyodizelin oktan sayısının yaklaşık 20, kullanılan saf benzinin ise 100 olduğu bilinmektedir. Bu çerçevede, B90BD10 ve B95BD5 karışımlarının teorik oktan sayıları sırasıyla 87.5 ve 92.25 olarak hesaplanmıştır. Özellikle fakir karışım ve kısmi yük koşullarında, bu karışımların yanma karakteristiklerinin saf benzine kıyasla daha iyi olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.Farklı yakıt ve λ değerlerine göre Silindir içi basıncın-Krank mili açısına göre değişimi

3.2. Fren Isıl Verimi

Şekil 3, fren termal veriminin 0.9, 1.0 ve 1.1 hava fazlalık katsayısı değerlerindeki değişimini göstermektedir. Fren termal verimi, bir motordaki yakıtın yanması ile açığa çıkan ısı enerjisini ne kadar faydalı mekanik enerjiye dönüştürdüğünü değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır [34].



Şekil 3.Farklı λ değerlerine göre Fren ısı veriminin-Benzin yüzdesine göre değişimi

$\lambda = 0.9$ (zengin karışım) koşulunda, saf benzin (B100) ve biyodizel-benzin karışımlarının verim değerleri birbirine oldukça yakındır. Stokiyometrik karışım oranında ($\lambda = 1.0$), biyodizel içeren yakıt karışımlarının verim değerleri, saf benzine göre daha yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte, B90BD10 ve B95BD5 karışımları arasında

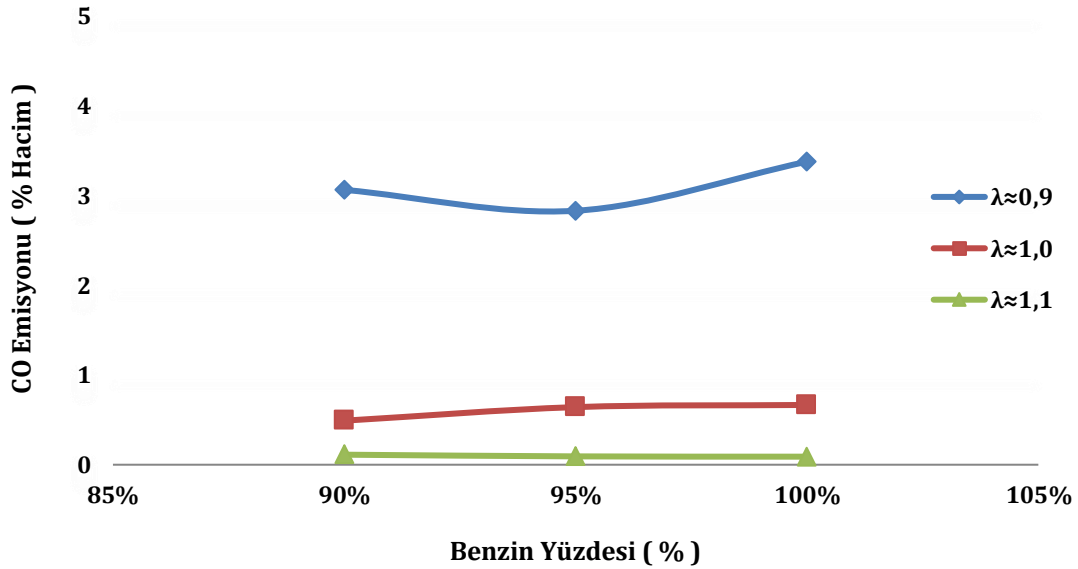
elde edilen verim değerleri oldukça benzer seviyelerdedir. Bu durum, bu noktada biyodizelin içerdiği oksijenin etkisinin belirginleşmeye başladığını göstermektedir. Fakir karışım koşullarında ($\lambda=1.1$) ise, hem hava fazlalık katsayısının artması hem de biyodizelin oksijen içeriği sayesinde verim değerleri yükselmiştir. Maksimum fren termal verimi, B90BD10 karışımı ve $\lambda=1.1$ koşulunda elde edilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, biyodizelin oktan sayısının düşük olmasına rağmen (SI motorlar için teorik olarak uygun olmayan bir özellik), kısmi yük ve fakir yanma koşullarında yüksek oksijen içeriği sayesinde termal verim artışı gözlemlenmiştir. Düşük oktan sayılı bir yakıtın benzinli bir motorda kullanılabilmesi için, vuruntu oluşumunu engellemek amacıyla yüksek hava fazlalık katsayısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, asetilen gibi düşük oktanlı yakıtlarda da geçerlidir [20,35].

3.3. Emisyon Parametreleri

Biyodizelin yüksek oksijen içeriği, yakıtın tam ve verimli şekilde yanmasını sağlamakta; bunun sonucunda yanmamış yakıt kaynaklı emisyonların miktarı azalmaktadır [33]. İçten yanmalı motorlarda yakıtın yanması sırasında açığa çıkan bu emisyonlar; çevresel etkiler, karbon salımı kontrolü, enerji verimliliği ve motor performansı açısından kritik önem taşımaktadır.

3.3.1. Karbon Monoksit Emisyonu (CO)

Karbon monoksit (CO), hem toksik bir gaz olması hem de eksik yanma sonucu oluşması nedeniyle önemli bir emisyon parametresidir. CO emisyonları, hidrokarbon (HC) yakıtların tam yanamaması sonucu ortaya çıkmakta olup, büyük ölçüde hava-yakıt oranına bağlıdır [36]. Şekil 4'te, CO emisyon değerlerinin benzin yüzdesine göre değişimi gösterilmektedir.

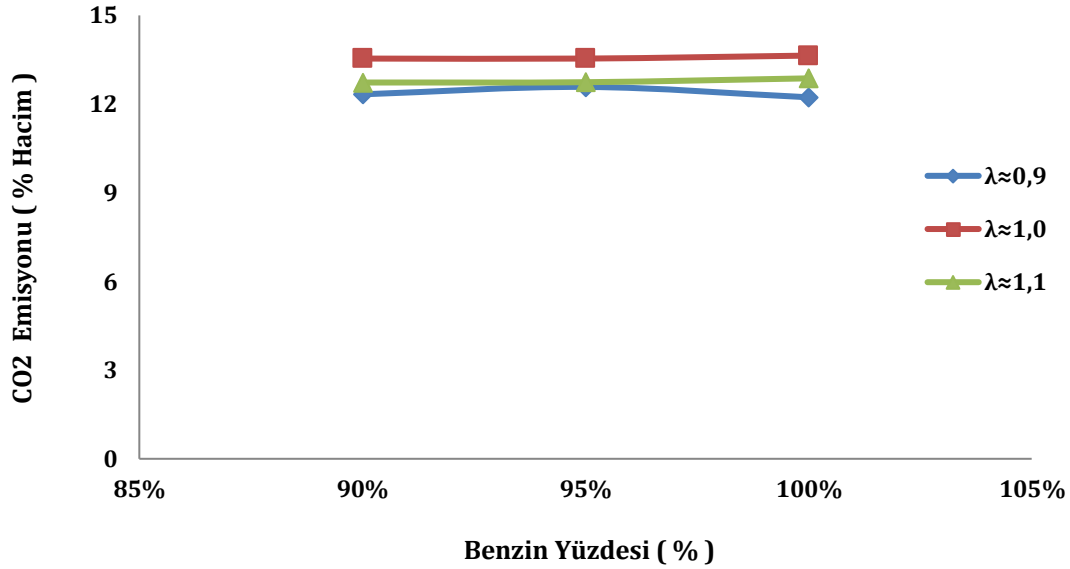


Şekil 4. Farklı λ değerlerine göre CO emisyonunun-Benzin yüzdesine göre değişimi

Zengin karışım koşullarında ($\lambda < 1$) CO emisyon değerleri oldukça yüksek seviyelerdedir. Karışım fakirleştikçe, yani hava fazlalık katsayısı arttıkça, CO emisyon değerlerinde belirgin bir azalma gözlemlenmektedir. $\lambda=0.9$ ve 1.0 değerlerinde, biyodizel ilavesinin CO emisyonları üzerindeki etkisi nispeten sınırlı kalmıştır. Ancak $\lambda=1.1$ fakir karışım koşulunda, tüm yakıt karışımları için CO emisyon değerleri birbirine yakın seviyelerde ölçülmüştür.

3.3.2. Karbon Dioksit Emisyonu (CO₂)

Şekil 5, incelenen farklı yakıt karışımlarına ait karbondioksit emisyon değerlerini göstermektedir. Bir yakıtın oksijenle reaksiyonu sonucunda karbondioksit ve su oluşması, tam yanmanın gerçekleştiğinin göstergesidir. Dolayısıyla, daha verimli bir yanma için maksimum CO₂ salımı arzu edilen bir durumdur.

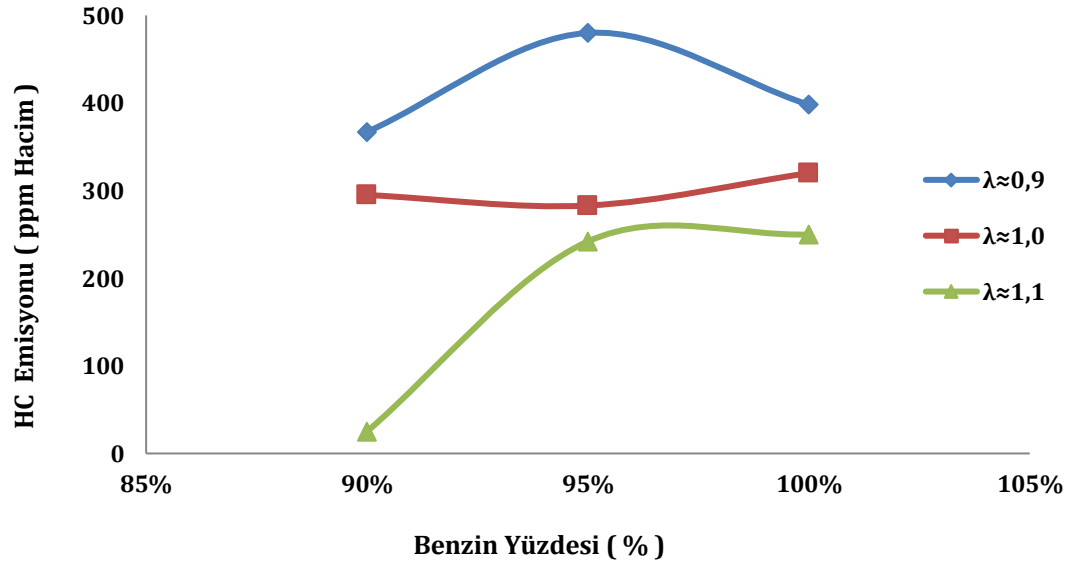


Şekil 5. Farklı λ değerlerine göre CO₂ emisyonunun-Benzin yüzdesine göre değişimi

Deneysel bulgulara göre, en yüksek CO₂ emisyon değerleri stokiometrik karışım oranında gözlemlenmiştir. Zengin karışım bölgesinde ($\lambda < 1$), biyodizel ilavesinin CO₂ emisyonları üzerindeki olumlu etkisi saf benzine göre belirgindir. Ancak stokiometrik ($\lambda = 1,0$) ve fakir ($\lambda = 1,1$) karışım koşullarında, biyodizel ilavesinin ardından elde edilen CO₂ emisyon değerleri, saf benzin ile oldukça benzer seviyelerde gözlemlenmiştir.

3.3.3. Yanmamış Hidrokarbonlar (UHC)

Eksik yanmanın göstergeleri arasında yanmamış hidrokarbonlar (UHC) ve karbonmonoksit (CO) yer almaktadır. Yanmamış hidrokarbonlar, insan sağlığı açısından son derece zararlı olup, aynı zamanda motor performansını da olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 6, elde edilen yanmamış hidrokarbon değerlerini göstermektedir.



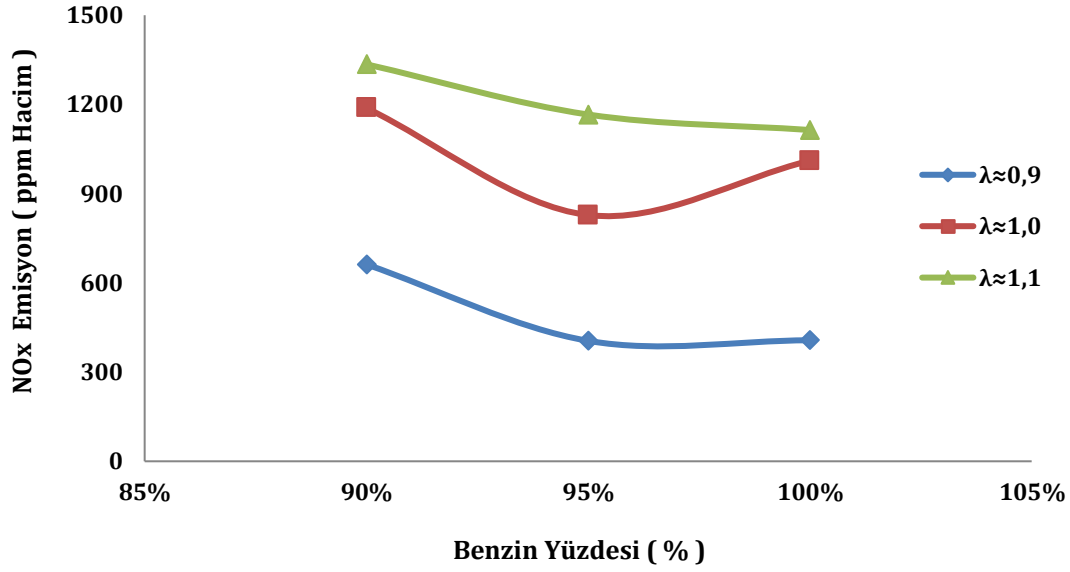
Şekil 6. Farklı λ değerlerine göre UHC emisyonunun-Benzin yüzdesine göre değişimi

Şekilden de görüldüğü üzere, en yüksek UHC emisyonları $\lambda = 0,9$ (zengin karışım) koşullarında elde edilmiştir. Biyodizel ilavesinin, $\lambda = 0,9$ ve $1,0$ hava fazlalık katsayılarında UHC emisyonları üzerinde anlamlı bir değişim oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Ancak hava fazlalık katsayısının artmasıyla birlikte UHC değerleri belirgin düşüşler görülmüştür. En düşük UHC değerleri, %10 biyodizel içeren B90BD10 karışımında ölçülmüştür. Bu durum, biyodizelin yüksek oksijen içeriğinin yanma verimliliğini artırmasıyla açıklanabilir.

3.3.4. Azot Oksit (NO)

Azot oksitler, nitrik oksit, eser miktarda nitrojen dioksit (NO₂) ve diğer azot oksit bileşiklerinden oluşmaktadır. NO_x emisyonları özellikle yüksek sıcaklıklarda, havadaki azot ile oksijenin tepkimeye girmesi sonucu

oluşmaktadır. Şekil 7’de, farklı yakıt karışımları ve hava fazlalık katsayılarına göre NO emisyon değerlerindeki değişim gösterilmektedir.



Şekil 7. Farklı λ değerlerine göre NO_x emisyonunun-Benzin yüzdesine göre değişimi

Şekilden de görüleceği üzere, hem benzin içerisine biyodizel ilavesi hem de hava fazlalık katsayısının artırılması durumlarında NO emisyon değerlerinde artış gözlemlenmiştir. En yüksek NO emisyonu, B90BD10 yakıt karışımı ve $\lambda = 1,1$ koşulunda elde edilmiştir. Bununla birlikte, NO emisyonlarındaki artış çevresel açıdan istenmeyen bir durum olduğundan bu artış aynı zamanda yanmanın daha verimli gerçekleştiğine de işaret etmektedir. NO emisyonları, uygun bir katalitik konvertör kullanımı ile etkin şekilde azaltılabilmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, benzin-biyodizel yakıt karışımları ile çalışan bir motorun performans ve emisyon karakteristikleri, üç farklı hava fazlalık katsayısında (λ) deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

Biyodizel yakıtları genellikle dizel motorlarda kullanılmaktadır. Ancak bu çalışma, biyodizelin sınırlı oranlarda benzinle karıştırılarak kıvılcım ateşlemeli motorlarda, özellikle kısmi yük koşullarında başarıyla kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Bu durumda, yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonlarında azalma sağlanırken, karbon dioksit ve azot oksit emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. Literatürde biyodizel ve alkol gibi alternatif yakıtların HC ve CO emisyonları üzerindeki etkilerine ilişkin yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmada elde edilen sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak biyodizel oranı yüksek tutulduğunda, kıvılcım ateşlemeli motorlarda vuruntu riski oluşabilmektedir. En iyi performans ve emisyon değerleri, $\lambda = 1.1$ hava fazlalık katsayısında B90BD10 yakıt karışımı ile elde edilmiştir.

Çalışmanın devamı olarak, biyodizel-benzin karışımlarının farklı motor devirlerinde, yüklerde, hava fazlalık oranlarında ve ateşleme avansı koşullarında test edilmesi önerilmektedir.

Teşekkür

Yazar bu çalışmanın yapılma sürecinde danışmanlığı ile mihmandarlık eden Prof. Dr. S. Orhan Akansu'ya ve deneyler yapılırken yazara eşlik eden yüksek lisans öğrencisi Alparslan Bozkurt'a teşekkür eder. Deneyler yazarın da mensubu olduğu Erciyes Üniversitesi Motorlar Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Kaynakça

- [1] Ilhak, Mİ., Tangoz, S., Akansu, SO., Kahraman, N. 2019. Chapter: Alternative Fuels for Internal Combustion Engines, IntechOpen.
- [2] Dincer, I. 2018. Comprehensive Energy Systems, Elsevier.

- [3] Rice, R.W., Sanyal, A.K. , Eldor, A.C.,Bata, R.M. 1991. Exhaust-Gas Emissions Of Butanol, Ethanol, And Methanol-Gasoline Blends. *J Eng Gas Turbines Power*, 113(1991), 377-381.
- [4] Yacoub, Y., Bara, R., Gautam, M. 1998. The Performance and Emission Characteristics of C1-C5 Alcohol-Gasoline Blends with Matched Oxygen Content in a Single Cylinder Spark Ignition Engine. *Proc Inst Mech Eng A Power Energy*, 212(1998), 363-379.
- [5] Gautam, M., Martin, D.W. 2000. Emission Characteristics of Higher-Alcohol/Gasoline Blends. *Proc Inst Mech Eng*, 214A(2000), 165-182.
- [6] Gautam, M., Martin, D.W. 2000. Combustion Characteristics of Higher-Alcohol/Gasoline Blends. *Proc Inst Mech Eng*, 214A(2000), 497-511.
- [7] Arapatsakos, C.I., Karkanis, A.N., Sparis, P.D. 2003. Gas Emissions and Engine Behavior when Gasoline-Alcohol Mixtures are Used. *Environmental Tech*, 24(2003), 1069-1077.
- [8] Yanju, W., Shenghua, L., Hongsong, L., Rui, Y., Jie, L., Ying, W. 2008. Effects of Methanol/Gasoline Blends on a Spark Ignition Engine Performance and Emissions. *Energy Fuel*, 22(2008), 1254-1259.
- [9] Hu, T., Wei, Y., Liu, S., Longbao, L. 2007. Improvement of Spark-Ignition Engine Combustion and Emission during Cold Start, Fueled with Methanol/Gasoline Blends. *Energy Fuels*, 21(2007), 171-175.
- [10] Koc, M., Sekmen, Y., Topgul, T., Yucesu, H.S. 2009. The Effects of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark-Ignition Engine. *Renewable Energy*, 34(2009), 2101-2106.
- [11] de Almeida L.Q., Sales L.C.M., Sodre, J.R. 2015. Fuel Consumption and Emissions from a Vehicle Operating with Ethanol, Gasoline and Hydrogen Produced on-board. *Int. J. Of Hydrogen Energy*, 40(2015), 6988-6994.
- [12] Akansu, S.O., Tangoz, S., Kahraman, N., Ilhak, M.I., Acikgoz, S. 2017. Experimental Study of Gasoline-Ethanol-Hydrogen Blends Combustion in an SI Engine. *Int. J. Of Hydrogen Energy*, 42(2017), 25781-25790.
- [13] Yılmaz, I., Tastan, M. 2018. Investigation of Hydrogen Addition to Methanol-Gasoline Blends in an SI Engine. *Int. J. Of Hydrogen Energy*, 43(2018), 20252-20261.
- [14] Bas, O., Akar, M.A., Serin, H., Ozcanli, M., Tosun, E. Variation of Spark Plug Type and Spark Gap with Hydrogen and Methanol Added Gasoline Fuel:Performance Characteristics. *Int. J. Of Hydrogen Energy*, 45(2020), 26513-26521.
- [15] Jhang, S.R., Lin, Y.C., Chen, K.S., Lin, S.L., Batterman, S. 2020. Evaluation of Fuel Consumption, Pollutant Emissions and well-to-wheel GHGs Assessment from a Vehicle Operation Fueled with Bioethanol, Gasoline and Hydrogen. *Energy*, 209(2020), Makale Numarası: 118436.
- [16] Shang, Z., Yu, X.M., Ren, L., Wei, G.W., Li, G.T., Li, D.C., Li, Y.N. 2020. Comparative Study on Effects of Injection Mode on Combustion and Emissions Characteristics of a Combined Injection n-butanol/gasoline SI engine with Hydrogen Direct Injection. *Energy*, 213(2020), Makale Numarası: 118903.
- [17] Ran, Z.N., Hariharan, D., Lawler, B., Mamalis, S. 2019. Experimental Study of Lean Spark Ignition Combustion Using Gasoline, Ethanol, Natural Gas and Syngas. *Fuel*, 235(2019), 530-537.
- [18] Dogu, Y., Yontar, A.A., Kantaroglu, E. 2020. Experimental Investigation of Effects of Single and Mixed Alternative Fuels (Gasoline, CNG, LPG, Acetone, Naphthalene and Boron Derivatives) on a Commercial i-DSI Engine. *Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects*, (2020), doi:10.1080/15567036.2020.1800864.
- [19] Usman, M., Hayat, N., Bhutta, M.M.A. 2020. SI Engine Fueled with Gasoline, CNG and CNG-HHO Blend: Comparative Evaluation of Performance, Emission and Lubrication Oil Deterioration. *Journal of Thermal Science*, (2020), doi:10.1007/s11630-020-1268-4.

- [20] Ilhak, M.I., Dogan, R., Akansu, S.O., Kahraman, N. 2020. Experimental Study on an SI Engine Fueled by Gasoline, Ethanol and Acetylene at Partial Loads. *Fuels*, 261(2020), Makale Numarası: 116148.
- [21] Ogden, J.M., Steinbugler, M.M., Kreutz, T.G. 1999. A Comparison of Hydrogen, Methanol and Gasoline as Fuels for Fuel Cell Vehicles: Implications for Vehicle Design and Infrastructure Development. *Journal of Power Sources*, 79(1999), 143-169.
- [22] Zhao, L., Su, X., Wang, X. 2020. Comparative Study of Exhaust Gas Recirculation (EGR) and Hydrogen-Enriched EGR Employed in a SI Engine Fueled by Biobutanol-Gasoline. *Fuel*, 268(2020), Makale Numarası: 117194.
- [23] Bayram, 2013. In a Two-Stroke Engine with Spark Plug Ignition: The Effect of Gasoline Biodiesel Mixture on Performance and Emission. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 348357, Karabük.
- [24] Yuksel, F., Yuksel, B. 2004. The Use of Ethanol-Gasoline Blend as a Fuel in an SI Engine. *Renewable Energy*, 29(2004), 1181-1191.
- [25] Özdemir, M. 2011. Investigation of the Effects of Biodiesel and Ethanol Usage on Engine Performance and Emissions in a Diesel Engine. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 287408, Karabük.
- [26] Tomar, M., Dewal, H., Sonthalia, A., Kumar, N. 2020. Optimization of Spark-Ignition Engine Characteristics Fuelled with Oxygenated Bio-Additive (triacetin) Using Response Surface Methodology. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part E-Journal of Process Mechanical Engineering*, (2020), Makale Numarası: 0954408920971110.
- [27] Tuccar, G., Tosun, E., Uludamar, E. 2018. Investigation of Effects of Density and Viscosity of Diesel and Biodiesel Fuels on NO_x and Other Emission Formations. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, (2018), 81-85.
- [28] Glaude, P-A., Fournet, R., Bounaceur, R., Moliere, M. 2010. Adiabatic Flame Temperature from Biofuels and Fossil Fuels and Derived Effect on NO_x Emissions. *Fuel Processing Technology*, 91(2010), 229-235.
- [29] Tutak, W., Jamrozik, A., Pyrc, M. 2017. Co-combustion of Biodiesel with Oxygenated Fuels in Direct Injection Diesel Engine. *E3S Web Conf*, (2017), doi:10.1051/e3sconf/20171402018.
- [30] Ranzi, E., Frassoldati, A., Stagni, A., Pelucchi, M., Cuoci, A., Fravelli, T. 2014. Reduced Kinetic Schemes of Complex Reaction Systems: Fossil and Biomass-Derived Transportation Fuels. *International Journal of Chemical Kinetics*, 46(2014), 512-542.
- [31] Casanova, A.A., Othen, E., Sorensen, J.L., Levin, D.B., Birouk, M. 2016. Measurement of Laminar Flame Speed and Flammability Limits of a Biodiesel Surrogate. *Energy Fuels*, 30(2016), 8737-8745.
- [32] Monyem, A. 1998. The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions. Iowa State Üniversitesi, Doktora Tezi, Amerika Birleşik Devletleri.
- [33] Kumar, A., Kim, D.S., Omidvarborna, H., Kuppili, S.K. 2014. Combustion Chemistry of Biodiesel Foruse in Urban Transport Buses:Experiment and Modelling. Rapor, Mineta National Transit Research Consortium.
- [34] Singh, P., Pramanik, D., Singh, R.V., Jigayasu, M.K., Vyas, S., Pardhan, A., Goyal, S.K. 2017. Performance Analysis and Simulation of Diesel Engine on Variable Compression Ratio. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 6(2017), 9-17.
- [35] Ilhak, M.I., Tangoz, S., Akansu, S.O., Kahraman, N. 2019. An Experimental Investigation of the Use of Gasoline-Acetylene Mixtures at Different Excess Air Ratios in an SI Engine. *Energy*, 175(2019), 434-444.
- [36] Pulkrabek, W.W. 2003. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, 2nd edn. Prentice Hall, New Jersey.