



Makale / Research Paper

***Cynara Cardunculus*'dan Üretilen Biyodizel ve Karışımlarının İçten Yanmalı Motorların Yanma Karakteristikleri ve Emisyonları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi**

Mustafa ACAROĞLU^{1*}, Hüseyin KÖSE²

¹Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya 42031, Türkiye

²Şişli Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Motorlu Araçlar Bölümü, İstanbul
acaroglu@selcuk.edu.tr

Received/Geliş: 09.04.2020

Accepted/Kabul: 10.06.2020

Öz: *Cynara cardunculus*, çok yıllık bir Akdeniz bitkisidir. *Cynara cardunculus*, ülkemizde ve dünyada insanların gıda olarak kullanmadığı, su ihtiyacının az olması, veriminin yüksek olması ve ülkemizde tarım dışı arazilerde bile yetiştirilebilmesi nedeniyle sürdürülebilirlik noktasında oldukça büyük öneme sahip, bir C₄ enerji bitkisidir. Bu çalışmada *cynara cardunculus* tohumu yağı metil esteri içeren karışımların modifiye edilmiş, 4 silindirli, turboşarjlı, ve common railli direk enjeksiyonlu bir sıkıştırma ile ateşlemeli (CI) motorda motor performans, emisyon ve yanma karakteristiklerine etkileri araştırılmıştır. Yakıt olarak, dizel (D100), biyodizel (B100) ve biyodizel-dizel (B5-B7) yakıt ve karışımları kullanılmıştır. Testler tam yükte farklı motor devirlerinde yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; maksimum motor gücü (44.7 kW) ve torku (169.68 Nm) B7 yakıt karışımında elde edilirken en yüksek termik verim 2000 dev/dak'da %39 ile B5 yakıt karışımında elde edilmiştir. En düşük ÖYT 2000 dev/dak'da D100 yakıtı ve B5 yakıt karışımında sırasıyla 217.71 g/kWh ve 216.58 g/kWh ile elde edilmiştir. Maksimum silindir basınç değeri 3000 dev/dak.'da B7 yakıt karışımında 100.62 bar olarak elde edilmiştir. Maksimum ısı salınımı oranı 2000 ve 3000 dev/ dak. en yüksek ısı salınım oranı sırasıyla 522.89 kJ/m³deg ve 576.12 kJ/m³deg ile D100 yakıt karışımında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Cynara*, biyodizel, silindir basıncı, ısı salınım oranı, emisyon

Investigation of the Effects of Biodiesel and Mixtures Produced from *Cynara Cardunculus* on Combustion Characteristics and Emissions of Internal Combustion Engines

Abstract: *Cynara cardunculus* is a Mediterranean perennial plant. Cardoon (*Cynara cardunculus*) is C₄ energy plant that is of great importance in terms of sustainability, which belongs to the is low water requirement, high yield and can be grown even in non-agricultural land in our country and world. This study, the effects of mixtures containing *cynara cardunculus* seed oil methyl ester on the engine performance, emission and combustion characteristics were investigated in a modified 4-cylinder, turbocharged, common rail direct injection, and compression ignition (CI) engine. Diesel (D100), biodiesel (B100) and diesel-biodiesel (B5-B7) fuel and blends were used. The tests were carried out under full load conditions and at different engine speeds. Experimental results showed that while maximum engine power (44.7 kW) and maximum engine torque (169.82 Nm) were obtained with B7H2.5, the highest thermal efficiency was obtained as %39 at 2000 rpm with B5 fuel blend. The lowest specific fuel consumption was obtained as 217.71g/kWh and 216.58 g/kWh with D100 and B5 fuel blend at 2000 rpm, respectively. Similar values were obtained with B5 and B7 mixtures. Maximum cylinder pressure was measured as 100.62 bar with B7 at 3000 rpm. Maximum heat release rates were obtained with D100 at 2000 and 3000 rpm as 522.89 kJ/m³deg and 576.12 kJ/m³deg respectively.

Keywords: *Cynara Cardunculus*, biodiesel, cylinder pressure, heat release rate, emission

Bu makaleye atf yapmak için

Acaroglu, M., Köse, H., "Cynara Cardunculus'dan Üretilen Biyodizel Ve Karışımlarının İçten Yanmalı Motorların Yanma Karakteristikleri Ve Emisyonları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(3), 1275-1292.

How to cite this article

Acaroglu, M., Köse, H. "Investigation of the Effects of Biodiesel and Mixtures Produced from *Cynara Cardunculus* on Combustion Characteristics and Emissions of Internal Combustion Engines" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(3); 1275-1292.

ORCID: ¹0000-0003-3038-4781, ²0000-0001-9936-5277

1. Giriş

Çevre kirliliğinin en önemli kaynağı içten yanmalı motorlardır. Bunun temel nedeni içten yanmalı motorların yeterince verimli çalışmamasıdır. Bu durum; yarı yanmış ya da hiç yanmamış yakıtın; CO, hidrokarbon, ya da kurum olarak motordan atılmasına yol açmaktadır. Tüm bu maddeler atmosferi kirleterek, sera etkisi dediğimiz ve gittikçe artan tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Sadece içten yanmalı motorlarla her yıl yaklaşık 420 milyon ton CO₂ atmosfere gönderilmektedir [1, 2].

İnsan sağlığını ve çevre kalitesini doğrudan veya dolaylı olarak tehdit eden bu kirleticilerin kontrolü kaçınılmaz bir hal almıştır. Gelişmiş ülkelerde motorlu taşıt emisyonlarına sınırlamalar getirilmiş ve bu bağlamda birçok standart geliştirilmiştir [3]. Özellikle motor ve araç teknolojisi açısından alternatif olarak seçilen yakıtın içten yanmalı motorlarda kullanımı, depolanması, doğal dengenin korunması ve fosil yakıt türleri ile rekabet edebilir özelliğe sahip olması gerekmektedir. Günümüzde en çok kullanım alanına sahip olanları ise biyoetanol ve biyodizeldir. Kullanılacak alternatif yakıtların, yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi, mevcut teknolojide önemli bir yapısal değişiklik getirmeden doğrudan kullanılabilmesi, ucuz ve bol miktarlarda üretilebilmesi, ısı değerlerinin yüksek olması, kolayca depolanabilmesi ve taşınabilmesi, yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya olanak vermesi ve düşük düzeylerde egzoz emisyonu oluşturması büyük önem taşımaktadır [4, 5]. Bu bakımdan yakıt olarak biyokütleden elde edilen biyoyakıtlar mevcut teknolojide değişikliğe gitmeden ve düşük kirletici emisyon potansiyeli sahip olması nedeniyle günümüzde büyük önem kazanmaktadır. Biyodizel ayçiçeği soya, mısır, kanola gibi iyi bilinen ürünler yanında, ülkemizde fazla tanınmayan ve gıda değeri olmayan *Camelina* (ketencik), *onopordum* ve *Cynara cardunculus* (halk dilinde yabancı enginar, kenger veya deve dikenini bilinmektedir) gibi bazı bitkilerin veya hayvansal yağların katalizör ile kısa zincirli alkollerin transesterifikasyonundan elde edilir. Ancak biyodizel elde etmek için kullanılan gıda ve besin değeri olan soya, ayçiçeği gibi ürünler gıda üretiminde ham madde fiyatını arttırdığından ve ekolojik kaynakların tüketimine neden olduğundan dolayı son yıllarda gıda değeri olmayan bitkilerden biyodizel üretimi ön plana çıkmıştır. Sürdürülebilir biyodizel için, tarımsal amaçlı olmayan çorak ve kurak bölgelerde, gübreleme, sulama ve tarımsal ilaca fazla ihtiyaç duymayan, düşük fiyatlı geliştirilebilir yakıt özelliklerine sahip gıda değeri olmayan bitkiler tercih edilmelidir [6]. Bu kapsamda gıda değeri olmayan bitkiler içerisinde biyoyakıt üretimi konusunda mükemmel özelliğe sahip olan, düşük fiyatlı, kurak bölgelerde yetişebilen, sulama ve gübreleme ihtiyacı az olan çok yıllık bitkilerden en önemlisi *Cynara cardunculus* bitkisidir. *Cynara cardunculus* kuru bölgelere iyi adapte olan yılda hektar başına 15–20 ton üretim yapılabilen on yıl ömrü olan yıllık otsu bir bitkidir. *Cynara cardunculus* diğer bitkilerle karşılaştırıldığında en büyük avantajı sulama ihtiyacının ve yetiştirme maliyetinin düşük olmasıdır [7]. Diğer avantajı düşük enerji maliyetli biyodizel üretmek içinde potansiyel bir ürün olmasıdır. Tohumları içerisindeki %25 den fazla yağ oranı ile ayçiçeği yağı oluşumuna benzer bir yapıya sahiptir. Bitkinin büyük ölçekli olarak yetiştirildiğinde yılda hektar başına 400–650 kg *Cynara cardunculus* yağı elde etmek mümkündür. *Cynara cardunculus* 41.6 MJ/kg ile yüksek ısı değere ve 51 yüksek setan sayısına sahiptir. Yüksek setan sayısından dolayı da hem direk enjeksiyonlu hem de normal dizel motorlarda dizel yakıt olarak kullanılabilmesi gibi ısıtma için direk katı yakıt olarak kullanılabilen bir bitkidir [8]. Birçok araştırmacı dizel yakıtı alternatif bulmak için bitkisel yağlardan yararlanmış ve üretimin optimize edilmesi için çalışmalar yapmıştır. Rakopoulos ve ark [9], yaptıkları çalışma da dört zamanlı direk enjeksiyonlu 2000 dev./dak.'daki orta ve yüksek yüklerdeki bir dizel motorda soya, pamuk, ayçiçeği, kanola, palm yağları ile bunlardan elde edilen metil esterleri dizel yakıtının 10/90 ve 20/80 oranlarında karıştırılmasının motorun performansına, emisyonuna ve yanma olayına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Karışımlardaki farklı köklerdeki bitkilerden üretilen biyodizel yüzde oranları arttıkça duman yoğunluğu ve CO emisyonunun dizel yakıtına göre önemli miktarda azaldığını, NO_x emisyonunun hafif bir azaldığını, HC emisyonunda ise değişiklik

olmadığını tespit etmişlerdir. *Cynara cardunculus* yağından elde edilen ham yağın ve karışımların özellikleri Tablo 1. de verilmiştir.

Tablo 1. *Cynara cardunculus* yağının ve karışımların özellikleri

Özellikler	Birim	Dizel	<i>Cynara cardunculus</i>	B5	B7
Molekül Ağırlığı	kg/mol	205	292	-	-
Karbon İçeriği	%	87	71	-	-
Hidrojen İçeriği	%	13	12	-	-
Oksijen içeriği	%	0	10.8	-	-
Yoğunluk	kg/m ³	845	876	836	875
Donma Noktası	°C	-40-1	-4	-	-
Buharlaşma gizli ısı	kJ/kg	233	-	-	-
Alt ısı Değeri	MJ/kg	46.5	41.6	45.82	44.58
Setan Sayısı	-	50	51	48	49
Parlama Noktası	°C	>55°C	170-175	-	-
Viskozite *1000	Ns/m ²	2.5-3.5	4.975	2.88	3.01

Abu-Hamdeh ve Alnefaie [10], tek silindirli bir motorda badem yağı ile palm yağı biyodizelinin hacimsel olarak %0, %10, %30, %50 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırılmasının motor performans ve emisyon değerlerine etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuç olarak badem yağı-dizel karışımının palm yağı- dizel karışımına göre motor performansı artırdığını, özgül yakıt tüketimini düşürdüğünü, termal verimi ve egzoz sıcaklığını yükselttiğini, CO, NO_x, toplam partikül ve HC miktarını azalttığını tespit etmişlerdir. Sayısının azalmasında etkili olduğunu tespit etmişlerdir. İlkılıç ve ark. [11], yaptıkları çalışmada metil alkol transesterifikasyonu olarak bilinen işlemle yemeklik bir bitki olmayan bittim (Siirt fıstığı, menengiç) bitkisinden elde ettikleri biyodizelin %10 ve %50 oranında dizel yakıtı ile karıştırarak, bu karışımın motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Biyodizelin alt ısı değerinin düşük olmasından dolayı özgül yakıt tüketiminin arttığını, güç çıkışının düştüğünü, bütün karışımlarda CO₂, CO, HC emisyonlarının azaldığını, NO_x emisyonunun arttığını tespit etmişler. Abedin ve ark. [12], dört silindirli bir dizel motorda motorun 1000-4000 devir aralığında ve tam yükünde %10,%20 palm yağı biyodizeli ile %10,%20 jatropha biyodizelin dizel yakıtı ile karıştırılmasının motor performans, emisyon ve ısı kayıplarına etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. %10 ve %20 palm ve jatropha biyodizel karışımları ile çalışmada fren gücünün ortalama %2.3 ile %10.7 azaldığını, %20 palm ve jatropha karışımlarda özgül yakıt tüketiminin %26.4 arttığını, yine %20 karışımlarda CO emisyonlarının % 30.7 ve HC emisyonlarının %25.8 azaldığını, %10 ve %20 palm yağı biyodizel karışımlarında NO_x emisyonlarının %3.3 azaldığını buna karşın %10 ve %20 jatropha biyodizel karışımlarında % 3 arttığını tespit etmişler.

Bu çalışmada ise Türkiye için gıda değeri olmayan yağ ve selülozik bitkisi olan *Cynara cardunculus* bitkisinden transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiştir. Kütleli olarak farklı oranlarda (dizel (D100), biyodizel (B100), dizel-biyodizel (B5, B7) *Cynara cardunculus* biyodizeli yakıt karışımlarının çift yakıt modunda 4 silindirli direkt püskürtmeli sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda farklı motor devirlerinde ve tam yükte kullanılmasının motor performans ve emisyonlarına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Ve dizel motorlar için potansiyel bir alternatif yakıt olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca gıda değeri olmayan *Cynara cardunculus* bitkisinden biyodizel elde edilmesi ve içten yanmalı motorlarda kullanılması ile ilgili önemli bir uygulama bulunmamaktadır. Bu bitkinin yağından elde edilen biyodizelin tarım sektörüne katkı sağlaması ve ithal edilen petrolü azaltması temel amacını oluşturmaktadır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Deney Seti Kurulumu

Deneysel çalışmalar, sıkıştırma oranı 18:1 olan Fiat marka, 4 silindirli, 4 zamanlı, turbo şarjlı, motor hacmi 1.9 litre olan direk enjeksiyonlu modifiye edilmiş bir sıkıştırma ile ateşlemeli (CI) bir motorda gerçekleştirilmiştir. Motorun genel özellikleri Tablo 2' de verilmiştir. Motorun şaftı, motor çıkış torkunu ölçmek ve gücü hesaplamak için hidrolik dinamometrenin (BT-190) rotoruna bağlanmıştır.

Tablo 2. Motorun karakteristik özellikleri

Motor	1.9 Multijet
Silindir adedi ve yerleşimi	4, tek sıra,
Silindir hacmi (cc)	1910 JTD
Sıkıştırma oranı	18: 1
Maksimum Motor gücü kW - rpm	77 - 4000
Maksimum moment Nm (kgm) - rpm	200 - 1750
Yakıt sistemi	Dizel Common Rail
Enjeksiyon Sistemi	Multijet direkt enjeksiyon,
Türbin	Turbo ve intercooler
Çap x Strok (mm)	82 x 90.4

Dinamometre yükünü belirlemek için TEDEA 3410 tipi bir yük sensörü kullanılmıştır. Hidrolik dinamometre ve yük sensörünün genel özellikleri Tablo 3.'de verilmiştir.

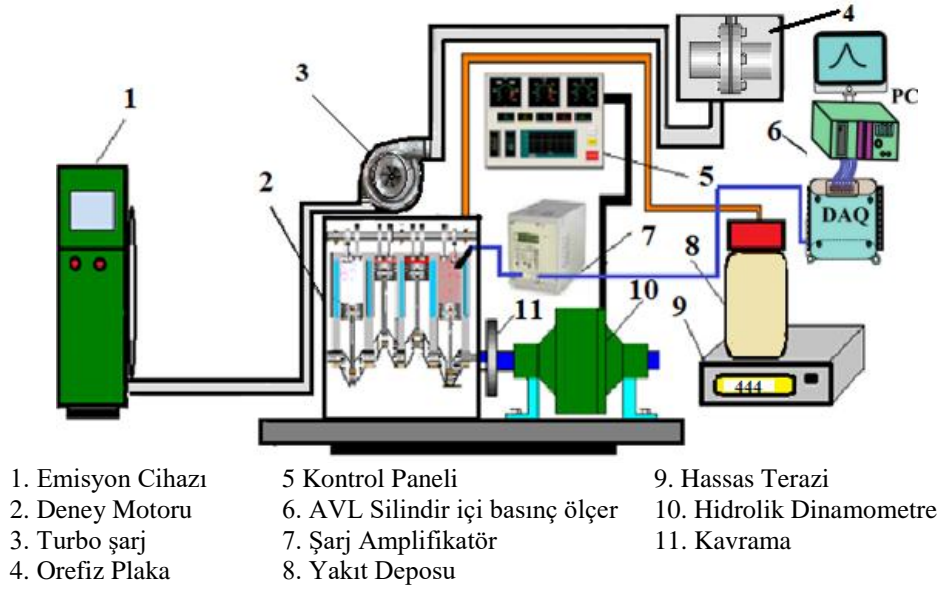
Tablo 3. Dinamometrenin karakteristik özellikleri

Teknik Özellikler	Dinamometreye Ait Özellikler
Max. Frenleme Gücü	160 HP
Max. Frenleme Momenti	750 Nm
Max. Devir	6000 min ⁻¹
Gerekli Su Miktarı	2.4 m ³
Dönüş Yönü	Tek
Loadcell kapasite	2000 N (%0.1)

Motor devri, dinamometre üzerine monte edilen devir sensörü ile saptanmıştır. Motorun silindir içi basıncı AVL GH13P/AG04 sensörü kullanılarak belirlenmiştir. Krank açısı ise AVL 365C krank açısı enkoderi ile ölçülmüştür. Silindir içi gaz basıncının ölçümü sırasında, basınç değerleri 120 çevrim boyunca her 0,5 derece krank mili açısında kaydedilmiş ve ortalama değerler hesaplanmıştır. Egzoz emisyonları (CO₂, CO, HC ve NO_x) Bosch BEA 350 egzoz emisyon cihazı ile ölçülmüştür. Egzoz emisyon sıcaklıkları K tipi termokuple kullanılarak ölçülmüştür. Egzoz emisyon cihazı ve termokuplenin genel özellikleri Tablo 4.'da verilmiştir. Deney test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1. de verilmiştir.

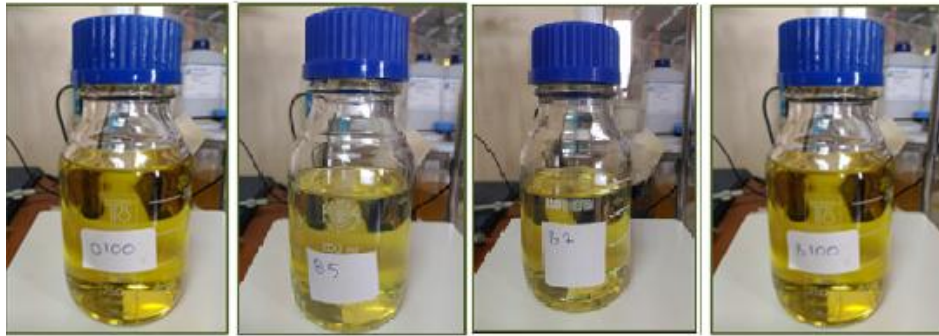
Tablo 4. Bosch BEA 350 egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri

Bosch BEA 350	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	% 0.000...10.00 hacimsel	% 0.001 hacimsel
CO ₂	% 0.00...18.00 hacimsel	% 0.01 hacimsel
HC	0... 9999 ppm hacimsel	1 ppm hacimsel
NO _x	0...5000 ppm	1 ppm hacimsel
O ₂	% 0.00 ... 22.00 hacimsel	% 0,01 hacimsel
Lamda	0.500 ... 9.999	0.001
K-type thermocouple	01200 °C	±2 °C



Şekil 1. Deney seti şematik görünümü

Deneyşel çalışmalar standart dizel yakıtı referans alınarak Türk Standartları 1231 (TS-1231) 'e göre yapılmıştır. Standart dizel Petrol Ofisinden temin edilmiştir. Elde edilen biyodizel ise Konya civarındaki köylerden toplanan *Cynara cardunculus* bitkisi tohumları tohumlarından elde edilmiştir. Toplanan tohumlar soğuk sıkma işlemeşine tabi tutulmuş ve ham yağ elde edilmiştir. Ham yağın asit değeri 7.79 mgNaOH/gr, iyot değeri 118.43 olarak bulunmuştur. Asit değeri biyodizel üretmek için uygun olmayan ham yağ 70 °C dereceye kadar 600 devir /dakikada karıştırılarak %0,2 oranında H₃PO₄ (fosforik asit) ve 220 gr NaOH + 500 ml saf su eklenerek asit değeri 1 mgKOH/g altına düşürülmüştür. Asit esterifikasyon işlemi ile asit değeri düşen yağ 54 C° de ısıtılarak içerisine %1 (ağırlıkça) sodyum metilat (CH₃NaO) katalizörü ve 6:1 oranında metanol eklenmiş. Son olarak metil ester gliserolden ayrılmış ve yıkama işlemine yapıldıktan sonra EN14214 standardına uygun o biyodizel elde edilmiştir. Tüm bu işlemlerden sonra yakıt ve karışımları belirlenen oranlarda hazırlanmıştır. Şekil 2'de deneylerde kullanılan dizel, ve biyodizel yakıt ve karışımları verilmiştir.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan dizel ve biyodizel yakıt ve karışımları

2.2. Deneyşel Prosedür

Deneyde kullanılacak motor bir kavrama ile hidrolik dinamometre rotoruna bağlanmış, motor standart çalışma sıcaklığına kadar çalıştırılmış ve deneylere başlanmıştır. Motorun standart değerlerinin belirlenmesi için motor standart dizel yakıtı (D100) ile çalıştırılmıştır. Daha sonra %5 biyodizel- 95 dizel (B5), %7 biyodizel-%93 dizel (B7) ve son olarak %100 Biyodizel (B100)

yakıtları ile denemeler yapılmıştır. Denemeler motoru tam yükte iken 7 farklı (1000 -4000dev/dak arasında 500 dev/dak artış ile) devir kullanılarak yapılmıştır. Her denemeden sonra motor yüksüz çalıştırılmış ve diğer teste geçmeden önce yakıt filtresi değiştirilmiştir. Motor yakıt değişimlerinden sonra bir süre boşa çalıştırılmıştır. Deneyler boyunca motor performans ve emisyon değerleri kaydedilmiştir. Tüm emisyonlar 5 dakikalık aralıklarla ölçülmüş ve ortalama değerleri alınmıştır. Silindir içi basınç değerleri ve ısı salınım oranları her devirde kaydedilmiştir. Yakıt tüketimi her test için kaydedilmiştir. Tüm denemeler sonunda motor dizel yakıtı ile yüksüz durumda çalıştırılmıştır.

2.3 Prosedür Analizi

Dizel-biyodizel yakıtlarıyla yapılan denemeler sonucunda toplanan verilere bağımlı olan parametreler aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

Motorun gücü

$$P = [(F.L.n/9549)](kW) \quad (1)$$

Fren termal verimi dizel yakıtı için;

$$\eta = [(P/\dot{m}_D.LHV_D).100] \quad (2)$$

Üç karışım için fren termal verimi;

$$\eta = [(P/(\dot{m}_D.LHV_D + \dot{m}_{BD}LHV_{BD})).100] \quad (3)$$

Özgül yakıt tüketimi;

$$bsfc = [(\dot{m}_D + \dot{m}_{BD}/P).3600](g/kW.h) \quad (4)$$

Tüm yakıt karışımlarındaki silindir içi basınç verilerinin hesaplanmasında Krieger ve Borman tarafından geliştirilen Eşitlik 5'deki ısı salınım formülü kullanılarak hesaplanmıştır [13,14]. Bu modelde, ısı salınım oranı, kontrol hacmine termodinamiğin birinci yasası uygulayarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q} = \frac{1}{\gamma - 1} \left[\gamma.P \frac{dV}{d\theta} + V \frac{dP}{d\theta} \right] \quad (5)$$

burada γ =Özgül ısı oranı (ampirik denkleme göre hesaplanır); θ =Krank mili açısıdır.

Krank açısına bağlı olarak yanma odası duvarına olan anlık ısı transferi miktarı ($dQ_w/d\theta$) Eşitlik 6-7-8 ile hesaplanmıştır [15].

$$\frac{dQ_w}{d\theta} = \left[S.h_c(T_g - T_w) \left(\frac{1}{6n} \right) \right] \quad (6)$$

$$h_c = \left[\frac{130.P_c^{0.8}(\vartheta_p + 1,4)^{0.8}}{V^{0.06}T_g^{0.4}} \right] (W/m^2 K) \quad (7)$$

$$S = \left[\frac{V_2}{A_p} \pi.D_p + 2.A_p \right] (m^2) \quad (8)$$

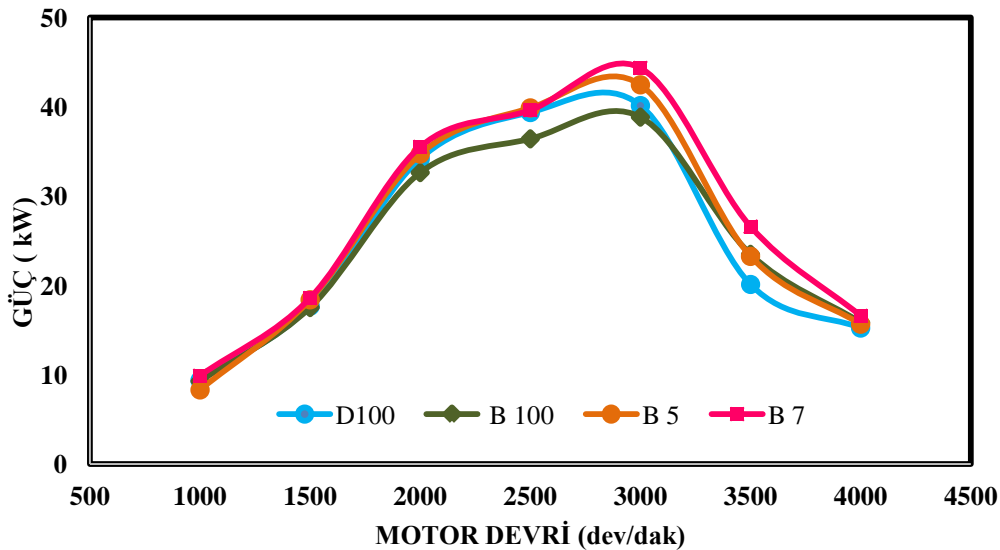
burada S = Yanma odası duvar yüzeyi alanını (m^2)
 hc = Isı tasınım katsayısını (W/m^2K),
 T_w =Yanma odası duvar yüzeyi sıcaklığı (K)
 P_c =Anlık silindir basıncı (bar)
 ϑ_p =Ortalama piston hızı (m/s)
 V_2 =Yanma odası hacmi (m^3)

3. Sonuç ve Tartışmalar

Yapılan çalışmada dizel-biyodizel yakıt karışımlarını ile elde edilen motor performans ve emisyon değerleri ilgili bütün sonuçlar karşılaştırmalı olarak grafikler halinde aşağıda verilmiştir.

3.1 Motor Gücü Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3’de motorun tam yük şartları altında 1000 – 4000 d/d arasındaki motor devirlerinde standart dizel ve biyodizel yakıtlarını ile yapılan karışımların motor gücüne olan etkisi grafiksel olarak verilmiştir. Maksimum motor gücü 3000 dev/dak.’da 44.37 kW ile B7 yakıtı ile elde edilmiştir. Ayrıca 3000 dev/dak.’da 34.2 kW’lık D100 yakıtı ile kıyaslandığında motor gücü B100, B5 ve B7 yakıt karışımlarında sırasıyla 38.36 kW, 42.48 kW ve 44.37 kW olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda tüm motor devirlerinde D100 yakıtına göre ortalama motor gücü B5 ve B7 yakıt karışımlarında sırasıyla %3.74 ve %8.58 artarken, B100 yakıt karışımında %1.15 azalmıştır. Sonuç olarak D100 yakıtı ile karşılaştırıldığında B5 ve B7 yakıt karışımlarındaki motor gücündeki artışın nedeni biyodizelin sahip olduğu oksijen içeriğinin tam yanmayı katkıda bulunmasından kaynaklanmaktadır diyebiliriz. Biyodizelin sahip olduğu yüksek setan sayısının ateşleme gecikmesini kısaltması ile birlikte ön yanma fazında yakıt miktarını azaltmakta ve böylece düşük yanma sıcaklığına neden olur. Bunun sonucunda B100 yakıtı için silindir içi basıncın azalır ve D100 yakıtına göre motor gücünde bir miktar düşme meydana getirir. Ayrıca biyodizelin ısı değeri dizel yakıtından düşük olması, daha düşük motor gücü elde edilmesine neden olmuştur.

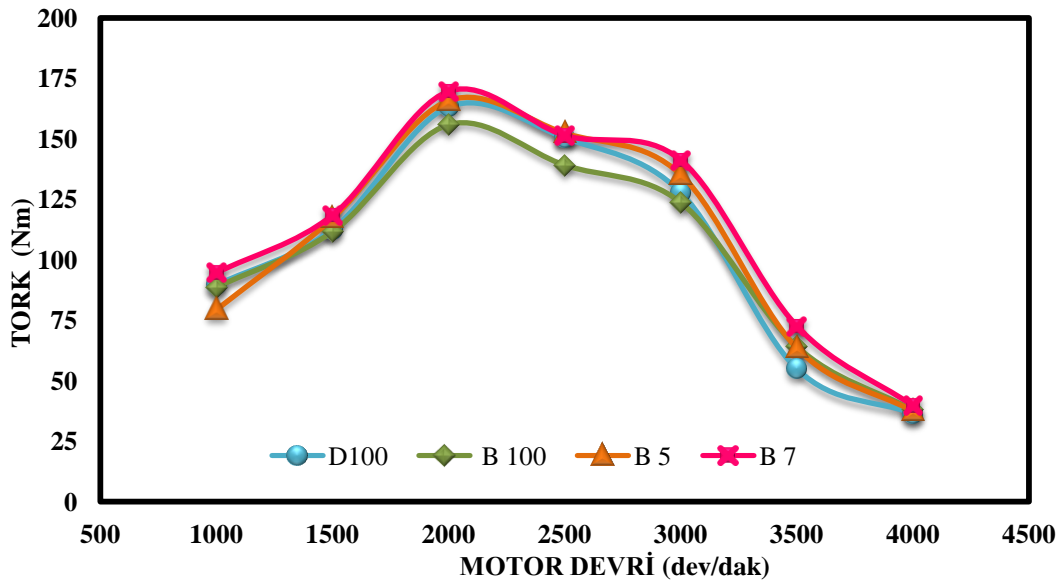


Şekil 3. Farklı devirlerdeki standart dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan karışımların motor gücüne olan etkisi

3.2 Motor Torku Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4’de motorun tam yük şartları altında 1000 – 4000 d/d arasındaki motor devirlerinde standart dizel ve biyodizel yakıtlarını ile yapılan karışımların motor torkuna olan etkisi grafiksel olarak

verilmiştir. Maksimum motor torku 2000 dev/dak.'da 169.68 Nm ile B7 yakıt karışımında elde edilmiştir. Aynı devirde D100, B100 ve B5 yakıtları için motor torku sırasıyla ise 163.28Nm, 157.94Nm ve 165.81Nm olarak ölçülmüştür. Ayrıca 2000 dev/dak.'da D100 yakıtı ile kıyaslandığında motor torku B5 ve B7 yakıt karışımlarında sırasıyla %1.5 ve %3.91 oranında artarken, B100 yakıtında %4.5 oranında azalmıştır. Sonuç olarak D100 yakıtı ile karşılaştırıldığında B5ve B7 yakıt karışımlarındaki motor torkundaki artışın nedeni biyodizelin oksijen içeriğinin tam yanmayı iyileştirmesinden ve yakıt tüketimini bir miktar artırmasından dolayıdır diyebiliriz. B100 yakıtındaki azalma ise yakıtın alt ısıl değerinin dizel yakıtına göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca viskozite yakıtların atomizasyon çapına etki eden parametrelerden biridir. Atomizasyon çapı ise silindir içerisinde yakıt/hava karışımını etkilemektedir. Yüksek viskoziteli yakıtların atomizasyon çapı büyük olmakta bu da yakıt/hava karışımının ideal bir karışım oluşturmasını engellemektedir. İdeal yakıt/hava karışımının oluşmaması ise yanmayı kötüleştirmekte ve motor gücünün ve torkunun düşmesine neden olmaktadır [16].



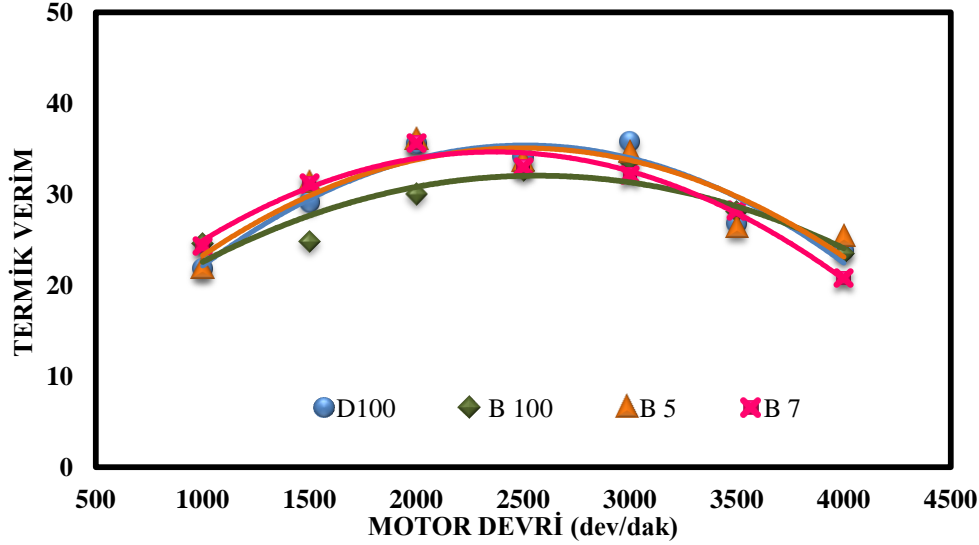
Şekil 4. Farklı devirlerdeki standart dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan karışımların motor torkuna olan etkisi

3.3 Motor Termik Verimlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5'de motorun tam yük şartları altında 1000 – 4000 d/d arasındaki motor devirlerinde standart dizel ve biyodizel yakıtlarını ile yapılan karışımların motor termik verimine olan etkisi grafiksel olarak verilmiştir. Motor devrine bağlı olarak maksimum termik verim 2000 dev/dak.'da %39 ile B5 yakıt karışımında elde edilmiştir. Ayrıca 2000 dev/dak.'da termik verim D100, B100 ve B7 yakıtlarında sırasıyla %38.87 ve %30, %33.75 olarak hesaplanmıştır. 3000 dev/dak.'da termik verim D100, B100, B5 ve B7 yakıt ve karışımlarında sırasıyla %39.14, %35.63, %37.53 ve %33.48 olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda tüm motor devirlerinde yaklaşık olarak B5, B7 ile D100 yakıtlarının motor termik verimleri birbirine benzerdir.

Sonuç olarak D100 yakıtı ile kıyaslandığında B100 yakıtının daha düşük termik verim elde edilmesinin başlıca nedeni biyodizelin ısıl değerinin düşük olmasıdır. Diğer bir nedeni ise biyodizelin daha yüksek yoğunluğa ve viskoziteye sahip olmasıdır. Bunun sonucunda atomizasyon kötüleşeceği için yanma verimi düşmekte ve termik verim azalmaktadır. B5 ve B7 yakıt karışımlarındaki bir miktar artmasının nedeni dizel yakıtının içerisine katılan biyodizelin motorun yanma verimini biraz artırmasından kaynaklanmaktadır. Dizel yakıtına biyodizel eklendiğinde,

harmanlanmış yakıt daha fazla oksijen içerir, bu da termik verimi artırır. Gümüş ve ark. [17] yapmış oldukları çalışmada da benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

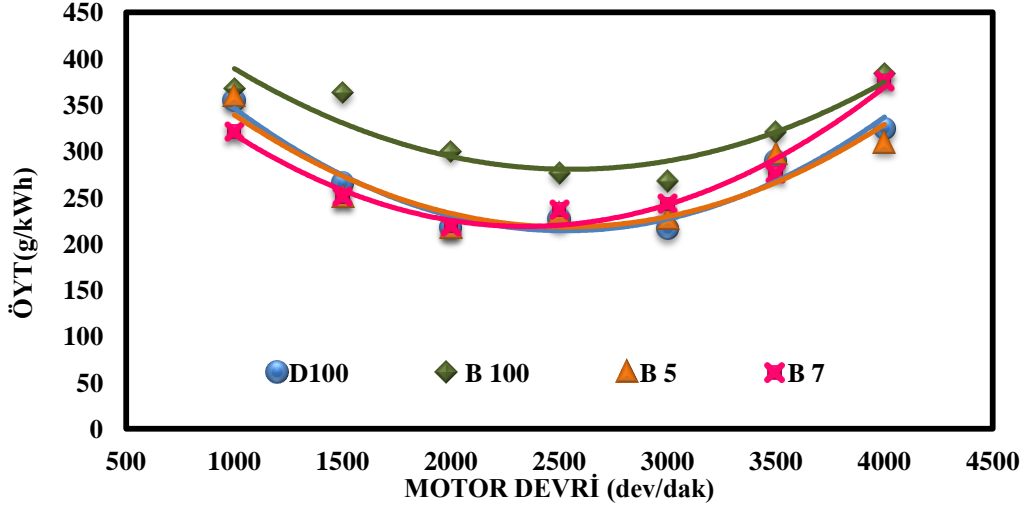


Şekil 5. Farklı devirlerdeki standart dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan karışımların motor termik verimine olan etkisi

3.4 Özgül Yakıt Tüketiminin Karşılaştırılması

Özgül yakıt tüketimi yakıt tüketiminin motor gücüne oranı olarak ifade edilir. Dizel motorlarda ÖYT, hacimsel yakıt enjeksiyon sistemine, yakıt yoğunluğuna, viskoziteye, motor yüküne ve alt ısı değerine bağlı olarak değişir [18]. Şekil 6’de motorun tam yük şartları altında 1000 – 4000 d/d arasındaki motor devirlerinde standart dizel ve biyodizel yakıtların ile yapılan karışımların özgül yakıt tüketimine olan etkisi grafiksel olarak verilmiştir. En düşük ÖYT 2000 dev/dak’da D100 yakıtı ve B5 yakıt karışımında sırasıyla 217.71 g/kWh ve 216.58 g/kWh ile elde edilmiştir. Aynı motor devrinde B100 ve B7 yakıtları için ÖYT sırasıyla 299.89g/kWh ile 219.23 g/kWh olarak hesaplanmıştır. Ayrıca D100 yakıtı ile kıyaslandığında ÖYT B100, B5 ve B7 yakıt karışımlarında sırasıyla ortalama %20, %1. ve %1.5 oranında artmıştır.

Sonuç olarak B100 yakıtının ÖYT değerinin D100 yakıtına göre fazla olmasının nedeni biyodizelin alt ısı değerinin düşük olmasından dolayı aynı gücü sağlamak için daha fazla yakıtın gönderilmesi gerektiğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, dizel yakıtı ile kıyaslandığında biyodizelin yoğunluğunun daha yüksek olması, hacimsel olarak püskürtülen yakıt miktarının kütsel olarak daha fazla çıkmasına neden olmaktadır. Düşük devirlerde B7 karışımında ÖYT tüketiminin azalmasının nedeni biyodizelin yapısındaki oksijenin yanmaya katkı sağlamasından dolayıdır. Ayrıca biyodizelin alt ısı değerinin dizel yakıt ile kıyaslandığında çok düşük olmaması düşük oranlardaki karışımlarda yakıt tüketiminin artmasını engelleyen nedenlerden biridir. Alt ısı değerindeki kayıp ise biyodizelin setan sayısının karışımın setan sayısı değerini yükseltmesi karşılanmış olabilir. Setan sayısının artması ateşleme gecikmesini azaltacağı için yanmayı erken başlayacak ve basıncın artışı ile birlikte motor gücünün artmasına neden olacaktır. Bunun sonucunda motor gücüne karşılık gelen ÖYT değeri azalacaktır. Tüm bu sebepler değerlendirildiğinde B5 ve B7 yakıt karışımlarında yüksek bir artış meydana gelmemiş ve D100 yakıtına benzer bir ÖYT değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6. Farklı devirlerdeki standart dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan karışımların ÖYT'ne etkisi

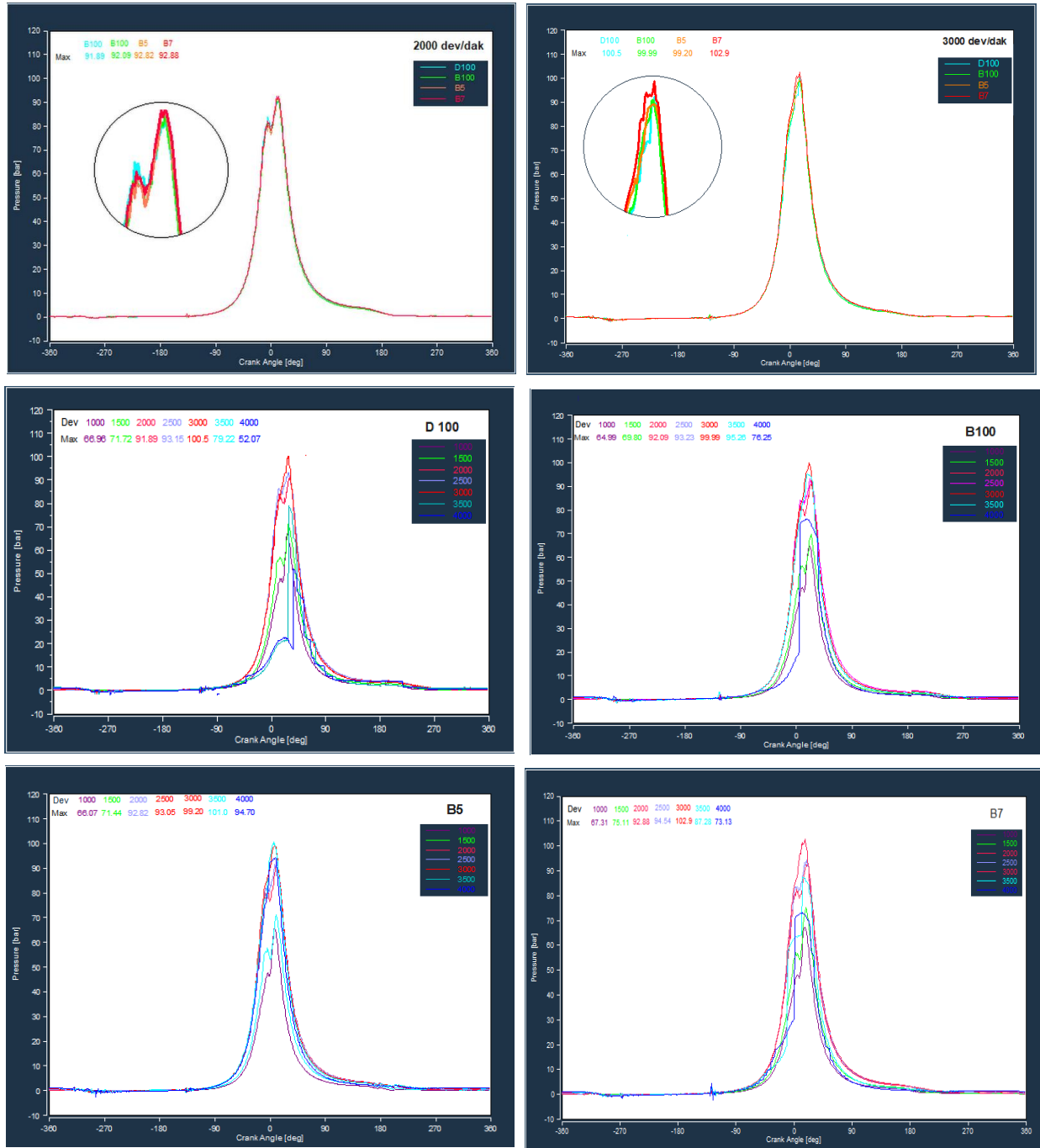
3.5 Silindir İçi Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

Bir sıkıştırma ateşlemeli motorda, maksimum silindir basıncı, ön karışmış yanma aşamasındaki hava ile yakıtın yanma miktarına bağlıdır. Yakıtın hava ile iyi karışması ve yanması silindir basıncının yükselmesine neden olur. Silindir içi basıncındaki bu yükselme de iyi bir yanma olayını ifade etmiş olur [19].

Motorun tam yük şartları altında 1000 – 4000 d/d arasındaki motor devirlerinde standart dizel ve biyodizel yakıtların ile yapılan karışımların silindir içi basınç değişimleri krank mili açısına bağlı olarak Şekil 7'de verilmiştir. Maksimum silindir içi basınç değeri 3000 dev/dak.'da B7 yakıt karışımında 100.62 bar olarak elde edilmiştir. Aynı devirde D100, B100 ve B5 yakıtlarında ise sırasıyla 100.48, 99.99 ve 99.20 bar silindir içi basınç değerleri elde edilmiştir. 2000 dev/dak.'da ise maksimum silindir içi basınç değerleri D100, B100, B5 ve B7 yakıt karışımlarında sırasıyla 91.89, 92.09, 92.82 ve 92.88 bar olarak elde edilmiştir. Ayrıca tüm devirlerde en yüksek silindir içi basınç değerleri B7 yakıt karışımında elde edilse de, test edilen yakıtların tümü için maksimum silindir basıncıları birbirine yakındır.

Sonuç olarak maksimum silindir basıncı tüm yakıt ve karışımlar için artan devir sayısı ile artmaktadır. Devir sayısının artması biyodizel ve karışımlarının daha iyi atomize olmasını ve ısı yayılımının daha hızlı gerçekleşmesini sağlayabilir. Ayrıca biyodizel ve karışımları için yanma dizel yakıtı kıyasla daha erken başladığı için ateşleme gecikmesi kısalmıştır. Ateşleme gecikmesindeki kısalma tam yük şartları altında silindirin içindeki gaz sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklanabilir. Yüksek sıcaklıklar karmaşık ve hızlı bir alev öncesi kimyasal reaksiyon oluşmuş olabilir. Bunun sonucunda da biyodizel termal çatlamaya maruz kalmış ve daha kısa bir ateşleme gecikmesi periyodu ile birlikte daha hafif bileşikler üretmiş olabilir. Böylece yakıt tanecikleri daha hızlı gazlaşarak daha önce ateşlenir ve gecikme süresini kısaltır. Böylece biyodizel yakıt ve karışımları kütleli yanma ve ısı yayılımı oranları daha önce artmaya başlamaktadır. Bu da silindir basıncının artmasına katkı sağlamaktadır. Ancak, biyodizel yakıtının yanma süresi daha kısa olduğundan genişleme sürecinde daha düşük basınçlar ortaya çıkmaktadır. Dizel yakıtında ise yakıtın ateşleme gecikmesi süresi uzun olduğundan püskürtülen yakıt yanma odasında birikmekte ve tutuşma gerçekleştiğinde ısı yayılımı oranı ani olarak artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı D100 yakıtı karışımının basınç artışı B100 yakıtından bir miktar daha yüksektir. B7 ve B5 yakıt

karışımlarında ise hem yakıt miktarının artması hem de oksijen miktarının artması maksimum silindir içi basıncın artmasına neden olmuş olabilir.

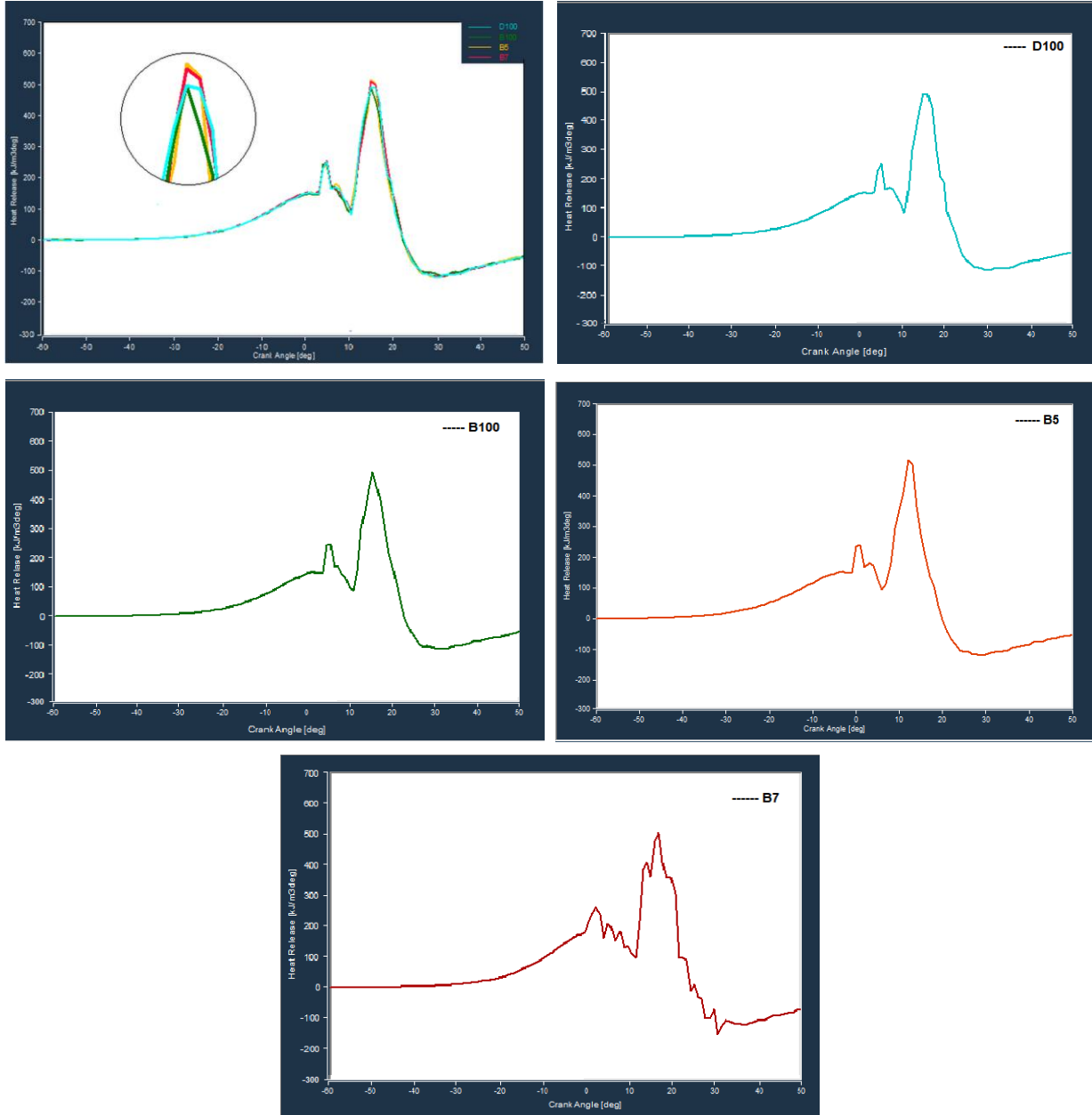


Şekil 7. Farklı devirlerdeki standart dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan karışımların silindir içi basınç değerleri

3.6 Isı Salınım Oranın Karşılaştırılması

Şekil 8.'de motorun tam yük şartları altında 1000 – 4000 d/d arasındaki motor devirlerinde standart dizel ve biyodizel yakıtların ile yapılan karışımların deneylerde hesaplanan ısı salınım oranı değişimleri krank mili açısına bağlı olarak verilmiştir. Grafikler incelendiğinde 2000 dev/dak ve 3000 dev/ dak. en yüksek ısı salınım oranı sırasıyla 522.89 $\text{kJ/m}^3\text{deg}$ ve 576.12 $\text{kJ/m}^3\text{deg}$ ile D100 yakıt karışımında elde edilmiştir. Aynı devirlerde B100, B5 ve B7 yakıt ve karışımları için ısı salınım oranı sırasıyla 448.79, 520.53 ve 510.41 $\text{kJ/m}^3\text{deg}$ ile 449.36, 469.28 ve 479.80 $\text{kJ/m}^3\text{deg}$

bulunmuştur. Maksimum ısı salınım oranı 3000 dev/dak'da $598.3 \text{ kJ/m}^3\text{deg}$ ile D100 yakıt karışımında elde edilmiştir. Maksimum ısı salını değeri D100, B100, B5 ve B7 yakıt karışımları için sırasıyla 576.12, 492.06, 520.53 ve $510.41 \text{ kJ/m}^3\text{deg}$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Farklı devirlerdeki standart dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan karışımların silindir içi basınç değerleri

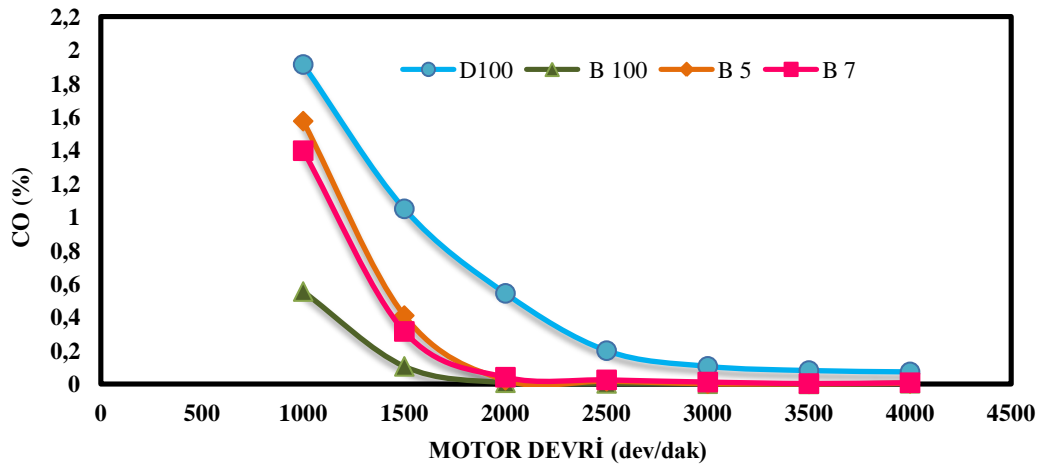
Sonuç olarak; B100 yakıtının ısı salınım oranının biraz düşük olması ön karışım fazında biriken yakıt miktarının diğer yakıtlara göre daha az olmasından ve alt ısıl değerinin D100 yakıtına göre düşük olmasından kaynaklanabilir. D100 yakıtının ise ısı salınım oranı yüksek olmasının nedeni ise B100 yakıtına göre daha yüksek uçuculuğa sahip olması ve havayla daha iyi karışabilmesinden dolayıdır. Başka bir sebep de muhtemelen dizel yakıtın ateşleme gecikmesinin uzun olması olabilir; bu da, ön karışmış yanma evresinde yanma odasında daha büyük miktarda yakıt birikmesine ve daha yüksek bir ısı salınım oranına neden olur. B5 ve B7 yakıt karışımlarında ısı salınım oranı, muhtemelen viskozitenin azalması ve iyi bir püskürtme oluşumundan dolayı B100 yakıtından daha yüksektir. Qi ve ark. [19]; Qi ve ark [20]; Özener ve ark [21] yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar bulmuşlardır.

3.7 Karbon Monoksit Emisyonlarının Karşılaştırılması

Karbon monoksit çoğunlukla yakıtın eksik yanması nedeniyle oluşur. Tam yanmada ise karbon monoksitler CO₂'te dönüşür. Hava yetersizliği veya düşük gaz sıcaklığından dolayı yanma tamamlanmamışsa, CO meydana gelir [22]. Şekil 9.'de motorun tam yük şartları altında 1000 – 4000 d/d arasındaki motor devirlerinde standart dizel ve biyodizel yakıtların ile yapılan karışımların CO değişimleri verilmiştir.

Sonuç olarak tüm motor devirlerinde B100, B5 ve B7 yakıt karışımlarında CO emisyonları D100 yakıtına göre azalmıştır. Minimum CO emisyon miktarı %0.01 değeriyle B100 yakıtında elde edilmiştir. Tüm devirlerde ortalama CO miktarı D100 yakıtına göre B100, B5E5 ve B7E5 yakıt karışımlarında sırasıyla %82.84, %48 ve %54.57 oranlarında azalmıştır. Tüm devirler en düşük CO emisyonu B100 yakıtında elde edilmiştir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde; biyodizel ve karışımlarının moleküllerinde yakıtın tamamen yanmasını sağlayan ve karbon monoksiti CO₂'e dönüştüren gerekli oksijen bulunduğu için D100 yakıtına göre CO emisyonları daha düşük çıkmıştır. Ayrıca biyodizelin daha yüksek setan sayısına sahip olması zengin yakıt bölgesi oluşturma ihtimalini düşürdüğü için CO emisyonları azalmıştır. Bununla birlikte biyodizelin enjeksiyon zamanlamasını değiştirdiği bunun sonucunda da ateşleme zamanını kısalttığı ve CO emisyonları azalttığı literatürde bildirilmiştir. Xue ve ark. [23]; Qi, Chen, Geng and Bian [19], Selvam and Vadivel [24], Buyukkaya [13] yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir.



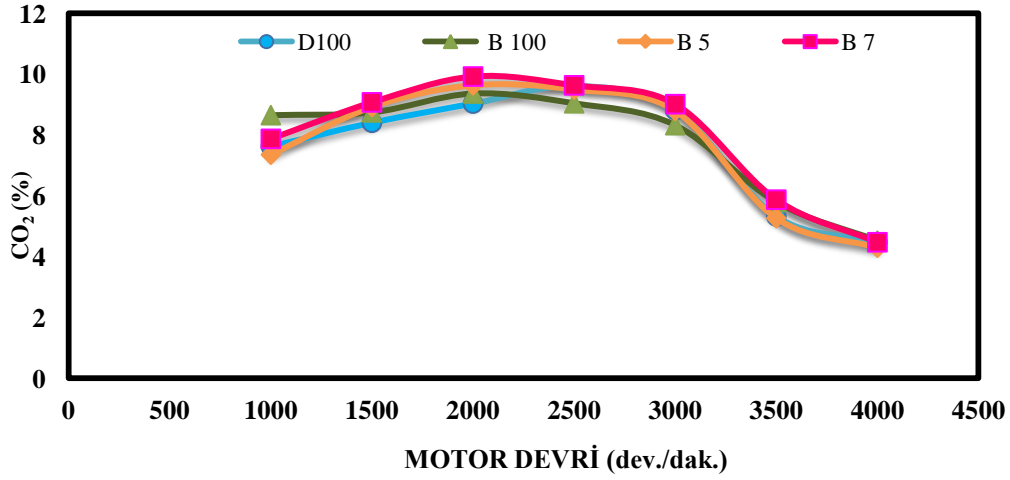
Şekil 9. Farklı devirlerdeki standart dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan karışımların CO değerleri

3.8 Karbon Dioksit Emisyonlarının Karşılaştırılması

Şekil 10'da motorun tam yük şartları altında 1000 – 4000 d/d arasındaki motor devirlerinde standart dizel ve biyodizel yakıtların ile yapılan karışımların CO₂ değişimleri verilmiştir. Motor devrinin bütün değerleri için B100, B5 ve B7 yakıt karışımlarında CO₂ emisyonları D100 yakıtına göre benzer sonuçlar vermiştir. Minimum CO₂ emisyon miktarı 4000 dev/ dak.'da %4.3 değeriyle B5 yakıtında elde edilmiştir. Ayrıca 2000 ve 3000 dev/dak'da B100, B5 ve B7 yakıt karışımlarında %9.04 ile %8.82 D100 yakıtındaki CO₂ emisyon değerlerine göre sırasıyla, %9.37, %9.64 %9.93 ile %8.33, %8.8, %9.02 CO emisyon değerleri elde edilmiştir.

Sonuç olarak biyodizel yakıt ve karışımlarında oksijen miktarı D100 yakıtından fazla olduğu için yanmaya katkı sağlamış ve bunun sonucunda da CO₂ emisyonu bir miktar yüksek çıkmış olabilir. Şekil 7.'deki CO emisyonlarında bu durumu desteklemektedir. Ayrıca tam yanma şartları altında

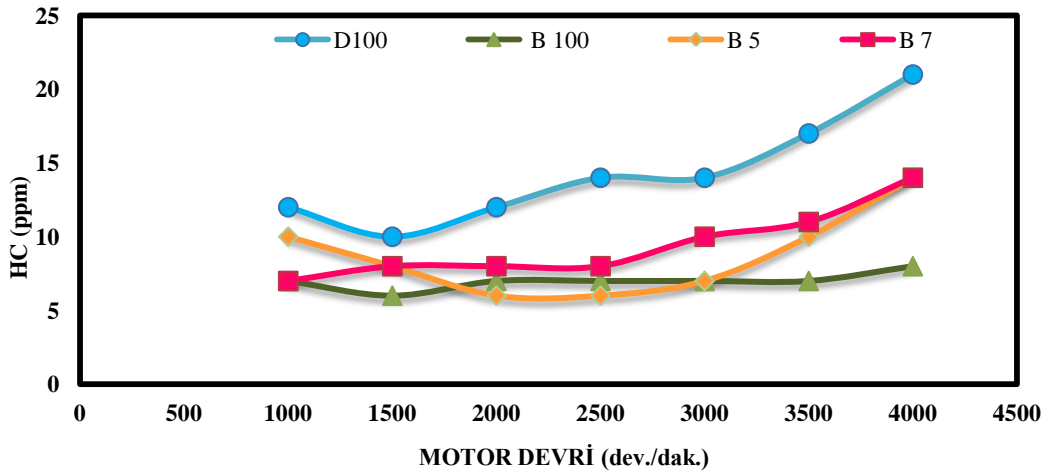
biyodizelin yoğunluğunun yüksek olmasının toplam yakıt kütleini arttırdığından dolayı CO₂ emisyonları bir miktar artmış olabilir. Artışın diğer bir neden ise; biyodizel ve karışımlarının ön yanma fazında erken yanmaya neden olmasından dolayı genişleme zamanında CO emisyonlarını CO₂ emisyonlarına dönüştürmek için daha fazla zamana ihtiyaç olmasından kaynaklanabilir [25].



Şekil 10. Farklı devirlerdeki standart dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan karışımların CO₂ değerleri

3.9 Hidrokarbon Emisyonlarının Karşılaştırılması

Hidrokarbonlar, yakıtın tamamen yakılamamasından ve alev sönmesinden olayı ortaya çıkan emisyonlardır. HC emisyonları doğrudan motor yükü ve hızı ile ilgili değildir. Daha çok, enjeksiyon sisteminin ve yanma odası geometrisine bağlıdır. Yanma odası içerisindeki türbülans ne kadar çoksa o kadar iyi bir yanma meydana gelebilir ve HC emisyonlarını azaltabilir [26]. Şekil 11.'de motorun tam yük şartları altında 1000 – 4000 d/d arasındaki motor devirlerinde standart dizel, biyodizel yakıtların ile yapılan karışımların HC emisyonlarının değişimleri verilmiştir.



Şekil 11. Farklı devirlerdeki standart dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan karışımların HC değerleri

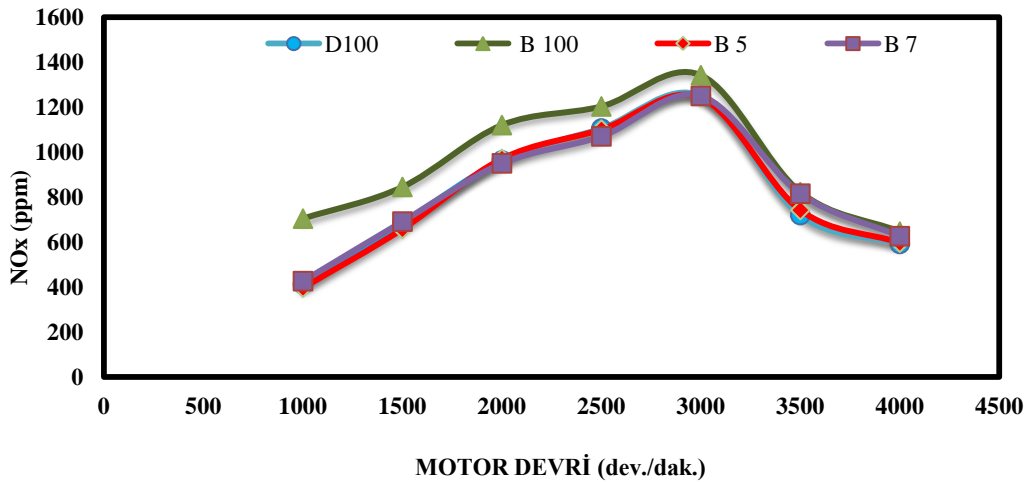
Grafik incelendiğinde motor devrinin bütün değerleri için B100, B5 ve B7 yakıt karışımlarında HC emisyonları D100 yakıtına göre azalmıştır. En düşük HC emisyonu 2000 dev/dak.'da 12 ppm D100 yakıtına göre 6 ppm ile B5 yakıtında elde edilmiştir. 2000 ve 3000 dev/dak.'da B100, B5E5 ve B7E5 yakıt karışımlarında 12 ppm ile 14 ppm D100 HC emisyon değerlerine göre sırasıyla, 7ppm,

6ppm, 8ppm ile 7ppm, 7ppm, 10ppm HC emisyon değerleri elde edilmiştir. D100 yakıtı ile karşılaştırıldığında ortalama HC emisyonu, B100, B5E5 ve B7E5 yakıt karışımlarında sırasıyla %51, %39, %37 oranında azalmıştır. En yüksek HC emisyonu 22 ppm ile D100 yakıtında elde edilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde biyodizelin sahip olduğu yüksek setan sayısı, yanma gecikmesini azalttığı için HC emisyonlarında bir düşüşe neden olmuş olabilir. Ayrıca dizel yakıtına kıyaslandığında biyodizel ve karışımlarında daha fazla oksijen moleküllerinin bulunması ve biyodizelin karbon ve hidrojen içeriğinin az olması HC emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olan gelişmiş ve daha kapsamlı bir yanmaya neden olmuş olabilir [21]. Diğer bir neden ise; biyodizel ve karışımlarının daha yüksek setan sayısına sahip olmasının yanma gecikmesini azalttığı için HC emisyonları azalmıştır. Motor devri arttıkça D100 yakıtına göre biyodizel ve karışımlarında HC emisyonlarının yüzde olarak daha fazla azalmıştır. Bunun nedeni ise motor hızının artması ile birlikte içeriye giren hava hızının ve türbülansın artmasının silindirdeki yakıtın atomizasyon etkisini arttırması ve karışımın daha homojen hale gelmesi sonucunda yanmanın iyileşmesidir. Bu da HC emisyonlarının azalmasına neden olmuş olabilir [23].

3.10 Azot Oksit (NO_x) Emisyonlarının Karşılaştırılması

Şekil 12.'de motorun tam yük şartları altında 1000 – 4000 d/d arasındaki motor devirlerinde standart dizel ve biyodizel yakıtların ile yapılan karışımların NO_x emisyonlarının değişimleri verilmiştir.

Motor devrinin bütün değerleri için B100, B5 ve B7 yakıt karışımlarında NO_x emisyonları D100 yakıtına göre artmıştır. En düşük NO_x emisyonu 1000 dev/dak.'da 376 ppm ile B5 yakıt karışımında elde edilmiştir. 2000 ve 3000 dev/dak'da B100, B5 ve B7 yakıt karışımlarında 963ppm ile 1250ppm D100 NO_x emisyon değerlerine göre sırasıyla, 1120ppm, 970ppm, 950ppm ile 1342ppm, 1243ppm, 1250ppm NO_x emisyon değerleri elde edilmiştir. D100 yakıtı ile karşılaştırıldığında ortalama NO_x emisyonu, B100, B5 ve B7 yakıt karışımlarında sırasıyla %14.29, %0.5 , %1.51 oranında artmıştır. En yüksek NO_x emisyonu 1342 ppm ile B100 yakıtında elde edilmiştir.



Şekil 12. Farklı devirlerdeki standart dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan karışımların NO_x değerleri

Sonuçlar değerlendirildiğinde D100 yakıtına kıyasla B100 yakıtındaki NO_x emisyon seviyesindeki artış, biyodizelin oksijen içeriğine bağlı olarak artan yanma sıcaklığı ile açıklanabilir. Diğer bir ifadeyle biyodizelin özgül yakıt tüketiminin D100 yakıtına göre daha fazla olması ve içeriğindeki oksijenin yakıtça zengin bölgelerde gerekli oksitlenmeyi sağlaması, yanma bölgelerinin sayısını arttırmıştır. Böylece, yüksek ortam sıcaklığının elde edildiği bölge sayısı artmış ve daha yüksek NO_x oluşumu meydana gelmiştir [29]. B5 ve B7 yakıt karışımlarında NO_x emisyonunda net bir etki gözlenmemiştir. Bunun nedeni ise karışımın setan sayısının artması ile birlikte ateşleme

gecikmesini kısaltmasından dolayı yanan yakıt miktarının azalmasıdır. Bunun sonucunda da silindir içi basınç ve sıcaklık azaldığı için NO_x emisyonundaki artış net olarak meydana gelmemiş olabilir. Bunun aksine ateşleme gecikmesinin uzaması, ön karışım oranını artırdığı için NO_x emisyonlarının artışlarına neden olabilir [30].

4. Sonuçlar

Ülkemizin temel giderlerinden biri olan ve ithal ettiğimiz ham petrole alternatif yenilenebilir kaynaklardan biyoyakıt elde edilmesi yönünde birçok çalışma yapılmaktadır. Ancak biyoyakıt olarak özellikle tarıma elverişli olmayan arazilerde kolaylıkla yetişebilecek, sulama ihtiyacı ve yetiştirme maliyetinin düşük gıda değeri olmayan yenilenemeyen bitkilerden yakıt üretimi üzerinde çalışmalar son derece azdır. Bu nedenle yapılan bu çalışma gıda değeri olmayan yağ ve selülozik bitkiden yeni bir biyoyakıt elde edilmesi ve ülkemize kazandırılması açısından son derece önemlidir. 2018 yılından itibaren % 0.5 oranında dizel yakıtının içerisinde biyodizel kullanılması bu çalışmaların önemini arttırmaktadır. Bu değeri daha yukarı çekebilmek için *Cynara cardunculus* ve benzeri bitkilerden biyodizel üretimi ve ülkemize kazandırılması;

1. Hammadde girdisi düşük yağ bitkilerinin tarıma kazandırılması
2. Besin ve gıda değerinin olmaması nedeni ile insanlık için önem arz eden bir sektörde fiyatların artışının engellenmesi
3. Kırsal kesime yeni bir tür kazandırılarak sürdürülebilirlik çerçevesinde bu sektörün refah düzeyinin gelişimine katkıda bulunmak
4. Dizel yakıtına katılan %0.5 oranının orta ve uzun vadeli dönemde en azından % 2-3 seviyelerine yükseltmek açısından önem arz etmektedir.
 - a. Elde edilen sonuçlar standart dizel yakıtı ile elde edilen veriler ile karşılaştırılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.
 - Maksimum motor torku 2000 dev/dak.'da 169.7 Nm ile B7 yakıt karışımında elde edilmiştir. Ayrıca 2000 dev/dak.'da D100 , B100, B5, yakıt ve karışımları için motor torku sırasıyla 163.28, 155.89 ve 165.818, Nm olarak elde edilmiştir.
 - En yüksek termik verim sırasıyla B5, B7 yakıt ve karışımında elde edilmiştir. B100 yakıtında en yüksek termik verim 3000 dev/dak.'da %33.6 olarak hesaplanmıştır. D100, B5, B7 yakıt ve karışımlarında sırasıyla en yüksek termik verimler, %35.8, %35.9, %35.6, olarak hesaplanmıştır.
 - En düşük ÖYT 2000 dev/dak.'da maksimum motor torku devrinde D100, B5, B7 yakıt ve karışımlarında sırasıyla 216, 217 ve 219.2 g/kWh olarak elde edilmiştir. En yüksek yakıt tüketimi ise 4000 dev/dak.'da B100 yakıtında 383.82 g/kWh ile elde edilmiştir.
 - En yüksek silindir içi basınç değeri 3000 dev/dak.'da 103.2 bar ile B5E5 yakıt karışımında elde edilmiştir. Ayrıca 3000 dev/dak.'da D100, B100, B5, B7, yakıt ve karışımları için silindir içi basınç değerleri sırasıyla 100.5, 99.99, 99.20, 102.9 bar olarak elde edilmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde düşük ve yüksek motor devirlerinde en iyi sonuç B5 ve B7 yakıt karışımlarında elde edilmiştir.
 - En yüksek ısı salınım değerleri sırasıyla D100, B100, B5, B7, yakıt ve karışımları için 576.4, 449.6, 520.5, 510.41 $\text{kJ/m}^3\text{deg}$ olarak elde edilmiştir. En iyi ısı salınım oranı D100 yakıtı ile kıyaslandığında B5 ve B7 karışımlarında elde edilmiştir.
 - D100 yakıtına göre B100, B5, B7, B5E5, B7E5, B7H2.5 ve B100H2.5 yakıt ve karışımlarında CO emisyonları sırasıyla ortalama, %82.8, %48.8, %54.6, oranında azalmıştır. Tüm bu sonuçlara göre bütün yakıt ve karışımlarda yanmanın verimli olduğu ve biyodizel katkısının CO emisyonlarını olumlu oranda azalttığı ortaya çıkmıştır.
 - Tüm yakıt ve karışımları değerlendirildiğinde tüm devirler için ortalama en yüksek CO_2 oranı B7 yakıt karışımında elde edilmiştir. Tüm bu sonuçlara göre; dizel yakıt içerisine %5 ve %7 oranında biyodizel katılması tam yanmayı ifade eden CO_2 emisyonlarına olumlu yönde katkı sağlamaktadır.

- Maksimum HC emisyon miktarı 4000 dev/ dak. 21 ppm ile D100 yakıt ile elde edilmiştir. Tüm değerleri göz önüne aldığımızda D100 yakıtına göre en iyi HC emisyonu ortalaması 7 ppm ile B100 yakıt ve karışımlarında elde edilmiştir. Bu sonuçlar biyodizelin HC emisyonları üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.
- En düşük NO_x emisyonu 1000 dev/dak'da 397 ppm ile B5 yakıtında elde edilmiştir. Maksimum NO_x emisyonu 3000 d/dk'da 1250 ppm D100 yakıtına göre B100 yakıtı ile yapılan çalışmada 1342 ppm ile elde edilmiştir.
- Sonuçlara göre gıda değeri olmayan bir C₄ bitkisi olan *Cynara cardunculus* bitkisinden biyodizel üretilbileceği ve dizel araçlarda karışım olarak rahatlıkla kullanılabilceği görülmektedir. Bu nedenle yapılan bu çalışma gıda değeri olmayan yağ ve selülozik bitkiden yeni bir biyoyakıt elde edilmesi ve ülkemize kazandırılması açısından son derece önemlidir. 2018 yılından itibaren % 0.5 oranında dizel yakıtının içerisinde biyodizel kullanılması bu çalışmaların önemini arttırmaktadır.

Teşekkür

Bu makale çalışması Selçuk Üniversitesi BAP tarafından 16101008 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1]. Eliçin, A. K., Biyodizel Yakıtla Çalıştırılan Küçük Güçlü Bir Dizel Motorun Performans Ve Emisyonuna Giriş Hava Basıncı Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Doktora, *Ankara Üniversitesi*, 2010, 1-10
- [2]. Sezgin, B., Bilen, K. ve Çelik, V., Bir Dizel Motorun Doğal Gazla Çalışır Hâle Getirilmesi Ve Dönüştürülmüş Motorun Performans Ve Egzoz Emisyonunun Deneysel Analizi, *Mühendis ve Makine*, 2013, 54 (642), 41-51.
- [3]. Kelen, F., Motorlu Taşıtların Emisyonlarının İnsan Sağlığı Ve Çevre Üzerine Etkileri, *Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/ Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences*, (2014), 19(1-2), 80-87.
- [4]. Akansu, S. O., Kahraman, N. ve Çeper, B. A., Hidrojen Yakıtının İçten Yanmalı Motorlarda Uygulanması, 2007, P. N. 104M413
- [5]. Çeper, B. A., Hidrojen-doğal gaz karışımlarının içten yanmalı motorlarda kullanılması, Doktora, *Erciyes Üniversitesi*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009, 1-10.
- [6]. Bouriazos, A., Ikonomakou, E. ve Papadogianakis, G., Aqueous-phase catalytic hydrogenation of methyl esters of *Cynara cardunculus* alternative low-cost non-edible oil: A useful concept to resolve the food, fuel and environment issue of sustainable biodiesel, *Industrial Crops and Products*, 2014, 52, 205-210.
- [7]. Gominho, J. Lourenço, A., Palma, P., Lourenço, M.E., Curte, M.D., Fernándezc, J., Pereiraa, H., Large scale cultivation of *Cynara cardunculus* L. for biomass production—A case study, *Industrial Crops and Products* 2011, 33, 1–6
- [8]. Pasqualno, J. C., *Cynara Cardunculus* As An Alternative Crop For Biodiesel Production, *Universitat Rovira I Virgili*, 2006, 1-226.
- [9]. Rakopoulos, C. D., Antonopoulos, K. A., Rakopoulos, D. C., Hountalas, D. T. ve Giakoumis, E. G., Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins, *Energy Conversion and Management*, 2006, 47, 3272–3287.
- [10]. Abu-Hamdeh, N. H. ve Alnefaie, K. A., A comparative study of almond and palm oils as two bio-diesel fuels for diesel engine in terms of emissions and performance, *Fuel*, 2015, 150, 318–324.
- [11]. İlkılıç, C., Çılğın, E. ve Aydın, H., Terebinth oil for biodiesel production and its diesel engine application, *Journal of the Energy Institute*, 2015, 88, 292-303

- [12]. Abedin, M. J., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Sanjid, A., Rahman, S. M. A. ve Fattah, I. M. R., Performance, emissions, and heat losses of palm and jatropha biodiesel blends in a diesel engine, *Industrial Crops and Products*, 2014, 59, 96–104.
- [13]. Buyukkaya, E., Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, *Fuel*, 2010, 89 (10), 3099-3105.
- [14]. M. Fathi, R. Khoshbakhti Saray, M. David Checkel, Detailed approach for apparent heat release analysis in HCCI engines, *Fuel*, 2010, 89 2323-2330
- [15]. M. Çelik, İ. Örs, C. Bayindirli, M. Demiralp, Experimental investigation of impact of addition of bioethanol in different biodiesels, on performance, combustion and emission characteristics, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2017, 31, 5581-5592.
- [16]. Özer, S., Vural, E. ve Özdalyan, B., Dizel Motorlarında Kanola Yağı Metil Esteri - Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 2011
- [17]. Gumus, M., Sayin, C. ve Canakci, M., The impact of fuel injection pressure on the exhaust emissions of a direct injection diesel engine fueled with biodiesel–diesel fuel blends, *Fuel*, 2012, 95, 486-494.
- [18]. Mofijur, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A. ve Atabani, A. E., Evaluation of biodiesel blending, engine performance and emissions characteristics of *Jatropha curcas* methyl ester: Malaysian perspective, *Energy*, 2013, 55, 879-887.
- [19]. Qi, D. H., Geng, L. M., Chen, H., Bian, Y. Z., Liu, J. ve Ren, X. C., Combustion and performance evaluation of a diesel engine fueled with biodiesel produced from soybean crude oil, *Renewable Energy*, 2009, 34 (12), 2706-2713
- [20]. Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M. ve Bian, Y. Z., Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends, *Energy Conversion and Management*, 2010, 51 (12), 2985-2992.
- [21]. Özener, O., Yüksek, L., Ergenç, A. T. ve Özkan, M., Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, *Fuel*, 2014, 115, 875-883
- [22]. Nabi, M. N., Rahman, M. M. ve Akhter, M. S., Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust emissions, *Applied Thermal Engineering*, 2009, 29 (11-12), 2265-2270.
- [23]. Xue, J., Grift, T. E. ve Hansen, A. C., Effect of biodiesel on engine performances and emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15 (2), 1098-1116.
- [24]. Selvam, D. J. P. ve Vadivel, K., Performance and Emission Analysis of DI Diesel Engine Fuelled with Methyl Esters of Beef Tallow and Diesel Blends, *Procedia Engineering*, 2012, 38, 342-358.
- [25]. Varatharajan, K. ve Cheralathan, M., Influence of fuel properties and composition on NOx emissions from biodiesel powered diesel engines: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16 (6), 3702-3710.
- [26]. Ghareghani, A., Mirsalim, M. ve Hosseini, R., Effects of waste fish oil biodiesel on diesel engine combustion characteristics and emission, *Renewable Energy*, 2017, 101, 930-936.
- [27]. Behçet, R., Oktay, H., Çakmak, A. ve Aydın, H., Comparison of exhaust emissions of biodiesel–diesel fuel blends produced from animal fats, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 46, 157-165.
- [28]. Özener, O., Yüksek, L., Ergenç, A. T. ve Özkan, M., Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, *Fuel*, 2014, 115, 875-883.
- [29]. Xue, J., Combustion characteristics, engine performances and emissions of waste edible oil biodiesel in diesel engine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 23, 350-365.
- [30]. [30] Özsözen, A. N. ve Çanakçı, M., Biyodizel ve Karışımlarının Kullanıldığı bir Dizel Motorda Performans ve Emisyon Analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2009, 15 (2), 173-18