

AYÇİÇEĞİ METİL ESTERİ VE DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORUN EGZOZ EMİSYONLARINA OLAN ETKİSİ

Suat SARIDEMİR¹, Sevda MERT², Şenol MERT³

^{1,3}Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fak., Makine ve İmalat Müh. Bölümü, 81620, Düzce, TÜRKİYE

²Düzce Üniversitesi, [Gölyaka Meslek Yüksekokulu](#), Alternatif Enerji Kaynakları Teknolojisi Bölümü, 81620, Düzce, TÜRKİYE
suatsaridemir@duzce.edu.tr

Özet-Dizel motorlar gündelik hayatta oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bitkisel yağlardan üretilen biyodizel yakıtlar, standart dizel yakıt ile farklı oranlarda karıştırılarak direk enjeksiyonlu tek silindirli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Biyodizel içerikli yakıtlar NO_x haricindeki egzoz emisyonlarını düşürmektedir. Bu durum çevre açısından biyodizel yakıtların önemini artırmaktadır. Biyodizel yakıtlar tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle, fotosentez yolu ile CO₂'yi dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırır. Bu nedenle biyodizel yakıtlar, sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Petrol rezervlerinin sınırlı olması ve artan çevre kirliliği, biyodizel içerikli yakıtların önemini artırmıştır. Bu çalışmada, rafine edilmiş ayçiçeği yağından üretilen biyodizel yakıt, hacimsel olarak %6, %12 ve %25 oranlarında standart dizel yakıt ile karıştırılarak sırasıyla B6, B12 ve B25 yakıt karışımları elde edilmiştir. Elde edilen yakıt karışımlarının, farklı devirlerde tek silindirli bir dizel motorun egzoz emisyonlarına ve yakıt tüketimine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Tüm devirlerde B0'ın CO emisyonları, karışım yakıtlardan daha fazla çıkmıştır. Karışım içeriğindeki biyodizel oranına bağlı olarak HC emisyonlarının azalmıştır. Biyodizel içerikli yakıtların NO_x miktarları, B0'a göre motorun tüm devirlerinde yüksek çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler- Ayçiçeği metil esteri, Dizel motor, Egzoz emisyonları

THE EFFECT OF SUNFLOWER METHYL ESTER AND DIESEL FUEL MIXTURES ON EXHAUST EMISSIONS OF THE SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE

Abstract-Diesel engines are widely used in daily life. Biodiesel fuels produced from vegetable oils can be used as alternative fuels in direct injection single cylinder engines mixed with Standard diesel fuel at different ratios. Biodiesel fuels reduce exhaust emissions except NO_x. This situation increases the importance of biodiesel fuels in terms of environment. Since biodiesel fuels are derived from agricultural crops, they convert CO₂ through photosynthesis and accelerate the carbon cycle. For this reason, biodiesel fuels are not effective in increasing the greenhouse effect. Limited oil reserves and increased environmental pollution have increased the importance of biodiesel fuels.

In this study, biodiesel fuel produced from refined sunflower oil was mixed with Standard diesel fuel in volume ratio of 6%, 12% and 25% to obtain B6, B12 and B25 fuel mixtures, respectively. The effects of the fuel mixtures on exhaust emissions and fuel consumption of a single-cylinder diesel engine investigated experimentally. The CO emissions of B0 are higher than the blended fuels at all engine speed. The HC emissions reduced depend on the biodiesel content in the mixture. The NO_x amounts of biodiesel content fuels were higher than B0 in all engine speed.

KeyWords-Sunflowermethyl ester, Diesel engine, Exhaust emissions

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günlük hayatımızın en önemli ihtiyaçlarından olan enerjiye duyulan ihtiyaç, insan nüfusunun artışı ve çağın özelliğine göre gelişen teknolojiyle birlikte her geçen gün artmaktadır. Dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmı, petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil kökenli yakıtlardan karşılanmakla birlikte nükleer ve hidrolik enerjiden de yararlanılmaktadır. Fosil yakıt kullanımının küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevre üzerinde görülen olumsuz etkileri yanında fiyat artışı da, dünyadaki enerji ihtiyacını karşılamak için alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışına itmektedir.

Ulaşım için araştırılan alternatif yakıtların kullanımının iki ana nedeni vardır. Bunlardan ilki, petrole olan bağımlılığının azaltılması, diğeri de ulaşım araçlarından çıkan egzoz emisyonlarının azaltılmasıdır. Sonuç olarak alternatif yakıtlar, hava kirliliğinin önlenmesi ve sınırlı petrol kaynağına olan talebi azaltmak için bir çözüm yolu olarak ortaya çıkmıştır [1]. Dizel motorlarda biyodizel yakıt kullanımı sayesinde, dizel yakıtına göre daha düşük egzoz emisyonu üretildiğinden dolayı oluşan çevresel sorunlar azalmaktadır. Biyolojik olarak çok hızlı parçalanabilen biyodizel yakıtlar bu sayede, enerjinin sürdürülebilirliğini desteklemektedir [2,3]. Literatürde biyodizel içerikli yakıtların egzoz emisyonlarına olan etkilerinin incelendiği çalışmalar bulunmakta olup araştırmacılar tarafından halen çalışmalar devam etmektedir.

Sugözü ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, ayçiçeği metil esteri (B100) ve %50 ayçiçeği metil esteri ve %50 dizel yakıtının (B50) tek silindirli ve ön yanma odalı bir dizel motorun performans ve emisyonlarına olan etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel olarak tam yük altında ve farklı motor devirlerinde yapılmıştır. Ayçiçeği metil esterinin CO emisyonlarını, motor momentini ve gücünü düşürdüğü, NO_x emisyonlarını ve özgül yakıt tüketimini ise artırdığı belirtilmiştir [4]. Özsezen ve arkadaşları, 75°C'deki ham ayçiçek yağının, doğal emişli, dört silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorun performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini incelemiştir. Ham ayçiçek yağının motor momentini dizel yakıt oranla %1,36 ve efektif gücü ise %1,35 düşürdüğü, özgül yakıt tüketimini %4,98 artırdığı belirtilmiştir. Ham ayçiçek yağının %33,66 oranında HC, %2,05 oranında CO₂ emisyonlarını ve %4,52 oranında duman koyuluğunu düşürdüğü, CO emisyonunu ise %1,77 artırdığı belirtilmiştir [5]. Çelikten ve Arslan tarafından yapılan çalışmada, kanola ve soya yağı metil esterlerinin direkt püskürtmeli 4 silindirli bir dizel motorun performansına ve emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Tam yük altında ve 1600 d/d'de, maksimum torkunkanola yağı metil esteri ile %4,7 ve soya yağı metil esteri ile %8,4 azaldığı, özgül yakıt tüketiminin ise kanola yağı metil esteri ile %10,1 ve soya yağı metil esteri ile %17,5 oranında arttığı belirtilmiştir. CO emisyonlarının kanola yağı metil esteri ile %27, soya yağı metil esteri ile %39 oranında azaldığı, NO_x emisyonlarının ise kanola yağı metil esteri ile %22, soya yağı metil esteri ile %33 oranında arttığı bildirilmiştir [6]. Sayın tarafından yapılan çalışmada, ayçiçek yağı metil esteri ve dizel yakıt karışımlarının egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneysel olarak tam yükte ve farklı motor devirlerinde B10, B50 ve B100 yakıtları ile yapılmıştır. B10, B50 ve B100 yakıtlarının CO emisyonlarının dizel yakıtına göre düşük olduğu ve en düşük CO emisyonunun

% 0,55 ile 2200 dev/dak'da B100 yakıtında elde edildiği, biyodizel oranının artması ile HC emisyonlarında azalma olduğu, yakıtta biyodizel oranının artması ile duman koyuluğunda azalma meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca B50 yakıtının NOx emisyonunun dizele oranla ortalama % 10 artırdığı belirtilmiştir. CO₂ emisyonlarının yakıtta biyodizel katılımı ile arttığı, maksimum CO₂ emisyonunun, maksimum motor hızında % 11,25 ile B100 yakıtında meydana geldiği ifade edilmiştir [7]. Geyer ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, ayçiçek yağı, ayçiçek metil esteri, pamuk yağı ve pamuk yağı metil esteri tek silindirli direk enjeksiyonlu (Avco-Bernard W-51 0,36L) motorda 1/3, 2/3 ve tam yük koşullarında performans ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Bitkisel yağların ve metil esterlerin dizel yakıtla NOx emisyonlarında artış meydana getirdiği, partikül emisyonlarının ise ayçiçeği yağında yüksek, metil esterlerde ise düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, aldehit ve formaldehit emisyonlarında artış olduğu, termik verimin ise metil esterlerde daha iyi değerlere sahip olduğu belirtilmiştir [8].

Bu çalışmada, rafine edilmiş ayçiçeği yağından üretilen biyodizel yakıt, hacimsel olarak %6, %12 ve %25 oranlarında standart dizel yakıt ile karıştırılarak sırasıyla B6, B12 ve B25 yakıt karışımları elde edilmiştir. Elde edilen yakıt karışımlarının, tam yük altında farklı devirlerde tek silindirli bir dizel motorun egzoz emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

Ayçiçeği yağından elde edilen biyodizel Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği bölümü otomotiv laboratuvarında üretilmiş ve aynı laboratuvarında motor test standında test edilmiştir. Biyodizel üretimi 5 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar %99.5 saflıkta alkol (metanol, (merck)) ile %99.5 saflıkta katalizörün (sodyum hidroksit (NaOH)) karıştırılması, alkol/katalizör karışımının yağ üzerine ilave edilerek sabit sıcaklıkta (55°C) ve 600 d/d'de karıştırılması, reaksiyon sonunda biyodizel ile gliserinin ayrışması, biyodizelin yıkanması ve biyodizelin kurutulması işlemleridir. Yağın her bir litresi için 3.5 g NaOH hassas terazide tartılarak, toplam yağın hacimce %20'si kadar hazırlanan metanol içine katılarak ısıtıcı manyetik karıştırıcıda 35°C'de tamamen çözünene kadar (30 dak.) karıştırılmıştır. 55°C'ye kadar ısıtılmış rafine ayçiçeği yağı içerisine, metanol/NaOH karışımı ilave edilip 2 saat boyunca 600 d/d'de karıştırılmıştır. Daha sonra dinlendirme hunisine alınan karışım 8 saatlik bir süre dinlenmeye bırakılmış ve fazların ayrışması beklenmiştir. 8 saatlik dinlendirme işlemi sonunda fazlar (gliserin / ester) ayrıştırılmış ve elde edilen estere 35 °C'de su ile 1:1 oranında yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi sonrasında ayrılan su alınarak ester içerisinde su kalabilme ihtimaline karşın 75 °C'ye kadar tekrar ısıtılıp 2 saat boyunca suyun buharlaşması sağlanmıştır. Elde edilen biyodizel Ph metre ile kontrol edilip nötrüstasyon işlemi uygulanmıştır. Nötrüstasyon işlemi bazik katalizör kullanılmasından dolayı asit ilavesi ile sağlanmıştır. Tablo 1'de ayçiçeği metil esteri ve standart dizel yakıtlarının belirli özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Ayçiçeği metil esteri ve standart dizel yakıtlarının belirli özellikleri (Specific properties of sunflower methyl ester and Standard diesel fuel)

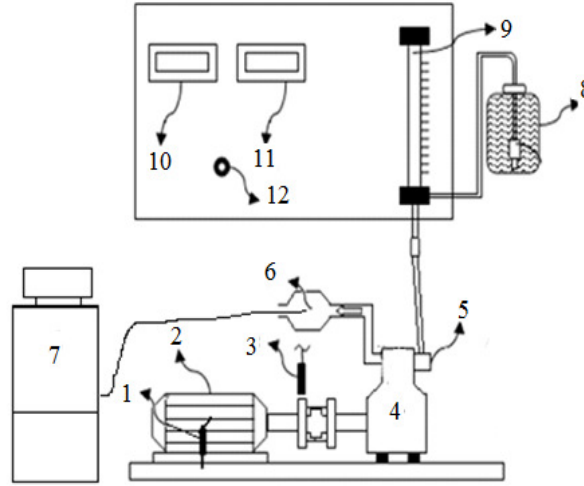
Yakıt Tipi	Standart dizel yakıtı	Ayçiçeği metil esteri
Yoğunluk (kg/m ³) (15 °C)	835	886,65
Viskozite (mm ² /sn) (40 °C)	2,60	4,74
Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	42640	38110
Akma Noktası (°C)	-15	-14
Parlama Noktası (°C)	>120	>120

Elde edilen biyodizel yakıt standart dizel yakıt (B0) ile hacimsel olarak %6 oranında karıştırılarak (B6) yakıtı, %12 oranında karıştırılarak (B12) yakıtı ve %25 oranında karıştırılarak

(B25) yakıtı elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan motor test düzeneğinde; direkt enjeksiyonlu, 4 zamanlı ve tek silindirli hava ile soğutmalı Antor 6LD 400 model bir dizel motor ve 15 kW güç absorbe edebilen Kemsan marka bir elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney motoruna ait teknik özellikler Tablo 2’de, deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 2. Deney motorunun teknik özellikleri (Technical specifications of the test engine)

Motor	Antor 6LD 400
Silindir Sayısı	1
Kurs Hacmi	395 cm ³
Sıkıştırma Oranı	18:1
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı
Maksimum Motor Devri	3600 d/d
Enjektör açılma basıncı	200 bar
Maksimum Motor Momenti	21Nm @ 2200d/d
Maksimum Motor Gücü	6.25 kW @ 3600 d/d



1. Yük sensörü 2. Elektrikli dinamometre 3. Hız sensörü 4. Motor 5. Yakıt pompası
6. Egzoz 7. Emisyon ölçüm cihazı 8. Yakıt kabı 9. Yakıt ölçüm büreti 10. Hız göstergesi 11. Tork göstergesi 12. Yükleme anahtarı

Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of the experimental setup)

Egzoz emisyonları K test model emisyon ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Emisyon ölçüm cihazının ölçüm parametreleri ve aralıkları Tablo 3’te verilmiştir.

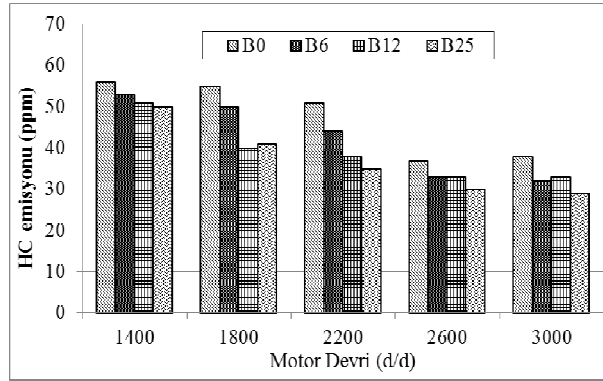
Tablo 3. Emisyon ölçüm cihazının ölçüm parametreleri ve aralıkları (Measurement parameters and ranges of the emission measuring device)

Marka	K Test
O ₂ konsantrasyonu (%)	0-25 (%)
CO konsantrasyonu (%)	0-15 (%)
NO _x konsantrasyonu (ppm)	0-5000 (ppm)
HC (ppm)	0-20.000 (ppm)
CO ₂ konsantrasyonu (%)	0-20 (%)
OPASİTE %	0 - 99.99
OPASİTE K	0 - 9.99
Lambda	0,5 - 2,0

Deneylere başlamadan önce motor 10-15 dakika kadar çalıştırılmıştır. Tüm deneyler motor yağ sıcaklığı 50 °C'ye ulaşınca aynı şartlar altında yapılmıştır. Her bir deney aynı şartlar altında 3 kere tekrarlanarak sonuçların ortalaması alınmıştır.

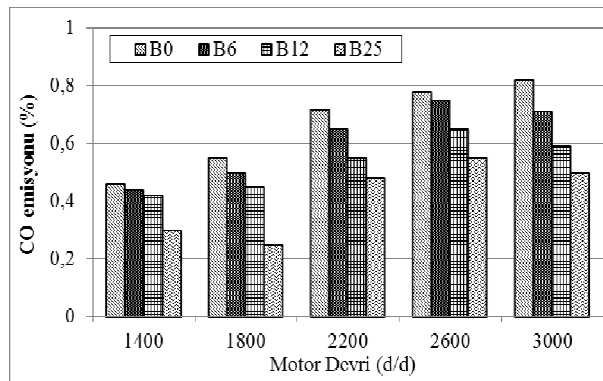
3. BULGULAR (FINDINGS)

Şekil 2’de tüm yakıt karışımları için 1400 d/d-3000 d/d aralığında elde edilen HCemisyollarının değışimleri görülmektedir. HC emisyonları daha çok yanmanın tam gerçekleşmediği bölgelerde oluşmaktadır. HC oluşumunun iki temel nedeni, ortamdaki düşük sıcaklık ve yetersiz bulunan oksijendir [9,10].Şekil 2’de görüldüğü gibi yakıt karışımları içeriğindeki biyodizel oranına bağlı olarak HC emisyonları azalmaktadır. Bu durum, biyodizel içeriğindeki karbon oranının düşük olması ve oksijen oranının fazla olmasına bağlı bir durumdur. Yanma odasında oluşan türbülansın motor devrine bağlı olarak artması, yanma kalitesini artırarak HC emisyonlarını düşürmektedir. Aynı zamanda yüksek devirlerde, hava hareketleri basınç ve sıcaklık değerlerini artırıp tam ve kısmi oksitlenmeyi tetiklemektedir [11]. Bu nedenle, motor devrinin artmasıyla birlikte tüm yakıtlar için HC emisyonları azalmıştır. Maksimum motor torkdevrinde (2200 d/d) HC emisyonları, B0’a göre B6 ile %13, B12 ile %25 ve B25 ile %31 oranlarında azalmıştır.



Şekil 2. Farklı oranlardabiyodizel kullanımının HC emisyonlarına etkisi (Theeffect of usebiodiesel at differentratios on HC emissions)

Farklı oranlarda biyodizel kullanımının CO emisyonlarına etkisi Şekil 3’teverilmiştir.

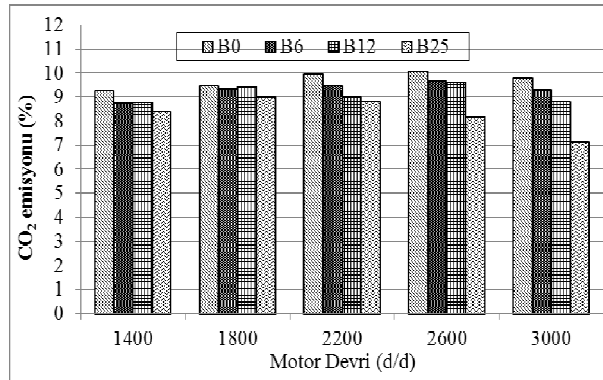


Şekil 3. Farklı oranlarda biyodizel kullanımının COemisyonlarına etkisi (Theeffect of usebiodiesel at differentratios on COemissions)

CO oluşumunun temeli yanmanın eksik olmasıdır [12]. Biyodizel içerikli yakıtların içeriğindeki O₂ miktarının yüksek olması nedeniyle, tüm devirlerde B0 ile en büyük CO emisyonları elde edilmiştir. Biyodizel yakıtının içeriğindeki O₂ içeriği yanma sırasında yakıt içeriğindeki karbonun oksidasyonunu sağlamakta ve dizel yakıtına göre daha düşük CO emisyonları elde

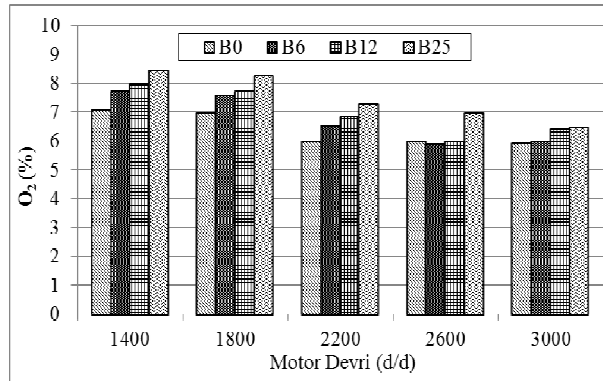
edilmektedir [13]. Maksimum motor tork devrinde CO emisyonları, B0'a göre B6 ile %9, B12 ile %23 ve B25 ile %33 oranlarında azalmıştır. Düşük motor devirlerinde volumetrik verimin daha yüksek ve yeterli yanma süresi olması nedeniyle, CO emisyonları tüm yakıtlar için daha düşük orandadır. Yüksek motor devirlerinde, yakıtın yanma süresinin kısılması ve volumetrik verimin düşmesinden dolayı tüm yakıtları için CO emisyonları artmıştır.

Farklı oranlarda biyodizel kullanımının CO₂emisyonlarına etkisi Şekil 4'te verilmiştir. Biyodizel içerisindeki karbon oranının standart dizel yakıtına göre bir miktar az olmasından dolayı, tüm devirlerde CO₂ değerleri standart dizel yakıtına göre bir miktar düşük çıkmıştır. Devrin artmasına bağlı olarak volumetrik verim düşmekte ve bu nedenle yeterli oksijen bulunmadığından dolayı, CO₂'ye dönüşüm süresi kısalmaktadır [14]. Bu nedenle CO₂emisyonları motor devrine bağlı olarak artmaktadır. Maksimum motor tork devrinde CO₂emisyonları, B0'a göre B6 ile %5, B12 ile %10 ve B25 ile %11 oranlarında azalmıştır.



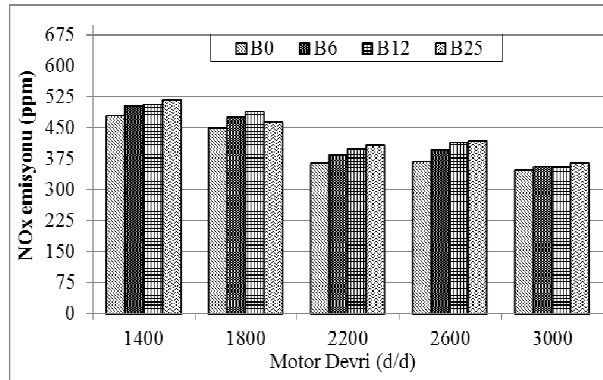
Şekil 4. Farklı oranlarda biyodizel kullanımının CO₂emisyonlarına etkisi (Theeffect of usebiodiesel at differentratios on CO₂emissions)

Yakıt karışımlarının motor devrine bağlı olarak O₂'ye olan etkileri Şekil 5'te verilmiştir. Şekilde biyodizel içerikli yakıtların içeriğindeki O₂ oranı, tüm motor devirlerinde B0'a kıyasla daha fazla görülmektedir. Bunun en önemli nedeni biyodizelin içeriğinde oksijenin var olmasıdır. Motorun düşük devirlerinde volumetrik veriminin yüksek olması nedeniyle, O₂ miktarı da yüksektir. Motor devrinin artmasıyla birlikte, yanma odası içerisinde meydana gelen türbülans artarak karışımı daha ideal duruma getirmekte ve karışımın yanma hızını arttırmaktadır. Bu durum hem yanma kalitesini hem de O₂ tüketimini arttırmaktadır. Bu nedenle, egzozdan çıkan O₂ oranı da devre bağlı olarak azalmaktadır. Maksimum motor tork devrinde O₂oranı, B0'a göre B6 ile %8, B12 ile %12 ve B25 ile %17 oranlarında artmıştır.



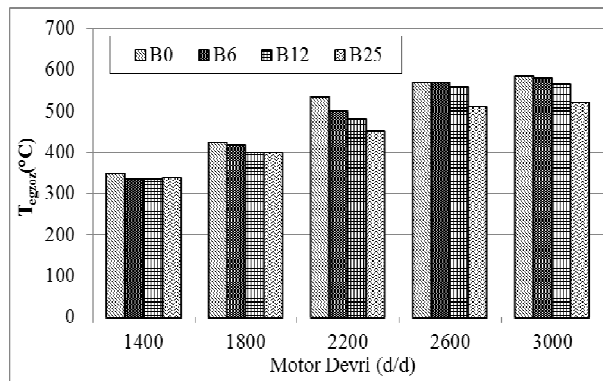
Şekil 5. Farklı oranlarda biyodizel kullanımının O₂'ye etkisi (Theeffect of usebiodiesel at differentratios onO₂)

Farklı oranlarda biyodizel kullanımının NOx emisyonlarına etkisi Şekil 6'da verilmiştir. NOx emisyonları, silindir içi yanma sıcaklığının yaklaşık 1800 K'e ulaşmasıyla havanın iyonize olup, içeriğindeki azotun ayrışıp oksijenle birleşmesi ile oluşmaktadır [15]. Sıcaklık, oksijen oranı ve zaman NOx emisyonunu tetikleyen üç önemli etmendir. Biyodizel içeriğindeki oksijen miktarının fazla olması ve yanma esnasında oksitlenmeyi iyileştirmesi, yanma bölgelerinin sayısında artış meydana getirmektedir. Biyodizel içerikli yakıtlar ile yüksek sıcaklığın elde edildiği bölgelerin artması, NOx emisyonlarının oluşum hızını artırmaktadır [16]. Yanmanın iyileşmesi, yanma sonu basıncını ve sıcaklığını arttıracığından dolayı bu durum NOx emisyonlarını arttırmaktadır. Devrin artmasıyla, emme zamanı kısaltarak volumetrik verim düşmekte ve silindir içerisine alınan O₂ miktarının azalması ile birlikte, azot ile oksijenin silindir içerisinde bulunma süresi de azalmaktadır. Bu nedenle, motor devrinin artmasıyla NOx oluşumunda düşüş meydana gelmiştir [17]. Maksimum motor tork devrinde NOx emisyonları, B0'a göre B6 ile %5, B12 ile %8 ve B25 ile %11 oranlarında artmıştır.



Şekil 6. Farklı oranlarda biyodizel kullanımının NOx emisyonlarına etkisi (The effect of use biodiesel at different ratios on NOx emissions)

Farklı oranlarda biyodizel kullanımının egzoz sıcaklığına olan etkisi Şekil 7'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, biyodizel içerikli yakıtlarda yanma sonucu oluşan egzoz gazlarının sıcaklığı, standart dizel yakıtının yanması sonucu oluşan egzoz gazı sıcaklığına göre daha düşüktür. Bu sonuç, biyodizel içerikli yakıtların, standart dizel yakıtına göre daha iyi yanma meydana getirdiğine işaret etmektedir. Biyodizel, standart dizel yakıtına göre %10 daha fazla O₂ içermektedir. Bu nedenle biyodizel içerikli yakıtlar, yanma zamanında daha hızlı yanmaktadırlar. Bununla birlikte, biyodizel içerikli yakıtların ısı değerleri, standart dizel yakıtına göre düşük olduğundan dolayı, tüm devirlerde egzoz gazı sıcaklıkları standart dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır. Maksimum motor tork devrinde egzoz sıcaklığı, B0'a göre B6 ile %6, B12 ile %10 ve B25 ile %15 oranlarında artmıştır.



Şekil 7. Farklı oranlarda biyodizel kullanımının egzoz sıcaklığına etkisi (The effect of use biodiesel at different ratios on exhaust temperature)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Biyodizel içerikli yakıtların içeriğindeki O₂ oranı, tüm motor devirlerinde B0'a kıyasla daha fazla görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, biyodizeliçeriğinde oksijenin var olmasıdır. Tüm devirlerde B0'ın CO emisyonları, karışım yakıtlardan daha fazla çıkmıştır. Bunun temel nedeni ise, biyodizel yakıtların içeriğindeki oksijen miktarının fazla olması ve biyodizelin yüksek oranda H/C oranına sahip olmasıdır. Yüksek motor devirlerinde, yakıtın yanma süresinin kısılması ve volumetrik verimin düşmesinden dolayı tüm yakıtlar için CO emisyonları artmıştır. Motor devrinin artmasıyla, yanma işleminin gerçekleşmesi için gerekli olan süre kısalmıştır ve hava yakıt karışımında bulunan havanın ortamda fazla olması nedeniyle CO₂ oranında artış meydana gelmiştir. Karışım içeriğindeki biyodizel oranına bağlı olarak HC emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Bu durum biyodizel içeriğindeki karbon oranının düşük, oksijen oranının fazla olmasına bağlı bir durumdur. Bu nedenle, biyodizeliçeriğindeki yüksek O₂, zengin bölgelerde yeterli yanmayı temin etmektedir. Motor devrinin artmasıyla oluşan türbülansın artmasına bağlı olarak yanma kalitesi artarak, HC emisyonları düşmektedir. Aynı zamanda yüksek devirlerde, hava hareketleri basınç ve sıcaklık değerlerini artırıp tam ve kısmi oksitlenmeyi tetiklemiştir. Bu nedenle, motor devrinin artmasıyla birlikte tüm yakıtlar için HC emisyonları azalmıştır. Biyodizeliçerikli yakıtların egzoz gazı sıcaklığı, B0'a göre daha düşüktür. Biyodizel, B0'a göre daha fazla O₂ içermektedir. Bu nedenle biyodizel içerikli yakıtların silindir içi yanma hızları daha yüksektir. Ayrıca, biyodizeliçerikli yakıtların ısıl değerleri, B0'a göre daha düşüktür. Bu nedenle, yakıt karışımları içeriğindeki biyodizel oranına bağlı egzoz gazı sıcaklıkları tüm devirlerde düşmektedir. Biyodizel içerikli yakıtların NO_x miktarları, B0'a göre motorun tüm devirlerinde yüksek çıkmıştır. Biyodizel içeriğindeki oksijen miktarının fazla olması ve yanma esnasında oksitlenmeyi iyileştirmesi, yanma bölgelerinin sayısında artış meydana getirmektedir. Bu nedenle, yüksek sıcaklığın elde edildiği bölgelerin artması NO_x emisyonlarının oluşum hızını artırmaktadır.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Banapurmath, N. R., Tewari, P. G., Hosmath, R. S., (2008). Combustion and emission characteristics of a direct injection, compression-ignition operated on Hongoil, HOME and blends of HOME and diesel, *International Journal of Sustainable Engineering*, 2, 80-93.
- [2] Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R., Nedunchezian, N., (2009). Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 653-662.
- [3] Sugözü, B., (2016). Influence of diesel fuel and soybean oil ethyl ester blends on the performance and emission characteristics of a diesel engine, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 5, 1-7.
- [4] Sugözü, İ., Aksoy, F., Baydır, A.Ş., (2009). Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 49-56.
- [5] Özsezen, N.A., Türkcan, A., Çanakçı, M., (2007). Ham ayçiçek yağı kullanılan bir dizel motorun performans ve emisyonları, *1. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu*, 28-31 Mayıs, Samsun, Türkiye.
- [6] Çelikten, İ., Arslan, M.A., (2008). Dizel yakıtı, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin direkt püskürtmeli bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(4), 829-836.

- [7] Sayın, C., (2012). Diesel engine emissions improvements by the use of Sunflower methyl ester /diesel blends, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33(2), 83-88.
- [8] Geyer, S.M., Jacobus, M.J., Lestz, S., (1984). Comparison of diesel engine performance and emissions from neat and transesterified vegetable oils, *Transaction of the ASAE*, 375-381.
- [9] Keskin, A., (2005). Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri, Doktora tezi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi.
- [10] Reşitoğlu, İ.A.,(2010).Atık yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Mersin Üniversitesi.
- [11] Çat, S.,(2012).Dizel motorda atık biyodizel kullanımının performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi.
- [12] Kutlar, A.,Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M.,(1998). Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler, İstanbul, Türkiye, Birsen Yayınevi.
- [13] Abdel-Rahman, A.A.,(1998). On the emissions from internal-combustion engines: a review, *Int. J. Energ. Res.*,22(6), 483-513.
- [14] Lee, C.S.,Park,S.W.,Kwon, S.I., (2005). An experimental study on the atomization and combustion characteristics of biodiesel-blended fuels, *Energy&Fuels*, 19, 2201- 2208.
- [15] Canakci, M.,Sanli,H., (2005). An assessment about ther easons of NOx rise in biodiesel's exhaust emissions, *J. Naval Sci. Eng.*,3,81-92.
- [16]Özsezen, A.N.,Çanakçı, M., (2009). Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 173-180.
- [17] Behçet, R.,Çakmak, A.V.,Aydın, S.,İlkılıç,C.,Aydın,H., (2011). Atık kızartma yağı metil esterinin bir dizel motorunda motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması, *6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Elazığ, Türkiye, 72-76.