



Atık yağ biyodizelinin farklı sıkıştırma oranlarındaki dizel motorlarda kullanımının uygunluğunun araştırılması

Levent YÜKSEK*

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul
lyukse@yildiz.edu.tr ORCID:0000-0002-3240-2675, Tel: (212) 383 28 99

Orkun ÖZENER

Toyota Otomotiv Sanayi Türkiye A.Ş.

Volkan KIZILKAN

Toyota Otomotiv Sanayi Türkiye A.Ş.

H. Ertuğrul ARSLAN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş: 15.08.2016, Kabul Tarihi: 08.02.2018

Öz

Dünya genelinde enerji gereksinimi artış trendi içersindedir ve bu artış hali hazırda özellikle petrol türevli yakıtlarla karşılanmaktadır. Artan çevresel kaygılar sebebiyle günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların verimli kullanımı her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Alternatif yakıtların, çevre dostu olmaları ve petrol türevli yakıtların tükenme riski sebebiyle, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması beklenen bir gelişmedir. Buji ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak hidrojen, özellikle yanma sonu ürünlerinden karbon türevi emisyon ihtiva etmeyişi sebebiyle uygun olsa da depolanması zor olan bir yakıttır. Sıkıştırma ateşlemeli (Dizel) motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılan ve genel olarak biyodizel olarak ifade edilen, bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen, yağ asidi metil esterleri ise üretim kolaylığı ve çevre dostu oluşu sebebiyle önemlidirler. Biyodizel ile yapılan araştırmaların birçoğunda emisyon yönünden motorine kıyasla avantaj ön plana çıkmaktadır, karbon monoksit, karbon dioksit, partikül ve yanmamış hidrokarbonların daha düşük olması olumlu iken biyodizel ile azot oksit (NO_x) emisyonları artış göstermektedir. Yakıtın alt ısı değerinin motorine göre daha düşük olması ise bir başka dezavantaj olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada farklı sıkıştırma oranlarında, biyodizel-motorin karışımının karakteristik değerlere ve emisyonlara etkisi incelenmektedir. İki farklı yakıt ve altı farklı sıkıştırma oranında yapılan deneyler neticesinde elde edilen değerler analiz edilmiş ve biyodizel motorin karışımının yüksek NO_x emisyonunun sıkıştırma oranı düşürülerek iyileştirilebileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel; Sıkıştırma Oranı; Motor performansı; Egzoz emisyonu;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Yakıt veya katkı olarak biyodizelin dünya genelinde kullanımı gün geçtikçe artmakla beraber, özellikle mevcut motorlarda kullanımının sonuçları günümüz biyodizel araştırmalarında önemli bir yere sahiptir. Biyodizel dizel yakıtına göre düşük alt ısıl değere sahip olduğu için karışım yapılmadan kullanıldığında performansı düşürücü yönde etki yapmaktadır. Literatür performans açısından farklı önermeler yapıyor olsa da genel eğilim karışım oranının %20'nin altında olduğu durumlarda performansın fazla azalmadığıdır. Bununla birlikte %50 ve üzeri karışım oranlarında biyodizel performansı azaltıcı ve özgül yakıt sarfiyatını arttırıcı yönde etki etmektedir (Utlu ve Koçak, 2008; Nwafor vd., 2000; Usta, 2005; Kalligeros vd., 2003; Raheman ve Phadattare 2004; Altın vd., 2001). Kullanımında kalıntı oluşumu ve filtre tıkanma özelliği olumsuz sayılabilecek yönleri arasındadır. Biyodizelin viskozitesi, yoğunluğu ve elastisite modülü motorine göre yüksektir. Bununla birlikte farklı bitkilerden üretilmiş olan yakıtların viskozite ve yoğunluk değerleri birbirinden farklıdır (Demirbaş, 2008).

Biyodizelin elastisite modülünün yüksek olması moleküler boşluklarının azlığından kaynaklanmaktadır. Elastisite modülünün ve yoğunluğunun yüksek oluşu sebebiyle klasik dizel sistemlerine sahip motorlarda motorine göre silindir içersine daha fazla yakıt daha erken girmektedir (Szybist ve Boehman, 2003). Ancak bahsi geçen durum günümüzde kullanılan ortak hat enjeksiyon sistemine sahip elektronik kontrollü dizel motorlarında önemli bir parametre olarak değerlendirilemez.

Biyodizel bitki kökenli bir yakıt olduğu için kükürt içeriği açısından fakirdir bu sayede egzoz emisyonu azaltım sistemlerine etkisi daha azdır. Aynı zamanda oksijen muhtevası yüksek olduğu için is emisyonları düşüktür (Tolomelli vd., 2017; Song vd., 2012). Azot oksit (NO_x)

emisyonları için literatür çoğunlukla artışı işaret ediyor olsa da azalma veya yük şartına bağlı değişim gösterdiğini savunan araştırmacılar da vardır (Szybist vd., 2005; Fernando vd., 2006; Durbin vd., 2006). Toplam hidrokarbon emisyonlarına bakıldığında ise biyodizelin yapısından kaynaklanan oksijen molekülü muhtevası ve artan setan sayısı ile birlikte hidrokarbon emisyonlarının genel olarak bir azalma eğiliminde oldukları görülmektedir. Biyodizel kullanımıyla birlikte CO emisyonlarındaki değişim trendi ise genel olarak azalma yönündedir. Bunun ana nedeni ise biyodizelin yapısından kaynaklanan oksijenin motorin kullanımına göre daha verimli yanmaya sebep olması olarak gösterilmiştir.

Bu çalışmada farklı sıkıştırma oranlarında, hacimce %15 biyodizel-motorin karışımının karakteristik değerlere ve emisyonlara etkisi incelenmektedir. İki farklı yakıt ve altı farklı sıkıştırma oranında yapılan deneylerde motor performansı, egzoz emisyonları ve silindir içi basınç değişimi ölçülmüştür.

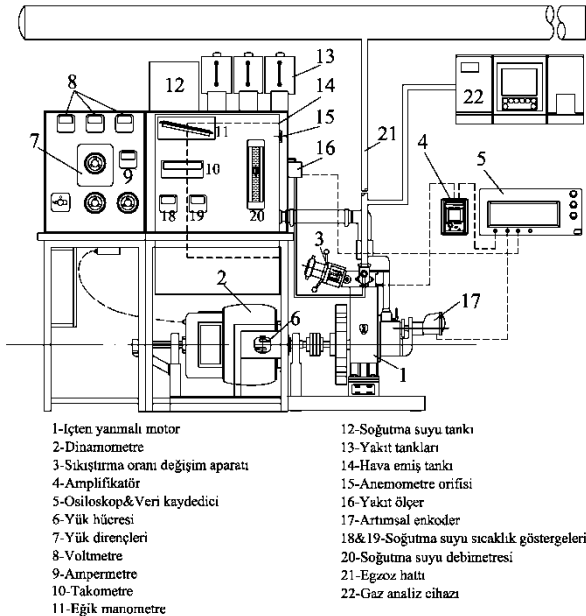
Deneysel Çalışma

Deneysel çalışma Ferryman marka bölünmüş yanma odalı dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Tablo 1.'de deney motorunun teknik özellikleri listelenmiştir.

Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Parametre	Değer
Üretici	Ferryman
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	90
Strok (mm)	120
Strok hacmi (litre)	0.765
Sıkıştırma oranı	11:1 – 26:1
Anma devri (d/d)	1700
Anma gücü (kW)	4
Maksimum tork (Nm)	35
Emme Supapı Sayısı	1
Egzoz Supapı Sayısı	1
Püskürtme Avansı (°KMA)	22

Deney motorunun sıkıştırma oranı işletme esnasında 11'den 26'ya kadar kademeli olarak değiştirilebilmektedir. Bölünmüş yanma odasının hacmi, mekanik olarak kontrol edilebilen bir piston vasıtasıyla değiştirilmekte böylece sıkıştırma oranının motor çalışırken dahi istenen değere ayarlanabilmesi mümkün olmaktadır. Yükleme tertibatı DC dinamometre ve fren dirençlerinden oluşmaktadır. DC motorun dinamometre olarak kullanılması amacıyla alan sargısına komuta verilmiş ve yük dirençleri ile fren momenti ayarlanmıştır. Askıda olan DC motora bağlı yük hücresi ile fren momenti ölçülmüştür. Yakıt enjeksiyonu mekanik pompa enjektör sistemi ile 100 Bar değerinde gerçekleşmektedir. Statik püskürtme avansı 22° KMA değerinde sabit tutulmuştur. Yakıt sarfiyatı hacimsel tüketimin ölçülmesi yöntemiyle belirlenmiştir. Silindir içi basıncı AVL marka basınç sensörü, Kistler marka 5011 B tipi amplifikatör ve LeCroy marka Wavesurfer Xs tipi osiloskop kullanılarak alınmıştır. Emisyon değerleri AVL marka Dicom 4000 tipi gaz analiz cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Deney sisteminin şeması Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney sisteminin şeması.

Test sisteminde kullanılan ekipmanların hassasiyetleri ve ölçüm belirsizlikleri Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Ölçümler ait hassasiyet ve belirsizlikler.

Ölçülen büyüklük	Ölçüm ekipmanı	Hassasiyet
Motor momenti	Yük hücresi	± 0.05 Nm
Motor hızı	Artımsal enkoder	± 5 rpm
Yakıt debisi	Balon joje	$\pm \%5$
CO	AVL DiGas4000	0.01 %Hac.
HC	AVL DiGas4000	1 ppm
AFR	AVL DiGas4000	0.001
NO _x	AVL DiGas4000	1 ppm
Hesaplanan büyüklükler	Belirsizlik	
Motor Gücü	$\pm 0.34 \div 0.79$	
Özgül yakıt sarfiyatı	$\pm 5.25 \div 6.35$	

Deneylerde EN 14214 standardına uygun ve atık yağ kullanılarak elde edilmiş Biyodizel ve EN590 standardına uygun motorin kullanılmıştır. B15 olarak adlandırılan motorin-biyodizel karışımı hacimsel olarak %15 biyodizel, %85 motorin karışımından elde edilmiştir. Motorin ile yapılan testlerin sonuç grafiklerinde ise "M" kısaltması kullanılmıştır. Testlerde kullanılan motorin ve biyodizelin teknik özellikleri sırasıyla Tablo 3. ve Tablo 4.'te listelenmiştir.

Testler esnasında sıkıştırma oranı sırasıyla 21.7, 20.1, 18.8, 17.1, 15.5 ve 13.7 değerlerine ayarlanarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Seçilen sıkıştırma oranları günümüz motorlarında uygulanmakta olanlara uygun ve diğer araştırmacıların da benzer çalışmalarında seçmiş olduğu değerlerdir. (Mohammed ve Medhat, 2013; Nagaraja vd., 2015; Abhishek vd., 2015; Kumar ve Dixit, 2014; Hariram ve Shangar, 2015; Anand vd., 2009; Datta ve Mandal, 2016). Seçilmiş olan çok düşük sıkıştırma oranları ise sadece referans teşkil etmesi açısından araştırılmışlardır. Deneyler ardı ardına her şart için dört kez tekrar edilmiştir. Silindir içi basınç değerlerinin analizinde birbirini takip eden elli çevrimin ortalama değerleri alınmıştır.

Tablo 3. Motorin yakıtının özellikleri

Özellik	Birim	Deney Yöntemi	EN 590 Limitleri		Sonuçlar
			Min	Maks.	
Yoğunluk (15°C)	kg/m ³	EN ISO 3675 EN ISO 12185	820	860	850
Parlama Noktası	°C	EN ISO 22719	55	-	66
Su İçeriği	mg/kg	EN ISO 12937	-	200	83
Kükürt İçeriği	mg/kg	EN ISO 8754	-	7000	1200
Bakır Şerit Korozyonu (3h, 50 °C)	Derece	EN ISO 2160		1	1A
Setan İndisi		EN ISO 4264	46	-	52,7
Viskozite 40°C	mm ² /s	EN ISO 3104	2	4,5	2,35
Kül İçeriği	% m/m	EN ISO 6245	-	0,01	0,006
Toplam Kirlilik	mg/kg	EN ISO 12662	-	24	9
Oksidasyon Kararlılığı	g/m ³	EN ISO 12205	-	25	15

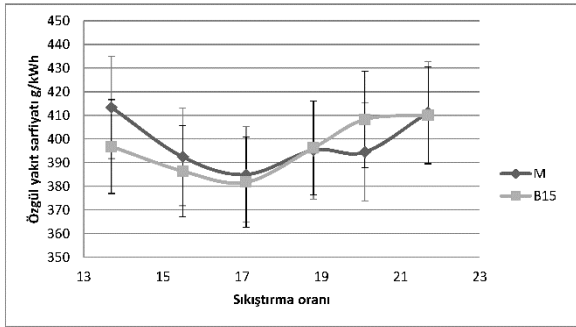
Tablo 4. Biyodizel yakıtının özellikleri

Özellik	Birim	Deney Yöntemi	EN 14214 limitleri		Sonuçlar
			Min.	Maks.	
Ester İçeriği	% (m/m)	EN 14103	96,5	-	95,9
Yoğunluk (15°C)	kg/m ³	EN ISO 12185	860	900	880,2
Viskozite 40°C	mm ² /s	EN ISO 3104	3,5	5	4,624
Parlama Noktası	°C	EN ISO 3679	120	-	128
Soğuk filtre tıkkama noktası	°C	EN 116	-	+5°C (Yaz) -15°C (Kış)	-18
Kükürt içeriği	mg/kg	EN ISO 20884	-	10	1,25
Karbon kalıntısı	% (m/m)	EN ISO 10370	-	0,3	0,18
Setan indisi		EN ISO 5165	51	-	53,1
Sülfatlanmış Kül İçeriği	% (m/m)	ISO 3987	-	0,02	0,003
Su İçeriği	mg/kg	EN ISO 12937	-	500	365
Toplam Kirlilik	mg/kg	EN 12662	-	24	19
Bakır Şerit Korozyonu (50 °C 3h)	Derecelendirme	EN ISO 2160	1	1	1
Oksidasyon Kararlılığı 110 °C	Saat	EN 14112	6	-	6,8
Asit sayısı	mg KOH/g	EN 14104	-	0,5	0,41
İyot sayısı	g İyot/100g	EN 14111	-	120	118
Linolenic Asit Metil Esteri	% (m/m)	EN 14103	-	12	7,4
Çoklu Doymamış Metil Esterler (>=4 Çift Bağ)	% (m/m)	EN 14103	-	1	0
Methanol İçeriği	% (m/m)	EN 14110	-	0,2	0,1
Serbest Gliserol	% (m/m)	EN 14105	-	0,02	0,01
Monogliserit İçeriği	% (m/m)	EN 14105	-	0,8	0,4
Diğliserit İçeriği	% (m/m)	EN 14105	-	0,2	0,11
Trigliserit İçeriği	% (m/m)	EN 14105	-	0,2	0,05
Toplam Gliserol	% (m/m)	EN 14105	-	0,25	0,17
Fosfor İçeriği	mg/kg	EN 14107	-	10	< 0,5
Grup I metaller (Na+K)	mg/kg	EN 14108 EN 14109	-	5	3,8
Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg	EN 14538	-	5	< 0,5

Sonuçlar

Motor Performansının Değişimi

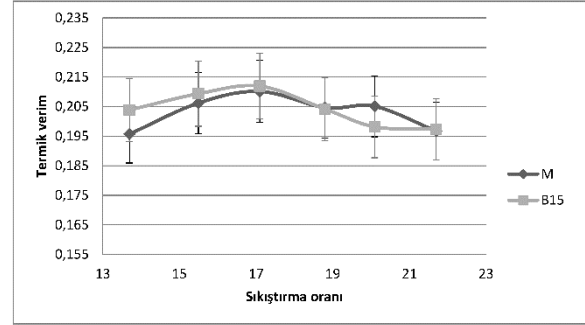
Performans deneyi tam gaz şartında kademeli yüklemeye ile gerçekleştirilerek motorun performansı belirlenmiştir. Performans testleri neticesinde motorun 1300 d/d hızda en fazla 4.5 bar ortalama efektif basınca ulaşabildiği tespit edilmiştir. 1300 d/d motor hızı aynı zamanda maksimum momentin elde edildiği değerdir. Ardından, sıkıştırma oranının etkisinin araştırılabilmesi için gerekli olan yük değeri, 1300 d/d sabit devir şartında, 4.5 Bar ortalama efektif basınç elde edilecek şekilde saptanmıştır. Şekil 2.'de özgül yakıt sarfiyatının sıkıştırma oranı ile değişimi görülmektedir.



Şekil 2. Özgül yakıt sarfiyatının sıkıştırma oranı ile değişimi.

Deney motorunun özgül yakıt sarfiyatı ve Şekil 3.'te görülmekte olan termik verim değerleri, sıkıştırma oranının artışı ile iyileşmiş ardından, 17.1 değerine erişildiğinde termik verim maksimum değerini yakalamıştır. Bu değer üstünde gerçekleştirilen deneylerde motorun termik veriminin azalmaya başladığı görülmüştür. Lakin her iki yakıt için elde edilen özgül yakıt sarfiyatı ve termik verim değerlerindeki farklar deney sisteminin ölçüm belirsizliği sınırları içinde kaldığı için yorumlanamamıştır. Benzer sonuçlar R. Anand vd. tarafında da ortaya konmuştur. Araştırmacılar tek silindirli, dört stroklu ve

püskürtme basıncı 200 Bar olan araştırma motorunda yaptıkları deneylerde maksimum termik verimi sonuçlayan sıkıştırma oranını aynı aralıkta elde etmişlerdir (Anand vd., 2009).

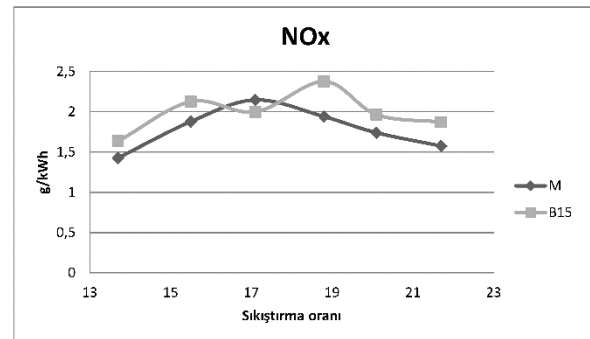


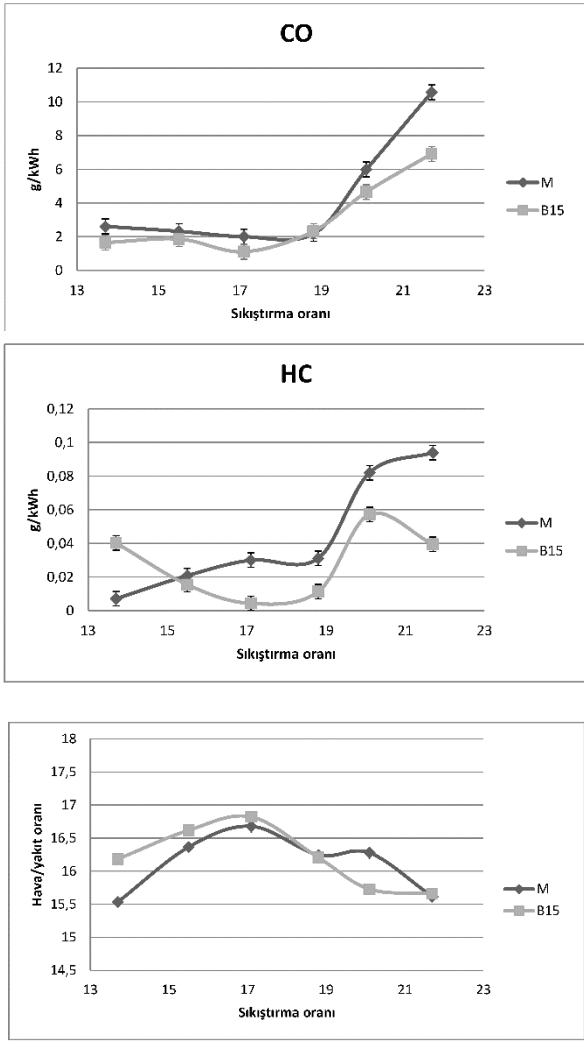
Şekil 3. Termik verimin sıkıştırma oranı ile değişimi.

Genel itibariyle verim eğrilerinin değişimi incelendiği zaman sıkıştırma oranına bağlı bir optimum nokta yakalanmaktadır. Sıkıştırma oranının 17.1 değeri civarında her iki yakıt için de maksimum verim değerleri elde edilmiştir.

Egzoz Emisyonu Değerlerinin Değişimi

Belirlenen deney şartlarında egzoz gazı emisyonları ölçülmüştür. Karbonmonoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve azot oksit (NO_x) emisyonları kıyaslama yapılabilmesi açısından özgül cinsten verilmiştir. Sabit yük şartında sıkıştırma oranına bağlı değişimler Şekil 4.'te görülmektedir.





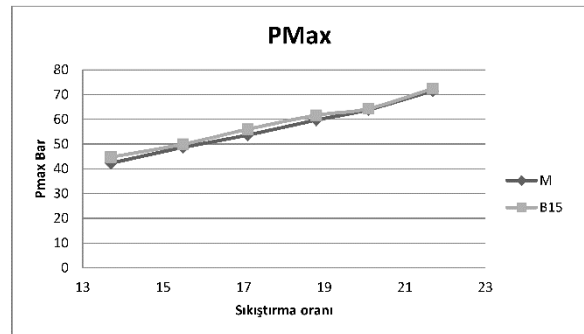
Şekil 4. Tam yük şartında emisyon değerleri.

Bilindiği gibi biyodizelin içersinde bulundurduğu oksijen dizel motorlarında emisyon değerlerinin konvansiyonel dizel yakıtlarına göre farklılaşmasını sonuçlamaktadır. Özellikle NO_x artarken CO ve HC değerleri azalmaktadır. Deneyler sonucunda tam yük şartında B15 için HC ve CO emisyonlarında azalma görülmektedir. HC açısından 17.1 sıkıştırma oranında 5 kat azalma yakalanmıştır. Ancak çıkan HC emisyonlarının kütsel olarak azlığı göz önüne alınırsa bu azalış pek önemli olarak değerlendirilmeyebilir. CO ve HC açısından biyodizel motorine göre daha az emisyon üretmektedir. Özgül CO emisyonlarında maksimum termik verimin yakalandığı sıkıştırma oranında %24 mertebesinde azalış

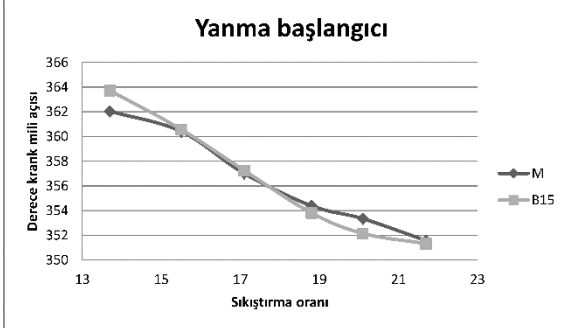
görülürken, HC emisyonlarında sadece 13.7 sıkıştırma oranında biyodizel motorinden daha yüksek sonuçlar ortaya koymuştur. Sıkıştırma oranı çok azaltıldığında biyodizelin tutuşma başlangıcı motorinden daha geç gerçekleşmektedir ve bu durum yanmanın büyük oranda genişleme stroğuna kaymasına neden olmaktadır. HC emisyonlarının düşük sıkıştırma değerlerinde muhtemel artış sebebi budur. B15 yakıtı NO_x emisyonlarında beklendiği gibi motorinden yüksek değerler ortaya koymuştur ve yapılan testlerde hava/yakıt oranının 17.1 sıkıştırma oranına kadar motorinden daha fakir olduğu görülmektedir. En yüksek termik verimin yakalandığı 17.1 dışındaki sıkıştırma oranlarında ortalama %19 daha yüksek olan NO_x 17.1 sıkıştırma oranında motorinden %7 daha aşağıdadır.

Silindir İçi Basınç Değerlerinin Değişimi

Artan sıkıştırma oranı ile beklenen öncelikli fayda performans iyileşmesi olmasına rağmen gücün belirli sıkıştırma oranlarından sonra artış göstermediği ve artan yatak ve segman yükleri ile birlikte mekanik kaybın arttığı bilinmektedir. Yine artan sıkıştırma oranı nedeniyle yükselen sıkıştırma sonu basıncıyla beraber tutuşma gecikmesi süresinin kısılması hem motorin hem de B15 için olumlu bir durumdur. Şekil 5.'te artan sıkıştırma oranı ile elde edilen maksimum silindir içi basınç değerleri görülmektedir. Deneyler sonunda farklı sıkıştırma oranlarında beklendiği gibi silindir içi basınçları artmış ve yanma başlangıç zamanı °KMA cinsinden geriye ötelenmiştir.



Şekil 5. Silindir içi maksimum basınçlarının sıkıştırma oranı ile değişimi.



Şekil 6. Yanmanın başlangıcının (°KMA) sıkıştırma oranı ile değişimi.

Şekil 6.'da verilmiş olan yanma başlangıç değerleri incelendiğinde 338° krank mili açısında püskürtülmeye başlanan yakıtın en düşük sıkıştırma oranlarında yaklaşık 26 °KMA tutuşma gecikmesinin ardından yanmaya başladığı görülmektedir. En yüksek termik verimin elde edildiği 17.1 sıkıştırma oranında tutuşma gecikmesi 20 °KMA değerinin altına inmiştir. Günümüz aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli motorlarına kıyasla yüksek olan bu değerler doğal emişli ve bölünmüş yanma odalı motorlar için değerlendirildiğinde makul kabul edilebilir. 17.1 sıkıştırma oranından sonra motorindeki artış spreyn oluşumu ve bağlı faktörlerden viskozite ile ilgili olabileceği değerlendirilmiş ancak püskürtme oranı ve sprej geometrisi ölçümleri alınmamış olduğu için kesin kanaate varılamamıştır.

B15 yakıtının azot oksit emisyonunun 17.1 sıkıştırma oranında motorinden düşük sonuç vermesi üzerine, yanma oranlarının incelenmesi yoluna gidilmiştir. Isı açığa çıkışı bu hususta kabul görmüş en genel metod olan Krieger ve Borman yaklaşımı kullanılarak hesap edilmiştir (Krieger ve Borman, 1966). Bir numaralı eşitlik termodinamiğin birinci kanuna dayanan boyutsuz bir modeldir. Dolgu sıcaklıkları durum denklemleri yardımı ile

elde edilirken dolgu kaybı olmadığı başka bir deyişle sistemin kapalı olduğu kabulü yapılmaktadır. Sabit basınç ve sıcaklıktaki özgül ısınma ısıları tablolar haline getirilmiş veriler yardımı ile hesaplanmıştır. Eşitlikte verilen k özgül ısılar oranını, P silindir içi basıncı, V silindir hacmini, θ krank açısını, Q_n ise açığa çıkan net ısıyı ifade etmektedir. Eşitlikten de anlaşılacağı üzere hesaplanmış ısı açığa çıkışı net değerdir ve püskürtülen yakıt nedeniyle silindir içerisine sokulan ısıdan daima düşüktür. Her iki ısı miktarı arasındaki fark silindirden transfer edilen ısı miktarını verir.

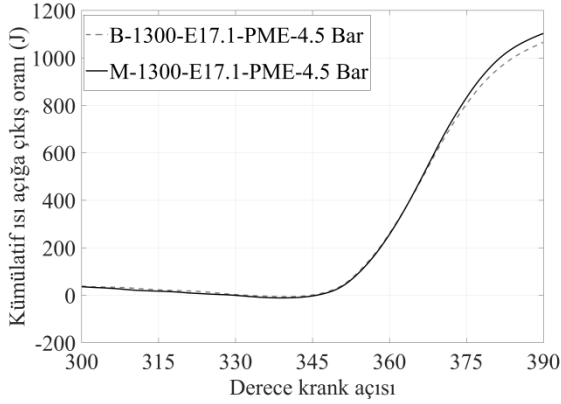
$$\frac{dQ_n}{d\theta} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (1)$$

Krank açısına bağlı yapılan çözümlenme püskürtme başlangıcından (SOI) yanma bitişine (EOC) kadar integre edilir ise kümülatif ısı açığa çıkışı elde edilebilmektedir. Kümülatif ısı açığa çıkışı eğrileri ile yanma oranlarına ve özellikle azot oksit emisyonlarına dair analiz yapılması kolaylaşmaktadır. Elde edilen eğrilerin yorumlanması neticesinde tutuşma gecikmesi, yanma oranları, ön karışım faz bilgileri, difüzyon faz bilgileri ve fazların yanma süreleri değerlendirilebilmektedir. Eşit püskürtme miktarlarında düşük alt ısısal değere sahip yakıtların kümülatif ısı açığa çıkışı eğrilerinin değerlerinin düşük olması gerekmektedir.

$$\int_{\theta_{SOI}}^{\theta_{EOC}} \frac{dQ_n}{d\theta} \quad (2)$$

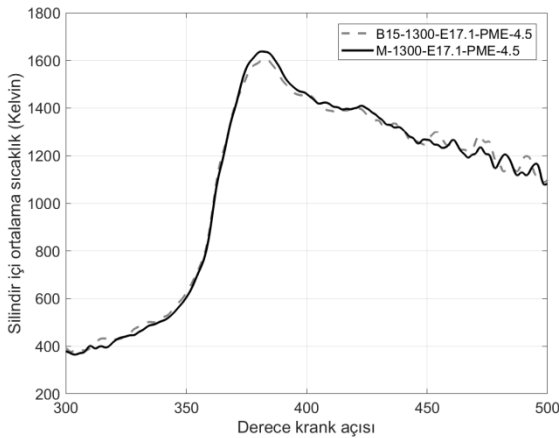
Şekil 7.'de verilmiş olan kümülatif ısı açığa çıkış değerleri silindir içi basınç değişimi eğrisinden faydalanarak hesaplanmıştır. Değerler incelendiğinde, 17.1 sıkıştırma oranında tutuşmanın başlamasının ardından B15 yakıtının yanma oranının düşük olduğu görülmüştür. İlk etapta üst ölü noktaya kadar motorinden daha yüksek olan ısı salımının 370 °KMA mertebesinde motorinin değerlerinin altına düştüğü gözlemlenmiştir. Bu bağlamda yüksek ısı açığa çıkış oranı nedeniyle motorin yakıtının bu işletme

şartındaki azot oksit emisyonunun yüksek olması beklenmekte ve deney sonucu ile uyum gözlenmektedir.



Şekil 7. Kümülatif ısı açığa çıkışının 17.1 sıkıştırma oranındaki değişimi.

Benzer biçimde Şekil 8.'de grafik haline getirilmiş silindir içi ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi incelendiğinde maksimum silindir içi sıcaklığının motorinde daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu noktada azot oksit emisyonu açısından yakıt oksijeninden ziyade silindir içi sıcaklığın etkisinin baskın olduğu anlaşılmıştır. Modern yanma odası tasarımlarına sahip motorlarda gözlemlenmesi beklenmeyen bu olgu test motoru ve sıkıştırma oranı değişim aparatının geometrisi ile ilişkilendirilmiştir. Zira sıkıştırma oranı değişim aparatındaki pistonun hareketi doğrudan yanma odasına doğru olduğu için spreyin oluşumuna ve yanmanın gelişimine etkisi bilinmemektedir.



Şekil 8. Silindir içi ortalama sıcaklığının 17.1 sıkıştırma oranındaki değişimi.

Tartışma

Bu çalışma neticesinde biyodizelin halihazırda bilinen en olumsuz yanı olan yüksek azot oksit emisyonlarının sıkıştırma oranının düşürülmesi ile azaltılabileceği görülmüştür. Ancak benzer biçimde yüksek sıkıştırma oranlarında elde edilen düşük azot oksit emisyonu değerleri gözetildiğinde bu olgunun direkt püskürtmeli dizel motorlarda detaylı araştırılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Günümüzde oldukça sıkı hale getirilen emisyon sınırlamaları dahilinde motorların egzoz sistemleri üzerine entegre edilen emisyon azaltıcı teknolojilerin maliyetleri göz önüne alındığında konstrüktif bir parametre olan sıkıştırma oranının düşürülmesi görece basit ve ucuz bir çözümdür. Alternatif yakıt olarak biyodizelin motorine karıştırılarak kullanılması durumunda düşük sıkıştırma oranlı dizel motorlarında emisyon değerlerinde ciddi iyileşmeler gerçekleşebileceği anlaşılmakla birlikte, termik verim kaybı gibi önemli bir parametre gözetilerek motorlar üzerinde gerçekleştirilecek optimizasyonlar ile kazanım dengelenebilir.

Kaynaklar

- Abhishek, R. G., Nirmal, P. S., Kolluri, R. V. S. K., Anurag, P., Singh, S. N., (2015). Effect Of Compression Ratio On The Performance Of Diesel Engine At Different Loads., *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, **5**, 10, 62-68.
- Anand, R., Kannan, G. R., Reddy, K. R, Velmathi S., (2009). The Performance And Emissions of A Variable Compression Ratio Diesel Engine Fuelled With Bio-Diesel From Cotton Seed Oil, *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, **4**, 9, 72-87.
- Altın, R., Çetinkaya, S., Yücesu HS., (2001). The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines, *Energy Conversion and Management*, **42**, 529-538.
- Datta, A. ve Mandal, B. K., (2016). Effect of compression ratio on the performance, combustion and emission from a diesel engine

- using palm biodiesel, *AIP Conference Proceedings*, 1754, 1.
- Demirbaş, A., (2008). Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels, *Fuel*, 87, 1743–1748.
- Durbin, T.D., Cocker, D.R., Sawant, A.A., Johnson, K., Miller, J.W., Holden, B.B., Helgeson, N.L., Jack, J.A., (2007). Regulated emissions from biodiesel fuels from on/off-road applications, *Atmospheric Environment*, 41, 27, 5647-5658.
- Fernando, S., Hall, C., Jha, S., (2006). NO_x Reduction from Biodiesel Fuels, *Energy & Fuels*, 20, 376-382.
- Hariram, V., Shangar, R.V., (2015). Influence of compression ratio on combustion and performance characteristics of direct injection compression ignition engine, *Alexandria Engineering Journal*, 54, 4, 807-814.
- Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., Teas, C.H., Sakellaropoulos, F., (2003). An investigation of using biodiesel/marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine, *Biomass and Bioenergy*, 24, 141–149.
- Kumar, R., Dixit, A. K., (2014). Combustion and Emission Characteristics of Variable Compression Ignition Engine Fueled with *Jatropha curcas* Ethyl Ester Blends at Different Compression Ratio., *Journal of Renewable Energy-Hindawi*, Volume 2014.
- Krieger, R.B., Borman, G.L. (1966). The Computation of Applied Heat Release for Internal Combustion Engines, *ASME*, Paper 66-WA/DGP-4; SAE: Warrendale, PA, USA.
- Mohammed, E., Medhat, A., (2013). Studying the effect of compression ratio on an engine fueled with waste oil produced biodiesel/diesel fuel, *Alexandria Engineering Journal*, 52, 1, 1-11.
- Nagaraja, S., Sooryaprakash, K., Sudhakaran, R., (2015). Investigate the Effect of Compression Ratio over the Performance and Emission Characteristics of Variable Compression Ratio Engine Fueled with Preheated Palm Oil-Diesel Blends, *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, 393-401.
- Nwafor, O.M.I., Rice, G., Ogbonna, A.I., (2000). Effect of advanced injection timing on the performance of rapeseed oil in diesel engines, *Renewable Energy*, 21, 433-444.
- Raheman, H. ve Phadatare, A.G., (2004). Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel, *Biomass and Bioenergy*, 27, 393–397.
- Song, H., Tompkins, B.T., Bittle, J.A., Jacobs, T.J., (2012). Comparisons of NO emissions and soot concentrations from biodiesel-fuelled diesel engine, *Fuel*, 96, 446-453
- Szybist, J. ve Boehman, A., (2003). Behavior of a Diesel Injection System with Biodiesel Fuel, SAE 2003 World Congress & Exhibition, Detroit, USA.
- Szybist, J.P., Kirby, S.R., Boehman, A.L., (2005). NO_x Emissions of Alternative Diesel Fuels: A Comparative Analysis of Biodiesel and FT Diesel, *Energy & Fuels*, 19, 1484-1492.
- Usta, N., (2005). An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester, *Energy Conversion and Management*, 46, 2373–2386.
- Utlü, Z., ve Koçak, M.S., (2008). The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions, *Renewable Energy*, 33, 8, 1936-1941.
- Tolomelli, L.T., Barreta, L. G., Lacava, P. T., Carinhana, D. (2017). Study of the Influence of Biodiesel in Soot Emissions of Diesel Laminar Diffusion Flames, *J. Braz. Chem. Soc.*, 28, 8, In-press.

Investigation of the compatibility of waste cooking oil biodiesel usage in compression ignition engines with different compression ratios.

Extended abstract

Energy demand is rising worldwide and this demand has already been supplied by petroleum-based fuels. The efficient use of alternative energy sources is becoming more important due to rising environmental concerns. Increase in alternative fuel usage is an expected situation as these sources are clean alternatives for diminishing petroleum-based fuels. Hydrogen is a good replacement for gasoline in spark ignition engines considering its combustion products which have lack of carbon based compounds. However, storage difficulty prevents hydrogen usage. An alternative fuel for compression ignition engines or so-called biodiesel is a product of vegetable oils and animal fats. Biodiesel can be described as saturated fatty-acid methyl esters produced by esterification of such oils. Biodiesel is considered as an important alternative fuel due to its ease of production and environmental friendly supply-consume chain. Studies related with biodiesel indicate significant decrease in exhaust emissions especially in carbon based compounds such as carbon monoxide, carbon dioxide and unburned hydrocarbons. On the other hand, biodiesel has a negative effect on nitrogen oxides (NO_x) due to its oxygenated nature. Additionally, heating value of biodiesel fuel is considerably lower compared to conventional diesel fuel and hence the specific fuel consumption of the engine tends to increase. Several durability issues reported by researchers with biodiesel application are especially related with rubber compounds of the engines. In case of a wide range of use of biodiesel fuel such compounds have to be modified.

In this study, the effect of compression ratio on the performance and emission characteristics of a diesel engine is investigated with biodiesel-diesel blend. High NO_x emissions of biodiesel combustion can be reduced by applying lower compression ratio. Well known effects of low compression ratio engines such as high specific fuel consumption and late combustion issues have to be considered while reducing the NO_x emissions. Eliminating or diminishing the effects

of such mentioned drawbacks needs a comprehensive optimization study. Neat diesel fuel and blend with biodiesel were tested at six different compression ratios. Biodiesel was blended 15% by volume with diesel fuel. Engine speed and load were set to an identical value for the tests of diesel fuel and biodiesel blend. According to the findings, high NO_x emission of the biodiesel blend is successfully reduced by lowering the compression ratio. The specific fuel consumption and thermal efficiency of the engine are improved with biodiesel blend. An optimum compression ratio of 17 is obtained considering the thermal efficiency. Carbon monoxide emission of the test engine is reduced significantly. As a result of the application of biodiesel, the highest improvement was observed on unburned hydrocarbons, which was five times less. A further optimization study is required for investigating different blend ratios. Additionally, engine load and speed have to be considered as an input for mentioned optimization which significantly affects the combustion process of biodiesel. It will be important for further reducing the NO_x emission that is primarily affected by the in-cylinder temperature. From another point of view, compatibility of the exhaust after treatment systems is another issue and several other tests and optimization studies are required for different blend ratios.

Keywords: Biodiesel; Compression ratio; Engine performance; Exhaust emissions;