



The effect of cottonseed oil methyl ester-eurodiesel fuel blends on the combustion, performance and emission characteristics of a direct injection diesel engine

Ahmet Keskin

Department of Automotive Technology, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, 14300, Turkey

Highlights:

- The use of cottonseed oil methyl ester (COME) and eurodiesel fuel blends in a direct-injection diesel engine
- Diesel engine performance and exhaust emissions of COME and eurodiesel fuel blends
- Combustion characteristics in diesel engines using COME blends

Keywords:

- Alternative fuels
- Cottonseed oil methyl ester
- Combustion characteristics
- Engine performance
- Exhaust emissions

Article Info:

Research Article
Received: 02.05.2017
Accepted: 29.06.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460490

Acknowledgement:

This study was supported by the Research Project Foundation of Bolu Abant İzzet Baysal University, under contact numbers of projects: 2014.18.03.758

Correspondence:

Author: Ahmet Keskin
e-mail: keskin_a@ibu.edu.tr
phone: +90 374 254 1000

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the effect of cottonseed oil methyl ester addition in eurodiesel fuel on the combustion, performance, and exhaust emissions of a direct injection single-cylinder diesel engine was investigated. Table A shows the injection and combustion behavior of all fuels for different engine loads at engine speed of 1500 rpm.

Table A. Injection and combustion characteristics of the test fuels for different loads

Torque (Nm)	Fuels	Start of Injection (°CA)	Ignition Delay (°CA)	Start of Comb. (°CA)	Comb. Duration (°CA)	Max. Cyl. Pres. (bar)	Angle of Max. Cyl. Pres. (°CA)	Max. Cyl. Pres. Rise (bar/°CA)	Angle of Max. Cyl. Pres. Rise (°CA)	Max. Heat Release Rate (J/°CA)
2.5	PYME0	-13,8	8,1	-5,7	31,7	70,03	2,6	8,90	-5,1	27,39
	PYME10	-14,0	8,4	-5,6	27,1	69,97	2,2	9,52	-5,0	28,29
	PYME20	-14,1	8,5	-5,6	30,6	70,22	2,2	9,13	-5,0	28,04
	PYME50	-14,1	8,6	-5,5	29,3	69,72	2,0	8,73	-4,9	26,89
5	PYME0	-13,6	8,0	-5,6	34,7	75,12	3,1	11,11	-4,5	32,39
	PYME10	-13,8	8,2	-5,6	31,2	75,29	3,3	11,57	-4,6	32,66
	PYME20	-13,8	8,3	-5,5	33,2	75,49	3,2	11,28	-4,6	32,47
	PYME50	-13,9	8,4	-5,5	30,5	73,19	2,7	10,46	-4,5	32,43
7.5	PYME0	-13,5	8,0	-5,5	41,1	79,61	4,5	12,61	-4,7	37,49
	PYME10	-13,7	8,0	-5,7	33,9	80,14	4,7	12,27	-4,6	36,22
	PYME20	-13,8	8,2	-5,6	39,3	80,41	4,5	13,24	-4,4	36,20
	PYME50	-13,8	8,2	-5,6	35,2	80,08	4,5	11,78	-4,5	35,46
10	PYME0	-12,9	7,5	-5,4	46,6	80,94	5,2	9,84	-4,8	28,87
	PYME10	-13,0	7,6	-5,4	44,3	81,21	5,1	10,14	-4,8	29,98
	PYME20	-13,1	7,6	-5,5	44,3	81,17	5,0	9,72	-4,9	29,01
	PYME50	-12,9	7,6	-5,3	48,2	80,12	5,2	9,06	-5,0	26,90

Purpose: This experimental study aims to investigate the effect of cottonseed oil methyl ester addition in eurodiesel fuel on the combustion, performance, and exhaust emissions of a direct injection single-cylinder diesel engine.

Theory and Methods:

Cottonseed methyl ester was mixed with the eurodiesel (PYME0) in 10%, 20% and 50% and called PYME10, PYME20 and PYME50, respectively. The tests were carried out under variable engine brake torque of 2.5 Nm, 5 Nm, 7.5 Nm and 10 Nm at engine speed of 1500 rpm.

Results:

The ignition delay of the cottonseed oil methyl ester mixtures was longer than the eurodiesel. The heat release rate of cottonseed oil methyl ester mixtures is higher than the eurodiesel. Eurodiesel has the lowest specific fuel consumption and highest thermal efficiency compared to cottonseed oil methyl ester mixtures for all engine loads. Cottonseed oil methyl ester addition causes a slight increase in NO_x emissions while causing a decrease in smoke and CO emissions, HC emissions were observed to low values

Conclusion:

The cottonseed oil methyl ester can be used up to 50% without any modifications at the engine



Pamuk yağı metil esteri-eurodizel yakıt karışımlarının direkt püskürtmeli bir dizel motorunun yanma, performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi

Ahmet Keskin*

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu Meslek Yüksekokulu, Otomotiv Programı, Bolu, 14100, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Pamuk yağı metil esteri (PYME) ve eurodizel yakıtı karışımlarının direk püskürtmeli bir dizel motorda kullanımı
- PYME ve eurodizel yakıtı karışımlarının dizel motor performansı ve egzoz emisyonları
- PYME karışımları kullanılan dizel motorlarda yanma karakteristikleri

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 02.05.2017
Kabul: 29.06.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460490

Anahtar Kelimeler:

Alternatif yakıtlar,
pamuk yağı metil esteri,
yanma karakteristikleri,
motor performansı,
egzoz emisyonları

ÖZET

Bu çalışmada, eurodizel yakıtına çeşitli oranlarda pamuk yağı metil esteri ilavesinin, tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorun yanma, performans ve egzoz emisyonu üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneyler sabit devirde (1500 rpm) farklı yüklerde yapılmıştır. Deneylerde eurodizel yakıtına , %10, %20 ve %50 pamuk yağı metil esteri ilave edilerek (sırasıyla PYME10, PYME20 ve PYME50 olarak adlandırılan) elde edilen yakıt karışımları kullanılmıştır. Elde edilen yakıtlar tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı ve elektrik dinamometresi ile yüklenebilen bir dizel motorunda test edilmiş ve sonuçlar referans eurodizelle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, pamuk yağı metil ester karışımlarının tutuşma gecikmesinin, eurodizelden daha uzun olduğunu göstermiştir. Maksimum silindir basıncı, tüm motor yükleri için eurodizele kıyasla daha yüksektir. Pamuk yağı metil ester karışımlarının ısı yayılım oranı, eurodizelden daha yüksektir. Eurodizel, tüm motor yükleri için pamuk yağı metil ester karışımlarına kıyasla en düşük özgül yakıt tüketimine ve en yüksek ısı verimliliğe sahiptir. PYME10, PYME20 ve PYME50 karışımları sırasıyla eurodizeli takip etmektedir. Pamuk yağı metil ester ilavesinin, duman koyuluğu ve CO emisyonlarındabir azalmaya neden olurken, NOx emisyonlarında hafif bir artışa neden olduğu ve HC emisyonlarının ise düşük değerlerde olduğu gözlenmiştir.

The effect of cottonseed oil methyl ester-eurodiesel fuel blends on the combustion, performance and emission characteristics of a direct-injection diesel engine

H I G H L I G H T S

- The use of cottonseed oil methyl ester (COME) and eurodiesel fuel blends in a direct-injection diesel engine
- Diesel engine performance and exhaust emissions of COME and eurodiesel fuel blends
- Combustion characteristics in diesel engines using COME blends

Article Info

Research Article
Received: 02.05.2017
Accepted: 29.06.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460490

Keywords:

Alternative fuels,
cottonseed oil methyl ester,
combustion characteristics,
engine performance,
exhaust emissions

ABSTRACT

In this study, the effect of cottonseed oil methyl ester addition in eurodiesel fuel on the combustion, performance, and exhaust emissions of a direct injection single-cylinder diesel engine was investigated. Experiments were carried out at constant engine speed (1500 rpm) at different engine loads. The cottonseed oilmethyl ester blends obtained by mixing 10%, 20%, and 50% of the cottonseed oil methyl ester with eurodiesel fuel (called PYME10, PYME20 and PYME50 respectively) and eurodiesel fuel(PYME0) were used in the experiments. The obtained fuels were tested in a single-cylinder, four-stroke, air-cooled diesel engine loadable with electric dynamometer, and the results were compared to the reference eurodiesel. The results showed that the ignition delay of the cottonseed oil methyl ester mixtures was longer than the eurodiesel. The maximum cylinder pressure is higher for all engine loads than for the eurodiesel. The heat release rate of cottonseed oil methyl ester mixtures is higher than the eurodiesel. Eurodiesel has the lowest specific fuel consumption and highest thermal efficiency compared to cottonseed oil methyl ester mixtures for all engine loads. PYME10, PYME20 and PYME50 mixtures follow eurodiesel respectively. It has been observed that cottonseed oil methyl ester addition causes a slight increase in NOx emissions while causing a decrease in smoke and CO emissions, HC emissions were observed to low values.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: keskin_a@ibu.edu.tr / Tel: +90 374 270 1452

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde petrol rezervlerindeki azalmanın sebep olduğu fiyatlardaki hızlı artış ve petrol ürünlerinin yanması sonucu oluşan kirletici egzoz gazlarının azaltılması ve hava kirliliği kontrolü ile ilgili geliştirilen standartlar nedeniyle alternatif yakıtların geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Dizel motorlar için araştırılan alternatif yakıtlardan biri de biyodizeldir [1-4].

Biyodizel, bitkisel yağlı tohumlardan, kullanılmış atık kızartma yağlarından, hayvansal yağlardan ve her türlü biyolojik kökenli yağlardan bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile reaksiyon sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan yağ asidi metil esteridir [5]. Biyodizel üretiminde yan ürün olarak gliserin elde edilmektedir. Gliserin başta sabun olmak üzere 1500 çeşitten fazla ürün için kullanılmaktadır [6].

Biyodizel, yenilebilir bitkisel yağlar (mısır yağı [7], kanola yağı [8], ayçiçek yağı [9], vb.), yenilebilir olmayan bitkisel yağlar (Jatropha yağı [10], Pongamia yağı [11], vb.), atık kızartma yağları [12] ve hayvansal yağlar [13, 14] gibi farklı hammaddelerden elde edilebilir.

Biyodizel yakıtlar, parlama noktası sıcaklığının yüksek olması sebebiyle daha güvenli depolanma özelliğine sahiptir, herhangi bir nedenle dökülme durumunda toprak ve su için daha az kirleticidir, motorda ısı verimi olumsuz yönde etkileyen kükürt ve aromatik hidrokarbonları (benzen, toluen ve ksilen) içermez, %10-11 civarında oksijen içerir ve setan sayıları 49-62 arasında değişim gösterir. Bununla birlikte biyodizel yakıtların en önemli dezavantajları bulutlanma ve soğuk filtre tıkanma noktası sıcaklıklarının yüksek olmasıdır. Diğer yakıt özellikleri dizel özelliklerine oldukça yakındır. Biyodizel, dizel motorlarında herhangi bir değişikliğe gidilmeden direk olarak ya da dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir [15]. Avrupa Birliği, biyodizel-dizel karışımlarını üye ülkelerde oranları artırarak kullanmalarını önermektedir [16, 17].

İçeriğinde oksijen bulunması nedeniyle biyodizelin saf veya dizel yakıtında katılarak kullanılması yanmanın iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle biyodizel yakıtı özellikle katı parçacık (PM₁₀) emisyonunun azaltılması için motor tasarımında önemli bir değişiklik yapılmadan uygulanabilecek etkili ve ekonomik bir yöntem olarak görülmektedir [18]. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının CO, HC ve is emisyonlarında azalma sağladığı belirtilmiştir. Biyodizel, yapısında çok az kükürt barındırdığı için yok denecek kadar az SO₂ emisyonlarına rastlanmaktadır [19]. Düşük donma noktası ve düşük akma noktası gibi özellikler mısır yağı, kanola yağı, susam yağı, pamuk yağı ve soya yağlarını dizel yakıtı alternatifini olarak ön plana çıkarmaktadır [20]. Dünyada biyodizel üretiminde, yaygın olarak kolza (kanola), soya ve ayçiçek yağları hammadde olarak tercih edilmektedir [21]. Ülkemiz pamuk yağı üretiminde yüksek bir potansiyeline sahiptir [22]. 2015

yılında Türkiye'deki yağlı tohum üretiminde ayçiçek tohumu üretimi 1,2 milyon ton ile ilk sırada yer alırken, pamuk tohumu üretimi 1 milyon ton olarak yağlı tohum üretiminde ikinci sırada yer almıştır [23].

Pamuk, tohumlarından lif elde edilen bir bitki olması ve üretimindeki asıl amacının lif üretimi ve lif verimi olması ile birlikte, ortalama lif randımanının %35-40 olması nedeniyle birim alandan elde edilen kütlünün %60'ı çığittir. Çırcırlama sonrasında lifleri alınan tohumlarda (çiğit) %17-24 oranında yağ bulunmaktadır [24]. Pamuk yağı, pamuk bitkisinin çığit olarak bilinen tohumlarından elde edilen, karakteristik tadı ve kokusu olan, oldukça koyu renkli bir yağdır [25]. Pamuk yağı, en sık rastlanan palmitik asit (%22-26), daha az miktarda stearik asit (%2-5), ayrıca miristik, arakidik ve behenik asit izleri olmak üzere önemli miktarda doymuş yağ asidi içerir. Daha az miktarda tekli doymamış yağ asitleri, oleik asit (%15-20) ve palmitoleik asit izleri, en belirgin yağ asidi olarak ikili doymamış linoleik asit (%49-58) ve linolenik asit izleri içermektedir. Alkali esterlerinin daha yüksek yüzdesi ve fosforlu ve kükürt bulunmaması, esterleştirilmiş pamuk tohumu yağını dizel yakıtı için gelecekteki çevre dostu alternatif yakıt adayı yapmaktadır [26]. Önceki çalışmalarda pamuk yağından metil ester üretimi parametreleri incelenmiş [21, 27, 28], dizel yakıtı – PYME karışımlarının performans ve egzoz emisyonları incelenmiş [29, 30] olup yanma performansı ve karakteristikleri ile ilgili detaylı çalışmaya rastlanmamıştır. Yanma karakteristikleri bir motorda motor performansı ve egzoz emisyonlarını yorumlama açısından çok önemlidir. Yanma karakteristikleri; maksimum silindir gaz basıncı ve krank açısı cinsinden yeri, ısı yayılımı, kümülatif ısı yayılımı, yanma ve püskürtme zamanlarına bağlı olarak elde edilen tutuşma gecikmesi, toplam yanma süresi ve ani yanma süresi olarak incelenmektedir [31, 32].

Bu çalışmada, pamuk yağı metil esteri (PYME) belirli oranlarda eurodizel yakıtına katılarak direk püskürtmeli bir dizel motorunda kullanılmasının yanma, performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada, pamuk yağı metil esteri-eurodizel karışımlarının motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma performansı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla referans olarak kullanılan petrol kökenli eurodizel yakıtına (PYME0), %10, %20 ve %50 oranlarında pamuk yağı metil esteri ilave edilerek, PYME10, PYME 20 ve PYME 50 olarak adlandırılan yakıt karışımları elde edilmiştir. Elde edilen yakıtlar tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı ve elektrik dinamometresi ile yüklenebilen bir dizel motorunda test edilmiş ve sonuçlar referans dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Deneyler, 1500 rpm'lik motor devrinde efektif motor momenti 2,5 Nm, 5 Nm, 7,5 Nm ve 10 Nm olacak şekilde yükleme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Petrol kökenli eurodizel yakıtı ve pamuk

yağı metil esteri bazı temel özellikleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde belirlenmiş ve Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Test yakıtlarının bazı özellikleri
(Some properties of the test fuels)

Özellikler	Eurodizel Yakıtı	Pamuk Yağı Metil Esteri
Yoğunluk (kg/m^3) (15 °C)	831,5	884
Alevlenme Noktası (°C)	70	180
Kinematik Viskozite (mm^2/s) (40 °C)	2,4	4,32
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	43,2	39,0
Setan Sayısı	58,8	53,6

Başlangıçta, referans verileri elde etmek için PYME0 adı verilen eurodizel yakıt kullanılmıştır. Ardından, PYME10, PYME20 ve PYME50 olarak adlandırılan yakıt karışımları ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan karışımlar, eurodizel yakıtı ile karşılaştırmak için aynı koşullar altında test edilmiştir. Deneylerde, elektrikli dinamometre ile yüklenebilen doğal emişli, dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, direk püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. Dizel motorun genel özellikleri Tablo 2’de görülmektedir.

Motor yüklemesinde, Kemsan marka DC dinamometre (3000 rpm’de 15 kW) kullanılmıştır. Motor torku, Kistler marka 4550A model şaft üstünden ölçüm yapabilen bir torkmetre kullanılarak ölçülmüştür. Krank açısı, ÜÖN ve motor devri, Kistler marka 2614B model enkoder ile belirlenmiştir. Silindir basıncı, Kistler 6052C marka piezo elektrik basınç sensörü ile ölçülmüştür. Yakıt hat basıncı, Kistler 4065B piezoresistiv sensör kullanılarak

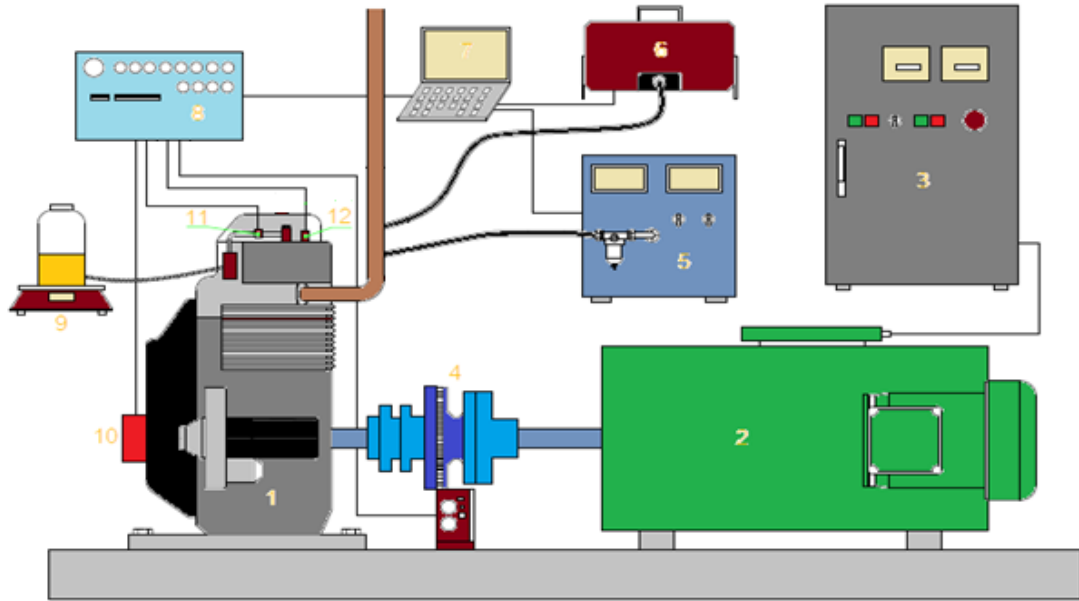
belirlenmiştir. Silindir basıncı ve yakıt hat basıncı, 0,1 derece krank açısında kaydedilmiştir. Tüm veriler, Kistler KiBox veri toplama sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1’de görülmektedir. Egzoz emisyonları Mobydick 5000 Kombi marka egzoz gazı analizörü ile ölçülmüştür. Egzoz gazı analizörü ve opasimetrenin özellikleri Tablo 3’te görülmektedir.

Tablo 2. Test motorun teknik özellikleri
(Technical specification of the test engine)

Model	Lombardini 15 LD 350
Maksimum güç	7,5 BG/3600 rpm
Maksimum tork	16,6 Nm/2400 rpm
Çap × kurs	82 mm × 66 mm
Silindir hacmi	349 cm^3
Sıkıştırma oranı	20,3/1
Enjeksiyon pompa tipi	QLC tipi
Enjektör memesi	0,22 x 4 delik x 160°
Yakıt püskürtme avansı (KMA°)	20 BTDC
Emme supabı açık/kapalı (KMA°)	10° ÜÖNÖ / 42° AÖNS

Tablo 3. Egzoz gaz analizörünün özellikleri
(Specifications of the exhaust gas analyser)

	Range	Accuracy
NO _x (ppm)	0~5000	1
Duman Koyuluğu (%)	0-100	0,1
CO (%v/v)	0~10	0,01
HC (ppm)	0~20000	1



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik resmi (Schematic representation of the engine test rig)

1. Deney motoru 2. Dinamometre 3. Kontrol paneli 4. Torkmetre 5. Emisyon gaz analiz cihazı 6. Isı ölçer 7. Bilgisayar 8. Veri toplama kartı 9. Elektronik hassas terazi 10. Enkoder 11. Yakıt hat basıncı sensörü 12. Silindir basıncı sensörü

Bütün deneylerden önce motor 5 dakika çalıştırılmış, kararlı veri çıkışı elde edilmeye başlandıktan sonra ölçümlere geçilmiştir. Emisyon değerleri aynı aralıklarla beş kez ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır. Kibox'tan alınan tüm verilerin 100 çevrim ortalaması alınarak kullanılmıştır. Krank açısına göre ısı yayılım oranı, yanma başlangıç ve sonunun yerleri ve maksimum basınç KiBox Cockpit yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Yazılım ısı yayılım oranını termodinamiğin birinci yasasını uygulanarak ve Eş. 1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

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

Isı yayılımı hesaplanırken duvar ısı kaybı dikkate alınmamıştır. Eş. 1'de k, sabit politropik üsttür ve bu çalışmada 1,37 olarak alınmıştır [33]. Yanma başlangıcı ve yanmanın sonu sırasıyla toplam ısı yayılımının %5 ve %90'ına karşılık gelmektedir. Yanma süresi ise, yanma başlangıcı ile yanma sonu arasındaki farktır. Püskürtme başlangıcı, yakıt hat basıncının enjektör açılma basıncına ulaştığı krank mili açıdır. Deneylerde kullanılan motor için bu değer 207 bardır. Silindir basıncı, ısı yayılımı ve tutuşma

gecikmesinin krank mili açısına ve yakıt tipine göre değişimi analiz edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

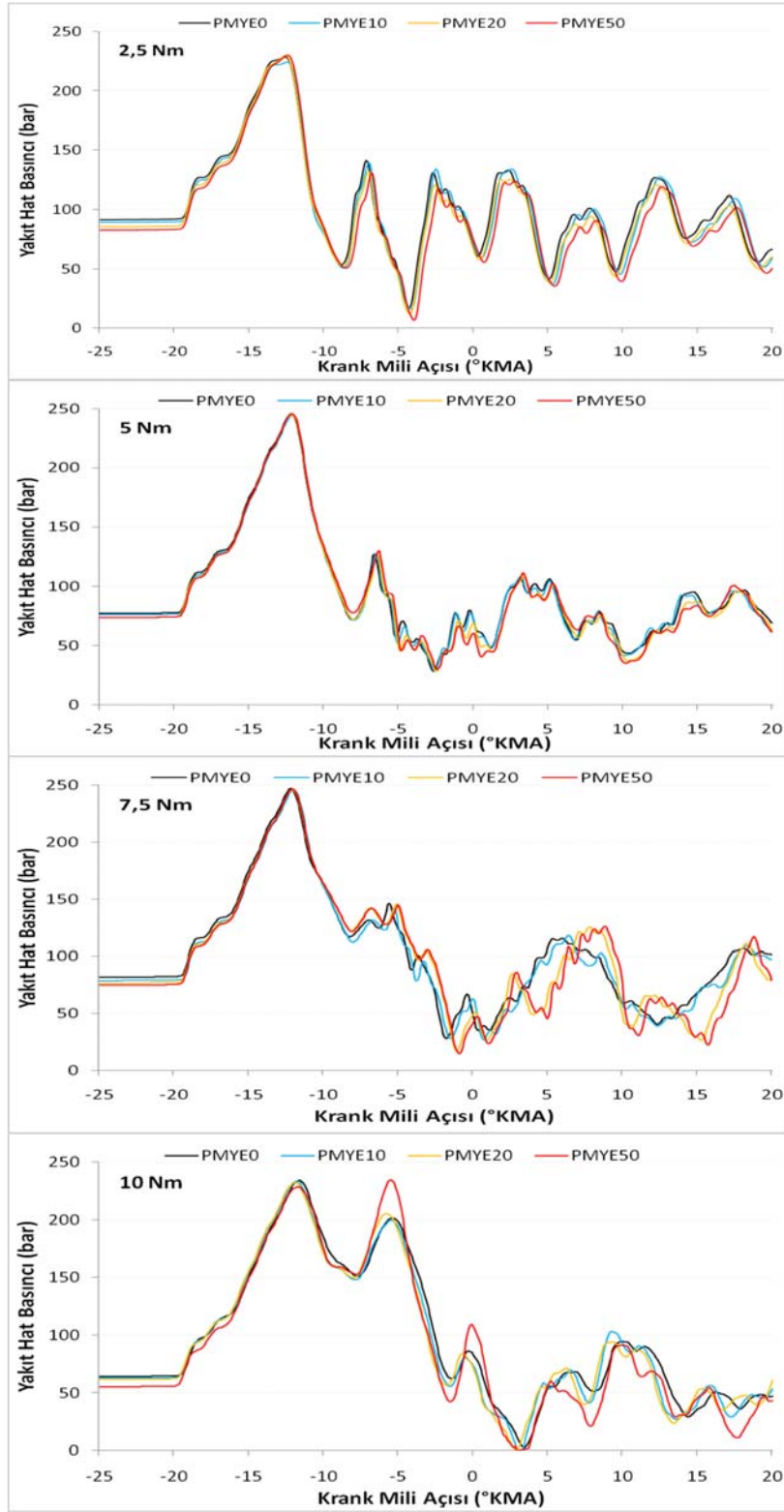
3.1. Yanma Karakteristikleri (Combustion Characteristics)

Yoğunluk, viskozite ve sıkıştırılabilirlik gibi yakıtların fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişikliklerden etkilenen püskürtme başlangıcı, motorun yanma özelliklerini, performansını ve egzoz emisyonlarını etkiler [34]. Yakıt püskürtme zamanlamasındaki değişimler, tutuşma gecikmesini, silindir basıncını ve ısı yayılımı oranını değiştirir. Tablo 4, farklı motor yükleri için tüm yakıtların püskürtme ve yanma davranışlarını göstermektedir. Şekil 2'de Yakıt hattı basıncının krank mili açısına göre değişimleri verilmiştir. Yakıtların daha yüksek viskozitesi ve düşük sıkıştırılabilirliği, yakıt hattında daha hızlı bir basınç artışına ve daha erken bir püskürtme başlangıcına neden olur [35]. PMYE karışımlarının ısı değerinin düşük olmasından dolayı aynı motor torku için gazda daha fazla basıldığından hat basıncı düşmektedir. Ayrıca yakıt hattı basıncı, motor

Tablo 4. Farklı motor yükleri için test yakıtlarının püskürtme ve yanma özellikleri
(Injection and combustion characteristics of the test fuels for different loads)

Tork (Nm)	Yakıt Türü	P.B. (°KMA)	T.G. (°KMA)	Y.B. (°KMA)	Y.S. (°KMA)	M.B. (bar)	M.B. Yeri (°KMA)	M.B.A (bar/°KM A)	M.B.A.Y. (°KMA)	M.I.Y. (J/°KMA)
2,5	PYME0	-13,8	8,1	-5,7	31,7	70,03	2,6	8,90	-5,1	27,39
	PYME10	-14,0	8,4	-5,6	27,1	69,97	2,2	9,52	-5,0	28,29
	PYME20	-14,1	8,5	-5,6	30,6	70,22	2,2	9,13	-5,0	28,04
	PYME50	-14,1	8,6	-5,5	29,3	69,72	2,0	8,73	-4,9	26,89
5	PYME0	-13,6	8,0	-5,6	34,7	75,12	3,1	11,11	-4,5	32,39
	PYME10	-13,8	8,2	-5,6	31,2	75,29	3,3	11,57	-4,6	32,66
	PYME20	-13,8	8,3	-5,5	33,2	75,49	3,2	11,28	-4,6	32,47
	PYME50	-13,9	8,4	-5,5	30,5	73,19	2,7	10,46	-4,5	32,43
7,5	PYME0	-13,5	8,0	-5,5	41,1	79,61	4,5	12,61	-4,7	37,49
	PYME10	-13,7	8,0	-5,7	33,9	80,14	4,7	12,27	-4,6	36,22
	PYME20	-13,8	8,2	-5,6	39,3	80,41	4,5	13,24	-4,4	36,20
	PYME50	-13,8	8,2	-5,6	35,2	80,08	4,5	11,78	-4,5	35,46
10	PYME0	-12,9	7,5	-5,4	46,6	80,94	5,2	9,84	-4,8	28,87
	PYME10	-13,0	7,6	-5,4	44,3	81,21	5,1	10,14	-4,8	29,98
	PYME20	-13,1	7,6	-5,5	44,3	81,17	5,0	9,72	-4,9	29,01
	PYME50	-12,9	7,6	-5,3	48,2	80,12	5,2	9,06	-5,0	26,90

P.B.: Püskürtme Başlangıcı, T.G.: Tutuşma Gecikmesi, Y.B.: Yanma Başlangıcı, Y.S.: Yanma Süresi, M.B.: Maksimum Basıncı, M.B.Y.: Maksimum Basıncın Yeri, M.B.A.: Maksimum Basıncı Artışı, M.B.A.Y.: Maksimum Basıncı Artışının Yeri, M.I.Y.: Maksimum Isı Yayılımı



Şekil 2. 1500 rpm'de farklı yükler altında krank açısına göre yakıt hat basıncının değişimi
(Change of the fuel line pressure according to crank angle under different loads at 1500 rpm)

yükü arttıkça azaldığından, Tablo 4'te görüldüğü gibi püskürtme başlangıcı daha yüksek yükte tüm yakıtlar için daha sonra başlar. PYME karışımlarının püskürtme

başlangıcı değerleri 0,2-0,3 °KMA kadar erken krank açıları arasında oluşmuştur. Daha erken püskürtme başlangıcının nedenleri, PYME karışımlarının yüksek yoğunluğu,

viskozitesi ve bulk modülüyle açıklanabilir [36]. Tutuşma gecikmesi, sıkıştırma ateşlemeli motorun yanma özelliklerini, performansını ve emisyonlarını etkileyen en önemli parametrelerden biridir [37]. PYME karışımlarının ve eurodizelin motor yüküne karşı tutuşma gecikmesinin sayısal değerleri Tablo 4'te verilmektedir. Sonuçlar, yakıtın setan sayısı, viskozitesi ve oksijen içeriğinin, tutuşma gecikmesinde beklendiği gibi önemli etkisi olduğunu göstermektedir. Yüksek setan sayısı genellikle tutuşma gecikmesinin kılmasına neden olur. Bu yüzden PYME0 (eurodizel) kullanımında tutuşma gecikmesi daha kısa olmuştur. Ayrıca, motor yükünün artırılması silindirdeki gaz sıcaklığının artması nedeniyle tüm yakıtlar için kısa tutuşma gecikmesine neden olur [38].

PYME ilavesi, yakıtın setan sayısını düşürdüğünden, PYME karışımlarının eurodizelden daha uzun bir tutuşma gecikmesi vardır. Yakıt karışımlarındaki PYME oranı arttıkça tutuşma gecikmesi de artış göstermiştir. Yüksek viskozite tutuşma gecikmesini artırır, çünkü yakıt atomizasyonu, buharlaşma ve hava ile yakıtı karıştırma kötüye gitmektedir. Çünkü yakıt atomizasyonu, buharlaşma ve yakıtın hava ile karışması kötüleşir. Buna ek olarak, yakıtın oksijen içeriği yanma sürecini iyileştirir. Silindir basıncı ve maksimum ısı yayılım oranı gibi yanma özellikleri, motor performansını ve egzoz emisyonlarını etkileyen en önemli parametrelerdir. Bu parametreler, yakıtın ısı değerinden etkilenmektedir. Eurodizel ve PYME karışımlarının silindir basıncı değerlerinin motor yüklerine göre değişimleri Şekil 3'de. Ayrıca, yanma ve yakıt püskürtülmesi için karakteristik parametrelerin sayısal değerleri Tablo 4'de gösterilmektedir. Tutuşma gecikmesi sırasında yanma odasında biriken yakıtın hızlı yanması ve PYME'nin oksijen içeriği nedeniyle, PYME karışımlarının maksimum silindir basıncı daha yüksek ve konumları, tüm motor yükleri için eurodizelden daha erkendir. Bu durum özellikle 7,5 Nm yükte daha belirgindir. Ayrıca, tüm yakıtlar için yüksek motor yüklerinde silindir basıncı artar ve daha sonra maksimum değere ulaşır, çünkü silindire püskürtülen yakıt miktarı motor yüküyle birlikte artmaktadır.

Maksimum basınç artışı, ölçülen silindir basıncının birinci türevinin maksimum değeridir ve maksimum basınç artışı ve yeri motorun yumuşak veya sert çalışmasını etkiler. Basınç artışı, artan tutuşma gecikmesi ile ilişkilendirilebilir. Çünkü, artan tutuşma gecikmesi periyodunda biriken püskürtülmüş haldeki yakıt ani ve kontrolsüz bir şekilde ani yanma periyodunda yanarak yanma odasındaki silindir basıncını ve basınç artış hızını önemli ölçüde artırır. Ayrıca artan yakıt yoğunluğu, yanma odasına kütlelesel olarak daha fazla yakıt sağlar ve basınç artış hızını artırır. Eurodizel ve PYME karışımlarının maksimum basınç artış oranları Tablo 4'te gösterilmiştir. Maksimum basınç artış oranı, tüm yakıtlar için 7,5 Nm'ye kadar yük atışıyla birlikte artmakta, fakat 10 Nm'de ise bir miktar düşmektedir. Bunun sebebi olarak, 10 Nm yükte hacimsel verimin azalması ve yakıt atomizasyonunun bozulması gösterilebilir. Maksimum basınç artış oranı, yakıtın ısı değerinden ve setan sayısından

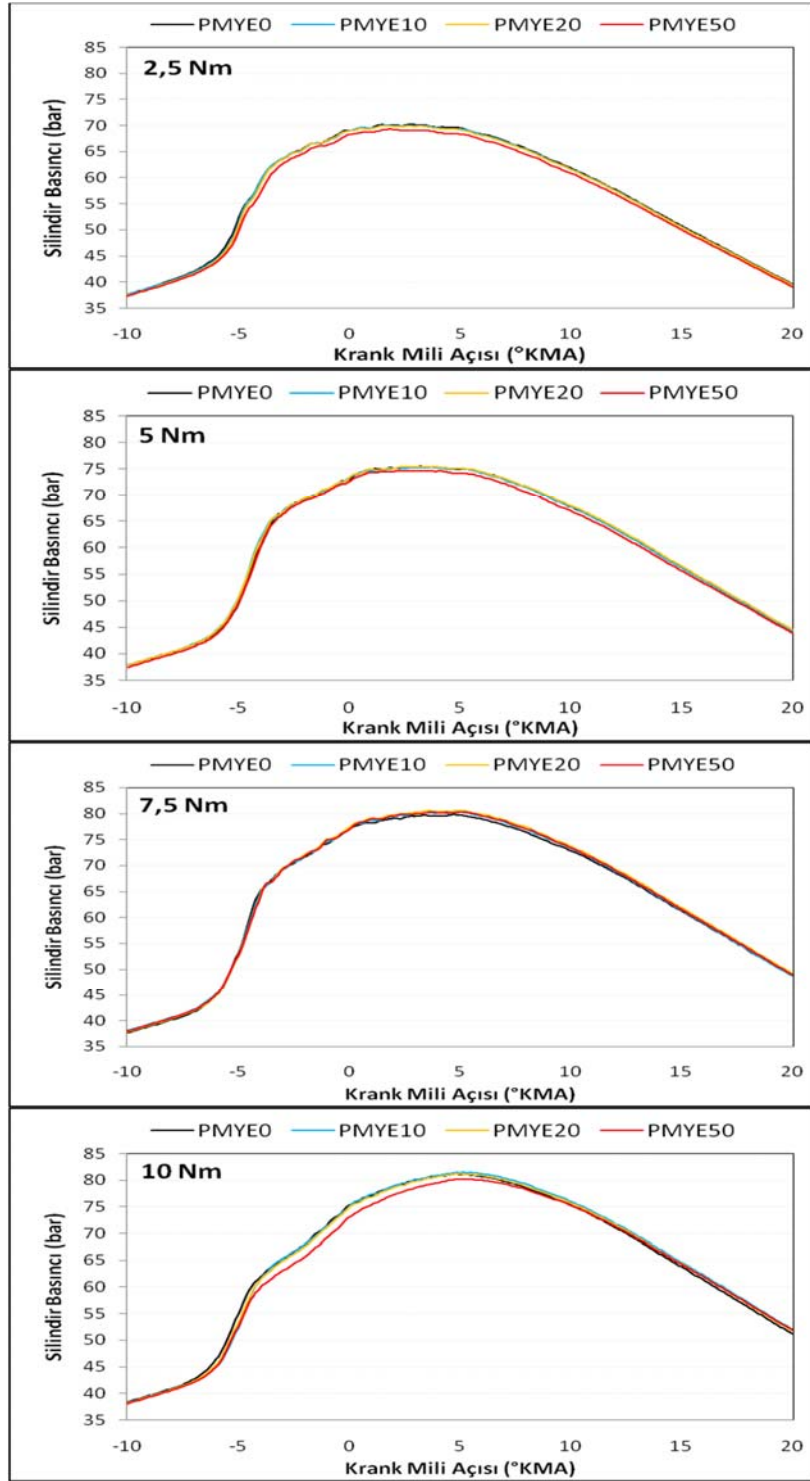
da etkilenmektedir. Tutuşma gecikmesi sırasında yanma odasında biriken yakıtın hızlı yanması ve PYME'nin oksijen içeriği nedeniyle, düşük setan sayılı PYME10 ve PYME20 karışımlarının maksimum basınç artış oranı daha yüksek çıkmaktadır. Fakat PYME50 karışımı için bu değerin daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak, PYME50 karışımının tutuşma gecikmesinin yüksek olmasına rağmen, ısı değerinin diğer yakıt karışımlara kıyasla çok daha düşük olması gösterilebilir.

Yanma sürelerinin yakıt karışımlarına göre değişimleri Tablo 4'de görülmektedir. Motor yükünün artmasıyla birlikte püskürtülen yakıt miktarının artmasına bağlı olarak tüm yakıtlar için yanma sürelerinin arttığı görülmektedir. PYME karışımlarının oksijen içeriğinin yüksek olmasına bağlı olarak yanma sürelerinin dizel motorlarına kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir.

Eurodizel ve PYME karışımlarının, farklı yükler altında ve sabit devir sayısındaki (1500 rpm) ısı yayılım oranları Şekil 4'de görülmektedir. Ayrıca, Tablo 4'te maksimum ısı yayılım oranının sayısal değerleri görülmektedir. Bütün yakıt türleri için artan motor yükü ile birlikte ısı yayılım oranı artış göstermiştir. Bu durum motor yükünün artışı ile yanma odasındaki artan yakıt miktarı ile ilişkilendirilebilir [39]. PYME içeren yakıt karışımlarının yüksek yoğunlukları yakıtın püskürtme başlangıcını bir miktar öne alır. Daha erken püskürtülen yakıt, yanma odasındaki basınç ve sıcaklığın kısmen daha düşük olduğu bir ortam ile karşılaşır ve bu durum PYME içeren yakıt karışımları ile çalışan motordaki tutuşma gecikmesini artırır [40, 41]. Maksimum ısı yayılım oranı hemen hemen tüm yükler için PYME10>PYME20>PYME0>PYME50 sıralamasında gerçekleşmiştir. Bu sıralamanın muhtemel nedeninin tutuşma gecikmesindeki farkın yük arttıkça azalması ve viskozite ve yoğunluğa bağlı olarak PYME yakıt karışımlarının püskürtülmesinin kötüleşmesine ve PYME'nin düşük alt ısı değerine bağlı olduğu düşünülmektedir. 10 Nm yükte ise maksimum ısı yayılım oranında bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Bu durum ise artan yüke bağlı olarak kontrolsüz yanma aşamasının kılmasına bağlıdır.

3.2. Performans Karakteristikleri (Performance Characteristics)

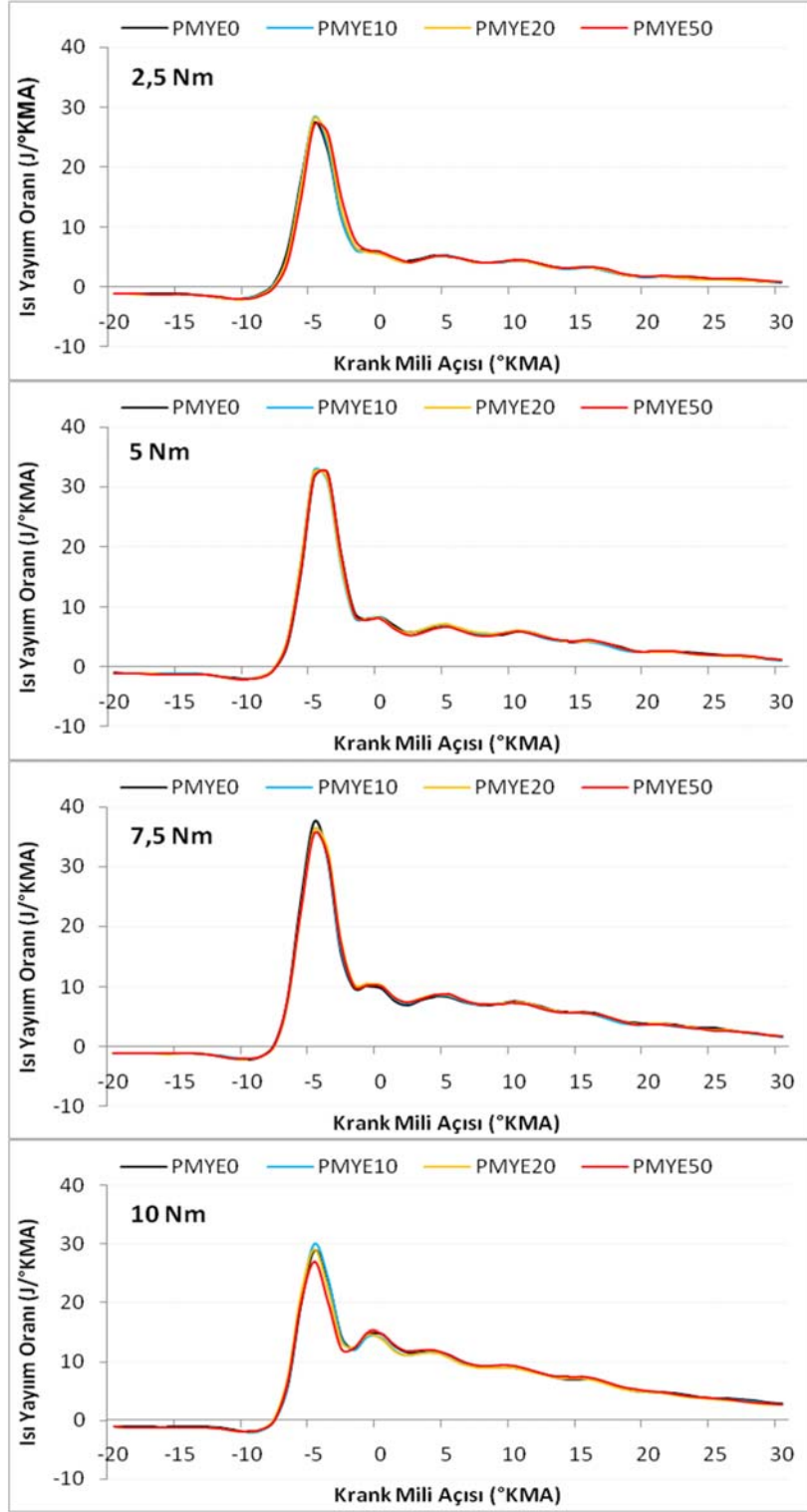
Bu bölümde, eurodizel ve hazırlanan yakıt karışımları için motor performans parametreleri olarak özgül yakıt tüketimi ve ısı verim incelenmiştir. Eurodizel ve PYME karışımlarının sabit devir sayısında (1500 rpm) ve değişik yüklerde özgül yakıt tüketimine etkileri Şekil 5'te verilmiştir. PYME'nin alt ısı değeri, eurodizelin alt ısı değerinden daha düşük olduğundan, PYME karışımlarının özgül yakıt tüketimleri artış göstermiştir. Test edilen tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketimi eğrilerinin benzer bir eğilim gösterdiği ve 7,5 Nm yükte minimum değere ulaştığı gözlenmiştir. Eurodizel yakıtı kullanımında, tüm motor yükleri için bütün PYME karışımlarından daha düşük özgül yakıt tüketimi elde edilmiştir. Yakıt karışımlarında PYME oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi de artış göstermektedir. Tüm motor yükleri için PYME 10 karışımının özgül yakıt tüketimi değeri



Şekil 3. 1500 rpm'de farklı yükler altında krank açısına göre silindir basıncının değişimi
(Change of the cylinder pressure according to crank angle under different loads at 1500 rpm)

eurodizelin özgül yakıt tüketimi değerine çok yakın olup hafif bir artışa neden olmuştur. Tüm motor yüklerinde PYME 50 en yüksek özgül yakıt tüketiminin elde edildiği yakıt karışımı olmuştur. Yakıtların ısı değerinin özgül yakıt tüketimini artırmada veya azaltmada önemli bir rol oynadığı açıkça görülmektedir. Karışımlardaki PYME oranı arttıkça

karışımın ısı değeri düştüğünden, eurodizel yakıtıyla benzer bir güç çıkışı elde etmek için daha fazla yakıt püskürtülmelidir. Bu da özgül yakıt tüketimini artırmaktadır. Sabit motor devrinde (1500 rpm) ısı veriminin motor yüküne bağlı olarak değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Isıl verim eğrilerinin benzer bir eğilim izlediği ve test edilen yakıtlar



Şekil 4. 1500 rpm'de farklı yükler altında krank açısına göre ısı yayılım oranının değişimi
(Change of the heat release ratio according to crank angle under different loads at 1500 rpm)

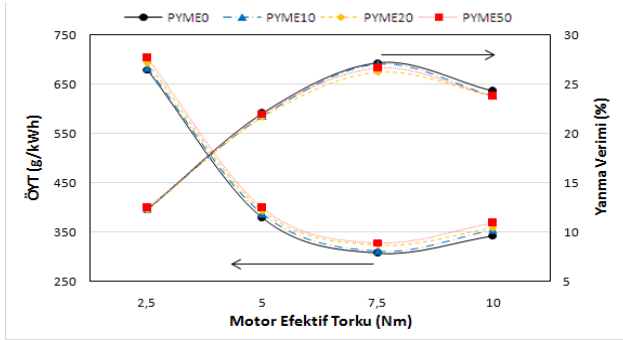
için 7,5 Nm motor yükünde maksimum değere ulaştığı ancak 10 Nm motor yükünde hafif bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Isıl verim, özgül yakıt tüketimi ve yakıt ısı değerinin bir fonksiyonudur. Eurodizel, yüksek ısı değerine sahip olduğundan ısı verimi en iyi elde edilen yakıt olmuştur.

Eurodizel PYME ilavesi ısı verimi düşürmüştür. 10 Nm motor yükü için yakıt karışımlarındaki ısı verim düşüşü PYME 10, PYME 20 ve PYME 50 karışımları için sırasıyla %2,03, %2,32 ve %2,17 olmuştur.

3.3. Egzoz Emisyonları (Exhaust Emissions)

Bu bölümde, eurodizel yakıtına PYME ilavesinin NO_x , duman koyuluğu, CO ve HC emisyonları üzerindeki etkisi farklı motor yüklerinde incelenmiştir. PYME ilavesi, duman ve CO emisyonlarında azalmaya neden olurken, HC emisyonları çok düşük değerlerde ve hemen hemen aynı değerlerde olmuş ve NO_x emisyonlarında hafif bir artışa neden olmuştur.

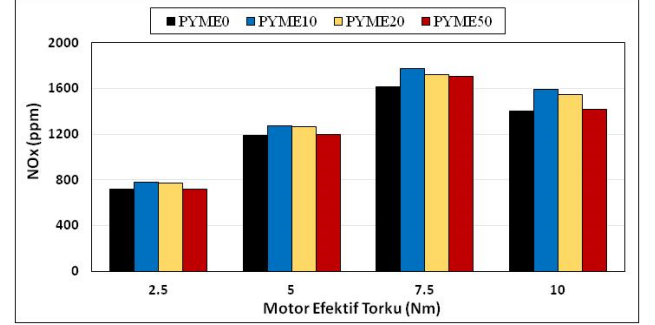
NO_x oluşumu, tüm test yakıtları için yakıt enjeksiyon miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde 7.5 Nm'ye kadar motorun yüklenmesiyle birlikte artmakta, fakat 10 Nm'de tekrar düşmektedir. Benzer bir eğilime başka çalışmalarda [42] da karşılaşılmıştır. Bunun sebebi olarak, 10 Nm'de hacimsel verimin azalması ve yakıt atomizasyonunun bozulmasıyla maksimum ısı salınımlarının düşmesi gösterilebilir. Eurodizel PYME ilavesinin 2,5 ve 5 Nm'lik yüklerde NO_x emisyonu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, ancak düşük setan sayısından dolayı 7,5 ve 10 Nm'lik yüklerde hafif bir artışa neden olduğu görülmüştür. Düşük setan sayısı tutuşma gecikmesini artırır, dolayısıyla maksimum silindir basıncı ve yanma sıcaklığı da artar, çünkü kontrolsüz yanma süresi yüksektir. Maksimum silindir basıncının yüksek olması daha yüksek sıcaklıklara neden olur ve sonuç olarak NO_x emisyonlarını artırır. PYME10 yakıtında NO_x emisyonları en yüksek olmuştur. Bunun sebebi biyodizeldeki oksijen içeriğinin yanma üzerinde olumlu bir etki yaparak yanma sonu sıcaklığını artırmasıdır. Daha yüksek biyodizel oranlı yakıtlarda ise bu etki azalmıştır. Biyodizelin yoğunluğunun ve viskozitesinin yüksek olması nedeniyle karışımdaki oranı arttıkça yakıt özelliklerinin olumsuz etkileri oksijen içeriğinin pozitif etkisinin önüne geçmiştir.



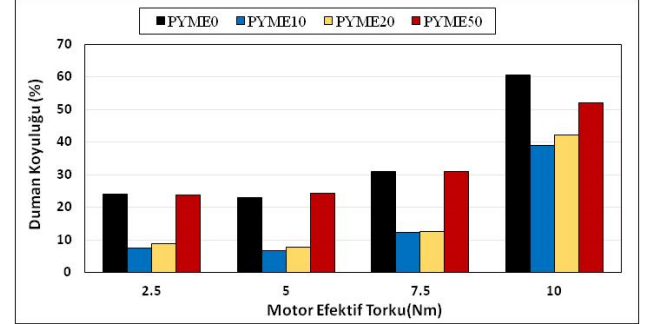
Şekil 5. Özgül yakıt tüketiminin ve ısıl verimin 1500 rpm'de motor yüküne göre değişimi
(Variation of specific fuel consumptions and brake thermal efficiencies versus engine load at 1500 rpm)

Farklı motor yüklerinde yakıtların duman koyuluğu değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Motor yükündeki artış, tüm yakıt türlerinde duman koyuluğunu artırmıştır. Çünkü motor yükü artışı yanma odasında zengin çalışma koşullarına neden olur ve büyük yakıt püskürtme miktarı nedeniyle duman koyuluğunda bir artış meydana gelir. Eurodizel PYME ilavesi, PYME'nin oksijen içeriğinden dolayı duman

koyuluğunu azaltır. PYME'nin oksijen içeriği yanmayı iyileştirir ve egzoz gazındaki duman oluşumunu azaltır. PYME karışımları arasında PYME50 en yüksek duman koyuluğuna sahiptir, bunda PYME'nin yüksek viskozitesi ve yoğunluğunun yanmayı kötüleştirmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. NO_x ve duman koyuluğu grafikleri incelendiğinde birbiriye ters orantılı olduğu görülmektedir (Şekil 6). Bunun nedeni yanmanın iyileşmesine bağlı olarak duman koyuluğu azalırken silindir içi sıcaklıkları artmasıyla NO_x oluşumunun hızlanmasıdır.



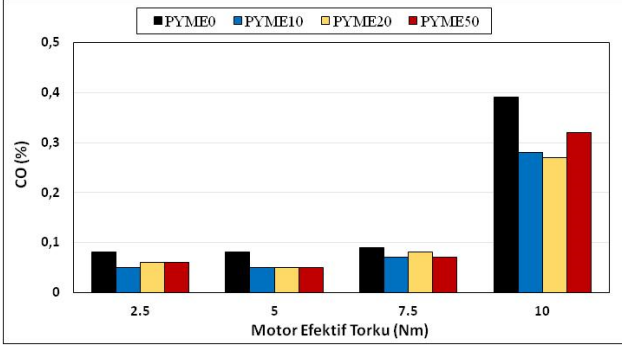
Şekil 6. Farklı motor yüklerinde NO_x emisyonlarının değişimi
(Change of the NO_x emissions at the different engine loads)



Şekil 7. Farklı motor yüklerinde duman koyuluğunun değişimi (Change of the smoke opacities at the different engine loads)

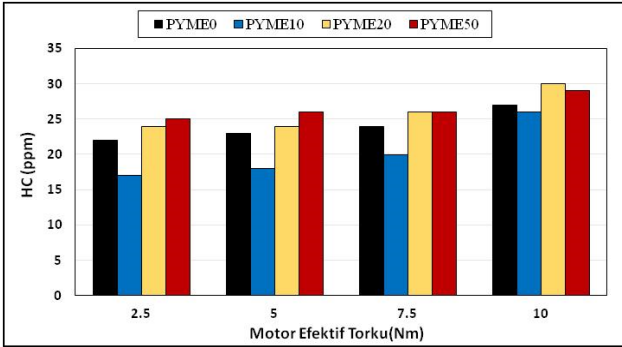
PYME karışımlarının ve eurodizelin farklı motor yüklerinde CO emisyonları Şekil 8'de sunulmaktadır. Tüm motor yüklerinde PYME karışımlarında elde edilen CO emisyon değerleri eurodizel kullanımına göre azalma göstermiştir. PYME ilavesi, PYME'nin oksijen içeriğinden dolayı CO emisyonlarını düşürmüştür. Düşük ve orta yüklerde, aşırı hava ile egemen ön karışmış yanma nedeniyle PYME'nin ilavesi ile CO emisyonlarında önemli değişiklikler gözlenmezken, 10 Nm'lik motor yükünde bu durum daha belirgindir [36]. Motor yükündeki artışla beraber CO emisyonları da artış göstermiştir. Motor yükündeki artış, yanma odasında zengin çalışma koşullarına neden olur ve büyük yakıt püskürtme miktarı nedeniyle CO emisyonlarında bir artışa neden olur. Buna ek olarak, yanma odasında yetersiz oksijen dağılımı ve düşük sıcaklık, CO emisyonlarının oluşumunda bir artışa neden olur. 10 Nm yükteki artış, daha düşük hava-yakıt oranları ile yerel bölgede oksijenin olmamasından kaynaklanmıştır [35]. 10

Nm yük koşulları için, PYME'nin kullanılmasıyla yanmanın iyileşmesinin CO emisyonlarının eurodizel göre daha düşük olmasına yol açtığı sonucuna varılabilir. Ayrıca, PYME50 için diğer PYME karışımlarına göre daha yüksek CO emisyonları yanmanın bozulmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 8. Farklı motor yüklerinde CO emisyonlarının değişimi
(Change of the CO emissions at the different engine loads)

Şekil 9, bu çalışmada ele alınan 3 farklı PYME karışımı ve eurodizel için HC emisyonlarının değişimini göstermektedir. Test edilen yakıtların hidrokarbon emisyonlarının tüm motor çalışma koşullarında çok düşük değerlerde ve birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu da yakıt karışımlarının daha iyi yanması nedeniyle düşük HC emisyonu ile sonuçlandığını göstermektedir [43]. Motor yükünün artmasıyla karışımın zenginleşmesi tüm yakıtlar için HC oluşumunu çok az miktarda arttırmıştır.



Şekil 9. Farklı motor yüklerinde HC emisyonlarının değişimi
(Change of the HC emissions at the different engine loads)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, belirli oranlarda pamuk yağı metil esterinin eurodizel yakıtına ilavesinin direk püskürtmeli tek silindirli bir dizel motorun yanma, performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri farklı motor yüklerinde incelenmiştir. Pamuk yağı metil ester karışımlarının tutuşma gecikmesi, pamuk yağı metil esterin setan sayısının düşük olması nedeniyle eurodizelden daha uzun olmuştur. Maksimum silindir basıncı, pamuk yağı metil ester karışımlarında tüm motor yükleri için eurodizelle kıyaslandığında daha yüksek

olarak belirlenmiştir. Pamuk yağı metil ester karışımlarının ısı yayılım oranı, uzun tutuşma gecikmesi ve pamuk yağı metil esterin oksijen içeriğinden dolayı eurodizelden daha yüksektir. Eurodizel kullanımında, sahip olduğu yüksek ısı değer nedeniyle tüm motor yükleri için pamuk yağı metil ester karışımlarıyla kıyaslandığında en düşük özgül yakıt tüketimi ve en yüksek ısı verim elde edilmiştir. Eurodizeli sırasıyla PYME10, PYME20 ve PYME50 takip etmektedir. Pamuk yağı metil ester ilavesi, duman koyuluğu ve CO emisyonlarında bir azalmaya neden olurken, NO_x emisyonlarında hafif bir artışa neden olduğu ve HC emisyonlarının ise tüm yakıt karışımlarında düşük değerlerde elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDMENT)

Bu deneysel çalışma Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi tarafından 2014.18.03.758 no'lu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altun Ş., Öner C., Susam yağının alternatif yakıt olarak dizel motor performans ve motor elemanları üzerindeki etkileri, Teknoloji, 8 (3), 229-236, 2005.
- Emiroğlu A.O., Keskin A., High Free Fatty Acid Oils and Biodiesel, 11th International Combustion Symposium, Sarajevo-Bosnia and Herzegovina, June 24-27, 2010.
- Keskin A., Etlik Piliç Kesimhanesi Rendering Yağından Metil Ester Üretimi ve Eurodizelle Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi, 2.Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu, Samsun-Türkiye, 187-195, 27-30 Eylül, 2016.
- Abdulvahitoğlu A., Tüccar G., Evaluation of watermelon seed biodiesel as an alternative fuel in diesel engines, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (1), 211-216, 2017.
- Celikten I., Arslan, M.A. Investigation of diesel fuel, rape oil and soybean oil methyl esters effects on a direct injection diesel engine performance and emissions, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 23 (4), 829-836, 2008.
- Alptekin E., Canakci, M. Determination of some properties of methyl ester and glycerin produced from different feedstocks, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 23 (3), 549-556, 2008.
- Gülüm M., Bilgin A., Çakmak A., Comparison of optimum reaction parameters of corn oil biodiesels produced by using sodium hydroxide (NaOH) and potassium hydroxide (KOH), Journal of the Faculty of Engineering Architecture of Gazi University, 30 (3), 503-511, 2015.
- Boz N., Calcium oxide based heterogeneous catalyst design for the production of methyl esters from canola oil, Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (4), 641-648, 2015.

9. Correia L.M., Saboya R.M.A., de Sousa Campelo N., Cecilia J.A., Rodríguez-Castellón E., Cavalcante C. L., Vieira R.S., Characterization of calcium oxide catalysts from natural sources and their application in the transesterification of sunflower oil, *Bioresource Technology*, 151, 207-213, 2014.
10. Rashed M.M., Kalam M.A., Masjuki H.H., Mofijur M., Rasul M.G., Zulkifli N.W.M. Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with palm, jatropha, and moringa oil methyl ester, *Industrial Crops and Products*, 79, 70-76, 2016.
11. Jaichandar S., Annamalai K., Emission and combustion characteristics of pongamia oil methyl ester and its diesel blends in a CI engine, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37 (14), 1473-1478, 2015.
12. Balakrishnan K., Olutoye M.A., Hameed B.H., Synthesis of methyl esters from waste cooking oil using construction waste material as solid base catalyst, *Bioresource Technology*, 128, 788-791, 2013.
13. Behçet R., Oktay H., Çakmak A., Aydın H., Comparison of exhaust emissions of biodiesel–diesel fuel blends produced from animal fats, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 157-165, 2015.
14. Alptekin E., Canakci M., Sanli H., Biodiesel production from vegetable oil and waste animal fats in a pilot plant, *Waste Management*, 34 (11), 2146-2154, 2014.
15. Keskin A., Gürü M., Altıparmak D., Investigation of 90% blend of tall oil biodiesel fuel with diesel fuel as alternative diesel fuel, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22 (1), 57-63, 2007.
16. Çaynak S., Gürü M., Biçer A., Keskin A., İçingür Y., Biodiesel production from pomace oil and improvement of its properties with synthetic manganese additive, *Fuel*, 88 (3), 534-538, 2009.
17. Keskin A., Obtaining of methyl ester from poultry rendering fat and fuel properties of the diesel - ester mixtures, *Materials, Methods & Technologies*, 10, 668-675, 2016.
18. Sezer İ., Therotical investigation of the effects of diesel fuel, biodiesel fuel and their blends on internal combustion engines, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (4) 799-812, 2016.
19. Sekmen Y., Şen S., Biodiesel production from anchovy (*engraulis encrasicolus*) oil and its effect on diesel engine performance and emissions, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (1), 19-27, 2016.
20. Sarıdemir S., Albayrak S., Kanola yağı metil esteri ve karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına olan etkileri, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 35-46, 2015.
21. Azcan N., Danışman A., Pamuk Yağından Transesterifikasyon ile Biyodizel Eldesi, *Yedinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Eskişehir-Türkiye*, 5-8 Eylül, 2006.
22. Eryılmaz T., Yesilyurt M.K., Cesur C., Gokdogan, O., Biodiesel production potential from oil seeds in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 842-851, 2016.
23. Büyükhelvacıgil T., Yağlı tohumlu bitkiler ve bitkisel yağ sektörü. [http:// www. bysd.org. tr/Haber Goruntule.aspx?ID=174](http://www.bysd.org.tr/HaberGoruntule.aspx?ID=174). Yayın tarihi Eylül 8, 2016. Erişim tarihi Nisan 05, 2017.
24. Çomu H.N., Dünya ve Türkiye pamuk arz-talep dengesi. <http://www.bysd.org.tr/HaberGoruntule.aspx?ID=174>. Yayın tarihi Eylül 8, 2016. Erişim tarihi Nisan 05, 2017.
25. Dağdelen A., Yüksel Y., Yağlı tohum çeşidi ve transesterifikasyon yöntemlerinin biyoyakıt üretimine ve kalitesine etkileri, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 107-117, 2016.
26. Balaji G., Cheralathan M., Experimental investigation to reduce emissions of CI (compression ignition) engine fuelled with methyl ester of cottonseed oil using antioxidant, *International Journal of Ambient Energy*, 35 (1), 13-19, 2014.
27. Atabani AE, Silitonga AS, Badruddin IA, Mahlia TMI, Masjuki HH, Mekhilef S. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2012;16:2070–93, 2012.
28. Shu Q., Zhang Q., Xu G., Nawaz Z., Wang D., Wang J., Synthesis of biodiesel from cottonseed oil and methanol using a carbon-based solid acid catalyst, *Fuel Processing Technology*, 90 (7), 1002-1008, 2009.
29. Aydın H., Bayindir H., Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine, *Renewable Energy*, 35(3), 588-592, 2010.
30. Kahraman A., Oğuz H., Solmaz Ö., Effect of cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a vehicle/Bir Taşıtın Performans ve Egzoz Emisyonları Üzerine Pamuk Yağı Metil Esterinin Etkisi, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 2 (4), 104-110, 2013.
31. Türkcan A., Çanakçı M., Özsezen A.N., Sayın, C., Bir Dizel motorda yanma karakteristiklerinin incelenmesi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 1-10, 2009.
32. Çelik M., Solmaz H., Yücesu H.S., Examination of the effects of n-heptan addition to cotton methyl ester on the engine performance and combustion characteristics, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (3), 361-369, 2015
33. Hardenberg H.O., Hase F.W., An empirical formula for computing the pressure rise delay of a fuel from its cetane number and from the relevant parameters of direct-injection diesel engines, *SAE Technical Paper*, No: 790493, 1979.
34. Shahabuddin M., Liaquat A.M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Mofijur M., Ignition delay, combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel, *Renew Sustainable Energy Rev*, 21, 623–632, 2013.
35. Öztürk E., Performance, emissions, combustion and injection characteristics of a diesel engine fuelled with canola oil-hazelnut soapstock biodiesel mixture, *Fuel Process Technol*, 129, 183–191, 2015.

36. Can Ö., Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture, *Energy Conversion and Management*, 87, 676-686, 2014.
37. Canakci M., Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel, *Bioresour Technol*, 98, 1167-1175, 2007.
38. Anand K., Sharma R.P., Mehta P.S., Experimental investigations on combustion, performance and emissions characteristics of neat karanji biodiesel and its methanol blend in a diesel engine, *Biomass and Bioenergy*, 35, 533-541, 2011.
39. Emiroğlu A.O., Keskin A., Şen M., Experimental investigation of the effects of turkey rendering fat biodiesel on combustion, performance and exhaust emissions of a diesel engine, *Fuel*, 216, 266-273, 2018.
40. Huang Y., Zhou L., Pan K., Combustion characteristics of a direct injection diesel engine fueled with Fischer-Tropsch diesel, *Frontiers Energy Power Engineering in China*, 1 (2), 239-244, 2007.
41. Doğan O., Çelik M.B., Özdalyan B., The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions, *Fuel*, 95, 340-346, 2012.
42. Emiroğlu, A.O., Şen, M., Combustion, performance and emission characteristics of various alcohol blends in a single cylinder diesel engine, *Fuel*, 212, 34-40, 2018.
43. An H., Yang W. M., Maghbouli A., Li J., Chou S.K., Chua K. J., Performance, combustion and emission characteristics of biodiesel derived from waste cooking oils, *Applied Energy*, 112, 493-499, 2013.

