



KANOLA METİL ESTERİNE N-HEPTAN KATKISININ MOTOR PERFORMANSI VE YANMA KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet ÇELİK¹, Hamit SOLMAZ², H. Serdar YÜCESU³, Emre YILMAZ⁴

¹Niğde Üniversitesi Niğde Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
51200 Niğde, mehmetcelik@nigde.edu.tr

²Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü
06500 Maltepe, Ankara, hsolmaz@gazi.edu.tr

³Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü
06500 Maltepe, Ankara, yucesu@gazi.edu.tr

⁴Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü
06500 Maltepe, Ankara, emreylmz@gazi.edu.tr

(Geliş Tarihi: 25.08.2014, Kabul Tarihi: 13.07.2015)

Özet: Dizel motorları yüksek yüksek döndürme momenti, dayanıklılık ve ekonomik yakıt tüketimini sağlayan karayolu, tren, tarım, askeri, inşaat, madencilik, denizcilik, tahrik ve sabit elektrik üretimi gibi sektörlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Petrol rezervlerinin azalması, sıkı emisyon düzenlemeleri, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve içten yanmalı motorların verimini arttırabilmek için alternatif temiz ve yenilenebilir kaynaklar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bunların arasında biyodizel alternatif yakıtlardan birisidir ve motorda herhangi bir değişiklik olmadan kullanılabilir. Daha iyi motor performansı için dizel yakıtı içine farklı katkı maddeleri harmanlanarak alternatif yöntemler denenmektedir. Biyodizelin yakıt kalitesini arttırmak için yakıt katkıları kullanılabilir. Çünkü dizel motorlarının performansını, hem püskürtme sistemi özellikleri hem de püskürtülen yakıtın kalitesi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada; rafine edilmiş kanola yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiş, üretilen biyodizele belirli oranlarda n-heptan katılmış ve motor deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda KYME-H4 yakıtında maksimum moment artışı %3.25 olurken maksimum güç artışı %2.48 olmuştur. Tüm yakıtlar için maksimum silindir gaz basınçları ve maksimum ısı yayılımı hemen hemen aynı krank açısında oluşmuştur. Çalışmada %4 n-heptan karışımı motor performans ve yanma özellikleri bakımından en iyi sonucu vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kanola yağı metil esteri, Yakıt katkı maddesi, Yanma karakteristikleri, Motor performansı

EXAMINATION OF THE EFFECTS OF N-HEPTANE ADDITION TO THE CANOLA METHYL ESTER ON ENGINE PERFORMANCE AND COMBUSTION CHARACTERISTICS

Abstract: The diesel engines are widely used in industries like road transport, railway, agriculture, military, mining, construction, maritime and fixed electricity production for provide the high torque, durability and low fuel combustion. The reduction of oil reserves and strict emission regulations have led many researchers to work on alternative, clean and renewable sources in an effort to reduce greenhouse gases for emissions and to increase the efficiency of internal combustion engines. Among these, biodiesel is one of alternative fuels, and can be used without any changes in the engine. For a better performance of the engine, alternative methods are used by adding different additive substances to the diesel fuel. Because both features of injection systems and quality of injected fuel significantly affect the performance of diesel engine. In this study; refined rapeseed oil was produced from biodiesel by transesterification method, certain n-heptane was added to the produced biodiesel and the engine tests were performed. As a result of these conducted experiments; while maximum torque increase on the fuel KYME-H4 was 3.25%, the maximum power increase was 2.48%. Maximum gas pressure and maximum heat release for all fuel are formed in almost the same crank angle. In the study, 4% n-heptane mixture has given the best results in terms of engine performance and combustion characteristics.

Keywords: Canola oil methyl ester, Fuel additive, Combustion characteristics, Engine performance

GİRİŞ

Gelişme hızı, uyguladıkları ekonomik politika, siyasal gelişme, nüfus artışı, sahip oldukları enerji kaynakları ve iklim koşulları ülkelerin enerji tüketimini etkilemektedir

(Yılmaz vd. 2014; Çildir ve Çanakçı, 2006). Enerji, insan faaliyetlerinin önemli bir temelidir. Sanayi, gıda ve tarım üretimi, taşımacılık gibi alanlarda enerji kullanılmaktadır (Velmurugan vd. 2014). Petrol rezervlerinin azalması, sıkı emisyon düzenlemeleri, sera gazı emisyonlarını azaltmak

ve içten yanmalı motorların verimini arttırabilmek için alternatif temiz ve yenilenebilir kaynaklar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (Vallinayagam *vd.* 2013; Ma *vd.* 2013; Çelikten *vd.* 2015; Yılmaz *vd.* 2013). Bunların arasında biyodizel umut verici bir alternatif dizel yakıtı olduğunu kanıtlamıştır (Sayın, 2013). Otomotiv yakıt pazarında biyo-yakıtların payının önümüzdeki on yıl içinde hızla büyümesi beklenmektedir (Rakopoulos, 2013).

Dizel motorları yüksek döndürme momenti, dayanıklılık ve ekonomik yakıt tüketimini sağlayan karayolu, tren, tarım, askeri, inşaat, madencilik, denizcilik, tahrik ve sabit elektrik üretimi gibi sektörlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Biyodizel dizel motorlarda değişiklik yapılmadan kullanılabilir (Özener *vd.* 2012).

Motor tasarım çalışmalarıyla emisyonlar ve yakıt tüketimi önemli ölçüde azaltılmıştır. Bununla birlikte tek başına motor tasarım çalışmaları ile istenen emisyon standartlarını elde etmek zordur. Düşük emisyon ve daha iyi motor performansı için dizel yakıtı içine farklı katkı maddeleri harmanlanarak alternatif yöntemler denenmektedir. Katkı maddesi kullanımı son yıllarda bu alanda araştırmaların odak noktası olmaktadır (Moghaddam, 2014). Yakıt kalitesini arttırmak, daha iyi yanma ve emisyonları azaltmak için yakıt içerisine çeşitli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bu katkı maddeleri hidrokarbonların daha iyi yanması için katalitik bir etki oluşturur (Lenin *vd.* 2013).

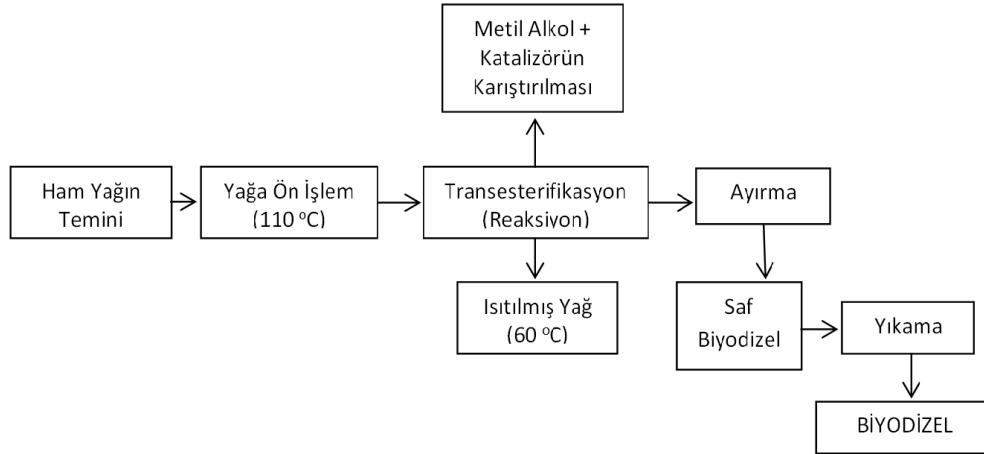
Otomotiv motorlarında kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri motor performansı, yakıt ekonomisi ve emisyon karakteristiklerini etkilemektedir (Thoo *vd.*

2014). Katkı maddesi kullanımı ile yakıtın; performans, yanma ve emisyon karakteristikleri iyileştirilebilir. Yapılan çalışmalar yakıt katkı maddelerinin tutuşma gecikmesi süresini, özgül yakıt tüketimi değerlerini azalttığı, yakıtın ısıl değerini arttırdığını göstermektedir (Basha ve Gopal, 2012). Dizel motorlarda, iyi bir yakıt atomizasyonu daha yüksek verim ve daha düşük emisyon oluşumunu önemli ölçüde azaltmaktadır. Tutuşma, yanma ve kirletici emisyon oluşumu atomizasyon özelliklerinden etkilenir (Ghasemi *vd.* 2014). Dizel motorlarının performansı; püskürtülen yakıtın kalitesi, yanma odasındaki yakıt ile havanın hızlı ve homojen karışımı, yakıtın atomizasyonu, buharlaşması, yakıtın yoğunluğu ve viskozitesi ile yakından ilişkilidir (Park *vd.* 2009).

Bu çalışmada biyodizel üretimi için; üretimi her geçen yıl artan kanola yağı tercih edilmiştir. Biyodizelin motor performansını etkileyen yakıt özelliklerini iyileştirmek amacıyla içerisine n-heptan katılarak alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilebilmesi düşünülmüştür.

MATERYAL METOT

Deneyler kullanılmak üzere rafine edilmiş kanola yağından biyodizel üretimi için transesterifikasyon yöntemi seçilmiştir. Katalizör olarak NaOH (3.5 g/l) ve Metanol (hacimce %20) kullanılmıştır. Transesterifikasyon oluşumuna ait akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir. Reaksiyon 60±1 °C sabit sıcaklık altında 1 saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Biyodizel ve gliserin ayrışmasından sonra yıkama yapılmıştır.



Şekil 1. Transesterifikasyon akış şeması

Buna göre katkısız kanola yağı metil esterleri (KYME-H0) içerisine, hacimce %4 (KYME-H4), %8 (KYME-H8), %12 (KYME-H12), %16 (KYME-H16) ve %20 (KYME-H20) karıştırılmıştır ve üretilen biyodizelin ve biyodizel/n-heptan karışımlarının bazı özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

n-heptan $H_3C(CH_2)_5CH_3$ veya C_7H_{16} formülüne sahip düz zincirli alkandır. n-heptan kimyasal özellikleri Tablo 2'de görülmektedir. n-heptan setan sayısı yanma verimliliğini arttıran karışım özelliklerinden dolayı

yüksektir (Apdulvahitoğlu, 2009). n-heptan dizel yakıtına alternatif yakıt olarak da kullanılmaktadır. Dizel yakıtına benzer yanma özellikleri gösteren bileşen türlerinden oluşur. Tutuşma özelliği, buharlaşma, yanma verimliliği ve kirletici emisyon oluşumu gibi birçok özellik yönünden dizel yakıtına uyum sağlar (Donkerbroek, 2010). Özellikle düşük sıcaklık ve düşük basınçta soğuk alev bölgesinde daha iyi yanma özellikleri sergilemektedir (Kolaitis ve Founti, 2009).

Sunulan çalışmada; Cussons firması tarafından üretilen P8160 deney düzeneği kullanılmıştır ve ilgili deney sisteminde tek silindirli bir dizel motoru kullanılmıştır.

Tablo 1. Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Yakıt	Kinematik Viskozite	Parlama Noktası	Yoğunluk
	(mm ² /s)	(°C)	15 °C
KYME-H0	4.48	169	0.882
KYME-H4	3.13	92	0.875
KYME-H8	3.02	46	0.866
KYME-	2.71	20	0.858
KYME-	2.42	18	0.852
KYME-	2.11	10	0.845

Söz konusu motorun bazı teknik özellikleri Tablo 3’de verilmiştir. İndikatör sistemi; yanma analiz cihazı, şarj amplifikatörü, su soğutmalı quartz silindir basınç sensörü ve veri aktarım kartı ile enkoderden oluşmaktadır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 2’de görülmektedir.

Tablo 2. n-heptan Kimyasal Özellikleri (Merk KGaA 2014)

	Birim	Limit
Formül	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₃ veya	
Molar Ağırlık	g/mol	100.2
CAS Numarası		142-82-5
Yoğunluk	20°C’de g/ml	0.68
Kaynama Noktası	°C	97-98
Kinematik Viskozite	mm ² /s	0.559
Parlama Noktası	°C	-1
Buhar Basıncı	20 °C’de kPa	4.8

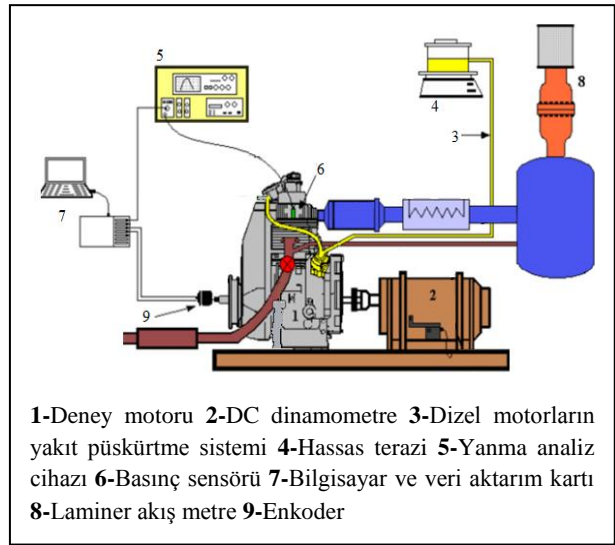
Ham silindir basıncı değerlerinde zamana bağlı olarak oluşan kayma ölçülen ham verilerde bir takım farklılıklar gerçekleşebilmekte ve oluşan bu farklılıkların ortadan kaldırılarak işlenebilir hale getirilmesi gerekmektedir. Her bir çevrim için 2000 adet basınç verisi alınmaktadır. Kayma, 2000 adet noktada alınan basınç değerlerinin her birinin kaymasının üst üste gelmesi ile oluşan kümülatif değerdir. Her bir düğüm noktasının ağırlığına göre oranlama yapılarak ilk değerden çıkarılması ile her bir çevrim için kayma miktarında düzeltme yapılmaktadır.

Çevrimsel farklılıkların etkisini ortadan kaldırmak amacıyla 50 adet ardışık çevrimin düzeltmeleri yapılmış ve analizler için ortalaması alınmıştır. Bir çevrim sırasında, sıkıştırma ve genişleme zamanında her bir °KA’ya karşı gelen silindir basıncı yanma işlemi niceliğine ait bilgiler vermektedir. Bu bilgiler, yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi sonucu açığa çıkan enerjidir. Yanma süreci boyunca yanan yakıtın kimyasal enerjisinin hangi oranda açığa çıktığı belirlenmektedir (Özsezen, 2007; Can, 2012). Deneysel ölçüm sırasında silindir basınç algılayıcısından gelen veriler, silindir hacminin anlık değişimi, yanma, silindir duvarına ısı transferi gibi faktörlerden etkilenerek

sürekli değişmesi şekil üzerine etki eden en önemli faktörlerdir. Bunlar arasında, silindir hacminin değişimi ve yanma şekil üzerine etki eden en önemli faktörlerdir (Özsezen, 2007). Silindir içi basınç verileri ısı yayılım oranını hesaplamak için kullanılmıştır. Isı yayılımı bazı kabuller yapılarak tek bölgeyi yanma modeli ile termodinamiğin birinci yasası uygulanarak Eşitlik 1’den hesaplanmıştır.

$$\frac{dQ_{net}}{dt} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{dt} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{dt} \quad (1)$$

Motor deneyleri maksimum momentin elde edildiği 2200 1/min sabit devirde ve tam yükte yapılmıştır. Çalışmada yapılan ölçüm parametrelerine ait doğruluk ve belirsizlik değerleri Tablo 4’de verilmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Tablo 3. Deney motorunun teknik özellikleri

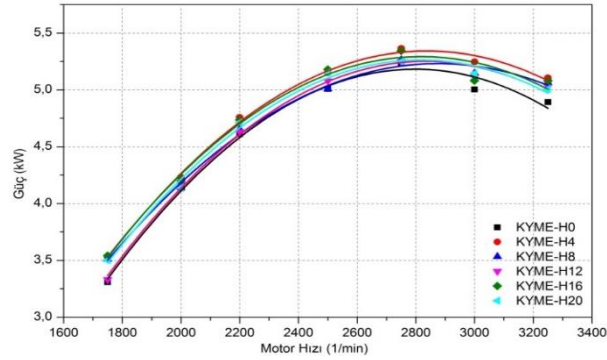
	Özellikler
Motor Tipi	DI dizel motoru
Silindir Sayısı	1
Silindir çapı (mm)	86
Strok uzunluğu (mm)	68
Strok hacmi (cm ³)	395
Sıkıştırma oranı	18:1
Maksimum motor devri (1/min)	3600
Maksimum motor gücü (kW)	5.4 (3000 d/d’da)
Maksimum moment (Nm)	19.6 (2200 d/d’da)

Tablo 4. Ölçüm parametreleri doğruluk ve belirsizlik değerleri

	Doğruluk	Belirsizlik
Zaman [s]	± % 0.5	-
Yakıt [g]	± 0.1	-
Sıcaklık [°C]	± 1	-
Motor hızı [rpm]	± % 1	-
Dinamometre yükü [N]	± % 0.25	-
Moment [Nm]	-	± % 0.25
Yakıt tüketimi [g/dak]	-	± % 0.72
Özgül yakıt tüketimi [g/kWh]	-	± % 1.26

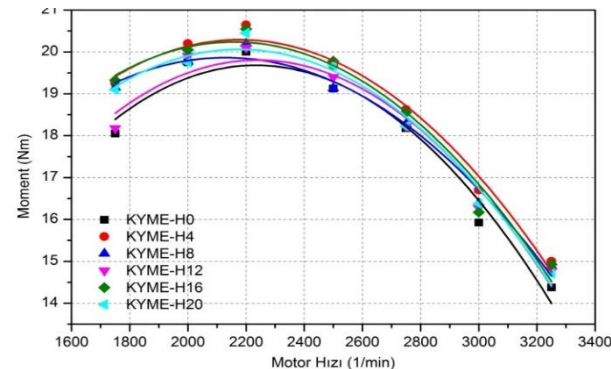
BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 3 ve Şekil 4’de kanola metil esteri n-heptan karışımının motor hızına bağlı moment ve güç değişimleri gösterilmiştir. Moment eğrisi incelendiğinde maksimum moment 2200 1/min’de KYME-H4 yakıtı ile 20.65 Nm olarak elde edilmiştir. KYME-H0, KYME-H8, KYME-H12, KYME-H16 ve KYME-H20 yakıtlarında 2200 1/min’de maksimum moment sırasıyla 20.00 – 20.20 – 20.10 – 20.55 – 20.45 Nm elde edilmiştir. 2200 1/min’de KYME-H0 yakıtına göre KYME-H4 yakıtında %3.25 moment artışı elde edilmiştir. Maksimum güç 2750 1/min’de KYME-H4 yakıtında 5.36 kW elde edilirken 2750 1/min’de KYME-H0 göre KYME-H4 yakıtında %2.48 güç artışı olmuştur. Diğer n-heptan karışımlarının 2750 1/min güç artışı KYME-H0 yakıtına göre sırasıyla KYME-H8’de %0.55, KYME-H12’de %0.27, KYME-H16’da %2.06 ve KYME-H20’de %0.26 olmuştur.



Şekil 3. Motor gücünün motor hızı ile değişimi (Tam yük)

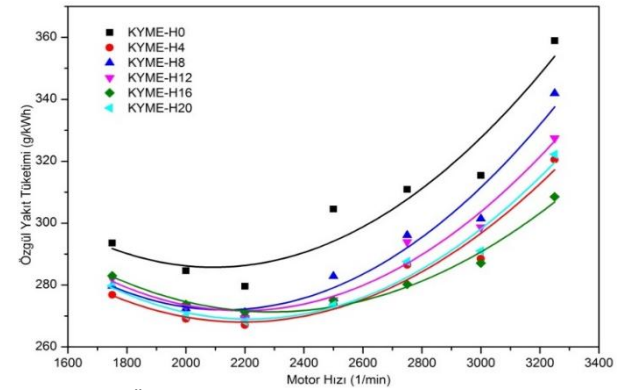
Biyodizelin n-heptan karışım yakıtlarına göre yüksek viskozite ve yoğunluğu; yakıtın silindir içerisindeki nüfuzunu, atomizasyonu etkiler ve yakıt/hava karışımının kötüleşmesine sebep olur. n-heptan ilave edilen yakıtların viskozite ve yoğunluğu KYME-H0 yakıtından düşüktür. n-heptan ilave edilen yakıtların motor gücü ve momentinin yüksek olması atomizasyonunun iyi ve yanma verimliliğinin artmasının sonucu olduğu düşünülebilir. Bunun nedeni n-heptanın düşük sıcaklık ve düşük basınçta soğuk alev bölgesinde daha iyi yanma özelliği sergilemesidir (Kolaitis ve Founti, 2009; Xue vd. 2011). n-heptan karışım yüzdesinin artmasıyla motor gücü ve momentteki artış da düşmektedir. n-heptan karışımının belirli bir sınırdan tutulması motor gücü açısından önemlidir. Ayrıca n-heptan karışım yüzdesinin sınırı yakıt özelliklerini etkilediği için yakıtın kullanılabilirliği açısından da çok önemlidir.



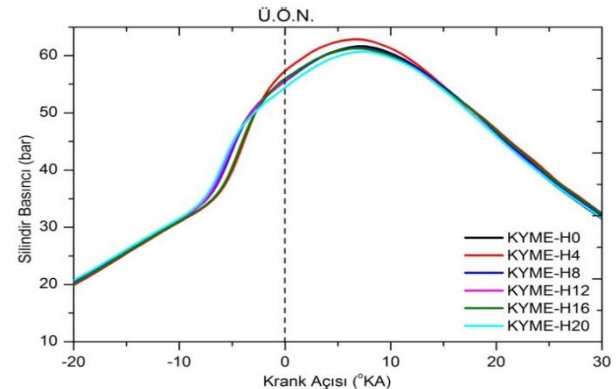
Şekil 4. Motor momentinin motor hızı ile değişimi

Şekil 5’de kanola metil esteri n-heptan karışımının motor hızına bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri görülmektedir. Minimum özgül yakıt tüketimi maksimum momentin elde edildiği 2200 1/min’de KYME-H4 yakıtı ile 267,10 g/kWh elde edilmiştir. 2200 1/min’de KYME-H0 yakıtına göre KYME-H4 yakıtında %4,46 özgül yakıt tüketiminde azalma görülmüştür. Yüksek devirlerde özgül yakıt tüketimindeki azalma artmaktadır. Özgül yakıt tüketimindeki maksimum düşüş 3250 1/min’de KYME-H16 yakıtında %14,04 elde edilmiştir.

Şekil 6’da tam yükte silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimi sunulmuştur. Maksimum silindir gaz basıncı KYME-H4 yakıtında 62.86 bar ve ÜÖN’den yaklaşık 7 °KA sonra meydana gelmiştir. İçten yanmalı bir motorda en iyi yakıt ekonomisi, maksimum yanma sonu basıncının ÜÖN’den 6-10 °KA sonraya rastlaması durumunda elde edilebilmektedir (Çetinkaya, 1999; Solmaz, 2015). n-heptan karışımıyla moleküller arası bağın kırılmasıyla viskozitenin azaldığı düşünüldüğünde maksimum silindir gaz basıncındaki artış anlaşılabilir (Rao vd. 2007). Tam yükte tüm yakıtlar için maksimum silindir gaz basınçları hemen hemen aynı krank açısında (°KA) oluşmuştur. Maksimum silindir gaz basıncının artması ile net iş alanı arttığından elde edilen güçte buna orantılı olarak artmaktadır (Polat vd. 2013). Fakat maksimum silindir gaz basıncındaki artış belli bir yakıt yüzdesinden sonra negatif yönde gerçekleşmekte olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda n-heptanın biyodizel içerisine belli bir karışım yüzdesi sınırı olmalıdır. Basınç şekilleri incelendiğinde silindir gaz basınçlarındaki artışın güç grafiği ile uyumlu olduğu görülmektedir.



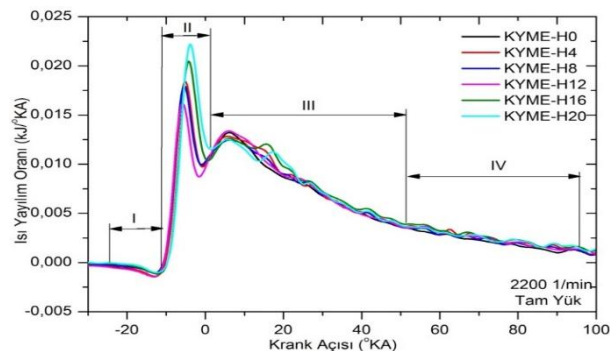
Şekil 5. Özgül yakıt tüketiminin motor hızı ile değişimi



Şekil 6. Silindir içi gaz basıncının krank açısı ile değişimi

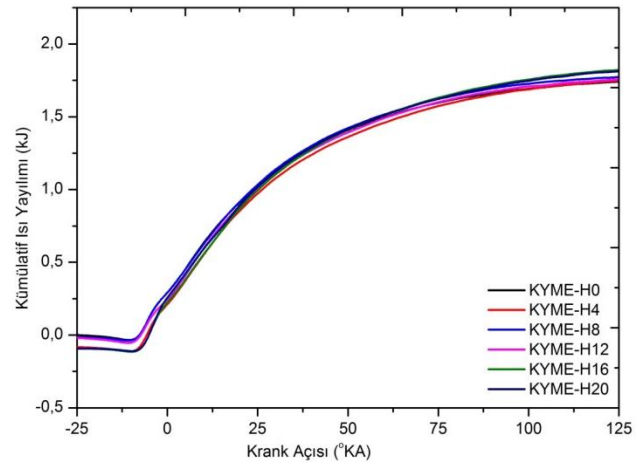
Şekil 7’de tam yükte ısı yayılımı oranının değişimi verilmiştir. Dizel motorlarda püskürtme başlangıcı ile yakıtın kendi kendine yanmaya başlamasına kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi denir (Şekil 7-I. Bölge). Tutuşma gecikmesi; fiziksel gecikme ve kimyasal gecikme süresi olarak tanımlanır (Challen ve Baranescu, 1984; Heywood, 1988). Püskürtülen yakıt yanma odası boyunca küçük damlacıklara ayrılarak buharlaşır. Yakıtın yanmaya hazır hale gelmesi için geçen süreye fiziksel gecikme denir. Fiziksel gecikme süresi yakıt damlacıklarının buharlaşması ve atomizasyonu ile alakalı olduğu için; püskürtme basıncına, enjektör türüne, yanma odası tasarımına, yakıt özelliklerine bağlıdır. Fiziksel gecikme süresinden sonra meydana gelen kimyasal gecikme silindir içerisindeki sıcaklığa ve yakıt özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır (Finesso ve Spessa, 2014).

Tutuşma gecikmesi süresinde yakıt buharlaşırken ortamdan ısı çektiği için ısı yayılımı negatif olur daha sonra ısı yayılımının pozitif döndüğü yer yanma başlangıcı olarak tanımlanır. Tutuşma gecikmesi bittikten sonra kontrolsüz yanma safhası başlar (Şekil7-II. Bölge). Kontrolsüz yanma safhasında ısı yayılımının yüksek olmasının en önemli nedeni tutuşma gecikmesi süresinde püskürtülen yakıt miktarının artmasıdır (Sakthivel vd. 2014). Dizel yanmasının, ana yanmayı oluşturan üçüncü fazı difüzyon kontrollü yanma safhasıdır (Şekil 7-III. Bölge). Bu safhada ısı yayılımı eğrisinde bir miktar artış olmaktadır. Bu artışın değeri püskürtülen yakıt miktarına ve yakıtın oksitlenme miktarına bağlıdır (Türkcan vd. 2009). Yakıt buharının buharlaşma ve hava ile karışma hızı, yanma hızını belirlemektedir. Yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma fazı başlamakta olup (Şekil 7-IV. Bölge), yakıtın silindire püskürtülmesi bitmiş ve motor genişleme zamanına geçmiştir. Art yanmada, yanma hızı gene difüzyon hızı ve karışım oluşum hızı ile belirlenmektedir. Daha önce püskürtülen ve yanma fırsatı bulamayan yakıt, oksijen buldukça yanmakta ve bu safhayı meydana getirmektedir. Yanmanın egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir (Safgönül vd. 1995; Ergen, 2006). Şekil incelendiğinde kontrolsüz yanma safhasında maksimum ısı yayılımı KYME-H20 yakıtında 0.0221 kJ/°KA meydana gelmiştir. Daha sonra sırasıyla KYME-H16, KYME-H4, KYME-H0, KYME-H16 ve KYME-H12 yakıtlarında 0.0204 – 0.0184 – 0.0179 – 0.0179 – 0.0162 kJ/°KA olmuştur. Maksimum ısı yayılımı krank açısına göre birbirine çok yakın noktalarda meydana gelmiştir. Tutuşma gecikmesinin uzamasından dolayı silindir içerisine püskürtülen yakıt hava ile daha iyi karıştığı için maksimum ısı yayılımı daha fazla olmuştur (Bari, 2014).



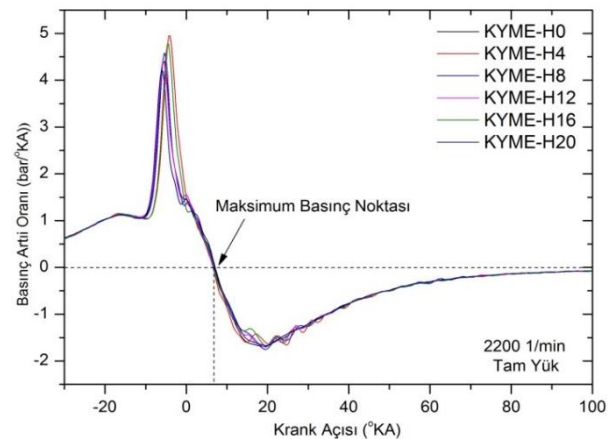
Şekil 7. Isı yayılımı oranının krank açısı ile değişimi

Şekil 8’de kümülatif ısı yayılımı grafiği gösterilmiştir. Maksimum kümülatif ısı yayılımı KYME-H8 yakıtında 2.305 kJ olurken daha sonra sırasıyla KYME-H4, KYME-H12, KYME-H16, KYME-H20 ve KYME-H0 yakıtlarında meydana gelmiştir. Metil ester içerisinde n-heptan karışım oranının artmasıyla kümülatif ısı yayılımı artmaktadır. Kümülatif ısı yayılımındaki bu artış belli bir yakıt yüzdesinden sonra negatif yönde gerçekleşmiştir. n-heptan ilave edilen yakıtların viskozite ve parlama noktasındaki değişimler yanmayı etkilemektedir. Tutuşma gecikmesinin azalması, maksimum silindir basıncı ve maksimum ısı yayılımı değişimleri kümülatif ısı yayılımı ile uyumludur.



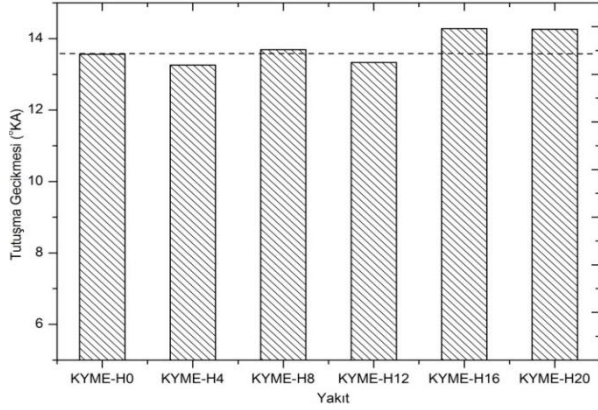
Şekil 8. Kümülatif ısı yayılımının krank açısı ile değişimi

Şekil 9’da basınç artış oranı (dP/dθ) grafiği gösterilmiştir. Yakıt içerisindeki n-heptan oranının artışıyla birlikte maksimum basınç artış oranı artmaktadır. Tüm test yakıtlarında maksimum basınç artış oranı KYME-H4 yakıtında 4.94 bar/°KA olurken diğer test yakıtlarında sırasıyla KYME-H0’da 4.40, KYME-H8’de 4.58, KYME-H12’de 4.41, KYME-H16’da 4.77, KYME-H20’de 4.22 bar/°KA meydana gelmektedir. Bu n-heptan karışım oranının artmasıyla parlama noktasının azalmasından ve daha uçuculuğun artmasında kaynaklandığı düşünülebilir (Dhar ve Agarwad, 2014). Tutuşma gecikmesi ve yanma süresinin uzayarak genişleme zamanına kayması maksimum basınç artış oranı üzerinde etkiye sahiptir (Can, 2012).



Şekil 9. Basınç artış oranının krank açısı ile değişimi

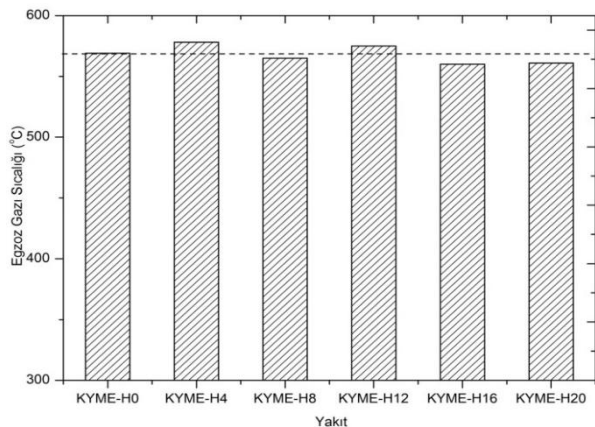
Şekil 10’da tutuşma gecikmesi grafiği gösterilmiştir. En kısa tutuşma gecikmesi KYME-H4 yakıtında 13.26 °KA olmuştur. Tutuşma gecikmesi KYME-H0, KYME-H8, KYME-H12, KYME-H16 ve KYME-H20 yakıtlarında sırasıyla 13.56 – 13.69 – 13.33 – 14.28 ve 14.26 °KA olmuştur. Setan sayısı düşük yakıt, uçuculuğu ve buharlaşması için daha yüksek gizli ısıya sahiptir. Bu nedenle yakıt püskürtme anında ve uzun tutuşma gecikmesi süresinde daha fazla miktarda ısı emmesine neden olur (Devan ve Mahalakshmi, 2009).



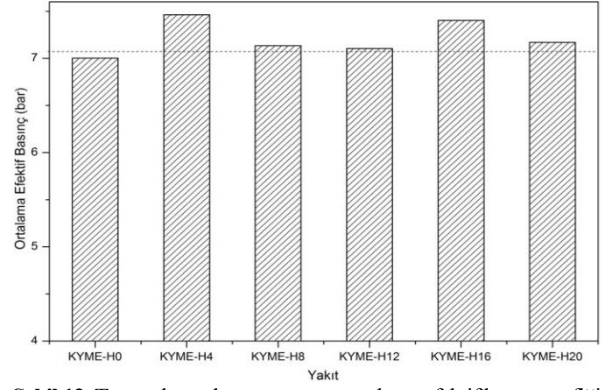
Şekil 10. Tam yükte yakıt türüne göre tutuşma gecikmesi süresinin değişimi

Şekil 11’de maksimum egzoz gazı sıcaklığı gösterilmiştir. Maksimum egzoz gazı sıcaklığı KYME-H4 yakıtında 578 °C olurken KYME-H0 yakıtında 569 °C olmuştur. Maksimum egzoz gazı sıcaklığı KYME-H8, KYME-H12, KYME-H16 ve KYME-H20 yakıtlarında sırasıyla 565, 575, 560 ve 561 °C olmuştur. Egzoz gazı sıcaklığının artması tutuşma gecikmesi ile açıklanabilir. Uzun tutuşma gecikmesi süresi yanma işlemi genişleme strokuna kaydıracağından silindir içi sıcaklık ve basıncı düşürecektir. Buda egzoz gazı sıcaklığının düşmesine neden olduğu düşünülebilir (Yoon ve Lee, 2012).

Şekil 12’de ortalama efektif basınç grafiği incelendiğinde ortalama efektif basınç değeri en yüksek KYME-H4 yakıtında 7.46 bar olurken diğer test yakıtlarında sırasıyla KYME-H0’da 7.00, KYME-H8’de 7.13, KYME-H12’de 7.10, KYME-H16’da 7.40 ve KYME-H20’de 7.17 bar olmuştur.



Şekil 11. Tam yükte yakıt türüne göre egzoz gazı sıcaklığı grafiği



Şekil 12. Tam yükte yakıt türüne göre ortalama efektif basınç grafiği

4.SONUÇLAR

- Kanola Yağı Metil Esteri biyodizel yakıtına n-heptan katılması tüm karışım oranlarında moment ve güçte artış sağlamış ve maksimum moment ve güç KYME-H4 yakıt karışımıyla elde edilmiştir. n-heptan ilave edilen yakıtların moment ve güçleri KYME-H0 yakıtına göre daha yüksek olmuştur.
- Maksimum silindir gaz basıncı KYME-H4 yakıtında meydana gelmiştir. n-heptan karışımıyla moleküller arası bağın kırılmasıyla viskozitenin azalmasına bağlı maksimum silindir gaz basıncındaki artış olmuştur. Maksimum ısı yayılımı kontrolsüz yanma safhasında KYME-H4 yakıtında meydana gelmiştir. n-heptan karışım yüzdesinin artmasıyla birlikte maksimum ısı yayılımı azalmaktadır.
- En kısa tutuşma gecikmesi KYME-H4 yakıtında olmuştur. Tutuşma gecikmesi süresinin artmasıyla egzoz gazı sıcaklığı düşmektedir.
- Yapılan deneyler sonucunda en iyi sonucu veren n-heptan yüzdesi %4 olmuştur. n-heptan karışım yüzdesinin artmasıyla motor gücü ve momentteki artış da düşmektedir. n-heptan karışımının belirli bir sınırdan tutulması motor performansı açısından önemlidir. Ayrıca n-heptan karışım yüzdesinin sınırı yakıt özelliklerini etkilediği için yakıtın kullanılabilirliği açısından da çok önemlidir.

TEŞEKKÜR

Bu deneysel çalışma Gazi Üniversitesi-Bilimsel Araştırma Birimi Tarafından 07/2013-05 No’lu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Apdulvahitoğlu, A., 2009, Performance and Exhaust Emission Characteristics Of A CI Engine Fueled With Synthesized Fuel Blends, Phd Thesis, *Cukurova University Institute Of Natural and Applied Sciences*, Adana.
- Bari, S., 2014, Performance, Combustion And Emission Tests Of A Metro-Bus Running On
- Basha, S.A. and Gopal, K.R., 2012, A Review Of The Effects Of Catalyst And Additive On Biodiesel Production, Performance, Combustion And Emission Characteristics, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 16:711-717.

- Biodiesel-ULSD Blended (B20) Fuel, *Applied Energy*, 124:35-43.
- Can, Ö., 2012, Bir DI Dizel Motorda Etanol Ön Karışımli Kısmı-HCCI Uygulamasının Yanma ve Emisyon Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Challen, B. and Baranescu, R., 1984, Diesel Engine Reference Book, Second Edition, ISBN 0-7506-2176-1, İndia.
- Çelikten, İ., Karaaslan, E., Solmaz, H., Okur, M., Polat, S., 2015, Experimental investigation of the effects of gasoline additives on engine performance and exhaust emissions, *Journal of Thermal Science and Technology*, 35(1): 87-95.
- Çetinkaya, S., 1999, Termodinamik, ISBN 975-591-071-9, Ankara.
- Çildir, O. and Çanakçı, M., 2006, An Investigation Of The Effects Of Catalyst And Alcohol Amounts On The Fuel Properties Of Biodiesel From Various Vegetable Oils, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol 21, No 2, 367-372.
- Devan, P. K. and Mahalakshmi, N. V., 2009, A Study Of The Performance, Emission And Combustion Characteristics Of A Compression Ignition Engine Using Methyl Ester Of Paradise Oil-Eucalyptus Oil Blends, *Applied Energy*, 86:675-680.
- Dhar, A. and Agarwad, A.K., 2014, Performance, Emissions And Combustion Characteristics Of Karanja Biodiesel In A Transportation Engine, *Fuel*, 119:70-80.
- Donkerbroek, A.J., 2010, Combustion In An Optical Diesel Engine Studies By Light-Based Diagnostics, ISBN/EAN 978-90-9025607-8.
- Ergen, G., 2006, Ön Isıtma Uygulanarak Kullanılan Biyodizel Yakıtının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Finesso, R. and Spessa, E., 2014, Ignition Delay Prediction Of Multiple In Diesel Engine, *Fuel*, 119:170-190.
- Ghasemi, A. Barron, R.M. and Balachandar, R., 2014, Spray-Induced Air Motion In Single And Twin Ultra-High Injection Diesel Sprays, *Fuel* 121:284-297.
- Heywood, J.B., 1988, Internal Combustion Engine Fundamentals, ISBN 0-07-028637-X.
- Kolaitis, D.I. and Founti, M.A., 2009, On The Assumption of Using n-heptane As A Surrogate Fuel For The Description Of The Cool Flame Oxidation Of Diesel Oil, *Proceedings Of The Combustion Institute*, 32:3197-3205.
- Lenin, M.A. Swaminathan, M.R. and Kumaresan, G., 2013, Performance And Emission Characteristics Of A DI Diesel Engine With A Nanofuel Additive, *Fuel* 109:362-365.
- Ma, S. Zheng, Z. Liu, H. Zhang, Q. and Yao, M., 2013, Experimental Investigation Of The Effects Of Diesel Injection Strategy On Gasoline/Diesel Dual-Fuel Combustion, *Applied Energy* 109:202-212.
- Merck KGaA, 2014, 104379 n- heptane.
- Moghaddam, M.S. and Moghaddam A.Z., 2014, Performance And Exhaust Emission Characteristics Of A CI Engine Fueled With Diesel-Nitrogenated Additives, *Chemical Engineering Research And Design*, 92 (4):720-726.
- Özener, O. Yüksel, L. Ergenç, A.T. and Özkan, M., 2012, Effects Of Soybean Biodiesel On A DI Diesel Engine Performance, Emission And Combustion Characteristics, *Fuel* 115:875-883.
- Özsezen, A. N., 2007, Atık palmiye Yağından Üretilen Biyodizelin Motor Performans ve Emisyon Karakterleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Park, S.H. Kim, H.J. Suh, H.K. and Lee, C.S., 2009, Experimental and Numerical Analysis of Spray-Atomization Characteristics of Biodiesel Fuel In Various Fuel and Ambient Temperatures Condition, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30:960-970.
- Polat, S. Solmaz, H. Yücesu, H. S. and Uyumaz, A., 2013, Bir Dizel Motorun Bilgisayar Yardımı İle Termodinamik Ve Performans Analizi, *GU J Sci Part C*, 1(3):139-151.
- Rakopoulos, D.C., 2013, Combustion And Emissions Of Cottonseed Oil And Its Bio-Diesel In Blends With Either N-Butanol Or Diethyl Ether In HSDI Diesel Engine, *Fuel* 105:603-613.
- Rao, G. L. N. Prasad, B. D. Sampath, S. and Rajagopal, K., 2007, Combustion Analysis of Diesel Engine Fueled with Jatropha Oil Methyl Ester - Diesel Blends, *International Journal of Green Energy*, 4: 645-658.
- Safgönül, B. Erganeman, M. Arslan, E. and Soruşbay, C., 1995, İçten Yanmalı Motorlar, ISBN 975-511-119-0, İstanbul.
- Sakthivel, G. Nagarajan, G. Ilangkumaran, M. and Gaigwad, A.B., 2014, Comparative Analysis Of Performance, Emission And Combustion Parameters Of Diesel Engine Fuelled With Ethyl Ester Of Fish Oil And Its Diesel Blends, *Fuel*, 132:116-124.
- Sayın, C., 2013, Diesel Engine Emissions Improvements By The Use Of Sun Flower Methyl Ester /Diesel Blends, *Journal of Thermal Science and Technology*, 33, 2, 83-88.
- Thoo, W.J. Kevric, A. Ng, H.K. Gan, S. Shayler, P. and Rocca, A.L., 2014, Characterisation Of Ignition Delay Period For A Compression Ignition Engine Operating On Blended Mixtures Of Diesel And Gasoline, *Applied Thermal Engineering*, 66:55-64.
- Solmaz, H., 2015, Cpmbustion performance and emission characteristics of fusel oil in a spart igtinion engine, *Fuel Processing Technology*, 133:20-28.
- Türkcan, A. Çanakçı, M. Özsezen, A.N. and Sayın, C., 2009, Investigation Of Combustion Characteristics Of A

Diesel Engine, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(1):1-10.

Vallinayagam, R. Vedharaj, S. Yang, W.M. Lee, P.S. Chua, K.J.E. and Chou, S.K., 2013, Combustion Performance And Emission Characteristics Study Of Pine Oil In A Diesel Engine, *Energy* 57:344-351.

Velmurugan, A. Loganathan, M. and Gunasekaran, E.J., 2014, Experimental Investigations On Combustion, Performance And Emission Characteristics Of Thermal Cracked Cashew Nut Shell Liquid (TC-CNSL)–Diesel Blends In A Diesel Engine, *Fuel* 132:236-245.

Xue, J. Grift, T.E. and Hansen, A.C., 2011, Effect Of Biodiesel On Engine Performances And Emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:1098-116.

Yılmaz, E., Solmaz, H., Polat, A., Şahin, F., Salman, M.S., 2014, Preparation of diesel emulsion using

auxiliary emulsifier mono ethylene glycol and utilization in a turbocharged diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 86:979-980.

Yılmaz, E., Solmaz, H., Polat, S., Altın, M., 2013, Effects of the three-phase diesel emulsion fuels on engine performance and exhaust emissions, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(1):127-134.

Yoon, S. H. and Lee, C. S., 2012, Experimental Investigation On The Combustion And Exhaust Emission Characteristics Of Biogas-Biodiesel Dual-Fuel Combustion In A CI Engine, *Fuel Processing Technology*, 92:992-1000.



Mehmet ÇELİK, 1978 yılında Konya’da doğdu. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2002 yılında Selçuk Üniversitesi Çumra Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2005 yılında Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. 2011 yılında Niğde Üniversitesi Niğde Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda çalışmaya başladı ve halen aynı kurumda görevine devam etmektedir. 2015 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında doktora eğitimini tamamladı. İçten yanmalı motorlarda yanma analizi, emisyonlar, alternatif yakıtlar ve otomotiv mekatroniği başlıca çalışma alanlarıdır. Bekar ve iki çocuk babasıdır.



Hamit SOLMAZ, 1985 yılında İzmir’de doğdu. 2008 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. Staj eğitimi için 3,5 ay boyunca Almanya’da bulundu. Borusan Otomotivde parça danışmanlığı ve stok kontrol uzmanlığı yaptı. 2009 yılında mezun olduğu bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2010 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. 2014 yılında aynı Anabilim Dalında doktora eğitimini tamamladıktan sonra bir yıl süreyle (2015-2016) Tübitak 2219 burs programı kapsamında Michigan Technological University’de doktora sonrası araştırmalarda bulundu. İçten yanmalı motorlarda yanma analizi, emisyonlar, alternatif yakıtlar, motor dinamiği ve titreşimleri başlıca çalışma alanlarıdır. Evli ve bir çocuk babasıdır.



H.Serdar Yücesu, 1964 yılında Elazığ’da doğdu. 1986 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 1986 yılında Kahramanmaraş Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinde öğretmen olarak göreve başladı. 1989 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 1991 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. 1996 yılında aynı Anabilim Dalında doktora eğitimini tamamladı. 1998 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Yardımcı Doçent olarak göreve başladı. 2000 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Doçent olarak göreve başladı. 2011 yılında Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde Profesör olarak göreve başladı ve aynı kurumda göreve devam etmektedir. İçten yanmalı motorlar, termodinamik, enerji dönüşümü ve motorlu taşıtlar başlıca çalışma alanlarıdır. Evli ve iki çocuk babasıdır.



Emre Yılmaz, 1981 yılında Kocaeli’nde doğdu. 2005 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2013 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. Halen aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.