

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

Mehmet ÇELİK<sup>1</sup>, Hamit SOLMAZ<sup>2</sup>, H. Serdar YÜCESU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Niğde Üniversitesi, Niğde Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 51200, Niğde, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye

[mehmetcelik@nigde.edu.tr](mailto:mehmetcelik@nigde.edu.tr), [hsolmaz@gazi.edu.tr](mailto:hsolmaz@gazi.edu.tr), [yucesu@gazi.edu.tr](mailto:yucesu@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 01.07.2014; Kabul/Accepted: 23.07.2015)

## ÖZET

Yakıt katkılarının dizel motor performansına etkileri birçok araştırmacı tarafından çalışılmış ve umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Katkı maddeleri yanma esnasında katalizör etkisi göstererek yakıt kararsızlığı reaksiyonlarını hızlandırmakta ve motor performansı üzerinde olumlu etkiler oluşturmaktadır. Bu çalışmada; rafine edilmiş pamuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiş, üretilen biyodizellere belirli oranlarda n-heptan katılmış ve test edilmiştir. Deneyler tek silindirli bir dizel motorunda sabit devirde ve tam yükte yapılmıştır. Pamuk metil esteri (PH0) yakıtı içerisine n-heptan ilavesi yakıt atomizasyonunu iyileştirmiş ve yanma verimliliği artmıştır. Maksimum güç artışı %8 n-heptan içeren pamuk metil esteri ile (PH8) %7.52 olmuştur. Tüm yakıtlar için maksimum silindir gaz basınçları ve maksimum ısı yayılımı hemen hemen aynı krank açısında oluşmuştur. Çalışmada %8 n-heptan karışımı motor performans ve yanma özellikleri bakımından en iyi sonucu vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Pamuk metil esteri, yakıt katkı maddesi, yanma karakteristikleri, motor performansı

## EXAMINATION OF THE EFFECTS OF N-HEPTAN ADDITION TO COTTON METHYL ESTER ON THE ENGINE PERFORMANCE AND COMBUSTION CHARACTERISTICS

### ABSTRACT

The fuel additives have been studied by many researchers on diesel engine performance and encouraging results have been obtained. During the combustion fuel additives provide the catalyst effect, accelerates the reaction instability and create positive effects on engine performance. In this study; biodiesel was produced by transesterification from the refined cottonseed oil, a certain amount of n-heptane were added in biodiesel and combustion and performance tests were conducted. The experiments was made in a single-cylinder diesel engine at a constant speed and full load. n-heptane added into the cotton methyl ester (PH0) fuel improved the fuel atomization therefore combustion efficiency increased. The maximum power increase was 7.52% in cotton methyl ester fuel containing 8 % n-heptan (PH8). The maximum gas pressure and maximum heat release are formed in almost the same crank angle for all fuels. The 8% n-heptane mixture given the best results in terms of engine performance and combustion characteristics.

**Keywords:** Cottonseed methyl ester, fuel additive, combustion characteristics, engine performance

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada her geçen gün artış göstermekte olan nüfus, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler enerji tüketiminde artışlara yol açmakta ve çevre kirliliğine de önemli derecede olumsuz etkisi olmaktadır [1].

Azalan petrol rezervleri ve artan çevre bilinci ile birlikte yenilenebilir enerji kaynakları daha fazla ilgi çekmektedir [2]. Bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan ve atık yağlardan üretilen biyodizel dizel motorlarda en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir [3,4].

27 Eylül 2011 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanan tebliğe göre; dizel yakıtı içerisinde 1 Ocak 2014 tarihinden itibaren %1, 1 Ocak 2015 tarihinden itibaren %2 ve 1 Ocak 2016 tarihinden itibaren %3 yerli tarım ürünlerinden üretilmiş biyodizelin kullanımı zorunlu hale getirilmiştir [5]. Dizel ile kıyaslandığında biyodizelin çok fazla avantajı bulunmaktadır. Aromatik içermez, sülfür yoktur ve %10-12 ağırlığında oksijen içerir [2]. Dizel motorlarında kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri motor performansı, yakıt ekonomisi ve emisyon karakteristiklerini etkilemektedir [6]. Motor performansı; enjekte edilen yakıtın kalitesi, yanma odasındaki hava/yakıt karışımı, yakıtın atomizasyonu, buharlaşması, yakıtın yoğunluğu ve viskozitesi ile alakalıdır [7]. Yakıtın yoğunluğu motor performansını direkt etkileyen bir özelliktir. Setan sayısı ve alt ısı değer gibi birçok özellik yakıtın yoğunluğu ile ilgilidir. Yakıtın yoğunluğu ve viskozitesi yakıt püskürtme özelliklerini etkilediğinden; motor performansı, yanma ve emisyon karakteristikleri üzerinde etkiye sahiptir [2].

Motor performansı ve egzoz emisyonlarını azaltmak için birçok araştırma yakıt katkılarına odaklanmıştır. Yakıt özellikleri ve yanmayı iyileştirmek için yakıt katkıları kullanılabilir [8]. Yakıt katkısının dizel motor performansına ve yanma karakteristiklerine etkilerini incelemek amacıyla birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [9]. Katkı maddeleri yanma esnasında katalizör etkisi göstererek yakıt kararsızlığı reaksiyonlarını hızlandırır [11]. Biyodizel yüksek viskozite ve yoğunluğa sahiptir. Setan sayısının artışı tutuşma gecikmesi süresinin kısılmasına etkili olduğundan düşük yüklerde motora ilk hareket vermeyi kolaylaştırdığı ve motor performansının iyileştiği ifade edilmektedir [10]. Bir motorda yanma karakteristikleri; motor performansı ve 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

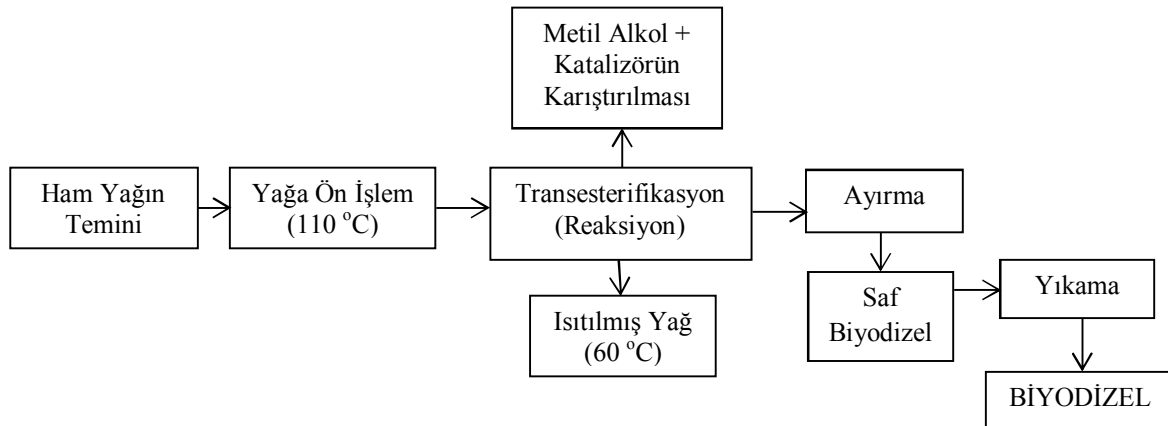
olarak incelenmektedir [11-12].

Bu çalışmada biyodizel üretimi için; bitkisel üretim maliyetlerinin çok olması, tohumundan üretilen yağın alternatif kullanım alanları olmaması sebebiyle ülkemizde ekim alanı azalan pamuk bitkisinin tohumundan elde edilen pamuk yağı tercih edilmiştir. Biyodizelin motor performansını etkileyen yakıt özelliklerini iyileştirmek amacıyla içerisinde n-heptan katılarak alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilebilmesi düşünülmüştür.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHODS)

Deneylerde kullanılan biyodizel rafine edilmiş pamuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiştir. Katalizör olarak NaOH (3.5 g/L) ve Metanol (hacimce %20) kullanılmıştır. Transesterifikasyon akış şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.

Reaksiyon  $60 \pm 1$  °C sabit sıcaklık altında 1 saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Biyodizel ve gliserin ayrışmasından sonra yıkama yapılmıştır. Biyodizel üretimi için daha önce yapılan çalışmalarda maksimum biyodizel veriminin elde edildiği üretim parametreleri seçilmiştir [35, 36, 37, 38]. Elde edilen pamuk metil esteri içerisinde hacimce %4, %8, %12, %16 ve %20 oranlarında n-heptan katılmıştır. Pamuk metil esteri ve n-heptan karışımları adlandırması ve bunlara ilişkin kısaltmalar içerisinde n-heptan yüzdesine göre yapılmıştır. Buna göre katkısız pamuk metil esteri (PH0), hacimce %4 n-heptan katıldığında (PH4), hacimce %8 n-heptan katıldığında (PH8), hacimce %12 n-heptan katıldığında (PH12), hacimce %16 n-heptan katıldığında (PH16) ve hacimce %20 n-heptan katıldığında (PH20) kısaltmaları kullanılmış, bu yakıtların bazı özellikleri Tablo 1’de görülmektedir. Tablo 1 incelendiğinde hacimce %8 n-heptan oranından sonraki artışlarda yakıt özellikleri yakıtın kullanılabilirliğini olumsuz etkilemektedir. n-heptan oranı arttıkça parlama noktası değerleri çok düşmektedir. n-heptane  $H_3C(CH_2)_5CH_3$  veya  $C_7H_{16}$  formülüne sahip düz zincirli alkandır. n-heptane kimyasal özellikleri Tablo 2’de görülmektedir.



Şekil 1. Transesterifikasyon akış şeması (Transesterification Flowing Scheme)

n-heptane setan sayısı yanma verimliliğini arttıran karışım özelliklerinden dolayı yüksektir [13]. n-heptane dizele alternatif yakıt olarak da kullanılmaktadır. Dizele benzer yanma özellikleri gösteren bileşen türlerinden oluşur. Tutuşma özelliği, buharlaşma, yanma verimliliği ve kirletici emisyon oluşumu gibi birçok özellik yönünden dizele uyum sağlar [14]. Yüksek ucuculuk özelliği püskürtme sırasındaki atomizasyon ve buharlaşmanın iyileşmesine ve sonuç olarak yanmayı başlatabilecek bölgesel hava/yakıt karışımlarının daha kolay hazırlanabilmesini sağlar. Bu nedenle özellikle düşük sıcaklık ve düşük basınçta soğuk alev bölgesinde daha iyi yanma özellikleri sergilemektedir [15].

**Tablo 1.** Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Chemical and physical properties of the test fuels)

Yakıt	Kinematik Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)	Parlama Noktası (°C)	Yoğunluk 15 °C (g/ml)
PH0	4.60	175	0.885
PH4	3.59	102	0.876
PH8	3.01	53	0.872
PH12	2.70	21	0.865
PH16	2.38	17	0.855
PH20	2.10	10	0.850

**Tablo 2.** n-heptane Kimyasal Özellikleri (Chemical properties of the n-heptane) [16]

	Birim	Limit
Formül	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> veya C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	
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 <sup>2</sup> /s	0.559
Parlama Noktası	°C	-1
Buhar Basıncı	20 °C'de kPa	4.8

Çalışmada; Tablo 3'de teknik özellikleri verilen tek silindirli bir dizel motoruna motor yükleme donanımı olarak Cussons marka P8160 tipi motor deney düzeneği kullanılmıştır. İndikatör sistemi; Cussons marka P4100 model yanma analiz cihazı, AVL marka 3009 model şarj amplifikatörü, AVL marka sensörler ve National Instruments marka veri aktarım kartı ile enkoderden oluşmaktadır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 2'de görülmektedir.

Ham silindir basıncı değerlerinde zamana bağlı olarak oluşan kayma ölçülen ham verilerde bir takım farklılıklar gerçekleşebilmekte ve oluşan bu farklılıklar 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. Daha sonra çevrimsel farklılıkların etkisini ortadan kaldırmak amacıyla 50 adet ardışık çevrimin düzeltmeleri yapılmış ve analizler için ortalaması alınmıştır [17]. Motor deneyleri maksimum momentin elde edildiği 2200 d/d sabit devirde ve tam yükte yapılmıştır.

**Tablo 3.** Deney motorunun teknik özellikleri (Technical specification of the test engine)

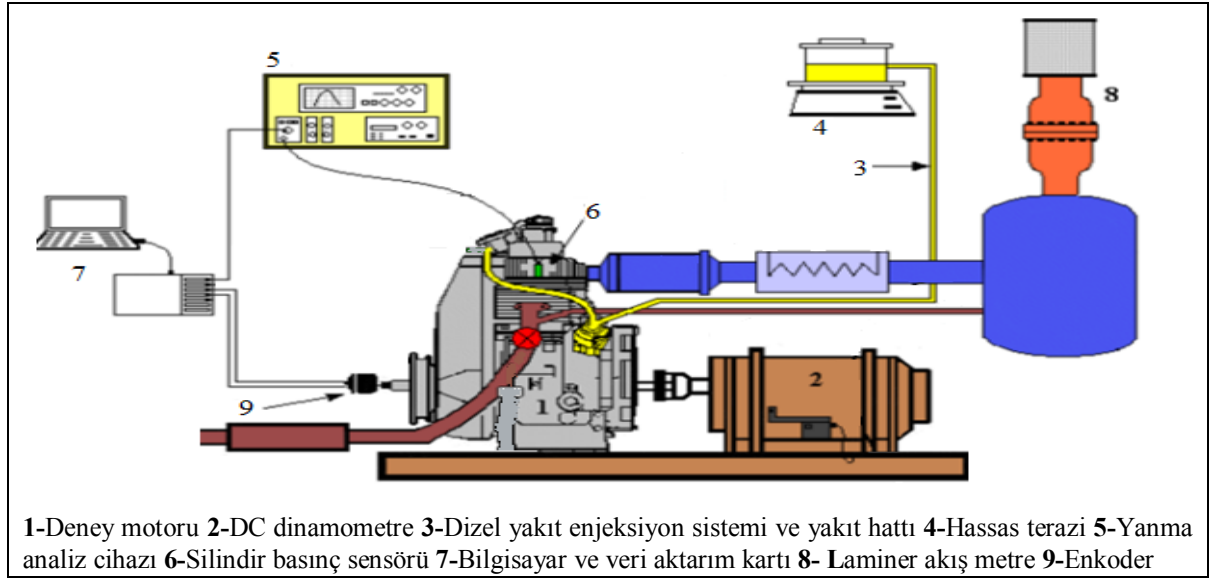
	Özellikler
Motor Tipi	DI dizel motoru
Silindir Sayısı	1
Silindir çapı (mm)	86
Kursu (mm)	68
Strok hacmi (cm <sup>3</sup> )	395
Sıkıştırma oranı	18:1
Maksimum motor devri (d/d)	3600
Maksimum motor gücü	5.4 (3000 d/d'da)
Maksimum moment (Nm)	19.6 (2200)

İndikatör sistemi silindir basınç sensörü, yakıt hat basınç sensörü, şarj amplifikatörleri, enkoder, veri aktarım kartı ve bilgisayardan oluşmaktadır. İndikatör sisteminde; AVL marka 8QP500c model su soğutmalı quartz silindir basınç sensörü kullanılmıştır [17].

Silindir içi basınç verileri ısı dağılım oranını hesaplamak için kullanılmıştır. Isı dağılım oranı termodinamiğin birinci yasası uygulanarak Eş. 1 ile hesaplanmıştır.

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

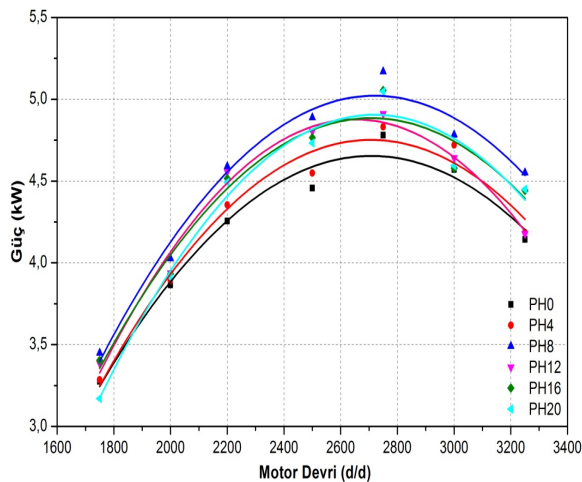
Isı dağılım oranı hesaplanırken silindir duvarına olan ısı transferi ihmal edilmiştir. Segmanlarda ve supaplarda meydana gelen gaz kaçağına bağlı olarak silindir içi kütle değişmediği kabul edilmiştir. Aynı zamanda silindir içerisindeki dolgunun ideal gaz olduğu ve yanma odasındaki termodinamik özelliklerin düzenli olduğu kabulleri yapılmıştır [25].



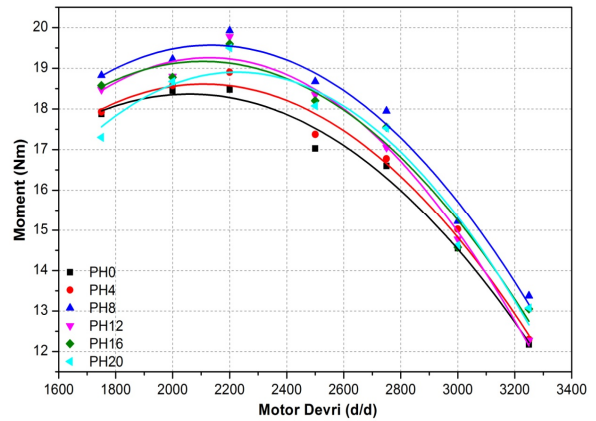
Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik görünümü ( Schematic view of the experimental setup)

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Şekil 3 ve Şekil 4'de pamuk metil esteri n-heptan karışımının motor devir sayısına bağlı moment ve güç değişimleri görülmektedir. Moment eğrisi incelendiğinde maksimum moment 2200 d/d'de PH8 yakıtı ile 19.92 Nm olarak elde edilmiştir. PH0, PH4, PH12, PH16 ve PH 20 'da yakıtlarında 2200 d/d'de maksimum moment sırasıyla 18.47 – 18.9 – 19.77 – 19.6 – 19.5 Nm elde edilmiştir. Maksimum güç 2750 d/d'de PH8 yakıtında 5.16 kW elde edilirken PH0 göre PH8 yakıtında %7.52 güç artışı olmuştur. Diğer n-heptan karışımlarının 2750 d/d'de PH0 yakıtına göre güç değişimi ise sırasıyla PH4'de %1.04, PH12'de %2.63, PH16'da %5.41 ve PH20'de %5.27 artış olmuştur.



Şekil 3. Motor gücünün motorun devir sayısı ile değişimi (tam yük) (Change of engine power with engine speed-full load)

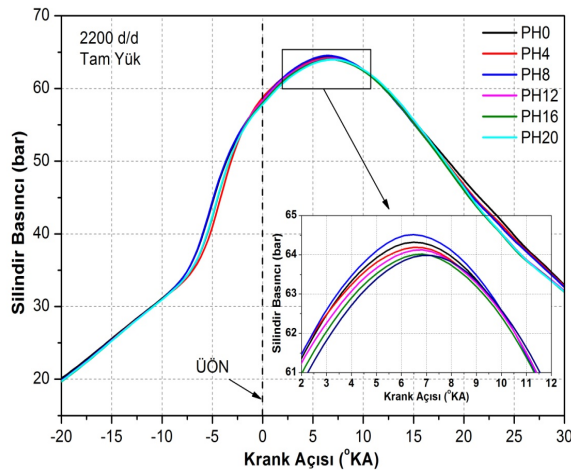


Şekil 4. Motor momentinin motorun devir sayısı ile değişimi (tam yük) (Change of engine torque with engine speed-full load)

Motor gücünün düşük devirlerde yanma veriminin kötü olmasından dolayı düşük çıktığı düşünülmektedir. Orta devirlerde yanmanın iyileşmesinden dolayı bütün test yakıtları için motor gücü artış göstermektedir. Ancak orta devirlerden sonraki devirlerde motor gücü düşmektedir. Bu durum artan devirle birlikte yanma için ayrılan sürenin azalması ve sürtünmelerdeki artışla izah edilebilir [18]. 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 PH0 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 [15]. Xue ve ark. [19] yapmış oldukları çalışmada biyodizelin viskozite ve yoğunluğundaki azalmanın motor gücü ve torkunu olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir. 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.

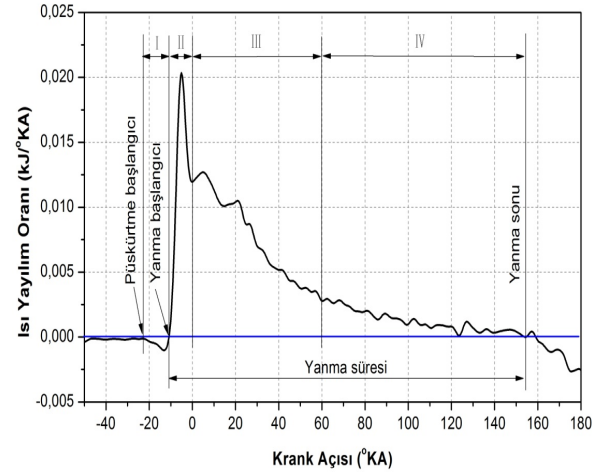
Şekil 5'de tam yükte silindir gaz basınç grafiği görülmektedir. Maksimum silindir gaz basıncı PH8 yakıtında 64.51 bar ve ÜÖN'dan yaklaşık 6.48 °KA sonra meydana gelmiştir. Bir dizel motorunun en iyi yakıt ekonomisi, maksimum yanma sonu basıncının ÜÖN'dan 6-10 °KA sonraya rastlaması durumunda elde edilebilmektedir [20]. n-heptan karışımıyla moleküller arası bağın kırılmasıyla viskozitenin azaldığı ve setan sayısının arttığı düşünüldüğünde maksimum silindir gaz basıncındaki artış anlaşılabilir [21]. Zhang ve Boehman [22] yapmış oldukları çalışmada n-heptanın dizel motorlarda kullanımında maksimum silindir gaz basıncı ve sıcaklığında ciddi artışlar olduğunu belirtmişlerdir. 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 [23]. 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 grafikleri incelendiğinde silindir gaz basınçlarındaki artışın güç grafiği ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Silindir içi gaz basıncının krank açısı ile değişimi (Variation in-cylinder gas pressure with crank angle)

Şekil 6'da tam yükte elde edilmiş örnek bir ısı yayılımı grafiği görülmektedir. Dizel motorlarda enjeksiyon başlangıcı ve yanma başlangıcı arasında geçen süre tutuşma gecikmesi olarak adlandırılmaktadır (I. Bölge). Tutuşma gecikmesi;

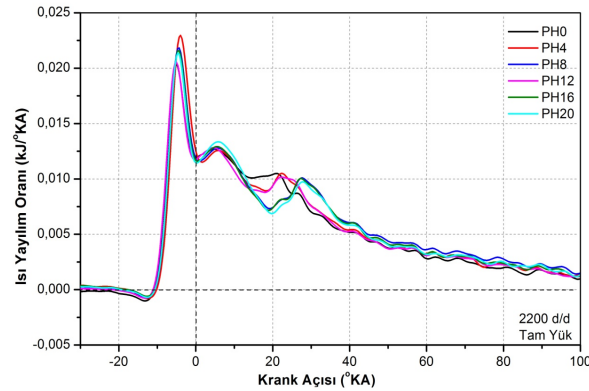
fiziksel gecikme ve kimyasal gecikme süresi olarak tanımlanır [24,25]. Püskürtülen yakıt yanma odası boyunca küçük damlacıklara ayrılarak buharlaşır. Yakıtın yanmaya hazır hale gelmesi için geçen süreye fiziksel gecikme denir. Fiziksel gecikme süresi yakıt damlacıklarının buharlaşması ve atomizasyonu 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 [26].



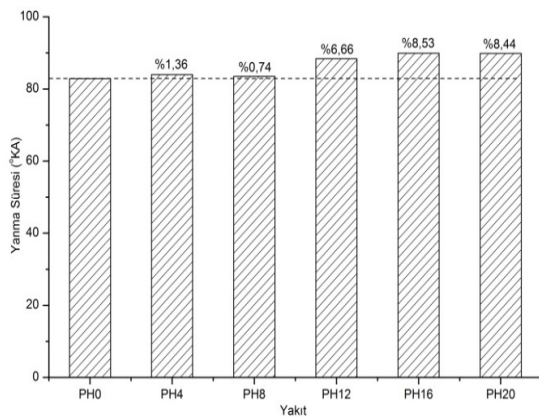
Şekil 6. Yanma fazları ve yanma süresinin belirlenmesi (Combustion phases and determination of combustion duration)

Tutuşma gecikmesi süresinde yakıt buharlaşırken ortamdan ısı çektiği için ısı yayılımı negatif olur daha sonra ısı yayılımının pozitifte döndüğü yer yanma başlangıcı olarak tanımlanır. Tutuşma gecikmesi bittikten sonra kontrolsüz yanma safhası başlar (II. Bölge). Kontrolsüz yanma safhasında ısı yayılımının yüksek olmasının en önemli nedeni tutuşma gecikmesi süresinde püskürtülen yakıt miktarının artmasıdır [27]. Dizel yanmasının, ana yanmayı oluşturan üçüncü fazı difüzyon kontrollü yanma safhasıdır (III. Bölge). Bu safhada ısı yayılımı eğrisinde bir miktar artış olmaktadır. Bu artışın değeri püskürtülen yakıt miktarına ve yakıtın oksitlenme miktarına bağlıdır [11]. Yakıt buharının buharlaşma ve hava ile karışma hızı, yanma hızını belirlemektedir. Yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma fazı başlamakta olup (IV. Bölge), silindire yakıt püskürtme işlemi bitmiştir. Art yanmada, yanma hızı difüzyon hızı ve karışım oluşum hızı ile belirlenmektedir. Daha önce püskürtülen ve yanma fırsatı bulamayan yakıt, oksijen buldukça yanmakta ve bu safhayı meydana getirmektedir. Isı yayılımının bu yanma fazında sıfıra düştüğü nokta yanma sonu olarak tanımlanmaktadır. Yanmanın egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir [28,29]. Isı yayılımının negatiften pozitifte döndüğü nokta (yanma başlangıcı) ile pozitiften negatife döndüğü nokta (yanma sonu) arası yanma süresini belirlemektedir.

Şekil 7’de tam yükte test yakıtları ile elde edilen ısı yayılım eğrileri görülmektedir. Grafik incelendiğinde kontrolsüz yanma safhasında maksimum ısı yayılımının PH4 yakıtında 0.0230 kJ/°KA olarak meydana geldiği görülmektedir. Daha sonra sırasıyla PH8, PH16, PH20, PH12 ve PH0 yakıtlarında 0.0220 – 0.0215 – 0.0213 – 0.0205 – 0.0203 kJ/°KA olmuştur. Maksimum ısı yayılımı krank açısına göre birbirine çok yakın noktalarda meydana gelmiştir. Şekil 8’de tam yükte yakıt türüne göre yanma süresinin değişimi görülmektedir. Yanma süresi; yanmanın başladığı nokta ile kümülatif ısı yayılımının % 90 olduğu krank açısı arasındaki süreye göre hesaplanmaktadır [27]. Tutuşma gecikmesinin fazla olması sonucu yanma başlangıcı daha geç °KA konumunda gerçekleşir. Bunun sonucunda ısı yayılım oranındaki çok hızlı bir şekilde artar ve yanma süresi kısalmır. [17]. Minimum yanma süresi PH0 yakıtında meydana gelmiştir. Dizel ile kıyaslandığında biyodizel %10-12 ağırlığında oksijen içerir. Yakıt içerisindeki n-heptan karışım oranının artması ile yakıt içerisindeki oksijen içeriğinin azalması ve setan sayısının artması nedeniyle yanma süresinin arttığı görülmüştür [30,31].



Şekil 7. Isı yayılımı oranının krank açısı ile değişimi (Variation heat release of rate with crank angle)

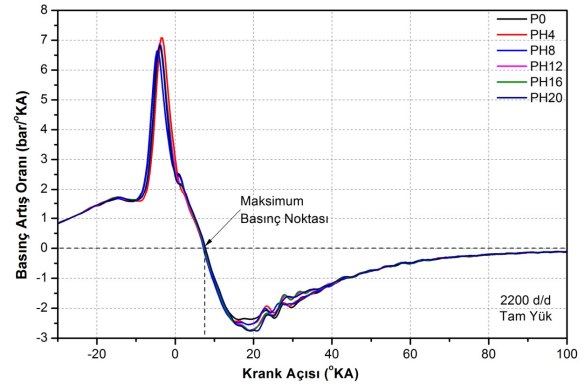


Şekil 8. Yakıt türüne göre yanma süresinin değişimi (tam yük) (Change of fuel type combustion time-full load)

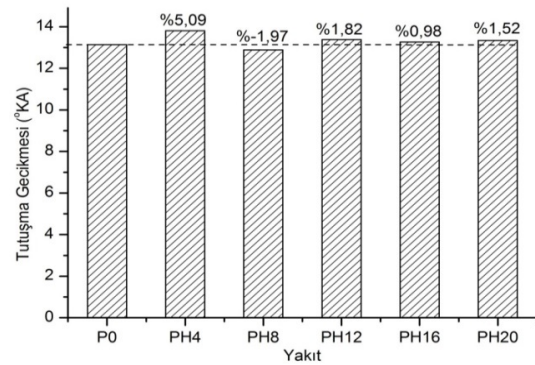
Şekil 9’da basınç artış oranı grafiği görülmektedir. Yakıt içerisindeki n-heptan oranının artmasıyla birlikte

maksimum basınç artış oranı artmaktadır. Tüm test yakıtlarında maksimum basınç artış oranı hemen hemen aynı °KA meydana gelmektedir. Bu n-heptan karışım oranının artmasıyla parlama noktasının azalmasından kaynaklandığı düşünülebilir [31]. Tutuşma gecikmesi ve yanma süresinin uzayarak genişleme zamanına kayması maksimum basınç artış oranı üzerinde etkiye sahiptir [17].

Şekil 10’da tutuşma gecikmesi grafiği görülmektedir. En kısa tutuşma gecikmesi PH8 yakıtında 12.88 °KA olmuştur. Tutuşma gecikmesi PH0, PH4, PH12, PH16 ve PH20 yakıtlarında sırasıyla 13.14 – 13.81 – 13.38 – 13.27 ve 13.34 °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 [32].



Şekil 9. Basınç artış oranının krank açısı ile değişimi (Variation pressure rise of rate with crank angle)

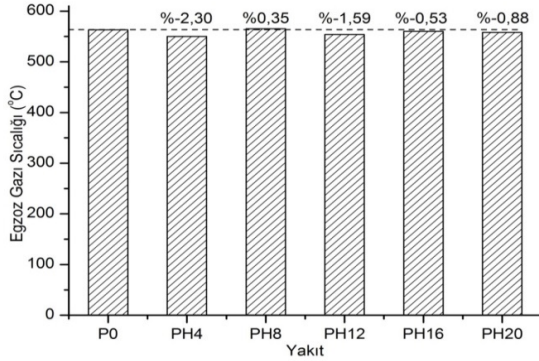


Şekil 10. Yakıt türüne göre tutuşma gecikmesi süresinin değişimi (tam yük) (Change of fuel type ignition delay period-full load)

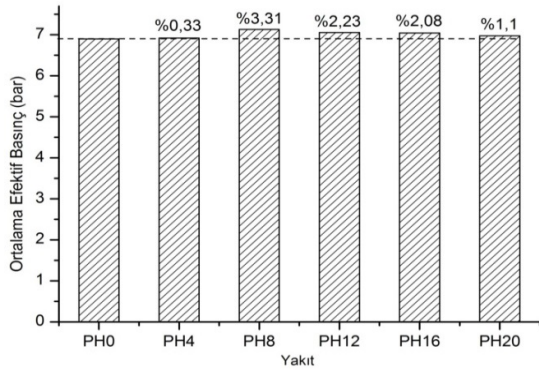
Şekil 11’de maksimum egzoz gazı sıcaklığı görülmektedir. Maksimum egzoz gazı sıcaklığı PH8 yakıtında 565 °C olurken PH0 yakıtında 563 °C olmuştur. Maksimum egzoz gazı sıcaklığı PH4, PH12, PH16 ve PH20 yakıtlarında sırasıyla 550, 554, 560 ve 558 °C olmuştur. Egzoz gazı sıcaklığının artması tutuşma gecikmesi 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 [33].

Şekil 12’de ortalama efektif basınç grafiği incelendiğinde en yüksek ortalama efektif basınç değeri PH8 yakıtında oluşmaktadır. Maksimum ortalama efektif basınç 7.12 bar olurken diğer test yakıtlarında sırasıyla PH0’da 6.90, PH4’de 6.92, PH12’de 7.05, PH16’da 7.04 ve PH20’de 6.97 bar olmuştur.



Şekil 11. Yakıt türüne göre egzoz gazı sıcaklığı değişimi (tam yük) (Change of fuel type exhaust gas temperature-fuel load)



Şekil 12. Yakıt türüne göre ortalama efektif basınç değişimi (tam yük) (Change of fuel type mean effective pressure-full load)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Maksimum moment ve güç PH8 yakıtında elde edilmiştir. n-heptan ilave edilen yakıtların moment ve güçleri PH0 yakıtına göre daha yüksek olmuştur.

Maksimum silindir gaz basıncı PH8 yakıtında 64.51 bar ve ÜÖN’den yaklaşık 6.48 °KA sonra meydana gelmiştir. n-heptan karışımıyla moleküller arası bağın kırılmasıyla viskozitenin azalmasına bağlı maksimum silindir gaz basıncındaki artış olmuştur. Maksimum ısı yayılımı kontrolsüz yanma safhasında PH4 yakıtında meydana gelmiştir. Daha sonra sırasıyla PH8, PH16, PH20, PH12 ve PH0 yakıtlarında olmuştur. Maksimum ısı yayılımı ve maksimum silindir gaz basınçları krank açısına göre birbirine çok yakın

noktalarda meydana gelmiştir. n-heptan karışım yüzdesinin artmasıyla birlikte maksimum ısı yayılımı azalmaktadır.

En kısa tutuşma gecikmesi PH8 yakıtında olmuştur. Tutuşma gecikmesi süresinin artmasıyla egzoz gazı sıcaklığı düşmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda en iyi sonucu veren n-heptan yüzdesi %8 olmuştur. n-heptan karışım yüzdesinin artmasıyla motor gücü ve momentteki artış da düşmektedir. n-heptan karışımının belirli bir sınırdaki tutulması motor performansı açısından önemlidir. Ayrıca n-heptan karışım yüzdesinin sınırı yakıt özelliklerini etkilediği için yakıtın kullanılabilirliği açısından da çok önemlidir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDMENT)

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

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Keskin, A. Ocakoğlu, K. Reşitoğlu, İ.A. Gürü, M., “Influence of Titanium Based Fuel Additive on Diesel Engine Performance and Emission”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 28, No 3, 671-676, 2013.
2. Alptekin, E. Çanakcı, M., “Determination of the Density and the Viscosities of Biodiesel– Diesel Fuel Blends”, **Renewable Energy**, Cilt 33, 2623-2630, 2008.
3. Lopez, D.E. Goodwin J.G. David A. Bruce, D.A. Lotero, E., “Transesterification of Triacetin with Methanol on Solid Acid and Base Catalysts Applied Catalysis”, **A: General**, Cilt 295, 97-105, 2005.
4. Çelikten, İ. Gürü, M. “Improvement of Performance and Emission Criterias of Petrodiesel and Rapeseed Oil Biodiesel with Manganese Based Additive”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 26, No 3, 643-648, 2011.
5. Resmi Gazete, 27 Eylül 2011 tarih 28067 sayı.
6. Thoo, W.J. Kevric, A. Ng, H.K. Gan, S. Shayler, P., “Characterisation of Ignition Delay of Period for a Compression Ignition Engine Operating on Blended Mixtures of Diesel and Gasoline”, **Applied Thermal Engineering**, Cilt 66, 55-64, 2014.
7. Park, S.H. Kim, H.J. Suh, H.K. Lee, C.S., “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**, Cilt 30, 960-970, 2009.

8. Keskin, A. Gürü, M. Altıparmak, D., "Influence of Metallic Based Fuel Additives on Performance and Exhaust Emissions of Diesel Engine", **Energy Conversion and Management**, Cilt 52, 60-65, 2011.
9. Shahabuddin, M. Liaquat, A.M. Masjuki, H.H. Mofijur, M., "Ignition Delay, Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engine Fueled with Biodiesel", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Cilt 21, 623-632, 2013.
10. Vallinayagam, R. Vedharaj, S. Yang, W.M. Lee, P.S. Chua, K.J.E. Chou, S.K., "Combustion Performance and Emission Characteristics Study of Pine Oil in a Diesel Engine", **Energy**, Cilt 57, 344-351, 2013.
11. Türkcan, A. Çanakçı, M. Özsezen, A.N. Sayın, C., "Investigation of Combustion Characteristics of a Diesel Engine", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 21, No 1, 1-10, 2009.
12. Gogoi, T.K. Baruah, D.C., "The Use of Koroch Seed Oil Methyl Ester Blends as Fuel in a Diesel Engine", **Applied Energy**, Cilt 88, 2713-2725, 2011.
13. Apdulvahitoğlu, A., **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, 2009.
14. Donkerbroek, A.J., **Combustion in an Optical Diesel Engine Studies by Light-Based Diagnostics**, Nijmegen, Netherlands, 2010.
15. Kolaitis, D.I. Founti, M.A., "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**, Cilt 32, 3197-3205, 2009.
16. Merck KGaA, "104379 n- heptane", 2014.
17. Can, Ö., **Bir DI Dizel Motorda Etanol Ön Karışım Kısım-HCCI Uygulamasının Yanma ve Emisyon Üzerine Etkilerinin İncelenmesi**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
18. Hazar H. Temizer İ. Gür, F., "Effect of Additive Materials on Engine Performance and Parts in a Diesel Engine", **6th International Advanced Technologies Symposium**, Fırat Üni., Elazığ, 77-83, 16-18 Mayıs 2011.
19. Xue, J. Grift, T.E. Hansen, A.C. "Effect of Biodiesel on Engine Performances and Emissions", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Cilt 15, 1098-1116, 2011.
20. Çetinkaya, S., **Termodinamik**, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 1999.
21. Rao, G.L.N. Prasad, B.D. Sampath, S. Rajagopal, K., "Combustion Analysis of Diesel Engine Fueled with Jatropha Oil Methyl Ester - Diesel Blends", **International Journal of Green Energy**, Cilt 4, 645-658, 2007.
22. Zhang, Y. Boehman, A.L., "Autoignition of Binary Fuel Blends of n-heptane and C<sub>7</sub> Esters in a Motored Engine", **Combustion and Flame**, Cilt 159, 1619-1630, 2012.
23. Polat, S. Solmaz, H. Yücesu, H.S. Uyumaz, A., "Bir Dizel Motorun Bilgisayar Yardımı ile Termodinamik ve Performans Analizi", **GU J Sci Part C**, Cilt 1, No 3, 139-151, 2013.
24. Challen, B. Baranescu, R., **Diesel Engine Reference Book**, Second Edition, India, 1984.
25. Heywood, J.B., **Internal Combustion Engine Fundamentals**, McGraw Hill Book Comp., New York, A.B.D., 1988.
26. Finesso, R. Spessa, E., "Ignition Delay Prediction of Multiple in Diesel Engine", **Fuel**, Cilt 119, 170-190, 2014.
27. Sakthivel, G. Nagarajan, G. Ilangkumaran, M. Gaigwad, A.B., "Comparative Analysis of Performance, Emission and Combustion Parameters of Diesel Engine Fuelled with Ethyl Ester of Fish Oil and its Diesel Blends", **Fuel**, Cilt 132, 116-124, 2014.
28. Safgönül, B. Ergeneman, M. Arslan, E. Soruşbay, C., **İçten Yanmalı Motorlar**, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 1995.
29. Ergen, G., **Ön Isıtma Uygulanarak Kullanılan Biyodizel Yakıtının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006.
30. Gürü, M. Koca, A. Can, Ö. Çınar, C. Şahin, F., "Biodiesel Production From Waste Chicken Fat Based Sources and Evaluation with Mg Based Additive in a Diesel Engine", **Renewable Energy**, Cilt 35, 637-643, 2010.
31. Dhar, A. Agarwad, A.K., "Performance, Emissions and Combustion Characteristics of Karanja Biodiesel in a Transportation Engine", **Fuel**, Cilt 119, 70-80, 2014.
32. Devan, P.K. Mahalakshmi, N.V. "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**, Cilt 86, 675-680, 2009.
33. Yoon, S.H. Lee, C.S., "Experimental Investigation on the Combustion and Exhaust Emission Characteristics of Biogas-Biodiesel Dual-Fuel Combustion in a CI Engine", **Fuel Processing Technology**, Cilt 92, 992-1000, 2012.
34. Srivastava, P.K. Verma, M., "Methyl Ester of Karanja Oil as an Alternative Renewable Source Energy", **Fuel**, Cilt 87, 1673-1677, 2008.
35. Gürü, M. Artukoğlu, B.D. Keskin, A. Koca, A., "Biodiesel Production From Waste Animal Fat and Improvement of its Characteristics by Synthesized Nickel and Magnesium Additive" **Energy Conversion and Management**, Cilt 50, 498-502, 2009.



36. 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**, Cilt 88, 534-538, 2009.
37. Nabi, N. Rahman, M. Akhter, S., “Biodiesel From Cotton Seed Oil and its Effect on Engine Performance and Exhaust Emissions”, **Applied Thermal Engineering**, Cilt 29, 2265-2270, 2009.
38. Predojevic, Z.J., “The Production of Biodiesel From Waste Frying Oils: a Comparison of Different Purification Steps” **Fuel**, Cilt 87, 3522-3528, 2008.

