

Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Donma ve Parlama Noktaları Üzerine Etkili Olan Parametrelerin Belirlenmesi

Hülya Karabaş¹

¹Sakarya Üniversitesi, Arifiye Meslek Yüksekokulu, Motorlu Taşıtlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, 54580 Arifiye, Sakarya

Özet

Biyodizel; Avrupa Birliği'nin kullanım zorunluluğu getirdiği ve dünyanın bir çok ülkesinde ticari başarısını kanıtlamış çevreci bir alternatif yakıttır. Biyodizel üretimi ülkemiz gibi giderek artan ham petrol ihtiyacının çok büyük bir kısmını ithal eden ülkeler için oldukça önemli bir konudur. Ülkemizin bir tarım toplumu olduğu düşünüldüğün de biyodizel üretim potansiyelimizin harekete geçirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada ilk olarak soğuk pres yöntemiyle ham ayçiçeği yağı üretilmiştir. Daha sonra transesterifikasyon yöntemi kullanılarak ayçiçek yağı biyodizelinin donma ve parlama noktaları sıcaklıkları üzerine etkili olan parametreler istatistiki olarak incelenmiştir. Ayçiçek yağı metil esterinin donma ve parlama noktaları üzerine katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve yağ/alkol molar oranı parametrelerinin etkilerini ortaya koymak amacıyla deneyler 30 °C, 40 °C ve 50 °C reaksiyon sıcaklıklarında; 1/3, 1/6, 1/8 ve 1/10 yağ/alkol molar oranlarında, yağ kütlelerinin % 0,5, % 1 ve % 1,5'u oranlarında potasyum hidroksit (KOH) katalizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda ayçiçeği yağı metil esterinin donma noktası üzerinde katalizör miktarı, sıcaklık ve yağ/alkol molar oranı parametrelerinin etkili olduğu, parlama noktası üzerinde ise katalizör miktarı ve sıcaklık parametrelerinin etkili olduğu görülmüştür. Etkili parametrelere ait seviyeler istatistiki olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayçiçeği yağı; metil ester; transesterifikasyon; donma noktası; parlama noktası

Determination of Effective Parameters on the Flash and Freezing Point of the Sunflower Oil Methyl Ester

Abstract

Biodiesel is a kind of fuel whose usage has been compulsorily offered by the European Union and has proved its commercial success in many countries as an environmental alternative for fuel. Biodiesel is a crucial subject for Türkiye and also for the other countries because of importing the great deal of their crude oil demand is rising day by day and if we consider our country as an agricultural society we can attach great importance to the production potential of biodiesel that can be get into action effectively. In the first stage of this study crude oil which is produced of sunflower by using cold pressing technique. After transesterification method is used to statistical analysis the parameters of the sunflower oil biodiesel upon the effective rates of the freezing point and flash point temperatures. In order to put forth the effects of the catalyst concentration, reaction temperature, alcohol/oil molar ratio parameters of the sunflower oil methyl ester of freezing point and flash point temperatures the experiments are carried out in 30 °C, 40 °C and 50 °C reaction temperature, the alcohol/oil molar ratios are 1/3, 1/6, 1/8 and 1/10 and the oil mass rates are stated as 0.5 %, 1 % and 1.5 % using KOH catalyst. As a result of the statistical analysis on the freezing point of sunflower oil methyl ester, the amount of catalyst concentration, reaction temperature, and alcohol/oil molar ratio parameters, the flash point is above the amount of the catalyst concentration and reaction temperature parameters are found to be effective. Levels are found to be effective for the parameters are determined statistically.

Key Words: Sunflower oil; methyl ester; transesterification; freezing point; flash point

GİRİŞ

Dünyanın en önemli birincil enerji kaynağı petroldür. Petrolü, % 25 ile kömür, % 20 ile doğalgaz, % 7 ile nükleer ve % 14 ile yenilenebilir enerji kaynakları izlemektedir. Doğanın milyonlarca yıllık süreçte oluşturduğu petrol potansiyeli kısıtlı olduğundan ve fosil kökenli yakıtların kullanımı sonucu oluşan hava kirliliği ve devamında oluşan iklim değişikliği gibi artan çevresel sorunlardan dolayı, tüm dünyada atmosfere daha az karbondioksit salan, fosil kökenli yakıtlara alternatif, çevreci, yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır (Yaşar ve Bahadır, 2006). Biyokütle bunlardan birisidir ve alternatif enerji kaynakları içinde en büyük teknik potansiyele sahiptir. Biyokütle kökenli, en önemli dizel motoru alternatif yakıtı ise biyodizeldir (Ma ve Hanna, 1999; Çanakçı, 2001; Agarwal, 2007; Altun, 2010).

Biyodizelin kimyasal yapısı petrol kökenli, dizel yakıtından farklıdır. Biyodizel, orta uzunlukta C16–C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli dizelden ayırır. Biyodizel, çoğunlukla 16 ile 20 arasında karbona sahip hidrokarbon zincirlerinden oluşur ve ağırlığının yaklaşık % 11'ini oksijen oluşturur (Freedman vd., 1984; Kaplan vd., 2006; Qi, 2009). Biyodizelin motorda yağlamayı geliştirmesi, biyolojik olarak bozunabilir olması, zehirleyici etkisinin düşük olması, düşük emisyon profili ve yenilenebilir olması gibi avantajlar biyodizele olan ilgiyi artırmıştır.

Bitkisel ve hayvansal yağlar hatta atık yağlar biyodizel olarak kullanılmaktadır. Yağlar, yağ asitlerinin gliserin ile oluşturduğu esterler yani trigliseritlerdir. Yağların dizel yakıtı alternatifi olarak kullanılmasında en çok tercih edilen kimyasal yöntem transesterifikasyondur. Genel olarak, biyodizel yakıtların setan sayıları, ısıl değeri, erime noktaları ve viskoziteleri biyodizelin yağ asidi bileşiminin bağ uzunluğunun artmasıyla artar, doymamışlığın artmasıyla azalır (Freedman vd., 1984; Al-Widyan ve Al-Shyoukh, 2002; Qi, 2009).

Çanakçı ve Van Gerpen (2001), hayvansal yağ ile soya yağı metil esterlerini ve dizel yakıtı ile karışımlarını, Qi (2009), ham soya yağı metil esterini, Özsezen ve Çanakçı (2009), kanola yağı metil esterini, Kaplan ve ark. (2006), ayçiçeği yağı metil esterini, Eliçin ve Erdoğan (2007), fındık yağı metil ve etil esterini, Di ve ark. (2009), atık yağ metil esterini, Karabektaş (2009), kolza yağı metil esterini, Usta (2005), tütün tohumu yağı metil esterini dizel motorunda test etmişlerdir. Çalışmalar incelendiğinde

genel olarak birbirinden farklı hammaddelerden elde edilen biyodizel yakıtların ve dizel yakıtı ile karışımlarının farklı tasarımlı dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmaları halinde dizel yakıtı kullanımına göre motor gücü ve momentinde bir düşüş olduğu ve özgül yakıt tüketiminin arttığı anlaşılmıştır. Biyodizel kullanımında karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC) ve duman emisyonların da biyodizelin yapısında oksijen bulunmasından dolayı azalma olduğu ortak neticeler arasındadır.

Biyodizel üretiminin sürdürülebilir olması yerli yağ hammaddelerinin kullanımına bağlıdır. Bu çalışmada yağ hammaddesi olarak ayçiçeği tohumları kullanılmıştır. Ayçiçeği dünyada ve ülkemizde en önemli yağ bitkilerinden birisi olup, ülkemizde çoğunlukla yağlık olarak yetiştirilmektedir. Ayçiçeği tohumu Türkiye'de en fazla üretilen yağlı tohum olması, bitkisel yağ tüketiminde % 70 civarındaki payı ve yüksek yağ içeriği (% 40) nedeniyle Türkiye'nin en önemli yağlı tohum bitkisidir ve bitkisel yağ açığını azaltabilmek için, öncelikli olarak üretiminin artırılması gereken yağlı tohumlu bitkidir.

Dünya genelinde 2011 yılında 151 milyon ton bitkisel yağ üretilmiştir ve bunun 13 milyon tonu ayçiçeği yağına aittir (USDA, 2011). USDA Mart 2012 raporuna göre yağlı tohum üreten ülkeler arasında Türkiye'nin payı % 0,05 (2,6 milyon ton) tir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2011 verilerine göre ayçiçeği ekim alanlarımız 551 bin hektardır. Bu alanlarda 950 bin ton ayçiçeği tohumu ve bu tohumlardan da 394 bin ton ham yağ üretilmiştir. 2011/2012 sezonunda bu oranın % 9 artması öngörülmektedir.

Bu çalışmada ayçiçeği tohumlarından elde edilen ham yağdan transesterifikasyon yöntemiyle üretilen biyodizelin donma ve parlama noktaları sıcaklıkları üzerine etkili olan parametreler ve bunların etkili seviyeleri istatistiki olarak belirlenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Ayçiçek yağı metil esteri (AYME) üretimine yönelik parametrik çalışmalar, Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yakıt Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan ayçiçeği tohumları Trakya Yağlı Tohumlar Tarım Satış Kooperatifleri Birliğinden temin edilmiştir. Ham yağ eldesinde Tokul marka EKOTOK 1 model tek kafalı soğuk pres makinesi kullanılmıştır.

Transesterifikasyon reaksiyonu için katalizör olarak Merck marka 56,11 g mol⁻¹ molekül ağırlığına sahip potasyum hidroksit (KOH), alkol olarak % 99 saflıkta metil alkol (CH₃OH) kullanılmıştır. Biyodizel üretiminde, BUCHI marka dönel buharlaştırıcı (Rotavapor R-210) ve partiküllerin çöktürülmesi için NUVE marka NF400 model santrifüj cihazı kullanılmıştır.

Yöntem

Ham ayçiçeği yağı, tek kafalı soğuk pres makinesi kullanılarak soğuk presyon tekniğiyle elde edilmiştir. Yağ içinde askı halinde kalan partiküller santrifüj cihazında 4200 d d⁻¹ ve 3600 RFC de 40 dakika sürede çöktürülmüştür. Üretilen ham ayçiçeği yağının yağ asidi kompozisyonları ve fizikokimyasal özellikleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde belirlenmiştir.

Ayçiçek yağı (AY) metil esteri eldesinde AY'ın sahip olduğu düşük serbest yağ asitliği (% 0,042) sebebiyle bazik transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. AYME'nin donma ve parlama noktalarına etki eden faktörlerin belirlenmesinde ester eldesini de etkileyen yağ/alkol molar oranı, katalizör miktarı ve sıcaklık parametreleri temel parametreler olarak seçilmiştir. Deneyler 1/3, 1/6, 1/8 ve 1/10 yağ/alkol molar oranlarında; 30 °C, 40 °C ve 50 °C reaksiyon sıcaklıklarında, yağ kütlelerinin % 0,5, % 1 ve % 1,5'u oranlarında KOH katalizör kullanılarak yapılmıştır. Parametrik çalışmalar 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş olup her tekerrürde 36 adet ölçümle numunelerin donma ve parlama noktaları ayrı ayrı ölçülmüştür.

Her bir parametrik çalışmada 100 g. AY numunesi kullanılmıştır. Numune istenilen sıcaklığa ulaştığında, önceden tespit edilen oranlarda hazırlanmış alkol ve katalizör karışımı dönel buharlaştırıcısının cam balonunda yağ ile karıştırılmış ve 600 d d⁻¹ karıştırma

hızında 1 saat süre ile reaksiyona tabi tutulmuş, süre sonunda karışım ayırma hunisine alınmış ve metil ester – gliserin karışımı çizgi halinde belirginleşinceye kadar beklenmiştir. Ayırma hunisinin alt kısmında biriken gliserin ayrıldıktan sonra elde edilen metil ester ılık saf su ile dört kez yıkanmıştır. Dinlendirilen metil ester içindeki partiküller santrifüj cihazında çöktürülmüştür. Dönel buharlaştırıcısının su banyosu 40 °C'ye getirildikten sonra önce AYME içinde olabilecek suyu uzaklaştırmak için cihazın cam balonu vakum altında 350 mbar basınçta ve daha sonrada AYME içinde kalmış olabilecek metil alkolü uzaklaştırmak için 320 mbar basınçta çalıştırılmıştır. Bu işlemten sonra saklama kabına boşaltılan yakıt numuneleri buzdolabında muhafaza edilmiştir. AYME'ye ait yakıt analizleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde yaptırılmıştır.

İstatistiksel analizler Minitab paket programı ile yapılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde gruplar arası karşılaştırmalarda çok yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA testi sonucu P<0,05 önem seviyesinde değerlendirilerek gruplar arasındaki fark anlamlı bulunduğunda grupların birbirleri arasındaki farkı belirlemek için Tukey HSD (Çoklu karşılaştırma testi) yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

AY ve AYME Özellikleri

Yağ asitleri analizi sonucunda AY'ın doymamış yağ asitleri içerisinde en yüksek oranı % 69,2 ile linoleik asit, doymuş yağ asitleri içerisinde ise en yüksek oranı % 5,8 ile palmitik asit oluşturmuştur. Ayçiçek yağının 40 °C deki kinematik viskozitesi 33,2 mm² s⁻¹, 15 °C deki yoğunluğu 824 g ml⁻¹, iyot sayısı 116,85 mg I₂ 100 g⁻¹, asit değeri 0,948 mgKOH g⁻¹, peroksit sayısı 6,262 mgO₂ kg⁻¹ ve tohumların toplam yağ içeriği % 41±0,5 olarak ölçülmüştür. Çizelge 1 de AYME'ye ait yakıt analiz sonuçları yer almaktadır.

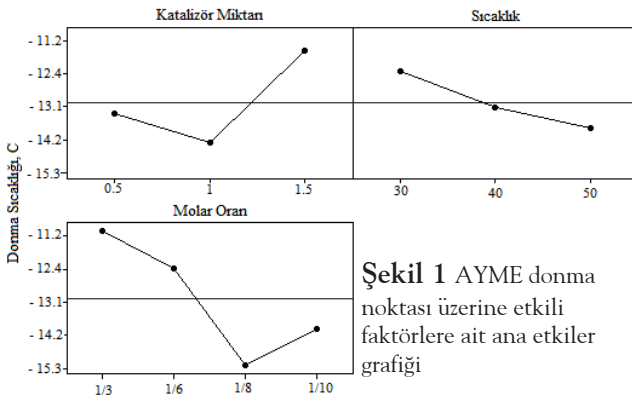
Çizelge 1. Ayçiçek yağı metil esteri yakıt analiz sonuçları

Analizler	Birim	Metod	AYME	EN 14214	Diesel No 2
Ester içeriği	% (mm ⁻¹)	EN14103	96,6	min 96,5	---
Kinematik viskozite (40 °C)	mm ² s ⁻¹	EN ISO 3104	4,78	3,5-5,0	2,5-3,5
Yoğunluk, (15 °C)	g cm ⁻³	EN ISO 3675	0,88	0,86-0,90	0,82-0,86
Serbest gliserol	% (mm ⁻¹)	EN14105	0,014	max 0,02	---
Akma noktası	°C	ISO 3016	-10	max 0	-33
Parlama noktası	°C	ASTM D93	125	min 120	>55
Setan sayısı	---	EN ISO 5165	46,8	min 51	49-55
Bakır şerit korozyon (3 saat, 50 °C)	---	EN ISO 2160	1a	1a	---
Soğuk filtre tıkanma noktası	°C	EN 116	-6	+5-(-1,5)	---
İyot sayısı	g iyot 100g ⁻¹	EN141111	116,2	max 120	---
Net yanma sayısı	Mj kg ⁻¹	ASTM D 240	39,678	min 35	42,7

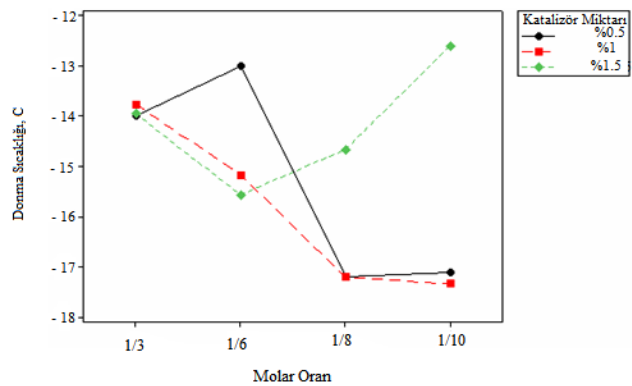
Parametrelerin AYME'nin Donma Noktasına Etkisi

Çalışmada çok yönlü varyans analizi yapılarak AYME donma noktası üzerine katalizör miktarı, sıcaklık ve yağ/alkol molar oranı faktörlerinin etkisi incelenmiştir. Varyans analizi sonuçlarını gösteren ANOVA tablosu Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge incelendiğinde AYME donma noktası üzerine katalizör miktarı, sıcaklık ve yağ/alkol molar oranı faktörlerinin ve yanı sıra katalizör miktarı-yağ/alkol molar oranı etkileşiminin istatistiksel olarak $P<0,01$ önem seviyesinde etkili olduğu görülmüştür. Faktörler ve seviyeleri için yapılan Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarını gösteren ana etkiler Şekil 1'de görülmektedir.



Soğuk hava şartlarında motorların güvenli çalışması açısından yakıtların donma noktası sıcaklıklarının düşük olması istenmektedir. Buna göre Şekil 1 incelendiğinde düşük donma sıcaklığını elde etmek için katalizör miktarının % 1, reaksiyon sıcaklığının 50 °C, yağ/alkol molar oranının 1/8 olması uygun görülmektedir. Bu optimal şartlarda üretilen AYME'nin donma noktası sıcaklığı düşük olacaktır. Şekil 2 de ise etkileşimler grafiği görülmektedir.



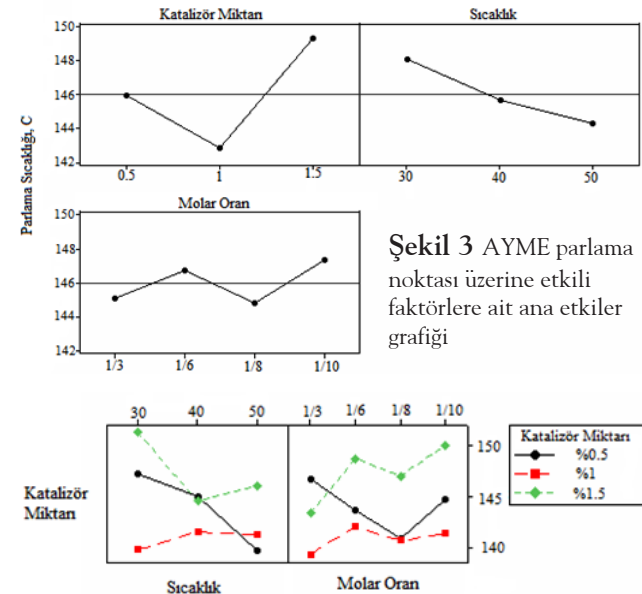
Şekil 2 AYME donma noktası etkileşimler grafiği

Etkileşimler grafiğinde katalizör miktarı yağ/alkol molar oranı etkileşimi incelendiğinde katalizör miktarının % 0,5 ve % 1, yağ/alkol molar oranının 1/8 ve 1/10 olması donma noktası sıcaklığını düşürmüştür. Bu şartlarda üretilen AYME'nin donma noktası sıcaklığı -17 °C'ye düşmektedir.

Çalışmada çok yönlü varyans analizi yapılarak AYME parlama noktası üzerine katalizör miktarı, sıcaklık ve yağ/alkol molar oranı faktörlerinin etkisi incelenmiştir. Varyans analizi sonuçlarını gösteren ANOVA tablosu Çizelge 3'te görülmektedir.

Çizelge incelendiğinde AYME parlama noktası üzerine katalizör miktarı ve sıcaklık faktörlerinin, istatistiksel olarak çok önemli düzeyde ($P<0,01$), katalizör miktarı-yağ/alkol molar oranı ile katalizör miktarı-sıcaklık etkileşiminin istatistiksel olarak sırasıyla çok önemli ($P<0,01$) ve önemli ($P<0,05$) olduğu görülmüştür. Faktörler ve seviyeleri için yapılan Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarını gösteren ana etkiler Şekil 3'te görülmektedir.

Kullanım ve depolama güvenliği açısından yakıtların parlama noktası sıcaklığının yüksek olması istenmektedir. Buna göre ana etkiler grafiği incelendiğinde katalizör miktarının % 1,5 sıcaklığın 30°C olması uygundur. Yağ/alkol molar oranları arasında istatistiksel açıdan önemli bir farklılık olmadığı için yağ/alkol molar oranının dört seviyesi de kullanılabilir. Şekil 4'te ise etkileşimler grafiği görülmektedir.



Şekil 4 AYME parlama noktası etkileşimler grafiği

Çizelge 2. Donma noktası üzerine etkili faktörlerin ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Der.	Kareler Top.	Kareler Ort.	F	P
Katalizör miktarı	2	15,2042	7,6022	32,66	0,000
Sıcaklık	2	7,4256	3,7128	12,43	0,000
Yağ/alkol molar oranı	3	42,3084	14,1028	40,15	0,000
Katalizör miktarı-molar oran	6	39,6760	6,6127	31,25	0,000
Hata	24	7,1423	0,2976		
Toplam	37				

Çizelge 3. Parlama noktası üzerine etkili faktörlerin ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Der.	Kareler Top.	Kareler Ort.	F	P
Katalizör miktarı	2	144,624	72,312	29,64	0,000
Sıcaklık	2	16,256	8,128	6,62	0,008
Yağ/alkol molar oranı	3	31,204	10,401	3,47	0,056
Katalizör miktarı-sıcaklık	4	85,125	21,281	8,16	0,002
Katalizör miktarı-molar oran	6	62,154	10,359	2,92	0,048
Hata	13	45,026	3,464		
Toplam	30	384,389			

Etkileşimler grafiğinde katalizör miktarı-yağ/alkol molar oranı etkileşimi incelendiğinde, katalizör miktarının % 1,5 yağ/alkol molar oranının 1/10 olmasının, katalizör miktarı-sıcaklık etkileşiminde katalizör miktarının % 1,5, reaksiyon sıcaklığının 30 °C olması AYME parlama noktası sıcaklığını yükseltmektedir. Etkileşimler grafiğine göre % 1,5 katalizör miktarı, 30 °C reaksiyon sıcaklığı ve 1/10 yağ/alkol molar oranı şartlarında üretilen AYME'nin parlama noktası sıcaklığı 150 °C'ye çıkmaktadır.

SONUÇ

Çalışmada ülkemiz için önemli ve diğer yağ bitkilerine göre daha fazla alan ve miktarda üretimi yapılan bir yağ hammaddesi olan ayçiçeği tohumlarından biyodizel üretilmiştir. Üretilen biyodizelin donma noktası sıcaklığını minimum, parlama noktası sıcaklığını maksimum yapan parametreler ve bunların seviyeleri istatistiki olarak belirlenmiştir % 99 güven aralığında, AYME'nin donma noktası sıcaklığı üzerine etki eden faktörlerin belirlenmesi için yapılan istatistiksel analizde, katalizör miktarı, sıcaklık ve yağ/alkol molar oranının etkili olduğu görülmüştür. AYME'nin parlama noktası sıcaklığı üzerine etki eden faktörlerin belirlenmesi için yapılan istatistiksel analizde, % 99 güven aralığında, katalizör miktarı ve sıcaklık faktörlerinin önemli olduğu; buna karşılık molar oranların parlama noktası sıcaklığına etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. İstatistiksel açıdan önemli bulunan faktörler ve bunların belirlenen seviyelerine uygun olarak üretilen AYME'nin donma noktası sıcaklığı düşük, parlama noktası sıcaklığı yüksek olacaktır. Bölgelerin iklimsel özellikleri dikkate

alınarak yapılacak doğru yakıt üretimleri sonucunda gerek kullanım gerekse depolama açısından daha güvenli yakıtlar elde edilecek ayrıca yapılan parametrik çalışmalarla optimal çalışma koşulları belirlenerek yakıtların üretim maliyetlerinin düşürülebilmesi de tartışılabilecektir.

KAYNAKLAR

- Altun Ş (2010). Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları Üzerinde Biyodizel Yakıtların Etkisi. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED) 2(1): 9–19.
- Al-Widyan M I, Al-Shyoukh A O (2002). Experimental Evaluation of the Transesterification of Waste Palm oil into Biodiesel. *Bioresource Technology* 85:253–256.
- Agarwal A K (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines. *Progress in Energy and Combustion Science* 33: 263–271.
- Çanakçı M (2001). Production of Biodiesel from Feedstocks with High Free Fatty Acids and its Effect on Diesel Engine Performance and Emissions. Iowa State University (Basılmamış Doktora Tezi), USA.
- Çanakçı M, Van Gerpen J (2001). Comparison of Engine Performance and Emissions for Petroleum Diesel Fuel, Yellow Grease Biodiesel, and Soybean Oil Biodiesel. ASAE Annual International Meeting, Sacramento Convention Center Sacramento, California, 30 Temmuz–1 Ağustos 2001, USA.
- Di Y, Cheung C S, Huang Z (2009). Experimental Investigation on Regulated and Unregulated Emissions of a Diesel Engine Fueled with Ultra-Low Sulfur Diesel Fuel Blended with Biodiesel from Waste Cooking Oil. *Science of the Total Environment* 407: 835–846.
- Eliçin A K, Erdoğan D (2007). Fındık Yağı Metil ve Etil Esteri ile Dizel Yakıtı Karışımlarının Küçük Güçlü Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi* 13(2): 137–146.
- Freedman B, Pryde E H, Mounts T L (1984). Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *JAOCs* 61: 1638–1643.

Karabektaş M (2009). The Effects of Turbocharger on the Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Biodiesel. *Renewable Energy* 34: 989–993.

Kaplan C, Arslan R, Sürmen A (2006). Performance Characteristics of Sunflower Methyl Esters as Biodiesel. *Energy Sources, Part A* 28: 751–755.

Ma F, Hanna M A (1999). Biodiesel Production: a Review. *Bioresource Technology* 70: 1–15.

Özsezen A N, Çanakçı M (2009). Atık Palmiye ve Kanola Yağı Metil Esterlerinin Kullanıldığı Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorda Performans ve Yanma. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 24(2): 275–284.

Qi D H (2009). Combustion and Performance Evaluation of a Diesel Engine Fueled With Biodiesel Produced From Soybean Crude Oil. *Renewable Energy* 34: 2706–2713.

Usta N (2005). An Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Tobacco Seed Oil Methyl Ester. *Energy Conversion and Management* 46: 2373–2386.

Yasar B, Bahadır B (2006). Türkiye’de Biyodizel Üretim Olanakları. *Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi* (3): 51–58.