

## Tütün Tohumu Yağı Metil Esterinin Motor Performansına Etkilerinin İstatistiksel Deney Tasarımıyla İncelenmesi

Hülya KARABAŞ<sup>1</sup>, İbrahim ÖZSERT<sup>2</sup>, Adnan PARLAK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Arifiye Meslek Yüksekokulu, SAKARYA

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, SAKARYA

<sup>3</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi Makineleri İşl. Bölümü, İSTANBUL  
e-mail:hkarabas@sakarya.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 09.05.2012

Accepted (Kabul Tarihi): 29.06.2012

**Özet:** Ülkemizin sahip olduğu verimli tarım toprakları ve ekolojik özellikleri düşünüldüğünde biyodizel hammaddesi olan yağ bitkisi üretimimizde hiçbir engel yoktur. Bu çalışmada ilk olarak tütün tohumundan(TT), solvent ekstraksiyon yöntemi kullanılarak tütün tohumu yağı (TTY) elde edilmiştir. Elde edilen TTY'ndanda transesterifikasyon yöntemi ile hem KOH hem de NaOH katalizörleri kullanılarak tütün tohumu yağı metil esteri (TTYME) üretilmiştir. Üretilen TTYME'ı dizel yakıtı ile kütleli olarak % 10, % 20, % 50 ve % 100 oranlarında karıştırılarak tek silindirli, direkt püskürtmeli, dört stroklu, doğal emişli bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutulmuştur. İstatistiksel deney tasarımında Taguchi metodu kullanılmıştır. Motor performansı açısından etkili faktör olarak motor devri, TTYME - dizel yakıt karışım oranı ve katalizör tipi alınmıştır. Bu faktörler ve bunların farklı seviyeleri için moment ve efektif gücü maksimize eden, özgül yakıt sarfiyatını da minimize eden optimum deney şartları belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Tütün tohumu yağı, transesterifikasyon, metil ester, motor performansı, Taguchi metodu

### A Study of the Effects of Tobacco Seed Oil Methyl Ester Effect on Motor Performance Using Statistical Experimental Design

**ABSTRACT:** Having a wide range of agricultural spaces and species, growing oil plant does not constitutes any obstacle in our country. In the first phase of this study parametric studies have been done by using tobacco seed solvent extraction method as to get tobacco seed oil (TSO). After obtaining TSO parametric studies have been done and the KOH and NaOH catalysts are used in the transesterification method to produce tobacco seed oil methyl ester (TSOME). The TTYME is mixed with diesel fuel in the mass rates of 10 %, 20 %, 50 % and 100 % and this is tested in a diesel engine which is single cylindered, direct injected, four stroked and natural suck. Taguchi method is used in statistical experimental design. As to the motor performance; TTYME-diesel fuel mixture rate, engine speed and catalyst type have been taken under consideration. Using these factors and their different varieties optimum experimental conditions have been determined in maximizing the moment and effective powers meanwhile minimizing the brake specific fuel consumption .

**Key words:** Tobacco seed oil, transesterification, methyl ester, motor performance, Taguchi method

### GİRİŞ

Dünya enerji politikaları büyük oranda değişmekte, Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere tüm dünya, alternatif yenilenebilir kaynakları oluşturma ve kullanma kapsamında çevreyi korumaya yönelik çeşitli uluslararası antlaşmaları kabul ederek verimli ulusal enerji politikaları oluşturmaktadırlar. Biyoyakıt, en yeni

ve hızlı yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu nedenle biyoyakıtlar ve bunların temel hammaddesini oluşturan enerji tarımı büyük önem arz etmektedir. Biyoyakıtların üretiminde yoğun enerji kullanılmaması, üretim ve kullanımında çevre kirliliğine yol açmaması, yoğun atık üretilmemesi ve gıda

tarımında kullanılan araziler yerine kıraç arazide üretime elverişli bitkilerin kullanılabilir olması biyoyakıtı avantajlı kılmaktadır (Ulusoy ve Alibaş, 2002; Acaroğlu, 2003). Ülkemizin de içinde bulunduğu birçok ülkedeki araştırmacılar bitkisel yağların mevcut dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilirliği halinde motor performansı, egzoz emisyonları ve motor elemanları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalara göre; bitkisel yağlar motorine belirli oranlarda katıldığında ya da direkt olarak uzun süreli kullanılmaları durumunda motor elemanlarında aşınma ve karbon birikintisine sebep olurken motor performansında fazla etkili olmadıkları buna karşın özgül yakıt tüketimlerinin arttığı fakat kirletici egzoz emisyonlarında iyileşmelerin olduğu belirtilmiştir (Ergeneman ve ark, 1998; Borat ve ark, 1992).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen dizel yakıtlarına bir alternatif olarak yağ asitlerinin basit alkali esterleri olan biyodizelin önemi gittikçe artmaktadır. Yenilebilir bitkisel yağların fiyatı dizel yakıtlardan yüksektir. Dolayısıyla biyodizel hammaddesi olarak kullanılmış ve yenilemez bitkisel yağlar potansiyel birer kaynak olarak düşünülmektedir. Dizel yakıtına göre yüksek olan biyodizel üretim maliyetlerini aşağıya çekmek için atık, hayvansal ve yenilemeyen bitkisel yağlar kullanılabilir (Ulusoy ve Alibaş, 2002). Yenilemeyen bitkisel yağlar arasında kabul edilen yağlardan birisi de tütün tohumu yağıdır (TTY).

Dünya enerji politikaları büyük oranda değişmekte, Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere tüm dünya, alternatif yenilenebilir kaynakları oluşturma ve kullanma kapsamında çevreyi korumaya yönelik çeşitli uluslararası antlaşmaları kabul ederek verimli ulusal enerji politikaları oluşturmaktadırlar. Örneğin Avrupa Birliği motorine, 2006 yılında % 2.75, 2007 yılında % 3.5, 2008 yılında % 4.25, 2009 yılında % 5, 2010 yılında % 5.75 biyodizel karıştırma zorunluluğu getirmiştir. AB, zorunlu biyoyakıt kullanımını 2030'da %30'a çıkarmayı hedeflemektedir. Bu da biyodizel üretimi amaçlı olarak özellikle gıda endüstrisi dışında kalan yenilemez yağların kullanımını ön plana çıkarmaktadır.

Giannelos ve ark, tarafından gerçekleştirilen çalışmada TTY ve diğer bitkisel yağlara ait yakıt özellikleri karşılaştırılmıştır. Tütün tohumunun kinematik viskozitesi diğer bütün bitkisel yağlardan daha düşüktür. Bu durum tütün tohumu yağının transesterifikasyon işlemi yapmaksızın motorlarda kullanıldığında diğer bitkisel yağlara oranla püskürtme karakteristiğinin daha iyi olacağını göstermiştir (Giannelos et al., 2002).

Stanisavljevic ve ark, yaptığı çalışmada farklı sıcaklıklarda, farklı tohum-solvent karışım oranlarında n-hekzan ve petrol eteri solventlerini kullanarak tütün tohumundan Ultrasonik ekstraksiyon (UE) ile yağ elde etmiştir. Yağ eldesinde UE, Solvent ekstraksiyona göre daha verimsiz kalmıştır (Stanisavljevic et al., 2006).

Veljkovic ve ark, n-hekzan kullanarak UE yöntemiyle elde ettikleri tütün tohumu yağından biyodizel üretmişlerdir. Elde edilen yağın yüksek serbest yağ asitliği sebebiyle biyodizel üretimi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Üretilen tütün biyodizeli Amerikan (ASTM D 6751-02) ve Avrupa (DIN EN 14214) standartlarını serbest yağ asitliği (<% 0.5) değeri hariç olarak sağlamıştır (Veljkovic et al., 2006).

## **MATERYAL VE YÖNTEM**

### **Materyaller**

Çalışmada, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından üretimi yapılan Sarıbağlar - 407 türü hibrit tütün tohumları kullanılmıştır. Yağ ve biyodizel eldesi işlemlerinde cihaz olarak BUCHI marka Rotavapor R-210 model dönel buharlaştırıcı ve buna bağlı (V-700) vakum pompası ve Haake WKL 26 yoğunlaştırıcı programlanabilir PID mikroişlemcili NB20 serisi su banyosu, değişken devirli Heidolph marka RZR 2021 tip mekanik karıştırıcı, AND marka hassas terazi, Nüve marka NF400 model santrifüj ayırıcı kullanılmıştır. Kimyasal madde olarak da Tekkim marka n-hekzan, Merck marka potasyum hidroksit(KOH) ve metil alkol kullanılmıştır. Motor deneylerinde Süperstar marka tek silindirli, direkt püskürtmeli, doğal emişli, dört stroklu, su soğutmalı ve çanak pistonlu bir dizel motor kullanılmıştır.

### **Tütün Tohumu Yağı ve Biyodizelin Eldesi**

Tütün tohumlarından n-hekzan solventi kullanılarak solvent ekstraksiyon yöntemiyle (1:3 tohum-solvent karışım oranı, 600 d/d karışım hızı, 2 saatlik süre ve 40 °C sıcaklık şartlarında) ham tütün tohumu yağı (TTY) elde edilmiştir. Elde edilen ham yağın yağ asitleri kompozisyonu ve serbest yağ asitliği analizi İTÜ Kimya-Metalürji Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Yağ asitleri kompozisyonu analizi Chromquest Trace marka, GC 2000 model, FID (Flame Ionization Detector, Alev İyonlaştırıcı Dedektör) dedektörlü otomatik injektörlü gaz kromatografi cihazı ile AOAC 969 33, 963 22 metoduna göre belirlenmiştir. Serbest yağ asitliği analizi ise titrasyon yöntemiyle yapılmıştır.

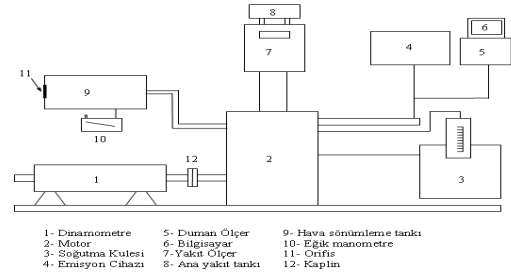
TTY'nın serbest yağ asitliği (% 1.2) düşük olduğu için transesterifikasyon yöntemi kullanılarak tütün tohumu yağı metil esteri (TTYME) üretilmiştir. Transesterifikasyon işlemi için %1'lik KOH katalizörü hesaplanan miktarda metil alkolde çözdürüldükten sonra dönel buharlaştırıcının cam balonunda 40°C sıcaklığa kadar ısıtılan ham TTY üzerine boşatıldı. Reaksiyon işlemi daha önce TTY üretiminde de kullanılan dönel buharlaştırıcıda 600 d/d karıştırma hızında ve 1 saat sürede gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon süresi tamamlandığında karışım ayırma hunisine alınmış ester ve gliserinin faz ayrışması tamamlanana kadar beklenmiştir. Alt fazda toplanan gliserin ayrıldıktan sonra ayırma hunisinde kalan TTYME içinde kalan gliserine, mono ve di-gliseritlerin ayrıştırılması için 4 kez ılık saf su ile yıkama işlemi uygulanmıştır. Aynı işlemler NaOH katalizörü içinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ester, 12 saat dinlendirildikten sonra içinde askı halinde bulunan partiküllerin tamamen çöktürülmesi için santrifüj ayırıcı 4000 d/d'da 30 dk süreyle çalışmıştır. Bu işlemden sonra dönel buharlaştırıcıda vakum altında TTYME içinde olabilecek su ve metil alkol uzaklaştırılmıştır. TTYME'ne ait yakıt analizleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde yaptırılmıştır.

TTY'nın serbest yağ asitliği (% 1.2) düşük olduğu için transesterifikasyon yöntemi kullanılarak tütün tohumu yağı metil esteri (TTYME) (biyodizel) üretilmiştir. Transesterifikasyon işlemi için %1 lik KOH katalizörü hesaplanan miktarda metil alkolde çözdürüldükten sonra dönel buharlaştırıcının cam balonunda 40 °C sıcaklığa kadar ısıtılan ham TTY üzerine boşatıldı. Reaksiyon işlemi daha önce TTY üretiminde de kullanılan dönel buharlaştırıcıda 600 d/d karıştırma hızında ve 1 saat sürede gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon süresi tamamlandığında karışım ayırma hunisine alınmış ester ve gliserinin faz ayrışması tamamlanana kadar beklenmiştir. Alt fazda toplanan gliserin ayrıldıktan sonra ayırma hunisinde kalan TTYME içinde kalan gliserinin, mono ve di-gliseritlerin ayrıştırılması için 4 kez ılık saf su ile yıkama işlemi uygulanmıştır. Aynı işlemler NaOH katalizörü içinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ester, 12 saat dinlendirildikten sonra içinde askı halinde bulunan partiküllerin tamamen çöktürülmesi için santrifüj ayırıcıda 4000 d/d'da 30 dk süreyle çalışılmıştır. Bu işlemden sonra dönel buharlaştırıcıda vakum altında TTYME içinde olabilecek su ve metil alkol

uzaklaştırılmıştır. TTYME ne ait yakıt analizleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde yaptırılmıştır.

### Motor Deneyleri

Deneyler Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik şekli Şekil 1'de, deney motorunun teknik özellikleri ise Çizelge 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Motor deneyleri düzeneği

Çizelge 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor tipi	Süper Star
Çap, (mm)	108
Strok, (mm)	100
Silindir sayısı	1
Strok hacmi	0.92
Güç (1500 d/d için), BG	20
Enjektör açma basıncı, (bar)	150
Püskürtme avansı, (KMA)	29
Maksimum devir, (d/d)	2500
Soğutma tipi	Su
Püskürtme tipi	DI

Deneyler tam yük şartlarında (sabit yük değişken devir testleri uygulanarak) 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 ve 2200 d/d ve 29 derece statik püskürtme avansında gerçekleştirilmiş ve standart motorun döndürme momenti, efektif güç, ve özgül yakıt tüketimi değerleri KOH ve NaOH katalizörleri ile elde edilen TTYME ile karşılaştırılmıştır. Deneylerde kütleli olarak % 10 TTYME + % 90 Dizel (B10), % 20 TTYME + % 80 Dizel (B20), % 50 TTYME + % 50 Dizel (B50) ve % 100 TTYME (B100) karışımlarının motor performans parametreleri üzerine etkileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

### Taguchi Deney Tasarımı

Bilim ve araştırmanın vazgeçilmez bir unsuru olan deneysel çalışmalar uzun zaman ve bir o kadarda

uğraşı gerektiren çalışmalardır. Deneysel çalışmalarda doğru bir sonuca ulaşabilmek için doğru bir deney tasarımının yapılması, parametrelerin doğru olarak belirlenmesi ve deney sonucundan ne bekleneceğinin doğru olarak bilinmesi gerekmektedir. Bütün bu koşullar yerine getirildiği zaman bile doğru bir sonuca ulaşmak için aynı numuneden veya aynı deneyden çok sayıda yapılması gerekebilir. Bu ise hem uzun zaman, hem maliyet hem de harcanan eforu arttırır. Deney tasarımının en temel amaçlarından biri de deney hatalarını minimuma indirmektir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009). İstatistiksel olmayan deney tasarım yöntemleri kullanıldığında varyasyon ve regresyon analizi sonuçları bazen etkin süreci ya da işlemi belirlemeyebilir. Parametre tasarım aşamasında kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin ürünün performansına olan etkilerini belirlemek için en etkili yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Burada amaç, kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini asgariye indirecek şekilde ayarlamaktır. Deney tasarımında klasik yöntemlerin yetersizliği istatistiksel deney tasarım yöntemleri ile giderilmiştir. İstatistiksel deney tasarımında kullanılan yöntemlerden (tam faktöriyel, kesirli faktöriyel) biri de Taguchi yöntemidir (Fraleley et al., 2006).

Taguchi yöntemi, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarım ve optimizasyon yöntemidir. Taguchi'nin deney tasarım yöntemi, farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptamak adına oldukça yararlı bir yöntemdir (Ross, 1989). Taguchi metodu literatürde bilim insanları tarafından en çok kullanılan deney tasarım yöntemlerinden biridir. Bu yöntemle ilgili uygulamalar, tarımdan mikrobiyolojiye, inşaattan kimya mühendisliğine kadar bir çok alana yayılmıştır. Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda, Taguchi yöntemi kullanılarak, çok daha az sayıda deneysel çalışma ile sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır. Taguchi deneysel tasarım yönteminde geliştirilen metodoloji, sistem, parametre ve tolerans tasarımından oluşur. Varyans analizi (ANOVA), her bir faktörün yüzde etkisini belirlemek için deney sonuçlarına uygulanan yaygın bir istatistiksel işlemidir. Bir analiz için verilen ANOVA tablosu hangi faktörlerin

kontrol edilmesi gerektiğinin belirlenmesine yardımcı olur (Fraleley et al., 2006). Optimum şartlar belirlendiğinde genellikle bir doğrulama deneyinin yapılması iyi bir uygulamadır.

Taguchi deney tasarımında performansın ölçütü sinyal/gürültü (S/N) oranı olup, sonuçların doğruluğunun değerlendirilmesinde kullanılır. Taguchi'ye göre, ürünün fonksiyonel karakteristiklerinde farklılık (varyasyon) yaratan ve kontrol edilemeyen faktör gürültüdür. Performansın seviyesi S/N oranı ile belirlendiği gibi aynı zamanda gürültü faktörlerinin performansa olan etkilerini de ortaya koymaktadır. S/N analizi, sonuçlardaki değişimlerden proses şartları için en sağlıklı grubu belirler. Taguchi tarafından 18 farklı standart ortogonal dizi geliştirilmiştir. Yüksek S/N oranı değerleri performansa etki eden gürültülü değerlerden (deneye etki eden diğer dış faktörler) uzaklaşılmasının ve ölçüm değerlerinin güven aralığının arttığına bir göstergesidir. Bu yöntemde S/N oranının fonksiyonu olarak ifade edilen üç farklı amaca uygun fonksiyon vardır. Bunlar; en büyük daha iyi (Larger the better), en düşük daha iyi (Smaller the better) ve nominal en iyisi (Nominal the best ) (Ross, 1989). Çalışmada moment ve efektif güç değerlerinin yüksek olması istendiğinden deneysel tasarımda "En büyük daha iyi" S/N oranı; özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) ise düşük değeri istenildiği için "En küçük daha iyi" S/N oranı dikkate alınmıştır. Tam yük şartlarında gerçekleştirilen performans ölçümleri esnasında iki farklı katalizör (KOH ve NaOH)'le üretilen metil ester, dört farklı motor devri (1000 d/d, 1400 d/d, 1800 d/d ve 2200 d/d) ve dört farklı karışım oranı (%10(B10), %20(B20), %50(B50) ve %100(B100)) kullanılmıştır. Motor performansı açısından optimum "Katalizör tipi, motor devri ve TTYME-dizel yakıt karışım oranı"ni veren deney şartlarının belirlenmesinde Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Deneysel tasarımın güç ve momentte artışı; ÖYT'inde ise azalmayı gerektirmesi tasarımı zorlaştırmıştır. TTYME'nin dizel yakıtından farklı özellikler taşıması nedeniyle performans için en uygun şartları veren farklı deney setleri ortaya çıkmıştır. Deneysel tasarımda üç faktör ve bu faktörlere ait seviyeler Çizelge 2'de verilmiştir. Deneysel tasarımda motor devrinin etkisinden çok

karışım oranının ve katalizör tipinin etkisinin daha önemli olması ve tüm devirlerin seviye olarak girilmesi problem çözümünü zorlaştırdığından moment, özgül yakıt tüketimi ve güç açısından önemli olan dört devir dikkate alınmıştır. Bu devirler 1000, 1400,1800 ve 2200 d/d dır.

**Çizelge 2. Deneysel tasarım faktör ve seviyeleri**

Semboller	Faktörler	1. seviye	2. seviye	3. seviye	4. seviye
A	Katalizör tipi	KOH	NaOH	-	-
B	Devir, d/d	1000	1400	1800	2200
C	Karışım oranı, %	B10	B20	B50	B100

## ARAŞTIRMA BULGULARI

### Tütün Tohumu Yağının Yağ Asitleri

#### Kompozisyonu

Solvent ekstraksiyon yöntemi ile n-hekzan solventi kullanılarak 0.5 mm çapa kadar küçültülen tütün tohumlarından,1:3 tohum-solvent karışım oranı, 600 d/d karışım hızı, 2 saatlik çalışma süresi, ve 40 °C sıcaklık koşullarında % 40 oranında ham tütün tohumu yağı elde edilmiştir. Yağ asitleri analizi sonucunda TTY'nin % 11.98 doymuş ve % 87.96 oranında doymamış yağ asitlerinden oluştuğu belirlenmiştir. Doymamış yağ asitleri içerisinde en yüksek oranı % 75.58 ile linoleik asit oluşturmuş, bunu % 11.24 ile oleik asit izlemiştir. Doymuş yağ asitleri içerisinde ise en yüksek oranı % 8.46 ile palmitik asit almaktadır. Bu yağın içerisinde az miktarda doymuş yağ asitlerinden stearik asit, doymamış yağ asitlerinden ise linolenik asit bulunmaktadır. TTY'nin moleküler ağırlığı 872.198 g/mol olarak hesaplanırken kinematik viskozitesi ise 12.73 mm<sup>2</sup>/s olarak ölçülmüştür.

#### TTYME Yakıt Özellikleri

Parametrik çalışmalar yapılarak optimum şartlarda (1/5 yağ/alkol molar oranı, 40 °C reaksiyon sıcaklığı, % 1 KOH katalizörü ve 1 saat reaksiyon süresi) üretilen TTYME'ne ait yakıt özellikleri Çizelge. 3'te, EN 14214 biyodizel standartları ve No 2 dizel yakıtıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir

**Çizelge 3. TTYME yakıt analiz sonuçları**

Analizler	Metod	TTYME	EN 14214	Dizel (No 2)
Ester içeriği, % (m/m)	EN 14103	96.5	min 96.5	
Karbon kalıntısı, % (m/m)	EN ISO 10370	0.17	0.3	
Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup> , 15 °C	EN ISO 3675	0.88	0.86-0.90	0.82-0.86
Kinematik viskozite, mm <sup>2</sup> /s	EN ISO 3104	4.88	3.5-5	1.3-4.1
Bakır perit korozyon (3 saatte 50 °C)	EN ISO 2160	1.0	max 1.0	
Soğuk filtre tıkanma noktası, °C	EN 116	-7.0	+5(Yağ)/ -15(Kiğ)	
Toplam kirlilik, mg/kg	EN 12662	20	max 24	50(max)
İyod değeri, g iodiye/100g	EN 1411	122	120	118
Metanol içeriği, % (m/m)	EN 1410	0.20	max 0.20	
Su içeriği, mg/kg	EN ISO 12937	300	max 500	169
Monogliserid içeriği, % (m/m)	EN 1410	0.11	max 0.20	
Digliserid içeriği, % (m/m)	EN 1410	0.20	max 0.20	
Trigliserid içeriği, % (m/m)	EN 1410	0.20	max 0.20	
ALT ısı değeri, Mj/kg	DIN 51900-1	39.16		43.3
Akma noktası, °C	ASTM D 97	-6		-35(-15)
Parlama noktası, °C	ASTM D 93	>120	120-130	60-80
Toplam gliserol, % (m/m)	EN 1410	0.02	max 0.25	
Fosfor içeriği, mg/kg	EN 14107	4.0		
Sülfür, mg/kg	EN ISO 20846	10	0	6800
Setan sayısı	ISO 3104	54.5	47-51	40-55

Sonuçlar incelendiğinde iyod değeri dışında TTYME'nin EN 14214 biyodizel standartlarını sağladığı görülmektedir. Uluslararası EN 14214 standardında belirlenen maksimum iyod sayısı 120'dir. TTYME analizlerinde KOH katalizörü kullanılarak elde edilen metil esterinin iyot sayısı 122, NaOH katalizörü kullanılarak elde edilen metil esterinin ise 118 olarak tespit edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda 115'ten yüksek iyot sayısı karbon kalıntısı oluşturması nedeniyle önerilmemektedir (Agarwal and Das, 2000; Karaosmanoğlu ve ark, 2000). Birçok biyodizel ürünü ve özellikle de soya metil esterleri bu değerden daha yüksek iyot sayısına sahiptir.

TTY'nin kinematik viskozitesi pek çok bitkisel yağdan daha düşüktür bu özelliği sayesinde özellikle acil durumlarda dizel motorlarda kullanılabilir. Transesterifikasyon işlemi ile tütün tohumu yağının 12.73 mm<sup>2</sup>/s olan kinematik viskozite değeri 4.88 mm<sup>2</sup>/s'ye düşürülmüştür. Yine kinematik viskozite gibi yakıt atomizasyonunda etkili bir diğer faktör olan yoğunlukta 0.88g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. TTYME'nin yoğunluğu dizel yakıttan yüksektir. Biyodizel, moleküler yapısındaki yüksek olan oksijen varlığından dolayı dizel yakıtına göre daha düşük ısı değere sahiptir. Dizel yakıtında 43.3 Mj/kg olan ısı değeri TTYME'nde 39.16 Mj/kg'dır. TTYME dizel yakıttan biraz daha yüksek setan sayısına sahiptir ve uluslararası standartları sağlamaktadır. TTYME dizel yakıttan daha yüksek parlama noktası ile depolama, taşıma kolaylığı ve güvenlik sağlanmaktadır. Ayrıca TTYME akma noktasının da düşüklüğü sayesinde soğuk hava şartlarında kullanıma uygundur. TTYME kükürt içermemesi sebebiyle insan ve çevre sağlığı açısından da diğer pek çok biyodizel yakıttan üstündür.

### Taguchi Metoduyla Motor Performansının Optimizasyonu

Optimum çalışma şartları Taguchi yöntemiyle belirlenmiş, daha sonra KOH ve NaOH katalizörler ile elde edilen TTYME'nin motor performans parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Deneysel tasarımın güç ve momentte artışı; ÖYT'inde ise azalmayı gerektirmesi tasarımı zorlaştırmıştır. Çizelge 4'te motor performansına etkili faktörlere ait ANOVA varyans analizi sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4. ANOVA varyans analizi tablosu

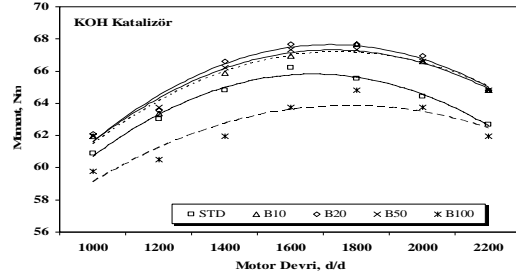
	Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı S	Serbeslik Derecesi F	Kareler Ortalaması	F <sub>teorik</sub>
MOMENT	[A] Katalizör tipi	0.70	1	0.70	44.21*
	[B] Motor devri	1.15	3	0.38	24.11*
	[C] Karışım oranı	0.41	3	0.14	8.65*
	Toplam	2.27	7	0.32	
	Hata	0.13	9	0.02	
GÜÇ	[A] Katalizör tipi	0.70	1	0.70	44.21*
	[B] Motor devri	120.06	3	40.02	2514.22*
	[C] Karışım oranı	0.41	3	0.14	8.65*
	Toplam	121.17	7	17.31	
	Hata	0.13	9	0.02	
ÖYS	[A] Katalizör tipi	0.50	1	0.50	33.19*
	[B] Motor devri	1.76	3	0.59	38.96*
	[C] Karışım oranı	1.76	3	0.59	38.92*
	Toplam	4.02	7	0.57	
	Hata	0.12	9	0.02	

\*% 99 Güven aralığı.

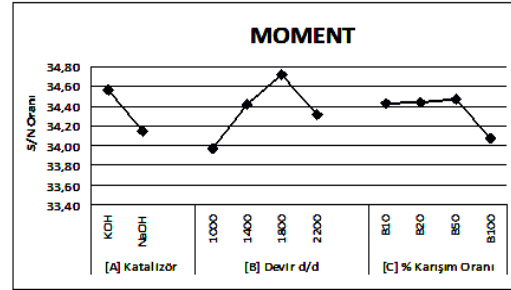
Çizelge 5'te yer alan varyans analizi sonuçlarına göre moment üzerinde % 99 güven aralığında sırasıyla katalizör tipi, motor devri ve TTYME-dizel yakıt karışım oranının etkili olduğu anlaşılmıştır. Şekil 2a'da TTYME karışımlarının döndürme momentine etkileri, Şekil 2b'de ise Taguchi yöntemi kullanılarak optimum çalışma şartlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel tasarımda, % 99 güven aralığına göre moment üzerinde etkili faktör seviyelerine ait S/N değerleri görülmektedir. Şekil 2b incelendiğinde moment maksimum yapan en iyi deney % 99 güven aralığında A<sub>1</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub> şartlarında gerçekleşmektedir. Yani katalizör tipinin (A) 1. seviyesi olan KOH katalizörü, motor devrinin (B) 3. seviyesi olan 1800 d/d ve karışım oranının (C) 3. seviyesi olan B50 şartlarında yapılan deneylerde moment maksimum olmaktadır.

Varyans analizi sonuçlarına göre efektif güç üzerinde % 99 güven aralığında sırasıyla motor devri, katalizör tipi, ve TTYME-dizel yakıt karışım oranının etkili olduğu anlaşılmıştır. Şekil 3a'da TTYME karışımlarının efektif güç üzerine etkileri, Şekil 3b de ise deneysel tasarımda, % 99 güven aralığına göre efektif güç üzerinde etkili faktör seviyelerine ait S/N değerleri görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde, efektif gücü maksimum yapan en iyi deney % 99 güven aralığında A<sub>1</sub>B<sub>4</sub>C<sub>3</sub> şartlarında gerçekleşmektedir. Yani

katalizör tipinin (A) 1. seviyesi olan KOH katalizörü, motor devrinin (B) 4. seviyesi olan 2200 d/d ve karışım oranının(C) 3. seviyesi olan B50 şartlarında yapılan deneylerde efektif güç maksimum olmaktadır.

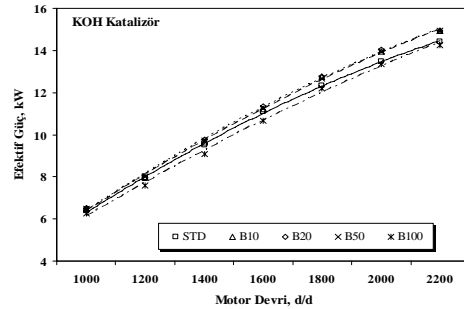


a

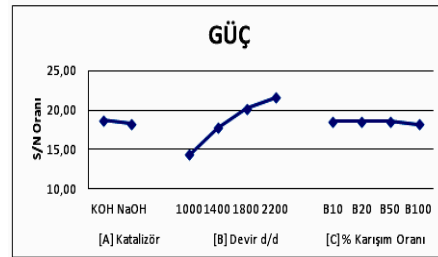


b

Şekil 2. TTYME karışımlarının döndürme momentine etkileri(a) ve S/N oranına göre moment üzerinde etkili parametreler ve seviyeleri (b).



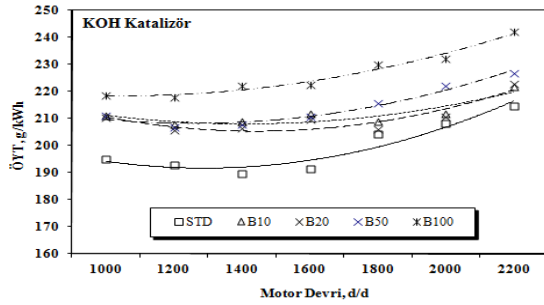
a



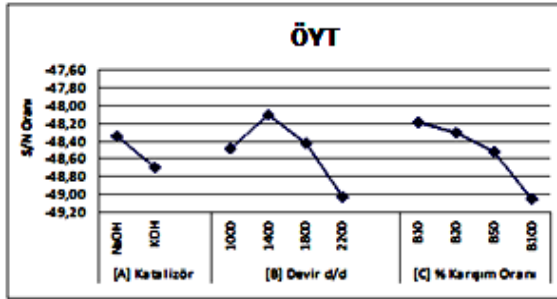
b

Şekil 3. TTYME karışımlarının efektif güç üzerine etkileri(a) ve S/N oranına göre efektif güç üzerinde etkili parametreler ve seviyeleri (b).

Varyans analizi sonuçlarına göre özgül yakıt tüketimi üzerinde % 99 güven aralığında sırasıyla motor devri, TTYME-dizel yakıt karışım oranı ve katalizör tipinin etkili olduğu anlaşılmıştır. Şekil 4a'da TTYME karışımlarının efektif güç üzerine etkileri, Şekil 4b de ise deneysel tasarımda, % 99 güven aralığına göre özgül yakıt sarfiyatı üzerinde etkili faktör seviyelerine ait S/N değerleri görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde özgül yakıt sarfiyatını minimum yapan en iyi deney % 99 güven aralığında  $A_1B_2C_1$  şartlarında gerçekleşmektedir. Yani katalizör tipinin (A) 1. seviyesi olan NaOH katalizörü, motor devrinin (B) 2. seviyesi olan 1400 d/d ve karışım oranının (C) 1. seviyesi olan B10 şartlarında yapılan deneylerde özgül yakıt sarfiyatı minimum olmaktadır.



a



b

Şekil 4. TTYME karışımlarının ÖYT üzerine etkileri (a) ve S/N oranına göre özgül yakıt sarfiyatı üzerinde etkili parametreler ve seviyeleri (b).

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Acaroğlu, M., 2003. Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Agarwal, A.K., DAS, L.M., 2006. Biodiesel development and characterization for use as fuel in compression ignition engines, Transactions of the ASME;(123):440-447.
- Borat, O., Balcı, M, A. Sürmen, 1992. İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 1, T.E.V. Yayını, Ankara.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Çevre, tarım ve enerji politikalarını destekleyen, dışa bağımlılığı azaltan, ekonomik fayda sağlayan ve özellikle TTY gibi gıda sektöründe kullanılmayan yenilemez yağlardan üretilen biyodizellerin ülke ekonomisine katkısı yüksek olacaktır. Biyodizel üretiminde önemli bir nokta olan yerel kaynakların yağ üretiminde kullanılması tütün bitkisinin ekim alanlarının artırılması ile ve atık materyal olan tohumlarının biyodizel amaçlı yağ üretiminde kullanılması ile yerel kaynağımız değerlendirilmiş olacaktır. Özellikle büyük şehirlerdeki toplu taşıma araçlarında, tarım sektöründe, seraların ısıtılmasında ve traktörlerde, deniz ulaşımında, doğal dengeyi koruyan ormanlık alanlar ile kapalı su havzalarının bulunduğu alanlarda fosil yakıt yerine biyodizel kullanımı oldukça önemli ve hayatidir.

Etkin ve güçlü tasarımın amacı sonuçlardan beklenen ortalamayı iyileştirmek ve hatalardan kaynaklanan belirsizlikleri minimize etmektir. Çalışmada Taguchi deney tasarımı ile en az sayıda deney yapılarak ve ANOVA varyans analizi uygulanarak iki farklı katalizör kullanılarak üretilen TTYME'nin motor performansına etkili parametrelerin ve bunların farklı seviyelerinin arasından optimum şartları sağlayan kombinasyon belirlenmiştir. Motor performansı açısından moment ve efektif gücü maksimum, ÖYT'ni minimum yapan deney seti belirlendikten sonra bu şartlarda doğrulama deneyi yapılarak sonuçlar teyit edilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre efektif güç üzerinde; motor devrinin, momentte katalizör tipinin ve ÖYS'nda TTYME-dizel yakıt karışım oranının en etkili faktör olduğu görülmüştür. Motor devrinin etkisi performans deneyleri dikkate alındığında beklenen bir sonuçtur fakat % 99 güven aralığında katalizör tipinin de efektif güç, moment ve ÖYT üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

- Ergeneman, M., H. Arslan, M. Mutlu, 1998. Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Fraley, S., M. Oom, B. Terrien, J. Z. Date, 2006. Design of Experiments via Taguchi Methods: Orthogonal Arrays, The Michigan Chemical Process Dynamic and Controls Open Text Book, USA.

## Tütün Tohumu Yağı Metil Esterinin Motor Performansına Etkilerinin İstatistiksel Deney Tasarımıyla İncelenmesi

- Giannelos, P.N., zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G.,2002. Tobacco Seed Oil as an Alternative Diesel Fuel:Physical and Chemical Properties.Industrial Crops and Products;(16):1-9.
- Gökce, B., S. Tasgetiren, 2009. Teknolojik Araştırmalar, (1) 71-83.
- Karaosmanoğlu, F., Kurt, G., Özaktaş, T., 2000. Long Term CI Engine test of Sunflower oil, Renewable Energy;(19):219-221.
- Ross, P.J, 1989. Taguchi techniques for quality engineering, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Stanisavljevic, I., Lazic, M L., Veljkovic, V.B., 2006. Ultrasonic Extraction of Oil from Tobacco (Nicotiana tabacum L.) seeds.Science Direct;(14):201-210.
- Ulusoy, Y., K. Alibaş, 2002. Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Yönden İncelenmesi, Uludağ Ün v Ziraat Fakültesi;(16):37-50.
- Veljkovic, V.B., Lakicevic, S.H., Stamenkovic, O.S., Todorovic, Z.B., Lazic, M.L., 2006. Biodiesel Production from Tobacco (Nicotiana tabacum L.) Seed Oil with a High Content of Free Fatty Acids, Fuel;(85):2671–2675.



