

Kanola Yağı Metil Esteri ve Karışımlarının Dizel Motoru Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Mahmut Güneş ÖZTÜRK⁽¹⁾, Kemal BİLEN⁽²⁾

⁽¹⁾Cumhurbaşkanlığı Genel Sekreterliği, Teknik İşler Müdürlüğü, Çankaya, Ankara, TÜRKİYE.

⁽²⁾Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kampüs, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE.

⁽²⁾Tel: +90 (318) 357 42 42 / 1086; Fax: +90 (318) 357 24 59, bilenk@itu.edu.tr

Özet— Dünyadaki enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta ve enerji ihtiyacının önemli bir bölümü fosil kaynaklı yakıtlar ile karşılanmaktadır. Enerji ihtiyacındaki mevcut artış oranları ve belirlenmiş fosil yakıt rezervleri dikkate alındığında ortalama elli yıl içerisinde fosil yakıtların tükenme noktasına gelmesi beklenmektedir. Fosil yakıtların önemli bir bölümü taşıtlar ve dolayısıyla içten yanmalı motorlarda kullanılmakta olup, dizel motorları ile donatılmış ve dizel yakıtı kullanan taşıtlar taşımacılık sektöründe yaygın biçimde tercih edilmektedir. Bu çalışmada; dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kanola yağının metil esterine ele alınmış, yapılan deneylerde %100 dizel, %50 dizel yakıtı + %50 biyodizel (karışım yakıtı) ve %100 biyodizel yakıtı için aynı şartlar altında dört zamanlı ve dört silindirli bir dizel motorda çeşitli devir ve yüklerde deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması neticesinde; dizel motorların, belirgin bir revizyona ihtiyaç duyulmaksızın, alternatif yakıt olarak dizel ve biyodizel karışımlarının kullanılmasına uygun olduğu, kanola yağı metil esterinin yakıt özellikleri ve yanma ürünleri açısından olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Index Terimleri— Alternatif Yakıtlar, Biyodizel, Kanola Yağı Metil Esteri, Dizel Motor, Motor Performansı.

Abstract— World's energy need is increasing every day and majority of this energy need are met by fossil fuels. When current increment rates in energy need and predetermined fossil fuel reserves are taken into consideration, approximately within 50 years, it is expected that fossil fuels will come to depletion point. Considerable part of fossil fuels are used in vehicles and therefore in internal combustion engines, vehicles equipped with diesel engines and using diesel fuels are widely preferred in transportation sector. In this study, as an alternative fuel for diesel engines, canola oil's methyl ester is used. In the experiment three percentages are tested under the same circumstances on a four cycle and four cylinder diesel engine. They are %100 biodiesel, %50 diesel + %50 biodiesel (fuel mixture), and %100 diesel. It is determined that diesel engines, without a significant revision need, are suitable for biodiesel and diesel mixtures as an alternative fuel and canola oil's methyl ester gives positive results with respect to fuel properties.

Index Terms— Alternative Fuels, Biodiesel, Canola Oil's Methyl Ester, Diesel Engine, Engine Performance.

I. GİRİŞ

Enerji verimliliği önemli bir konu olmakla birlikte, Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanacak teknolojilerin geliştirilerek teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması ulusal enerji çalışmalarının bir diğer önemli ayağını oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji olarak, bitkisel ürünlerden elde edilen yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanılması, yeni bir konu olmayıp, öteden beri bu konuda küresel ölçekte çalışmalar sürdürülmektedir.

Türkiye'nin, birincil enerji kaynakları bakımından kendine yetemeyen bir ülke durumunda olmasına karşılık, biyoenerji potansiyeli bakımından umut verici konumdadır. Petrol ihtiyacımızın %80'den fazlası ithalat ile karşılanmaktadır. Bu konudaki sıkıntı devam ettiği sürece yeni enerji kaynaklarının araştırılmasının önemi artmaktadır. Otomotiv sektöründe petrol yerine; bitkisel yağlar, güneş enerjisi, sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) kullanımı araştırılmaktadır [1].

Dünya Enerji Konseyi raporlarında, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji talebinin maksimum %8-12'sinin 2020 yılında karşılanabileceği belirtilmektedir. Bu senaryoya göre modern biyokütle ile sağlanacak enerji, jeotermal enerjinin 6.4, rüzgâr enerjisinin 2.6-3, güneş enerjisinin 1.6-2.2 katı olabilecektir. Görüldüğü gibi en büyük pay modern biyokütleyle ayrılmıştır. Kısacası biyokütlenin; güneş, rüzgâr, jeotermal enerjilerinden daha büyük paya sahip olacağı öngörülebilir [1].

Yeni, yenilenebilir ve çevre dostu yakıtlar için çalışmalar yapıldığında bitkisel yağlar ön plana çıkmaktadır. Bitkisel yağlar tohumlardan ve meyve çekirdeklerinden elde edilmektedir. Bu nedenle enerji bitkileri ülkemizde ve dünyada araştırma konusu olmaktadır. Ülkemizde meyvesinden yağ üretmek için zeytin, fındık ve tohum yetiştirilmekle birlikte, çekirdeğinden yağ üretmek için keten, aspir, kolza (kanola), ayçiçeği, soya, susam, yerfıstığı, pamuk, mısır, kenevir gibi bitkiler yetiştirilmektedir [2].

Biyodizel üretimi açısından bakıldığında ülkemizde yeterli potansiyel mevcuttur. Özellikle kanola, ayçiçeği ve soya ekimine bir takım ekonomik destekler sağlanmaktadır. Bitkisel ürünlerden elde edilen yağların dizel motorlarda kullanımı yeni bir kavram değildir. Nitekim, Rudolf Diesel'in 1900 yılında dizel motoru keşfetmesi ve yerfıstığı yağını yakıt olarak

kullandığı ilk dizel motorunu “Paris Fuarı”nda tanıtmasından beri bilinmesine rağmen, söz konusu yıllarda petrolün ihtiyacı fazlasıyla karşılaması, bitkisel yağlara göre daha ucuz olması ve bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasıyla ortaya çıkan motorda tortu oluşumu ve yakıt sistemindeki tıkanmalar gibi problemlerin giderilmesindeki sıkıntılardan dolayı bitkisel yağların yaygın kullanımına geçilememiştir [3].

Günümüzde bitkisel yağlara uygulanan farklı ısı ve kimyasal yöntemlerle, bu yağların motorlarda kullanılmasıyla ortaya çıkan problemler aşılmaya çalışılmaktadır [3].

Bu aşamada yapılan çalışmalar arasında en önemlilerinden biri, genel olarak bitkisel yağların bir baz veya asit katalizör kullanılmasıyla, etil ve metil alkol gibi kısa zincirli bir alkol ile transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda üretilen bitkisel yağ esteri olan ve biyodizel olarak adlandırılan dizel motor yakıtının elde edilmesidir [4].

Ülkemizde araç sayısı her geçen gün hızla artmaktadır. Bununla birlikte, kullanılabilir petrol rezervlerinin sınırlı olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda fosil yakıt tüketen bu araçlardaki artışla birlikte fosil yakıtlara olan talep de artmaktadır. Bu artış oranı dünya fosil yakıt kaynaklarının tükenme noktasına gelmesine neden olacaktır. Yaşanan petrol krizleri ve çevresel faktörler fosil yakıt tüketimi ve egzoz emisyonunun azaltılması için çalışmalar yapılmasını zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda alternatif yakıtları kullanabilen teknolojilerin geliştirilmesi çalışmaları sürdürülmektedir. Ülkemizde geniş bir üretim potansiyeli bulunan kanola bitkisinden elde edilen biyodizel yakıtının dizel motorlarda belirgin bir revizyona gerek duyulmaksızın kullanımı sonucu, motor performansında dizel yakıtı kullanımına göre ortaya çıkacak değişiklikleri incelemek bu çalışmanın temel amacıdır.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Koehler [5], kolza yağının içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaları genel olarak değerlendirmiştir. Kanola yağı metil esterinin dizel yakıtı ile karşılaştırmasına ilişkin olarak; kolza yağından elde edilen yakıtın enerji değerinin yüksek olduğunu, yakıtın yanma sonucu açığa çıkan atık gazların atmosfere olan etkisi yönünde olumlu sonuçlar verdiğini ve %15-30 oranında daha az zararlı gaz açığa çıktığını tespit etmiştir. Ayrıca; biyodizelin zehirsiz olduğu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgendiği, biyodizelin dolumu sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığı, biyodizelin iyi bir yağlama kabiliyetine sahip olduğu ve böylece motor aşınmasını yüksek derecede engellediği hususlarına değinmiştir.

Hoeck [6] ise yaptığı araştırmada; yakıt olarak kanola yağı, kanola yağı metil esterini ve dizel yakıtı kullanmış ve deney yapılan araçlarda bir takım arızalar meydana geldiğini ortaya koymuştur. Buna göre; bazı araçların yakıt boruları ve rekorlarında problemler çıktığını, yağlama yağlarında incelmeler görüldüğünü, yakıt filtrelerinde tortulaşmalar meydana geldiğini belirtmiştir. Hoeck [6] bu arızaları gözlemledikten sonra; motorun saf bitkisel yağ kullanımına uygun olmadığını ve kanola yağı metil esterinin motor üzerinde büyük ölçüde bir teknik değişim olmadan yakıt olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Raheman ve Phadatare [7] tarafından biyodizel ve dizel karışımları ile yapılan çalışmalarda motor gücünün ortalama %10 azaldığı belirtilmiştir.

Kalligeros vd. [8] yaptıkları çalışmada; ayçiçeği yağı metil esterini, zeytin yağı metil esterini ve dizel yakıtını ele alarak, her bir bitkisel yağ metil esterinin dizel yakıtı ile %10, %20 ve %50 karışımlarını, maksimum gücü 3.8 kW, sıkıştırma oranı 19/1, tek silindirli bir dizel motorda test ederek, yakıt tüketiminde %10'lara varan artışlar olduğunu belirtmişlerdir.

Shi vd. [9], Çin Bilim Akademisi'nin desteklediği çalışmalarında; biyodizel-etanol-dizel yakıtı kullanarak, 4 silindirli ve sıkıştırma oranı 17.5/1 olan Cummins-4B motorunun emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir.

Yapılan başka bir çalışmada; ayçiçeği metil esterini ile dizel yakıtı mukayese edilerek, motor güç eğrilerinde önemli bir değişim olmadığı, fakat özgül yakıt tüketiminin dizelden %6 fazla olduğu; bunun nedeninin ayçiçeği metil esterinin ısı değerinin dizel yakıtından %13 daha düşük olmasından kaynaklandığı gösterilmiştir [10].

Schmidt ve Gerpen [11] tarafından direkt püskürtmeli turbo doldurmalı motorda yapılan testlerde, bitkisel yağ metil esterleri ile dizel yakıtı karşılaştırılmış ve özgül yakıt tüketiminin bitkisel yağ metil esterleri kullanıldığında daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Termik verim açısından bakıldığında herhangi bir farklılık gözlemlenmemiştir.

Aytaç [12], bir dizel motorunda dizel yakıtı ve bitkisel yağların çeşitli oranlarda karışımlarının yakıt olarak kullanılmasının; motordaki indike basınç, devir sayısı, yakıt tüketimi, emme ve egzoz gazları sıcaklığı, motor gürültüsü, yağ basıncı, pompa eleman aşınması ve hacimsel verim üzerine etkilerini incelemiştir. Bu karışımların %100 dizel yakıtla karşılaştırmasını yaparak, en yüksek egzoz sıcaklığının %75'lik soya yağı-dizel yakıtı karışımında ölçüldüğü, gürültü miktarlarının genel olarak karışım yakıtlarda daha az olduğu, yakıt tüketiminin karışım yakıtlarda daha yüksek olduğu, silindir indike basınçlarında önemli bir değişim olmadığı ve ilk harekete geçişte zorluklar yaşanmadığı sonucuna varmıştır.

Nwafor [13], kanola yağı metil esterini ve dizel yakıtı karışımlarının oluşturduğu emisyon değerlerini incelediği çalışmada; kanola yağı metil esterini ile yapılan deneylerdeki yakıt tüketimi, dizel yakıtı ile yapılan deneylere göre biraz daha yüksek çıktığını ve ayrıca karışımdaki kanola yağı metil esterini oranı arttıkça yakıt tüketiminin de arttığını belirlemiştir.

Peterson vd. [14] yaptıkları çalışmada; soya yağı etil esterini direkt püskürtmeli John Dere 4239T aşırı doldurmalı dizel motorda deneyerek, güç ve moment değerlerinde %5 düşme olduğunu buna karşılık yakıt tüketiminde ise %7 artış olduğunu bildirmişlerdir.

Thompson vd. [15]; direkt püskürtmeli ve aşırı doldurmalı bir motorda, yeni üretilmiş kanola yağı metil esterini, üretimi takiben iki yıl süre ile bekletilmiş metil esterini ve dizel yakıtını kullanmışlardır. Etil ve metil esterinin moment, güç ve özgül yakıt tüketimi eğrilerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Selim vd. [16], bitkisel enerji kaynağı olarak jojoba yağı metil esterini kullanarak, bu yakıtın ön yanmalı bir dizel motor performansına etkilerini inceledikleri çalışmada, saf jojoba yağı metil esterini için basınç ve basınç artış oranının dizel

yakıtın özellikleri ile tamamen benzerlik gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu bitkisel yakıt, dizel yakıtından daha yumuşak bir basınç artış oranına sahip olduğu için ön plana çıkmakta ve bütün devir sayılarında dizel yakıtın ürettiği güç ve tork değerlerine yakın sonuçlar vermektedir.

Yücesu ve Altın [17], kanola yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı üzerine yaptıkları araştırmalarında, tek silindri direkt püskürtmeli bir dizel motorunda çeşitli devirlerde motor performansı ve egzoz emisyonunu incelemişlerdir. Kanola yağı ve dizel yakıtı ile yapılan testler sonucunda; motor devir sayısına bağlı olarak dizel yakıtının, kanola yağından daha yüksek moment ve güç değerleri üretebildiği, özgül yakıt tüketimine bakıldığında, kanola yağının dizel yakıtına göre sarfiyatının daha yüksek olduğu, kanola yağı termik veriminin dizel yakıtından yaklaşık %9 düşük olduğu bildirilmiştir.

Zang ve Gerpen [18], soya yağı metil esteri ve dizel yakıt karışımları ile, 4 zamanlı, 4 silindri, sıkıştırma oranı 16.8/1 ve aşırı doldurmalı bir motorda performans ve emisyon testleri yaptıklarını ve bitkisel yağ metil esteri ve dizel yakıt karışımlarının kullanılması durumunda elde edilen motor performans eğrilerinin, dizel yakıtına benzer sonuçlar arz ettiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada; özgül yakıt sarfiyatı açısından bitkisel yağ metil esteri ve dizel yakıt karışımlarının daha yüksek olduğu ölçülmüştür.

Radu ve Mircea [19], direkt püskürtmeli, 3 silindri ve 17/1 sıkıştırma oranlı dizel motorunda ayçiçeği yağı ve dizel yakıt karışımlarını kullanarak yaptıkları çalışmalarında, %20, %40 ve tam yükte maksimum güç, moment ve yakıt sarfiyatı deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak, bitkisel yağ ve dizel karışımlarının; düşük yanma ısı ve yüksek viskoziteye sahip olduğunu ve ham olarak kullanılan bitkisel yağ yakıtlarına göre; güç, moment ve yakıt sarfiyatı açısından daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Altın [20], saf ayçiçeği yağı, saf soya yağı, bu yağlar ile bu yağların metil esterlerinin dizel yakıtı ile eşit karışımları ve %100 dizel yakıtı kullanarak deneyler yapmıştır. Bu çalışmada; dizel motorda tam yük-değişik hız ve sabit devir-değişik yük deneyleri ile emisyon ölçümü yapılmıştır. Dizel motor elemanlarını incelemek için rölantide 25 saat, %50 yükte 1300 d/d'da 25 saat olmak üzere 50 saatlik dayanıklılık testi de yapılmıştır. Bu çalışmada; bitkisel yağların ve metil esterlerinin kısa süreli performans ve emisyon deneylerinde dizel yakıtından elde edilen sonuçlara yakın değerler elde edildiği, motorda oluşan birikintilerin uzun süreli çalışmalar için problem teşkil edebildiği ve bu nedenle bitkisel yağların iyileştirilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır.

Çiğizoğlu vd. [21]; ön yanma odalı bir dizel motorda, kullanılmış ayçiçeği yağı ile dizel yakıtını belirli oranlarda karıştırarak yaptıkları çalışmada, karışım yakıtla elde edilen motor karakteristik değerlerinin dizel yakıtı ile oluşan değerlere yakın olduğu sonucuna varmışlardır.

Gürü vd. [22] tarafından yapılan deneysel bir çalışmada; tek silindri, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda, Mg katkılı hayvansal biyodizelin performans ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada deneyler; No.2 dizel yakıtı ve %10 hayvansal biyodizel + %90 No.2 dizel yakıtı karışımı (B10) ile tam yük çalışma şartlarında, 1800-3000 d/d motor

hızı aralığında yapılmıştır. Deneylerde, %10 biyodizel ilavesi ile motor momenti önemli bir değişim göstermemiştir. Biyodizelin alt ısı değerinin düşük olması sebebiyle motorun özgül yakıt tüketimi %5.2 oranında artmıştır. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile CO emisyonu %13, is emisyonu %9 azalmış, NO_x emisyonu ise %5 artmıştır.

III. BIYODİZEL YAKITI

Biyodizel üretimi: Bitkisel yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu (alkoliz) ile biyodizel elde edilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak di- ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçeği, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir. Üretim teknolojisinde zorluk bulunmamaktadır. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafine edilme aşaması önem kazanmaktadır. Biyodizel %99 oranının üzerinde bir saflıkta üretilmelidir [23].

Biyodizelin genel özellikleri: Biyodizel orta uzunlukta C₁₆-C₁₈ yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijene zincir yapısı, biyodizeli petrol kökenli motorlardan ayırır. Biyodizel, motorine çok yakın ısı değere, motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik biyodizeli, kullanım ve depolanmasında diğer yakıtlara göre daha güvenli bir yakıt yapar. Biyodizel kükürt içermediği için genel olarak zararlı kükürt emisyonunu düşük seviyelere indirebilir, yağlama derecesi yüksek olduğu için içten yanmalı motorların ömrünü uzatır ancak biyodizel yakıt tüketimi; dizel yakıtına göre hacimsel olarak %11, kütleli olarak ise %5-6 daha fazla olmaktadır [24].

Biyodizelin sahip olduğu özellikler, bu alternatif yakıtın dizel taşıt motorları dışında da yakıt olarak kullanımına olanak sağlamaktadır. Biyodizel bu nedenle, "acil durum yakıtı" ve "askeri stratejik yakıt" şeklinde de adlandırılabilir. Biyodizel, jeneratör yakıtı veya kalorifer yakıtı olarak da değerlendirilebilir. Kükürt içermeyen biyodizel seralar için mükemmel bir yakıt olabilir. Ayrıca gıda kurutulmasında başarılı bir şekilde kullanılabilir [23].

Biyodizelin sakıncaları: Biyodizel yakıtının bazı üstünlükleri olduğu gibi bazı sakıncaları da söz konusudur. Özellikle yüksek viskozite, doymamış yapı ve katılma eğilimi gibi özellikleri biyodizelin sakıncalarının başında gelmektedir.

Biyodizelin sakıncalarını giderme yöntemleri: Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında ana kısıtlayıcı faktör viskozitedir. Viskozite probleminin çözümü için kaynaklarda; seyreltme, mikro emülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon olmak üzere dört yöntem önerilmektedir [25].

IV. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

A. Deney Tesisatının Tanıtımı

Kanola yağı metil esteri, motorin ve bu iki yakıt karışımının, bir dizel motorda yakıt olarak kullanılmasının motor performansına etkisinin incelendiği bu çalışmaya ilişkin deneyler; Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Bu amaçla kurulan deney tesisatı Şekil 1'de gösterilmiştir.



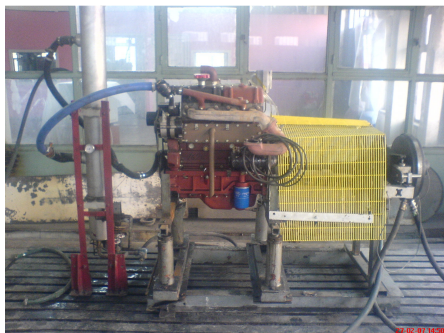
Şekil 1. Deney tesisatının genel görünümü.

Deney Tesisatı: Genel görünümü Şekil 1'de verilen deney tesisatı; Tablo I'de genel özellikleri verilen bir dizel motoru, hidrolik dinamometre, soğutma kulesi, baca gazı analiz cihazı, gaz analiz cihazı ve veri toplama sistemi olmak üzere temelde altı ana kısımdan oluşmaktadır. Buna göre;

Test Edilen Motor: Deneylerde 4 silindirli, direkt püskürtmeli (DI) ve aşırı doldurmalı, Steyr marka, dört zamanlı, içten yanmalı bir dizel motoru kullanılmıştır. Tablo I'de, deneylerde kullanılan söz konusu motorun teknik özellikleri ve Şekil 2'de ise bu motorun genel görünümü yer almaktadır.

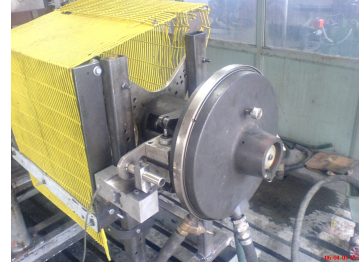
TABLO I
DENEY MOTORUNUN TEKNİK ÖZELİKLERİ

Özellik	Açıklama
Markası	Steyr marka
Silindir sayısı, z	4 adet
Silindir çapı, D	100 mm
Stroku, H	100 mm
Sıkıştırma oranı, ϵ	16.1/1
Maksimum motor devri, $n_{maks.}$	2600 d/d
Maksimum güç, $N_{maks.}$	46 kW (2600 d/d'da)
Maksimum tork, $T_{maks.}$	216 Nm (1600 d/d'da)



Şekil 2. Deney motorunun genel görünümü.

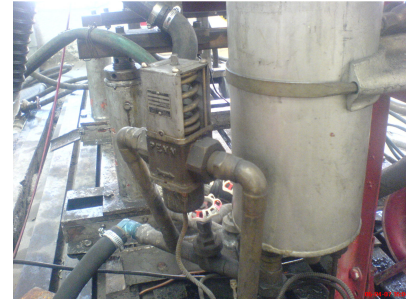
Dinamometre: Deneylerde; Şekil 3'de genel görünümü verilen ve maksimum gücü 1000 kW olan Go-Power marka hidrolik test dinamometresi kullanılmıştır.



Şekil 3. Deneylerde kullanılan dinamometrenin genel görünümü.

Soğutma Kulesi: Deneylerde; motor soğutma suyunun soğutulabilmesi için motorun dışında bulunan, mevcut sıhhi tesisat hattına bağlı bir soğutma kulesi kullanılmıştır. Söz konusu soğutma kulesi Şekil 4'de gösterilmiştir.

Egzoz Emisyon Cihazı ve Gaz Analiz Cihazı: Deneylerde egzoz emisyon değerlerinin tespit edilmesinde Gaco-Sn marka egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Duman koyuluğu ile ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinin tespitinde ise, genel görünümü Şekil 5'de verilen ve %1 hassasiyetle ölçüm yapabilen VLT 2600S marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4. Deneylerde kullanılan soğutma kulesinin genel görünümü.



Şekil 5. VLT 2600S marka gaz analiz cihazının genel görünümü.

Deneylerde Kullanılan Yakıt: Deneylerde; %100 kanola yağı metil esteri, %50 kanola yağı metil esteri + %50 dizel yakıtı karışımı ve %100 dizel yakıtı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kanola yağı metil esterinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo II'de gösterilmiştir. Söz konusu yakıt piyasada ticari olarak bulunmaktadır.

TABLE II
KANOLA YAĞI METİL ESTERİ ÖZELİKLERİ

Özellik	Değer
Yoğunluk (15 °C'da)	0.89 [g/cm ³]
Kinematik viskozite (40 °C'da)	3.9 [mm ² /s]
Alevlenme noktası	140 [°C]
Bulutlanma noktası	-3 [°C]
Akma noktası	-7 [°C]
Bakır korozyon (3 h ve 50 °C'da)	1b
Alt ısı değeri	40 004 [kJ/kg]
Setan sayısı	53.4
PH	7.38

B. Deneylerde Yapılan Ölçümler

Motor devir sayısı, gücü ve momentinin ölçümü: Geliştirilmiş bir yazılım sayesinde deneyler esnasında motor devir sayısı, güç ve tork değerleri okunarak her deney iki defa tekrarlanmış ve ortalama sonuçlar hesaplanmıştır.

Yakıt sarfiyatı ölçümü: Yakıt sarfiyatının tespitinde, her ikisi de %1 hassasiyete sahip dijital terazi ve kronometre kullanılmıştır. Yakıt ölçümlerinde 1 dakikalık süre esas alınmış ve motorun farklı yük ve devir şartlarında bu süre içinde ne kadar yakıt tükettiği tespit edilmiştir.

Deney Öncesi Hazırlıklar: Deneyler başlamadan önce yakıt enjeksiyon pompası, enjektör püskürtme basınçları (200 bar), püskürtme avansı (15 KMA) ve supap ayarları motor katalog değerlerine göre ayarlanmış ve motor yağı değiştirilmiştir.

Deneylerin Yapılışı: Bütün deneyler TSE 1231 Motorlu Taşıtlar-Muayene ve Deney Esasları'na göre yapılmıştır. Motor performans değerlerinin ölçülmesi için tam yük-değişik devir testi yapılmıştır. Motor tam gaz konumunda iken motorun maksimum devri olan 2600 d/d'da motor performans değerleri ölçülmüştür. Motor tam gaz konumunda iken gaz koluna dokunmadan motor, test cihazı ile yüklenmeye başlamış; 2600, 2300, 2000, 1700, 1300 ve 1000 d/d'da motor performans değerleri ölçülmüştür.

Bütün deneylerin başlangıcında motor, çalışma sıcaklığına gelene kadar beklenmiş ve bir sonraki deneye başlanmadan önce motor bir süre dinlenmeye bırakılmıştır. İlk deney dizel yakıtla yapılmış ve motor dinlenmeye bırakıldıktan sonra karışım yakıtı ile yapılan deneylere geçilmiştir. Son olarak kanola yağı metil esteri ile deneyler yapılmıştır. Deney süresince motor soğutma suyu sıcaklığı ortalama 85-90 °C arasında tutulmuştur.

Deneyler esnasında sonuçlar okunmadan önce motor devrinin kararlı hale gelmesi beklenmiş ve motor kararlı halde iken motor gücü, moment ve yakıt tüketimi değerleri tespit edilmiştir. Her yakıt için yapılan deneyler iki kez tekrarlanmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

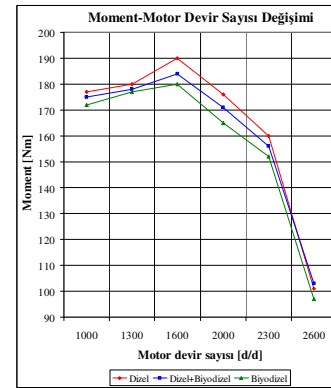
V. DENEYSEL SONUÇLAR

Değişik yüklerde ve devir sayılarında yapılan deneylerde; moment, güç ve saatlik yakıt tüketimi değerleri ölçülmüştür. Ölçülen parametreler ayrı ayrı değerlendirilerek dizel yakıtı, %50 dizel yakıtı ile %50 kanola yağı metil esterinin karışımı ve kanola yağı metil esteri arasındaki farklar belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler halinde gösterilmiştir.

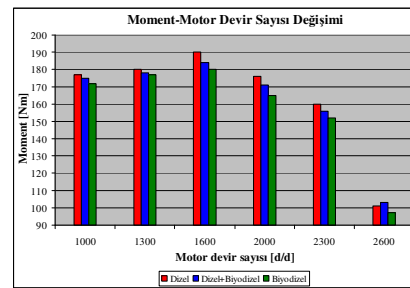
A. Biyodizelin Moment Üzerindeki Etkisi

Dizel yakıtı, dizel-kanola yağı karışımı ve kanola yağı metil esterinin kullanılması durumunda; devir sayısına bağlı maksimum moment eğrileri ve ölçülen moment değerlerinin yakıt türüne göre değişimleri Şekil 6 ve 7'de gösterilmiştir. Yapılan deneylerde; kanola yağı metil esteri ve karışım yakıtı kullanılması durumlarında, dizel yakıtı kullanılması durumuna göre yakıt tüketiminin bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Kanola yağı metil esteri karışımı ve kanola yağı metil esteri kullanıldığında elde edilen moment değerlerinin bir miktar düşük olmakla birlikte dizel yakıtı kullanıldığında elde edilen moment değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Her üç yakıt için de maksimum moment değerleri, motor hızı 1600 d/d iken elde edilmiştir. Maksimum moment değerleri dizel yakıtı için 190 Nm, karışım yakıtı için 184 Nm, kanola yağı metil esteri için 180 Nm'dir. Kanola yağı metil esteri ve karışım yakıtları için elde edilen moment değerlerinin bir miktar düşük olması, kanola yağı metil esterinin yüksek viskoziteye sahip olması ve ısı değeri düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. Moment değerlerinin motor devir sayısı ile değişimi.



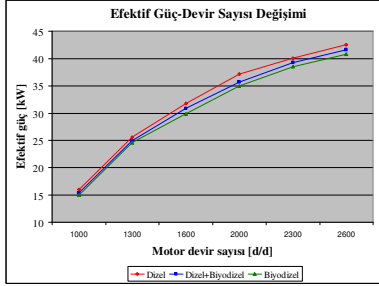
Şekil 7. Maksimum moment değerleri-motor devir sayısı değişimi.

B. Biyodizelin Motor Gücü Üzerindeki Etkisi

Motor efektif gücünün devir sayısına bağlı olarak değişimi; dizel yakıtı, karışım yakıtı ve kanola yağı metil esteri kullanılması durumları için Şekil 8'de görülmektedir. Yapılan deneylerde; dizel yakıtı, karışım yakıtı ve kanola yağı metil esteri kullanıldığında tespit edilen güç değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Dizel yakıtına göre, karışım yakıtının ürettiği güç ortalama %3 daha düşüktür. Dizel yakıtına göre kanola yağı metil esterinin ürettiği güç ise ortalama %5 daha düşüktür. Dizel yakıtına göre, karışım yakıtı

ve kanola yağı metil esteri kullanıldığında ortaya çıkan güç değerleri arasındaki farklar önemsiz kabul edilebilecek düzeyde olup, bu farklılıkların kanola yağı metil esterinin, düşük ısı değeri ile yüksek yoğunluk ve yüksek viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

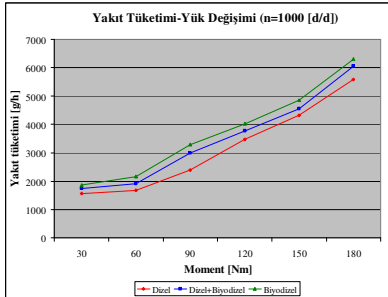
Ayrıca kanola yağı metil esterinin ısı değerinin, dizel yakıtının ısı değerinden düşük olması, kanola yağı metil esteri ve karışımı kullanıldığında elde edilen güç değerlerinin düşük çıkmasına sebep olmaktadır [26].



Şekil 8. Motor efektif gücü-motor devir sayısı değişimi.

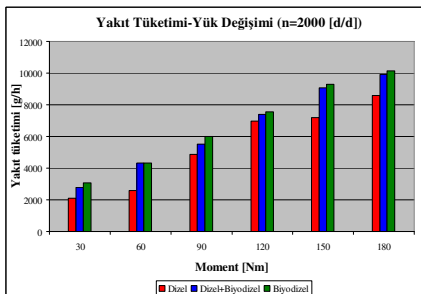
C. Biyodizelin Yakıt Sarfiyatı Üzerindeki Etkisi

Dizel yakıtı, karışım yakıtı ve kanola yağı metil esterinin motor devir sayısına bağlı saatlik yakıt tüketimi değerleri Şekil 9 ve 10'da gösterilmiştir.



Şekil 9. 1000 d/d sabit motor devrinde farklı yüklerde yakıt tüketim değerleri.

Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında, karışım yakıtı ve kanola yağı metil esterinin saatlik yakıt tüketiminin dizel yakıtının saatlik yakıt tüketiminden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtı değerlerine göre ortalama %12 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir. Karışım yakıtı kullanıldığında ise, saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtı değerlerine göre ortalama %8 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 10. 2000 d/d sabit motor devrinde farklı yüklerde yakıt tüketim değerleri.

VI. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her geçen gün artan enerji taleplerinin, bilinen mevcut enerji kaynakları ile karşılanması belirli bir süre sonra mümkün olmayacaktır. Fosil kaynaklı enerji tüketimindeki artış, gün geçtikçe küresel ısınma ve iklim değişikliğine de neden olmaktadır. Tüm bu nedenlerle yeni, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına ciddi bir ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülkemiz tarım sektörü, özellikle kanola, ayçiçeği, soya gibi yağlı tohumlu bitkilerin enerji kaynağı oluşturmak üzere yetiştirilmesi açısından uygun görünmektedir. Bu bağlamda çiftçilere yönelik çeşitli teşvikler ve çalışmalar yapılmaktadır.

Yukarıda ifade edilen bu durum göz önüne alınarak bu çalışmada; kanola bitkisi yağından oluşturulan biyodizelin ve dizel karışımının alternatif yakıt olarak kullanılması ile dizel motor performansına etkisi incelenmiştir.

Kanola yağı metil esteri, dizel yakıtı ve bunların %50 karışımı ile yapılan test sonuçlarına göre, kanola yağı metil esteri ve karışımlarının dizel motorlarında herhangi bir değişikliğe gidilmeden alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği gözlenerek aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Deneyle, her üç yakıt için de maksimum moment değerleri, motor hızı 1600 d/d iken elde edilmiştir. Maksimum moment değerleri dizel yakıtı için 190 Nm, karışım yakıtı için 184 Nm, kanola yağı metil esteri için ise 180 Nm'dir.
- Dizel yakıtı ile ölçülen moment değerine göre karışım yakıtı için moment %2.6 azalmış ve kanola yağı metil esteri için ise %5.3 azalmıştır. Biyodizel ve karışım yakıtları için elde edilen moment değerlerinin bir miktar düşük olması, kanola yağı metil esterinin yüksek viskoziteye sahip olması ve ısı değeri düşük olmasından kaynaklanmaktadır.
- Yakıtın yüksek viskoziteye sahip olması, yakıtın enjektörden püskürtülmesini güçleştirmekte ve iyi derecede atomizasyon sağlanmasını önlemektedir.
- Dizel yakıtına göre, karışım yakıtının ürettiği güç ortalama %3 daha düşüktür. Buna karşılık; dizel yakıtına göre kanola yağı metil esterinin ürettiği güç ise ortalama %5 daha düşüktür.
- Dizel yakıtına göre, karışım yakıtı ve kanola yağı metil esteri kullanıldığında ortaya çıkan güç değerleri arasında farklar çok büyük olmayıp, bu farklılıkların kanola yağı metil esterinin yüksek yoğunluk ve yüksek viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Yüksek viskozite ve yoğunluk, yakıtın enjektörden daha büyük zerrecikler halinde püskürtülmesine sebep olmaktadır. Bu durum dizel motorlarda yanmayı etkileyen en önemli parametre olan tutuşma gecikmesini artırmakta ve böylece yanmanın kötüleşmesine sebep olmaktadır.
- Ayrıca, kanola yağı metil esterinin ısı değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olması; kanola yağı metil esteri ve karışımı kullanıldığında elde edilen güç değerlerinin, dizel yakıtı kullanılması durumundaki güç değerlerinden daha düşük çıkmasına sebep olmaktadır.
- Kanola yağı metil esterinin saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtı değerlerine göre ortalama %12, karışım yakıtı kullanıldığında ise saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtı saatlik yakıt tüketim değerlerine göre ortalama %8 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

VII. REFERANSLAR

- [1] Yamık, H., "Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkânlarının Araştırılması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2002.
- [2] Akdere, Y., "Soya Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2006.
- [3] Tillem, İ., "Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2005.
- [4] Demirbaş, A., "Progress in Energy and Combustion Science", 31, 466, 2005.
- [5] E. Koehler., Fachzeitschrift fuer Oel-und Eiweisspflanzen, 1, 8, 1994.
- [6] Hoeck R., Fachzeitschrift fuer Oel-und Eiweisspflanzen, 4, 175, 1994.
- [7] H. Raheman, and A.G. Phadatare, Biomass and Bioenergy, 27, 393, 2004.
- [8] Kalligeros, S., Zannikos, F., Stourmas, S., Lois, E., Anostopoulos, G., Teas, Ch., and Sakellaropoulos, F. Biomass and Bioenergy, 24, 141, 2003.
- [9] Shi, X., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H., and Li, R., *Atmospheric Environment*, 40, 2567, 2006.
- [10] Oğuz, H., "Dizel Yakıtı-Ayçiçeği Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılma İmkânlarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 1998.
- [11] Schmidt, K., and Gerpen, J. H. V., SAE Tech. Paper. 961086, 1996.
- [12] Aytaç, Ş., "Küçük Güçlü Bir Dizel Motorunda Motorin ve Bitkisel Yağların Oransal Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanılmasında Bazı Performans Değerlerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma", Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne, 1997.
- [13] Nwafor, O. M. I., *Renewable Energy*, 29, 119, 2004.
- [14] Peterson, C. L., and Reece, D. L., SAE Paper, 961114, 805, 1996.
- [15] Thompson, J. C., Peterson, C. L., Reece, D. L., and Beck, S. M., ASAE, 41040, 931, 1998.
- [16] Selim, M. Y. E., Radwan M. S., and Elfeky, S. M. S., *Renewable Energy*, 28, 1401, 2003.
- [17] Yücesu, S. ve Altın, R., Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12, 1045, 1999.
- [18] Zang, Y., and Gerpen, J. H. V., SAE Tech. Paper, 960765, 782, 1996.
- [19] Radu, R., and Mircea, Z., SAE Tech. Paper, 972979, 381, 1997.
- [20] Altın, R., "Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1998.
- [21] Cigizoglu, K. B., Özaktaş, T. ve Karaosmanoğlu, F., *Energy Sources*, 19, 559, 1997.
- [22] Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C. ve Şahin, F., "Mg Katkılı Hayvansal Kökenli Biyodizelin Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi", *10. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, 366-370, Sakarya, 2008.
- [23] Karaosmanoğlu, F., *Enerji ve Kojenerasyon Dergisi*, ICC1, 2002 Özel Sayısı, 10, 50, 2002.
- [24] Ögüt, H. ve Oğuz, H., "Biyodizel Üçüncü Milenyumun Yakıtı", Nobel Yayın Dağıtım, 2. Baskı, Ankara, 2006.
- [25] Balcı, B., "Diesel Motor Yakıtı Olarak Kullanılan Atık Bitkisel Yağ Esterlerinin Maksimum Basınç ve Tutuşma Gecikmesi Açısından Motorin ile Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2005.
- [26] İleri, E., "Kanola Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2005.