İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYODİZELİN BİR GEMİ DİZEL MOTORUNUN PERFORMANSINA OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Erinç DOBRUCALI

Anabilim Dalı :Gemi İnşaatı Mühendisliği

Programı :Gemi İnşaatı Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Selma ERGİN

MAYIS 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, alternatif ve yenilenebilir bir yakıt olan biyodizelin tek silindirli, direk püskürtmeli, dört zamanlı ve hava soğutmalı 3000 d/d sabit devirde çalışan, PM-15 model bir gemi dizel motorunun performansına ve gürültü ve titreşim karakteristiklerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, soya yağından elde edilmiş biyodizel ve biyodizel ile Euro dizelin karışımları olan B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıt olarak kullanılmıştır. Biyodizel ve karışımları kullanıldığında değişik yükler için elde edilen motor gücü, özgül yakıt tüketimi, ısıl verim, egzoz gaz sıcaklığı, gürültü ve titreşim değerleri Euro dizel kullanıldığında elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Euro dizel ve biyodizel yakıt karışımlarının motorun işletme maliyetine olan etkisi de incelenmiştir. Performans parametreleri açısından, B20'ye kadar olan düşük biyodizel karışım oranlı yakıtların motorda herhangi bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabileceği, işletme maliyeti açısından da biyodizel kullanımının avantajlı olabileceği görülmüş ve biyodizel kullanımının Türkiye ekonomisine büyük katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu deneysel çalışmada katkılarından dolayı Yıldız Teknik Üniversitesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Muharrem E. BOĞOÇLU'ya, Marmara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Neşet KADIRGAN ve Kimya Müh. Göksun DİZBAY'a, Pancar Motor Genel Müdürü Metin DEMİR, Teknik Sorumlu Ayber GÜRLER ve Mühendislik Şefi Yük. Müh. Ahmet Tekin YILMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim. Bu konuya yönelmemi sağlayan, çalışmamın her safhasında yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Selma ERGİN 'e teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Mayıs, 2007 Erinç DOBRUCALI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **viii**
ÖZET **ix**
SUMMARY **x**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı 1
1.2. Biyodizelin Tarihçesi 2
1.3. Kaynak Taraması 5
2. BİYODİZEL VE YAKIT OLARAK KULLANIMI **13**
2.1. Biyodizelin genel özellikleri 13
2.1.1. Biyodizelin Avantajları 14
2.1.2. Biyodizelin Dezavantajları 15
2.2. Transesterefikasyon 16
2.3. Soya Yağından Elde Edilen Biyodizel Ve Eurodizel Yakıtın Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri 17
2.4. Biyodizel ile İlgili Standartlar 18
3. DENEYSEL ÇALIŞMA **19**
3.1. Motor Performansını Belirleyen Parametreler 19
3.1.1. Tork ve Güç 19
3.1.2. Ortalama Efektif Basınç 20
3.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi Ve Isıl Verim 21
3.2. Motor, Jeneratör ve Alternatör Özellikleri 22
3.3. Motor Deneyleri 23
3.3.1. Performans Deneyleri 23
3.3.2. Gürültü ve Titreşim Deneyleri 25
3.4. Maliyet Analizi 26
3.5. Deneysel Hatalar ve Belirsizlikler 26

4. BİYODİZELİN DİZEL MOTOR PERFORMANSINA OLAN ETKİSİ 27
4.1. Biyodizelin Motor Gücüne Etkisi 27
4.2. Biyodizelin Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi 28
4.3. Biyodizelin Isıl Verime Etkisi 30
4.4. Biyodizelin Egzoz Gaz Sıcaklığına Etkisi 31
5. BİYODİZELİN DİZEL MOTOR İŞLETME MALİYETİNE OLAN ETKİSİ 33
5.1.Biyodizelin Türkiye Şartlarında Motor İşletme Maliyetine Etkisi 33
5.2.Biyodizelin ABD Şartlarında Motor İşletme Maliyetine Etkisi 35
6. BİYODİZELİN DİZEL MOTOR GÜRÜLTÜ VE TİTREŞİM KARAKTERİSTİKLERİNE OLAN ETKİSİ 37
6.1. Biyodizelin Titreşime Etkisi 37
6.2. Biyodizelin Gürültüye Etkisi 39
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 41
KAYNAKLAR 44
EKLER 49
EK-A Biyodizel Standardı (TS EN 14214) 49
ÖZGEÇMİŞ 50

KISALTMALAR

ANNs	**:** Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural-networks)
ASTM	**:** Amerika Test ve Malzeme Birliği (American Society for Testing and Material)
Bmep	**:** Fren Ortalama Efektif Basıncı (Brake Mean Effective Pressure)
Bsfc	**:** Fren Özgül Yakıt Tüketimi (Brake Specific Fuel Consumption)
BTE	**:** Fren Isıl Verimi (Brake Thermal Efficiency)
CI	**:** Sıkıştırma Ateşlemeli (Compression ignition)
EN	**:** Avrupa Birliği (Europen Union)
EPA	**:** Enerji Politikası Sözleşmesi (Energy Policy Act)
ISO	**:** Uluslararası Standart Organizasyonu (International Organization for Standartization)
MOEE	**:** Mahua Yağı Etil Esteri (Mahua oil Ethyl Ester)
RME	**:** Kanola TohumuYağı Metil Esteri (Rapeseed oil Methyl Ester)
RMS	**:** Quadratic ortalama (Root Mean Square)
SI	**:** Kıvılcım Ateşlemeli (Spark İgnition)
SME	**:** Soya yağı Metil Esteri (Soybean-oil Methyl Ester)
TSE	**:** Türk Standartları Enstitüsü
TSOME	**:** Tütün Tohumu Yağı Metil Esteri (Tobacco Seed oil Methyl Ester)
YAME	**:** Yağ Asiti Metil Esteri
YGME	**:** Sarı Gres Metil Esteri (Yellow Grease Methyl Ester)

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Deneysel Çalışmada Kullanılan Yakıtların Özellikleri	17
Tablo 3.1	PM-15 Dizel Motor Özellikleri	22
Tablo 3.2	Jeneratör Ve Alternatör Özellikleri	23
Tablo 3.3	Deneysel Hatalar ve Belirsizlikler	26
Tablo 4.1	Biyodizelin Fren Gücüne Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi	28
Tablo 4.2	Biyodizelin Fren Özgül Yakıt Tüketimine Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi	29
Tablo 4.3	Biyodizelin Fren Isıl Verimine Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi	31
Tablo 4.4	Biyodizelin Egzoz Gaz Sıcaklığına Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi	32
Tablo 5.1	Biyodizelin Motor İşletme Maliyetine Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi- Türkiye Şartlarında	34
Tablo 5.2	Biyodizelin Motor İşletme Maliyetine Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi- ABD Şartlarında	36
Tablo 6.1	Biyodizelin Titreşime Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi	38
Tablo 6.2	Biyodizelin Gürültüye Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi	39

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1:	Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı	13
Şekil 2.2:	Bitkisel Yağların Transesterifikasyonu	17
Şekil 3.1:	Dinamometre Çalışma Prensibi	19
Şekil 3.2:	Deneysel Düzeneğin Şematik Gösterimi	25
Şekil 4.1:	Biyodizelin Motor Gücüne Etkisi	27
Şekil 4.2:	Biyodizelin Fren Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi	29
Şekil 4.3:	Biyodizelin Fren Isıl Verimine Olan Etkisi	30
Şekil 4.4:	Biyodizelin Egzoz Gaz Sıcaklığına Etkisi	32
Şekil 5.1:	Biyodizelin Motor İşletme Maliyetine Olan Etkisi-Türkiye Şartlarında	34
Şekil 5.2:	Biyodizelin Motor İşletme Maliyetine Olan Etkisi-ABD Şartlarında	35
Şekil 6.1:	Biyodizelin Motor Titreşimine Etkisi	38
Şekil 6.2:	Biyodizelin Motor Gürültüsüne Etkisi	39

SEMBOL LİSTESİ

CO **:**Karbon monoksit
F **:**Kuvvet [N]
HC **:**Hidrokarbon
I **:**Akım [Amper]
$\dot{m}_f$ **:**Kütle Debisi [g/h]
N :Devir Sayısı [d/s]
$\mathbf{NO_x}$ **:**Nitrojen Oksit
P **:**Güç [W]
PM **:**Partikül Sayısı (Particulate Matter)
$\mathbf{SO_x}$ **:**Sülfür oksit
V **:**Voltaj [V]
W **:**İş
$\mathbf{Q_{HV}}$ **:**Isıl Değer [Mj/kg]
η_f : Isıl Verim [-]

ÖZET

Son yıllardaki küresel ısınma, iklim değişimi gibi çevresel kaygılar, petrol fiyatlarındaki yükselmeler ve petrol rezervlerinin tükenmeye başlaması, petrol kökenli yakıtlar için alternatif kaynakların gelişimine olan ilgiyi arttırmıştır. Biyodizel dizel motorlarda değişikliğe gerek kalmadan kullanılabilecek en önemli alternatif ve yenilenebilir yakıtlardan birisidir. Ülkemizin petrol yönünden dışa bağımlılığı düşünülecek olursa, biyodizelin yakıt olarak dizel motorlarda kullanılabilirliğinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu düşünceden hareketle, bu çalışmada biyodizel ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar incelenmiş olup bu kısımlar Bölüm 1.3'te sunulmuştur. Deneysel çalışmada Pancar Motor seri üretimi olan, dört zamanlı, hava soğutmalı, direkt püskürtmeli, 3000 d/d sabit devirde çalışan PM15 dizel motor kullanılmıştır. Deneyler, euro dizel ve biyodizelin değişik karışımları ve motorun yüksüz, %20, %50, %80 ve %100 yüklü durumları için yapılmıştır.

Bu deneysel çalışmada biyodizel ve Euro dizel yakıt karışımlarının (B10, B20, B50, B75, B100), değişik yüklerde dizel motor performansına, titreşim ve gürültü karakteristiklerine ve ayrıca motor işletme maliyetine olan etkileri incelenmiştir. Sabit devirde ve farklı yüklerde çalışan dizel motorda Euro dizel ve biyodizel yakıt karışımları kullanılarak güç, özgül yakıt tüketimi, ısıl verim, egzoz gaz sıcaklığı, motor titreşimi ve gürültü seviyeleri ölçülmüş ve elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma % 20'ye kadar olan biyodizel karışımlarının yakıt tüketimi ve ısıl verim gibi performans parametreleri açısından, motorda herhangi bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca biyodizel yakıtlara sağlanması beklenen vergi indirimi gerçekleşirse motor işletme maliyetleri düşecek ve bu Türkiye ekonomisine katkı sağlayacaktır.

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE PERFORMANCE OF A MARINE DIESEL ENGINE USING BLENDS OF DIESEL FUEL WITH BIODIESEL

SUMMARY

Recent concerns over the environment like global warming, weather changes increasing fuel prices and scarcity of its supply have promoted the interest in development of the alternative sources for petroleum fuels. Biodiesel is one of the most important renewable, alternative fuels that has no need any modification in diesel engines. If we think of our foreign fuel dependence, determining the abilities of biodiesel as a fuel in diesel engines is really crucial.

In this study, early studies about alternative fuels are obtained and these are presented at Chapter 1.3. A single cylinder, four stroke, naturally aspirated, direct injection diesel engine at 3000 rpm constant speed which was serial production of Pancar Motor Co. was used in this experimental study. Different Euro diesel and biodiesel fuel blends were used for different loads of diesel engine (Idle, % 20, % 50, % 80, % 100 loads).

The effects of euro diesel and biodiesel blends (B10, B20, B50, B75, B100) on the engine performance, and engine vibration and noise characteristics were investigated and furthermore, the effects of euro diesel and biodiesel blends on the engine operating costs were studied. The engine power, specific fuel consumption, thermal efficiency, exhaust gas temperature, engine vibration and noise were measured by using Euro diesel and biodiesel blends for a diesel engine with constant speed at different loads. The experimental data obtained for the biodiesel blends were compared with that of the Euro diesel.

As a result, this study shows that the biodiesel blends up to % 20 of biodiesel can be used without any changes on the available diesel engines by considering the engine performance parameters such as fuel consumption, thermal efficiency and etc. Furthermore, if an expected tax reduction on the biodiesel fuels occurs, the engine operating costs will be reduced by using biodiesel fuels, and also this will help to the Turkey's economy.

1.GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Biyodizel dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabilecek en önemli alternatif yakıtlardan biridir. Kolza, ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağlar ile bitkisel veya hayvansal atık yağların bir katalizör yardımıyla kısa zincirli bir alkol (metanol, etanol, propanol, bütanol v.b.) reaksiyonu sonucunda elde edilen esterlerdir. Yaygın olarak yağ asiti metil esteri (YAME) de denir. Reaksiyonun yan ürünü olarak ortaya çıkan gliserin saflaştırılarak parfüm ve kozmetik sanayinde kullanılmaktadır [61]. Birçok çalışmada gösterildiği gibi biyodizelin özellikleri dizel yakıta oldukça yakındır [1-10, 12, 14, 19, 24, 28, 33].

Fosil kökenli enerji rezervlerinin yakın gelecekte tükenme ihtimali, fiyatlarındaki istikrarsızlıklar, kullanım sonunda çevreye verdikleri zararlar ve temininde yaşanan belirsizlikler birçok devletin yeni enerji kaynakları üzerindeki çalışmalarını yoğunlaştırmasına neden olmuştur. Bu açıdan bakıldığında biyodizel kullanımının Türkiye çapında yaygınlaştırılması, Türkiye ekonomisi adına hayati öneme sahiptir.

Biyodizel fiziksel özellikleri olarak dizel yakıta benzer olsa da kimyasal özellikleri açısından farklılıklar gösterir. Petrol kökenli dizel yakıt çoğunlukla karbon sayısı 14-18 arasında değişen yüzlerce farklı hidrokarbon zincirinden oluşmakta ve bünyesinde aromatik hidrokarbon (benzen, toluen vb.), kükürt, metaller ve ham petrol artıklarını içermektedir [41]. Biyodizel 12-22 arasında karbona sahip hidrokarbon zincirlerinden oluşmakta ve kütlesinin yaklaşık % 10'unu oksijen oluşturmaktadır.

Biyodizel, yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz etkileyen kükürt, aromatik hidrokarbonlar, metaller ve ham petrol artıklarını bünyesinde içermemektedir [41]. Isıl değer, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özellikleri dizel yakıt değerlerine çok yakındır. Ayrıca dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi, setan sayısının daha yüksek ve daha az toksik olması önemli yakıt özelliklerindendir.

Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki avantajlar, motorlarda yanma verimini artırır ve HC, CO, partikül ve SOx emisyonlarında azalmalar sağlamaktadır. [1-10,37]. Setan sayısının yüksek olması motorun daha gürültüsüz ve vuruntusuz çalışmasını sağlamaktadır. Biyodizel, değişiklik yapılmadan herhangi bir dizel motorda, dizel yakıt ile değişik oranlarda karıştırılarak kullanıldığı gibi % 100 oranda da kullanılabilmektedir [43, 63]. Uygulamada, biyodizel, No. 1 dizel, No. 2 dizel, kerosene, JP8, ısıtma yağı veya herhangi bir damıtık yakıt ile değişik oranlarda karıştırılmaktadır. Biyodizel karışımları, B5 (hacimsel olarak % 5 biyodizel ve % 95 petrol esaslı dizel), B10, B20, B100 (% 100 biyodizel) şekilde gösterilirler.

Biyodizelin bazı özellikleri ise yakıtın hangi üründen üretildiğine göre değişiklik göstermektedir. Bu özellikler setan sayısı, soğuk akış özellikleri, sıkıştırılabilirlik ve NO_x emisyon değerleridir. Biyodizelin üretildiği ürünlerin birbirinden farkı her birinin doymuş (saturated), tekli doymamış (monounsaturated) ve çoklu doymamış (polyunsaturated) yağ asitlerini (fatty acid) değişik oranlarda içermeleridir. Mükemmel biyodizel sadece tekli doymamış yağ asidi içeren üründen elde edilen biyodizeldir. En uygun biyodizel seçilen uygulamaya göre değişecektir [43].

Bu çalışmanın amacı soya yağından elde edilen biyodizel yakıtının, Pancar Motor firmasının ürettiği tek silindirli, dört zamanlı PM15 dizel motorun performansına ve işletme maliyetlerine olan etkisinin incelenmesidir. Ayrıca soya yağından elde edilen biyodizelin motorun titreşim ve gürültüsüne olan etkisi de incelenmiştir. Deneysel çalışma dizel motor 3000 d/d sabit devirde çalıştırılmak suretiyle yapılmıştır. Dizel motorda B10, B20, B50, B75 ve B100 oranlarında biyodizel kullanılmış ve motorun güç, yakıt tüketimi, ısıl verim ve egzoz gaz sıcaklığı gibi performans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar dizel yakıt ile yapılan ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

1.2 Biyodizelin Tarihçesi

Bitkisel yağların dizel motor yakıtı olarak ilk kez bu motorun yaratıcısı Rudolph Diesel tarafından 1900'lerde kullanıldığı bilinmektedir. 1892'de Alman mühendis Rudolf Diesel tarafından bulunmuş ve daha sonra 23 Şubat 1893'te patenti alınmış bu süreç dizel çevrimi olarak bilinir. Diesel, motoru kömür tozu dahil çeşitli yakıtların kullanımına yönelik olarak tasarlamıştır. Motorun sunumunu 1900'deki Dünya

Fuarı'nda, yakıt olarak yer fıstığı yağı (Biyodizel) kullanılarak yapılmıştır. Ancak petrol kökenli dizel yakıtının uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunur olması motorun bu yakıt ile uyum sağlayacak biçimde geliştirilmesine neden olmuştur. Zaman zaman ortaya çıkan petrol dar boğazları sırasında bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı gündeme gelmişse de konuya ilişkin bilimsel çalışmalar 1970'lerdeki petrol krizi ile birlikte artmıştır [47].

1973 yılındaki OPEC petrol ambargosunun yeni petrol krizleri döneminin başlangıcını belirlemesi üzerine çeşitli ülkelerde ulusal kaynaklardan yararlanma, tarımsal potansiyeli değerlendirme, döviz tasarrufu sağlama ve gelecekteki enerji krizlerine hazırlıklı olma fikirleri önem kazanmaya başlamıştır. Ülkelerin ekonomik yapılarının temelini dizel yakıtı kullanan sektörler oluşturmaktadır. Özellikle tarım ve taşımacılık krizlerinden en çok etkilenen ve insan yaşamı ile doğrudan ilişkisi olan hassas sektörlerdir. Bu nedenle dizel motorun ilk yakıtı bitkisel yağlar araştırmaların yeniden odak noktası haline gelmiştir. Özellikle petrol kaynakları kıt olan Güney Afrika (1981) ve Avustralya'da (1980, 1981) bu konuda yoğun çalışmalar yapılmaktadır [43, 48-60].

Brezilya'da benzin-etanol ya da direkt etanol ile çalışan otomobillerden sonra Volkswagen firması kendi üretimi dizel motorlu ticari taşıtlar ve kamyonlar için bu ülkenin zengin biokütle kaynaklarına dayalı dizel yakıt alternatifi üzerine yoğun araştırmalar başlatmıştır. Bu araştırmaların amacı ya doğrudan ya da dizel yakıtı ile karışım halinde kullanılabilecek alternatif bir yakıt oluşturmaktır. Etanolün günümüz dizel motorlarında yakılmaya uygun olmaması ve dizel yakıtı ile karışım oluşturmaması her ikisi ile de karışabilen bitkisel yağ metil veya etil esterinden faydalanmayı gündeme getirmiştir [48-60].

ABD'de de bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olabilirliği üzerine yapılan çalışmalar hem üniversite ve araştırma enstitülerinde hem de John Deere, International Harvester, Caterpillar ve Perkins gibi motor üreten büyük firmalar bünyesinde 1981, 1982 yıllarından itibaren sürdürülmüştür [60].

1982'de Avustralya'da Tarım ve Orman Bakanlığı'nın desteğiyle yürütülen araştırmalarda kolza yağı metil esterinin iyi bir dizel yakıt alternatifi olabileceği ortaya konulunca ülkenin tarımsal fazlasını kolza ve ayçiçeği ekimi yönüne çevirerek 2000 yılına kadar hem dizel yakıt alternatifi üretimine hem de kendi talebine yetecek

ölçüde bitkisel yağ elde etmesi öngörülmüştü. 1988 yılında ise hem %10 kolza yağı katılmış dizel yakıtının çeşitli tipte 100 araç üzerinde denenmesi, hem de kolza yağı metil esterinin uzun süreli motor ve yol testleri gerçekleştirilmiştir [48-58].

Almanya bitkisel yağların alternatif dizel yakıtı olarak değerlendirilmesi konusunda önemli çalışmaların önderliğini yapmaktadır. Devlet destekli büyük projeler, uluslar arası üne sahip otomobil fabrikalarının gerçekleştirdiği uygulamalar oldukça önemli sonuçlar vermiştir [55]

Günümüze değin yapılan çalışmalar ve bilgi birikiminin Avrupa'daki en önemli sonucu ise İtalya'da endüstriyel ölçüde üretilmeye başlanan kolza, soya veya ayçiçeği yağı metil esteri esaslı ilk biyo yakıttır. Dieseli-Bi adı ile üretilip 19 Ağustos 1991 tarihinden itibaren İsviçre'de Zürih şehri belediye otobüslerinde kullanılmakta olan bu yakıta aynı zamanda çevre kirliliği testleri de uygulanmaktadır. Aynı yakıt İtalya, Almanya, Fransa ve Avustralya'da da çeşitli tip dizel motorlu taşıtlarda denenmekte ayrıca Milano-İtalya'da bulunan Montedisan Holding genel müdürlük binası bu yakıt ile ısıtılmaktadır [57].

Kullanımını teşvik amacıyla 2002 Temmuz ve Ağustos aylarında Amerika'nın Kentucky ve Ohio bölgelerinde 280 otobüs 50.000 galonluk % 20 katkılı biyodizel yakıtla 4.000.000 km yol kat etmiştir. Minnesota eyaletinde 2001 yılında katkılı biyodizel yakıta % 2 ve 2002 yılında % 5 lik vergi indirimi yapılmıştır. Çiftliklerde ölen hayvanların bedenlerinden biyodizel elde etme çalışmaları İskoçya' da devam etmektedir [54]

İki yıl önce Almanya'da bir çiftlikte bir araba ve traktörün CANOLA yağından elde edilen yakıtla çalıştırıldığını duyan Joshua and Kaia Tickell çifti 1997 yılında University of South Florida's New College in Sarasota (ABD) da bir araştırma çalışması başlattılar. Tadilat yaptıkları güneş enerjisi destekli biyodizel ile çalışan Veggie Van isimli panelvan ile 10.000 millik bir seyahate çıkmışlar, bu seyahatin tamamında lokantalardan topladıkları atık yağlarla kendi ürettikleri yakıtı kullanmışlardır [48]

Polonya'da 1991 yılından beri Aviation Enstitüsü, Varşova'da kolza tohumlarından metil ester ile biyodizel elde etmek için çalışma ve testler devam etmektedir. Ayrıca yedi ayrı benzin istasyonunda % 5 karışımlı yakıt satılmaktadır [56]

Türkiye'de alternatif yakıt konusu Cumhuriyetin ilk yıllarında gündeme gelmiştir. 1936 yılında Atatürk'ün hazırlattığı 2.beş yıllık kalkınma planında yakıtların ithal yolu ile sağlanmaması, ülkenin hammadde kaynaklarında faydalanması öngörülmüştü. Ancak 2. Dünya Savaşı ardından dünya ham petrol üretiminin artması, fiyatların düşmesi konunun ilgi görmemesine neden olmuştur. 1973 yılından sonra petrol fiyatlarındaki artış ve enerji krizleri sonucu bu konu çerçevesinde çeşitli girişimler yapılmış ve hali hazırda bitkisel yağlardan yararlanma konusundaki bilimsel çalışmalar devam etmektedir [48]

Günümüzde ise gemi dizel makinelerinde B2, B20 ve B100 oranlarına biyodizel kullanılmaktadır. 2001 yılından beri Amerika Birleşik Devletleri'nde Vyagers National Park'ta bulunan bir barçta B20 biyodizeli kullanılmaktadır. Hawai'deki iki katamaranda ise B100 saf biyodizel 2001 yılından beri yakıt olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, Washington State Feribotlarında B5 ve B10 biyodizeli deneme aşamasındadır [47].

1.3 Kaynak Taraması

A.B. Yahya'nın 1988 yılında Iowa State Üniversitesi'nde yaptığı doktora tezinde [24] iki farklı püskürtme basıncı (18.6 ±0.69 Mpa ve 24.1 ±0.69 Mpa), iki farklı püskürtme zamanı (19^0 ve 14^0 üst ölü noktadan önce) ve üç farklı biyodizel yakıtı (No:2 dizel, soya yağı ve mum yağı biyodizeli) kullanılmıştır. Deneylerde de dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motor kullanılmıştır. Değişik güç testlerinde yakıt sarfiyatındaki az bir yükselmeye rağmen emisyonlarda azalma olmuştur. Motorda düşük güçte, artan püskürtme basınçlarında daha az yakıt sarfiyatı oluşmuş, özellikle CO ve yanmamış HC emisyonlarında da azalma meydana gelmiştir. Düşük güçlerde ve gelişmiş püskürtme zamanlarında ise özgül yakıt tüketimi, fren termal verim ve duman seviyesinde belirgin bir fark gözükmezken, CO ve yanmamış HC emisyonlarında azalma tespit edilmiştir.

M. Çanakçı'nın 2001 yılında Iowa State Üniversitesi'nde yaptığı doktora tezinde [37] sarı gres metil esteri (YGME), soya yağı metil esterinin (SME) No:2 dizel yakıtı ile % 20 ve % 100 oranlarında karışımlarının dizel motor performansı ve emisyon oranlarına etkisi değerlendirilmiştir. Testlerde dört silindirli, dört stroklu, direkt püskürtmeli, turbo şarjlı bir dizel motor 1400 rpm'de ve tam yükte çalıştırılmıştır. Yakıt sarfiyatlarında SME için B20 ve B100 kullanıldığında sırasıyla

dizele göre % 2.69 ve % 13.53, YGME için sırasıyla % 2.57 ve % 14.24 artış görülmüştür. Termal verimlere bakıldığında ise SME için B20 ve B100 kullanıldığında sırasıyla dizele göre % 0.16 azalma ve %0.45 artış, YGME için sırasıyla % 0.07 ve % 0.49 artış tespit edilmiştir. Emisyon oranlarından CO için maksimum azalma % 18.22 ile B100'de (SME), CO_2 için % 0.06 ile B20'de (SME), HC için % 46.29 ile B100'de (YGME), duman numarası için % 64.21 ile B100'de (YGME) elde edilmiştir. NO_x emisyonunda maksimum artış % 11.60 ile B100'de (YGME) bulunmuştur.

C. Prohit 2003 senesinde Lamar Üniversitesi'nde yaptığı yüksek lisans tezinde [23] biyodizel kullanan sıkıştırma ateşlemeli bir motorun sayısal simülasyonu üzerine çalışmıştır. Sayısal simülasyon sonlu ısı rahatlaması, silindir ısı transferi ve sürtünme kayıplarına dayandırılmıştır. Simülasyon sıkıştırma oranı, eşdeğerlik (ekuvalans) oranı, ateşleme zamanı ve makine hızının sıkıştırma ateşlemeli bir makine üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada C^{++} programlama dili kullanılmış olup incelenecek biyodizel yakıtlar ise kolza tohumu, ayçiçeği yağı ve soya yağından elde edilen alternatif yakıtlardır. Alınan sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sayısal modele makinenin çap, çevrim (strok), sıkıştırma oranı gibi değerlerini, kullanılacak alternatif dizelin de yoğunluğu setan sayısı gibi değerlerini girerek ortalama efektif basınç, verim, tork ve emisyon değerleri (NO_x, HC, CO, PM) elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan biyodizel yakıtlardan motor gücüne bakıldığında soya yağı biyodizeli en iyi performansı vermiş, emisyon oranlarında ise kolza tohumu yağı en az emisyon değerine ulaşmıştır. Genelde ise tüm emisyon değerlerinde azalma tespit edilmiştir.

M. Çanakçı ve JH. Van Gerpen 2003 yılında % 9 serbest yağ asidi içeren hayvansal yağ bazlı sarı gresten elde edilen biyodizel ile soya yağından elde edilen biyodizeli dört silindirli bir dizel motor üzerinde denemişlerdir. [66] Elde ettikleri biyodizel yakıtları % 20 oranında dizel yakıt ile karıştırarak ve saf % 100 biyodizel olarak tam yükte çalışan dizel motorda test ederek motorun performans ve emisyon oranlarını karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre B20 testlerinde özgül yakıt tüketimi normal dizel ile hemen hemen aynı kalırken, saf biyodizelde ise % 13.5'lik bir artış görülmüştür. Isıl verimlerde de normal dizel değerleriyle çok yakın sonuçlar alınmıştır. Emisyon oranlarında ise CO, CO_2, HC ve duman numarasında % 46'lara

varan azalmalar görülürken, NO_x emisyonunda maksimum % 13.1'e kadar bir artış tespit edilmiştir.

S. Puhan, N. Vedaraman ve arkadaşları 2004 yılında yaptıkları deneysel çalışmada [12] mahua yağı etil esteri (MOEE) katalizör olarak sülfürik asit kullanılarak elde edilen biyodizel tek silindirli, dört stroklu, direkt püskürtmeli dizel motor 1500 rpm sabit devirde farklı fren ortalama efektif basınçlarda performans ve emisyonları test edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda MOEE'nin dizel yakıttan daha etkili yandığı tespit edilmiştir. Fren termal verimi maksimum efektif basınçta No:2 dizel için % 26.36, biyodizel için % 26.42 iken genelde benzer değerler bulunmuştur. Biyodizel kullanıldığında yakıt tüketimi % 3-5.5 artmış, MOEE daha etkili yanma sağladığından egzoz gaz sıcaklığı maksimum efektif basınçta dizel yakıttan 190 ^{0}C daha fazla hesaplanmıştır. Emisyon değerlerinden CO, HC, NO_x ve duman yoğunluğu sırasıyla % 55, 63,12, 70 azalma görülmüştür.

N. Usta, Ö. Can ve E. Öztürk 'ün 2004 tarihinde yaptıkları çalışmada [1] etanol ile biyodizelin dizel motor yakıtı olarak kullanımı incelenmiş olup, kullanılan biyodizeller iki farklı hammaddeden üretilmiştir. Bir tanesi tütün tohumu yağının esterleştirilmesi ile elde edilen biyodizel, diğeri atık ayçiçeği yağı ile fındık yağı sabun stoğunun eşit oranlarda karışımından elde edilen biyodizeldir. Deneyde dört silindirli, ön yanma odalı, turbo dizel motor kullanılmış ve ölçümler maksadıyla dinamometre ile kimyasal hücre tipi egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Etanol %15, biyodizeller ise %17.5 oranında dizele katılarak motor gücü, özgül yakıt tüketimi, CO, SO_2, NO_x, emisyon oranlarının dizele göre yüzde değişimleri incelenmiştir. Etanol ilavesinde güçte azalma özgül yakıt tüketiminde artış görülürken, biyodizel karışımlarında dizele göre benzer güç ve yakıt tüketim değerleri elde edilmiştir. Emisyonlarda ise CO, SO_2 değerlerinde azalma varken, NO_x değerlerinde bir miktar artış gözlemlenmiştir.

N. Usta'nın 2004 yılında tütün tohumu yağı metil esteri (TSOME) kullanarak yaptığı deneysel çalışmada [7] dört stroklu, dört silindirli, turbo şarjlı endirekt püskürtmeli dizel motor kullanılmıştır. Başlangıçta elde edilen biyodizelin %100'e kadar olan karışımlarının kinematik viskozite değerlerinin ASTM D975 No:2 dizel yakıt standardına uygunluğu gösterilmiştir. Başlangıçta TSOME' nin % 10 (B10), % 17.5, % 25 karışım oranları kullanılarak motorun tork, güç ve termal verim değerleri karşılaştırılmış daha sonra No:2 dizel ile B17.5 için % 50-75-100 parçalı yüklerde

tork, güç, termal verim, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı, yağlama yağı sıcaklığı, CO, SO_2, NO_x değerleri belirlenmiştir. Sonuçta TSOME'nin ısıl değerinin dizelinkinden az olmasına rağmen % 25'e kadar TSOME ilavesinin dizel motor performansına belirgin bir etkisi olmamış, tersine tam yüklerde tork ve güç değerlerinde % 3 ila % 6 arasında artma sağlanmıştır. Isıl verimde de % 2.5'lik artışlar olmuştur. Egzoz ve yağlama yağı sıcaklıkları tüm yüklerde %10-17 oranında daha düşük (tam yükte 25^0C) bulunmuştur. TSOME ağırlık olarak % 11.4 oksijen ihtiva ettiğinden CO değerlerinde özellikle 1500 rpm'de % 30'luk bir azalma olmuştur. Kullanılan TSOME' nin (1kg'ında 6mg. sülfür) dizele oranla daha düşük sülfür içerdiğinden SO_2 değerlerinde de % 35'e varan azalmalar oluşmuştur. NO_x değerlerinde çok belirgin farklar olmasa da % 3-5'lik artma meydana gelmiştir.

A.S. Ramadhas ve arkadaşları 2004 yılında yaptıkları deneysel çalışmada [6] kauçuk tohumu yağından elde ettikleri biyodizel yakıtı No:2 dizel ile % 10-20-50-75-100 oranlarında karıştırarak sabit olarak 1500 rpm'de çalışan jeneratör üzerinde sırasıyla % 20-40-60-80-100 yükleme şartlarında termal verim (BTE), özgül yakıt tüketimi (Bsfc), egzoz gaz sıcaklığı ve emisyon oranlarından CO,CO_2, duman yoğunluğu ölçülmüştür. Daha düşük biyodizel karışımlarının termal verim üzerinde % 3-6 arasında olumlu bir artışa, özgül yakıt tüketiminde benzer şekilde düşük yakıt karışımlarında (B10,B20) No:2 dizele göre % 2-3'lük bir azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir. Emisyon oranlarında kullanılan biyodizelin % 11 oksijen içermesinden dolayı yanma verimli olduğundan CO değerlerinde yük arttıkça dizele göre % 40-50 azalma olmuştur. Düşük biyodizel karışımları aynı zamanda dizele göre daha az (%12-14) CO_2 üretmiştir. Fakat fosil yakıtların CO_2 meydana getirmesi bitki köklerinin CO_2'i absorbe etmesi ile dengelenmektedir. Çalışmada ayrıca termal verimin artışı yanmanın tamamlandığını, yani daha düşük hidrokarbon emisyonunun oluştuğunu dolayısıyla (özellikle B20 karışımında) dizelle karşılaştırıldığında %17 duman yoğunluğunun azaldığını görmek mümkündür.

C. Y. Lin ve H.A. Lin 2005 yılındaki deneysel çalışmalarında [10] soya yağının farklı şekillerde transesterifikasyonu neticesinde oluşan iki biyodizel karışımının ile No:2 dizel yakıtın yakıt sarfiyatı, fren termal verimi (BTE), eşdeğerlik (ekuvalans) oranı, egzoz gaz sıcaklığı, CO_2, CO, NO_x oranları karşılaştırılmıştır. Test motoru olarak dört silindirli, dört stroklu, direkt püskürtmeli dizel motor sabit torkta farklı devirlerde kullanılmıştır. Biyodizel kullanıldığında yakıt tüketimlerinde % 5-7.2,

emisyonlardan CO_2, CO, NO_x oranlarında sırasıyla ortalama % 51.4, %24, %18.7 azalma meydana gelmiştir. Performans parametrelerinden termal verim, eşdeğerlik (ekuvalans) oranı ve egzoz gaz sıcaklığında ise yakın değerler elde edilmiştir.

G. Labeckas ve S. Slavinskas'ın 2005 yılında yaptıkları deneysel çalışmalarında [19] kolza tohumu yağı metil ester'ini (RME) kullanarak, bu yakıtı No:2 dizel yakıtı ile % 5, % 10, % 20, % 35 oranlarında karıştırarak bu yakıt karışımlarını dört stroklu, dört silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda test etmişlerdir. Deneylerde özgül yakıt tüketimi için farklı yüklerde (Bmep olarak) ve farklı devirlerde ölçümler alınmış, dizel yakıta göre % 18.7 ile % 23.2 arası artma kaydedilmiştir. Fren termal verimi 2200 rpm maksimum devirde farklı yüklerde (Bmep olarak) yapılmış RME için verim değerleri 0.356'dan 0.398'e değişirken, No:2 dizel yakıtı için 0.373'ten 0.383'e varan değerler elde edilmiştir. Emisyonlardan NO_x oranlarında yakıt karışımındaki biyodizel oranı arttıkça % 4.2'den % 5.1'e bir artış tespit edilmiştir. CO değerlerinde % 51.6'dan % 13.5'e bir azalma, CO_2 değerlerinde B20, B35 ve saf biyodizelde çok az da olsa artma görülmüştür.

A.S. Ramadhas ve arkadaşları 2005 yılında, 2004 Eylül ayındaki deneysel çalışmalarının [6] paralelinde bu kez kauçuk tohumu yağı metil esterinden elde ettikleri biyodizeli % 20 ve % 100 oranlarında No:2 dizelle karıştırarak oluşan alternatif yakıtın, hava-yakıt oranları ve sıkıştırma oranlarına bağlı motorun performansına etkisini hem deneysel hem de teorik model ile karşılaştırmışlardır [8]. Deneysel çalışmada dört stroklu, direkt püskürtmeli, tek silindirli dizel motor kullanılmış, teorik modelde ise zamana bağlı krank açısıyla ilişkili tekil bölge termodinamik modeli kullanılmıştır. Teorik modelin giriş dataları hava-yakıt oranı, sıkıştırma oranı ve yakıtın moleküler formülü (Dizel için; $C_{10}H_{22}$, Biyodizel için; $C_{19}H_{34}O_2$) iken çıktıları da anlık basınç, sıcaklık, hacim ve performans parametrelerinden fren ortalama efektif basınç(Bmep) ve fren termal verimidir(BTE). Artan sıkıştırma oranlarıyla yanma odası basıncı (Peak pressure), sıcaklığı (Peak temprature) ve fren termal verimi doğru orantılı olarak artmıştır. Artan hava-yakıt oranlarıyla performans parametreleri düşmüştür. Elde edilen sonuçlarla teorik model ile deneysel verilerin birbirlerine çok yakın olduğu ve hidrokarbon içerikli her tip yakıt için dizel motorların performans karakteristiklerini belirlemede bu yöntemin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

M. Çanakçı, A. Erdil, E. Arcaklioğlu'nun 2005 yılındaki teorik ve deneysel çalışmasında [9] dört silindirli, dört stroklu, turboşarjlı direkt püskürtmeli dizel motor 1400 rpm, % 100 yükte çalıştırılarak soya biyodizeli (BSO) ve sarı makine yağı'nın (BYG) sırasıyla % 1-2-5-10-15 oranlarında dizel ile karışımı kullanılmış ve motor performansı ve emisyonları belirlenmiştir. Teorik modelde ise girdileri her bir yakıtın özellikleri, çıktıları da fren özgül yakıt tüketim (Bsfc), egzoz gaz sıcaklığı ve emisyonlar olan, MATLAB alt yapısıyla ANNs (Artificial Neural Networks) programı kullanılmıştır. Bu çalışmadaki en önemli nokta farklı biyodizel karışımlarının yakıt özelikleri ile motor performans ve emisyon değerlerinin belirlenebilmesidir.

Y.D. Wang, T.Al-Shemmeri ve arkadaşları 2005 yılında [3] farklı oranlarda bitkisel yağlar kullanarak iki silindirli, hava soğutmalı, dört stroklu bir dizel motorun performans ve emisyon oranlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Dizel motor 1500 rpm sabit devirde, % 25-50-75-100 yüklerde çalıştırılırken, % 25-50-75-100 biyodizel karışımlarının motorun gücüne, özgül yakıt tüketimine, egzoz gaz sıcaklığına, CO, CO_2, HC ve NO_x emisyon oranlarına bakılmıştır. Performans parametrelerinde bariz bir farklılık belirlenmemiştir. Emisyon oranlarından ise; CO değişim oranı yüksek devirlerde azalmış, CO_2 değişim oranları tüm yüklerde az da olsa azalmış, HC emisyonlarında % 50 karışım oranı hariç bir azalma olmuş, NO_x emisyonu tüm yüklerde azalmıştır. Bu önemli bir sonuçtur.

A. Keskin ve K. Aydın'ın 2005 yılındaki çalışmalarında [2] fındık yağı biyodizelinin dizel motorlarda kullanımını incelemişlerdir. Deneylerde tek silindirli direkt püskürtmeli dizel motor 1800-3200 d/d arasında tam yükte çalıştırılarak motorun tork, güç, özgül yakıt tüketimi gibi performans değerleri ve CO, NO_x emisyon oranları ölçülmüştür. Performans değerlerinde dizel yakıta yakın değerler elde edilmiş olup CO değerlerinde azalma, NO_x değerlerinde de özellikle düşük devirlerde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda SO_2 emisyonuna rastlanmamıştır.

A. Keskin ve K. Aydın 2005 yılındaki çalışmalarında [14] ise kağıt fabrikalarında üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan tall yağından biyodizel üretip, bu alternatif yakıtı tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motorda deneyerek, tam yük ve farklı devirlerde motorun tork, güç, özgül yakıt tüketimi, CO, duman koyuluğu, NO_x değerlerini test etmişlerdir. Motorun tork ve güç değerlerinde

No:2 dizel yakıta göre sırasıyla % 1.41 ve % 1.43 oranında ortalama azalma görülmüştür. Tall yağı biyodizelinin özgül yakıt tüketimi değerleri, ısıl değerinin düşük olmasına bağlı olarak dizel yakıt değerlerine göre ortalama % 7.72 oranında artmıştır. Emisyon oranlarından CO emisyonunda % 37.27, duman koyuluğu emisyonunda % 12.05'e varan azalma gözlemlenirken, yanma sonu sıcaklığının yükselmesinden dolayı NO_x emisyonlarında ise dizel yakıtına göre % 18.98 e kadar varan artışlar tespit edilmiştir.

C.D. Rakopoulos, K.A. Antonoulos ve arkadaşları 2006 yılında yaptıkları deneysel çalışmada [5] pamuk tohumu, soya yağı, ayçiçeği yağı metil esterleri ve pamuk, soya, ayçiçeği, mısır, zeytin yağı gibi bitkisel yağlardan elde edilmiş biyodizel ile No:2 dizel yakıtını sabit 2000 rpm'de çalışan dört stroklu direkt püskürtmeli Ricardo/Cusson marka bir dizel motor kullanılarak performansve emisyon deneyleri yapılmıştır. Deneylerde metil esterler ve bikkisel yağlar % 10 ve % 20 oranlardaki karışımlarda kullanılmış, motor da % 38 orta yük ve % 75 yüksek yükte çalıştırılmıştır. Deneyler sonucunda değişik orijinli biyodizel yakıt karışımlarının duman yoğunluğunda % 5-10 azalma, NO_x değerlerinde % 2-4 azalma, CO değerlerinde % 3-5 azalma olurken bitkisel yağ karışımlarında ise CO değerlerinde % 10'a varan bir artma görülmüştür. Yanmamış HC değerlerinde belirgin bir artış/azalışa rastlanmamıştır. Motor performansı açısından bakıldığında No:2 dizel ile biyodizel karışımları arasında termal verim olarak neredeyse aynı değerlerle karşılaşılmış, yakıt tüketiminde de % 2-3'lük artış tespit edilmiştir.

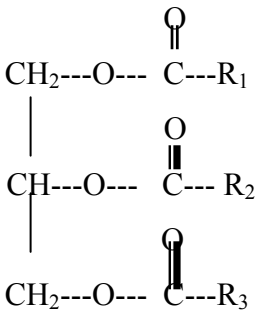
Breda Kegl 2006 yılında yaptığı çalışmada [4] kolza tohumu yağından elde edilen biyodizeli kullanarak bu alternatif yakıtı direkt püskürtmeli MAN D2 2566 model bir dizel otobüs motorunda test etmişlerdir. Yapılan çalışma birçok parametrenin aynı anda ölçülüp değerlendirilmesi bakımından farklılıklar taşır. Biyodizel kullanarak farklı devirlerde, farklı yüklerde motorun performans karakterlerini belirleyen tork, güç, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı, ısıl verim ve emisyon değerlerinden de CO, HC, NO_x, duman yoğunluğu değerlendirilirken motorun yakıt hava karışımını doğrudan ilgilendiren ve önemli bir parametre olan püskürtme zamanlaması test edilerek püskürtme zamanlaması için optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon sonucu B100 için, CO ve NO_x değerlerinde % 25, HC değerlerinde % 30, duman yoğunluğunda % 50'e yakın düşüş gösteren optimum püskürtme zamanlaması krank açısının alt ölü nokta ile 19^0'lik açı yaptığında ortaya çıkmıştır. B100 yakıtının düşük

ısıl değerinden dolayı, termal verim her iki yakıtta da aynı kalmasına karşın, motor gücünde % 5 azalma ve özgül yakıt tüketiminde % 10 artış, egzoz gaz sıcaklığında da silindir içi basınçta olduğu gibi No:2 dizel yakıta göre azalma tespit edilmiştir.

2. BİYODİZEL VE YAKIT OLARAK KULLANIMI

1930 ve 1940'larda bitkisel yağlar acil yakıt olarak kullanılmışlardır [65]. Bu yağlar sülfür içermez fakat ağırlık olarak yaklaşık %10 oksijen içerirler. Bu dizel ile karşılaştırıldığında karbon monoksit, sülfür dioksit ve partikül emisyonunu düşürmeye meyillidir. Yani bitkisel yağ bazlı yakıtların kullanımı hava kirliliğini düşürmektedir.

Bitkisel yağlar gliserin yağ esterleridir (Trigliserid) ve Şekil-2.1'de gösterilen kimyasal yapıya sahiptir [37]. Şekilde R_1, R_2, R_3 yağ asitlerinin hidrokarbon zincirlerini göstermektedir. Oil (Yağ) terimi genellikle ortam sıcaklığındaki sıvı trigliseritler için kullanılır. Fat terimi ise trigliseritler katı hale geldiğinde kullanılmaktadır [37].



Şekil 2.1: Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı

2.1 Biyodizelin Genel Özellikleri

Bitkisel yağların, dizel yakıtına göre viskozite ve yoğunluğu yüksek, uçuculuk ve ısıl değeri ise düşüktür. Bundan dolayı dizel motorlarda tamamen veya kısmen dizel yakıtının yerine kullanımına akış problemleri, kötü atomizasyon, enjektör tıkanması, yağlama yağının kalınlaşması, eksik yanma ve güç düşüşü gibi sorunlar sınırlama getirmektedir [1]. Bu sorunları gidermek için farklı teknikler geliştirilmektedir. Bunlar ön ısıtma, diğer yakıtlar ile karıştırma (seyreltme), esterleştirme ve ısıl parçalamadır (proliz). Esterleştirme (Transesterifikasyon) bu teknikler arasında en önemli ve yaygın tercih edilenidir [1].

Ham bitkisel yağ veya greslerin işleme sokulmadan biyodizel denmesinden kaçınılmalıdır. Literatürdeki çalışmalar bu bitkisel yağların ve greslerin CI motorlarda % 10-% 20'e kadar kullanımı uzun zamanlı motor problemlerine, o-ring erimelerine, yağlama yağının jelleşmesine sebep olarak, motor ömrünü azalttıklarını göstermiştir [43].

Biyodizel normal dizele göre % 8-10 daha az enerji içermektedir. Bu fark biyodizelin normal dizelden biraz daha yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Genelde tüm biyodizeller birbirine yakın enerjiye sahip olmalarına karşın, B100 kullanımında bariz farklar ortaya çıkmaktadır. Eğer B20 kullanılıyorsa güç, tork, yakıt tüketiminde karıştırılan yakıta bağlı olarak % 1 ile % 2 arasında farklar oluşmaktadır [43].

Yapılan çalışmalarda biyodizel, dizel karışımının motor performansı, emisyon değerleri ve maliyet bakımından optimum oranın B20 olduğu görülmüştür. Ayrıca EPA (Energy Policy Act of 1992) 'nın kabul ettiği minimum karıştırma oranı da B20'dir [43].

Daha yüksek oranlar (B50, B100 gibi) motorda ısıtıcı kullanımı, siğillerin ve gasketlerin değiştirilmesi gibi modifikasyonlar gerektirebilmektedir [43].

2.1.1 Biyodizelin Avantajları

Biyodizel dizel yakıt ile oldukça iyi bir şekilde homojen olarak karışabilmekte ve karışım kararlı halde kalabilmektedir. Bu yüzden biyodizel yakıtlar motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan dizel yakıt ile karışım halinde kolaylıkla kullanılabilmektedirler.

Biyodizelin yağlama özelliği dizel yakıta göre daha iyidir. Biyodizelin parlama sıcaklığı daha yüksek olduğundan depolamada dizel yakıta göre daha emniyetlidir.

Biyodizel elde edilmesinde saf bitkisel yağların yanı sıra atık, kullanılmış bitkisel yağların biyodizel yakıta dönüştürülerek değerlendirilmesi hem ekonomiye hem de çevreye yarar sağlamaktadır. Kolza ve soya tarımına önem verilmesiyle tarım üreticisi bir yandan kendi ihtiyacı olan ucuz dizel yakıtı üretirken öte yandan artan üretim gücü ve kapasitesiyle ekonomiye katkı sağlamaktadır.

Bitkisel yağların transesterifikasyonu sonucu ortaya çıkan gliserin saflaştırılarak parfüm ve kozmetik sanayinde de kullanılmaktadır [61].

Biyodizel yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz etkileyen kükürt, aromatik hidrokarbonları, metalleri ve ham petrol atıklarını bünyesinde içermemektedir [41].

Setan sayısının dizel yakıtlara göre daha yüksek olması motorun daha gürültüsüz ve vuruntusuz çalışmasını sağlamaktadır [2].

Biyodizel CO_2 emisyonunu düşürmektedir. Soya gibi bitkiler yetişirken kökleri yaprakları ve tohumları için havadan CO_2 alırlar. Yağ soyadan çıkarıldıktan sonra biyodizele dönüştürülür ve yandığında CO_2 oluşmaktadır. Oluşan CO_2 de yine bitkiler tarafından kullanılır. Yani doğadaki CO_2 miktarı bu çevrimle dengelenir [43].

Biyodizel partikül oranı (PM), HC ve CO emisyonlarını da düşürmektedir. Bu yararlar % 100 biyodizel yakıtın ağırlık olarak % 11 oksijen içermesinden oluşmaktadır. Bu oksijen içeriği yakıtın tam olarak yanmasını sağladığından yanmamış emisyon oluşturmamaktadır [43].

Biyodizel insan sağlığı açısından bakıldığında da faydalıdır. Normal dizel yakıt yandığında havaya kanser gibi hastalıklara yol açan toksitler verirken, B100 bu toksitleri % 90'a kadar, B20 % 20-40'a kadar elemine etmektedir [43].

Motor imalatçıları yakıta en az % 1-2 oranında biyodizel ekleyerek özellikle yakıt pompası gibi hareketli parçaların muhafazasını sağlamaktadırlar [43].

2.1.2 Biyodizelin Dezavantajları

Biyodizel % 100 kullanıldığında iyi bir çözücü (solvent) özelliği göstermektedir. Yakıt tankındaki tortu, pas gibi maddeleri çözer ve yakıt sisteminde problemlere yol açabilmektedir. Eğer B100 kullanılacaksa yakıt tankları çok muntazam bir şekilde temizlenmelidir.

Çoğu B100 yakıtı 2 ^{0}C-16 ^{0}C arası bulutlanmaya başlamaktadır. Dolayısıyla ısınan yakıt devreleri ve tankları iklimlendirmeye gereksinim duyabilmektedirler.

B100 yakıtı bazı gasketler ile uyum sağlamamakta ve bazı kauçuk bazlı gasketlerin deforme olmasına yol açmaktadır. Bu da sıcak motorlarda yakıt kaçakları gibi problemlere yol açabilmektedirler.

Biyodizel kullanımında özellikle dikkat edilmesi gereken bir konu da yakıtın soğuk akışkan özelliğidir. Biyodizel yakıtı hava sıcaklığı azaldıkça donmaya veya

jelleşmeye başlamaktadır. Eğer yakıt jelleşirse yakıt pompasının yakıtı tanktan pompalayamamasına sebep olmaktadır.

2.2 Transesterifikasyon

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bunlardan biri bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, diğeri de motor ayarlarının değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusundaki çalışmaların ağırlığını bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır.

Bitkisel yağların dizel yakıtına göre viskozite ve yoğunluğu yüksek, uçuculuk ve ısıl değerleri düşüktür. Bundan dolayı dizel motorlarda tamamen veya kısmen dizel yakıtın yerine kullanımına akış problemleri, kötü atomizasyon, enjektör tıkanması, yağlama yağının kalınlaşması, eksik yanma ve güç düşüşü gibi sorunlar sınırlama getirmektedir.

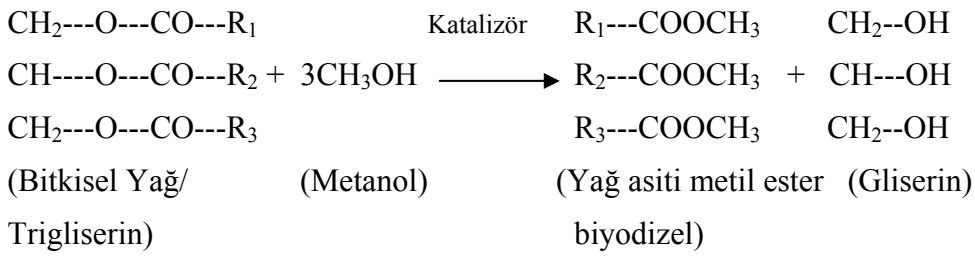
Bu sorunları gidermek için farklı teknikler geliştirilmektedir. Bunlar arasında ön ısıtma, diğer yakıt ile karıştırılma ve çözme, esterleştirme ve ısıl parçalama (proliz) bulunmaktadır.

Bu yöntemlerden uygulamada en çok kullanılanı kimyasal yöntemdir. Kimyasal yöntemler içerisinde de en fazla kullanılanı seyreltme (inceltme) ve transesterifikasyon yöntemidir.

Seyreltme (İnceltme) Yöntemi: Bu yöntem bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıtına karıştırılması olarak tanımlanır. Uygulamada yaygın kullanılan B20 yakıtı, dizel içerisine % 20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilir. Bu şekilde elde edilen yakıtın dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin de dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir.

Transesterifikasyon Yöntemi: Yakıtın viskozitesi yakıtın enjektörden düzgün bir şekilde püskürtülmesi (pulvarize) edilmesi ve verimli yanma için birincil öneme haizdir. Dizel yakıt enjektörleri No:2 dizel yakıt viskozitesine göre imal edilirler. Bitkisel yağın viskozitesi düşürülebilirse bu motor işletme problemlerini de azaltabilir.

Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Transesterifikasyon yakıtın ısıl değerinde büyük bir ölçüde değişikliğe sebebiyet vermeden bitkisel yağın viskozitesini azaltır. Tipik bir ester molekülünün molekül ağırlığı kabaca düzgün bir bitkisel yağınkinin üçte biri kadardır ve dizel yakıtınkinden yaklaşık % 50 daha fazla viskoziteye sahiptir. Şekil 2.2'de metanol ve potasyum hidroksit kullanılarak gerçekleştirilen bir reaksiyon gösterilmiştir. Alkol olarak metanol kullanıldığı gibi etanol ya da diğer alkoller de kullanılabilmektedir. Benzer şekilde katalizör olarak potasyum hidroksitin yanında sodyum hidroksit ya da sodyum metoksit de kullanılabilmektedir [37].



Şekil 2.2: Bitkisel Yağların Transesterifikasyonu

2.3 Soya Yağından Elde Edilen Biyodizel Ve Eurodizel Yakıtın Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılan soya yağından elde edilen biyodizelin ve Euro dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.1'de sunulmuştur.

Tablo 2.1: Deneysel Çalışmada Kullanılan Yakıtların Özellikleri

	Soya Yağı Biyodizeli	Euro dizel
Kinematik Viskozite(40^0 C)	4.7	1,2566
Yoğunluk (kg/m^3)	884	835,7
Setan Sayısı	51	55
Isıl değeri (MJ/kg)	39,735	45,821
Parlama noktası (^{0}C)	69	45
Bulutlanma Noktası	-2	-1

2.4 Biyodizel ile İlgili Standartlar

Bölüm 1'de belirtildiği gibi biyodizel bitkisel yağlar, hayvansal yağlar ve atık yağlardan elde edilmektedir. Üretilen biyodizel yakıtının günümüzde kullanılmasını belirleyen standartlara uyması gerekmektedir. Biyodizel için hali hazırda Amerika'da yürürlükte olan ASTM 6751 (American Society for Testing and Material) uluslararası biyodizel standardı kullanılırken, Avusturya'da ONORMC 1190, Almanya'da DIN V 51606 standardı kullanılmaktadır. Ülkemizde geçerli olan dizel motorları için yağ asidi metil esterleri (YAME, Biyodizel) TSE 14214 biyodizel standartları EK-A'da verilmiştir. Ülkemizde EN 14214 Standardı temel alınarak TSE Standardı hazırlanmıştır.

Yağ asidi metil esterleri (YAME) EK-A 'da verilen yöntemlere göre deneye tâbi tutulduğunda, elde edilen değerler yine EK-A 'da belirtilen sınır değerlere uygun olmalıdır.

Bu standartlar % 20 ve daha düşük karışım oranlarında kullanılacak biyodizelin kalitesini garantilemeyi amaçlamaktadır. Karışımlar için ülkemizde kullanılacak biyodizel yakıt dizel yakıt ile karıştırılmadan önce bu TSE 14214 standardını sağlamak zorundadır. TSE'nin diğer yakıt standartları gibi TSE 14214 de dizel motor güvenliği ve memnuniyeti için gerekli fiziksel ve kimyasal özellikleri içermektedir.

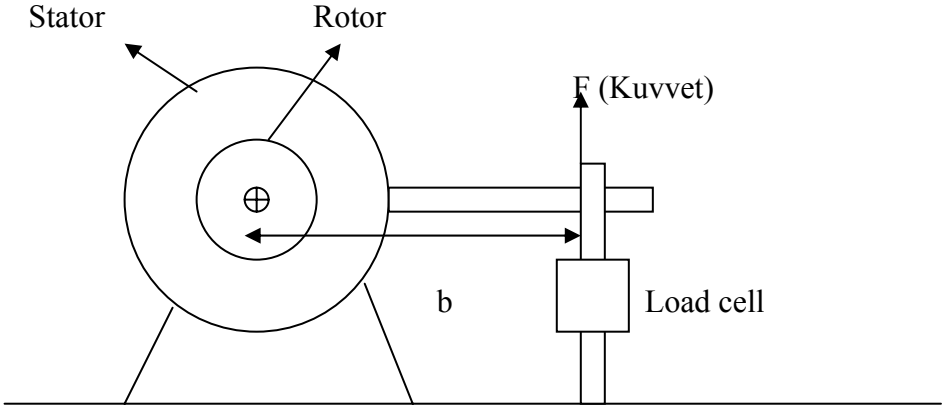
Motor üreten firmalar genelde malzeme ve işçilik hatalarına garanti vermektedir. Bu tip garantiler dış koşullar nedeniyle oluşan hasarları kapsamamaktadır. Kullanılan değişik yakıtlardan dolayı dizel motorda oluşabilecek hasarlar motor üreticisinin garantisi dışındadır. Bir motordaki hasarın nedeni biyodizel değilse oluşan hasar motor üreten firma tarafından garanti kapsamında ele alınmalıdır. Hali hazırda dizel motor üreticileri biyodizel yakıtının motorlarına olan etkilerini araştırmaktadırlar. Mevcut bir dizel motorda biyodizel kullanımına başlanmadan önce motor üreticisi ile temasa geçilmelidir [60].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Motor Performansını Belirleyen Parametreler

3.1.1 Tork Ve Güç

Motor torku normalde bir dinamometre ile ölçülmektedir. Motor bir test yatağına bağlanır ve şaft dinamometre rotoruna sabitlenir. Şekil 3.1'de bir dinamometrenin çalışma prensibi gösterilmektedir. Rotor elektromanyetik, hidrolik veya mekanik sürtünme ile statorla eşleştirilebilir. Stator rotorla sabit olarak sabitlenir (balanslanır). Dönen rotorla statorda kullanılan tork hesaplanır.



Şekil 3.1: Dinamometre Çalışma Prensibi

Bu şekilde tork;

$$T=F.b \ [N.m] \qquad (3.1)$$

Motordan elde edilen ve dinamometreden emilen (absorbe edilen) güç (P) , tork ve motor devrinin çarpımına eşittir.

$$P= 2 \pi N T \qquad (3.2a)$$

3.2a'daki denklemde N krankşaft dairesel hızıdır $\left[\frac{Devir}{s}\right]$.

$$P(kW) = 2\,\pi\,N\left[\frac{Devir}{s}\right]T\ [N.m]\ x\ 10^{-3} \quad \text{(SI birim sistemine göre)} \qquad (3.2b)$$

Tork bir motorun iş yapabilme ölçüsüdür. Güç ise yapılan iş oranıdır. Güç terimi jeneratörlerde elde edilen voltaj (V) ve amperin (I) çarpımına eşittir.

$$P = V x\ I\ [VA]\ [W] \qquad (3.3)$$

Alternatif akım devrelerinde güç hesabı ise farklıdır. Akım ve gerilim değerleri her an değişeceğinden, güç değeri de değişecektir. Bu yüzden alternatif akım devrelerinde ortalama güçten bahsedilir. Bir alternatif akım devresinde akımın etkin değeri (I), potansiyel farkının etkin değeri (V), akım ile gerilim arasındaki faz farkı φ ise güç :

$$P = I\ .\ V\ .\ \cos\varphi\ .\ \sqrt{3}\ [W] \qquad (3.4)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Denklemdeki $\sqrt{3}$ sayısı ise deneysel çalışmada kullanılan jeneratörün 3 fazlı olmasından gelmektedir.

3.1.2 Ortalama Efektif Basınç (Mep)

Tork belli bir motorun iş yapabilme ölçütü iken, motorun boyutlarına bağlıdır. Daha kullanışlı bir motor performans ölçütü çevrim başına yapılan işin silindir hacmine bölerek elde edilir. Bu parametreye ortalama efektif basınç denir.

$$W\ (\text{İş, çevrim başına}) = \frac{P.n_r}{N} \qquad (3.5)$$

3.5 denkleminde n_r her silindirin her bir güç stroku için krank dönüş sayısıdır. (4-stroklu çevrimler için 2, 2-stroklu çevrimler için 1 alınır.)

$$mep = \frac{P.n_r}{(V_d.N)} \qquad (3.6a)$$

$$\text{mep [kPa]} = \frac{P[kW]n_r x10^3}{V_d[dm^3]xN[\frac{devir}{s}]} \qquad \text{(SI birim sistemi)} \qquad (3.6b)$$

Ortalama efektif basınç aynı zamanda tork değerini kullanarak da elde edilebilir.

$$\text{mep [kPa]} = \frac{6.28xn_r xT[N.m]}{V_d[dm^3]} \qquad (3.7)$$

3.1.3 Özgül Yakıt Tüketimi Ve Isıl Verim

Motor testlerinde yakıt tüketimi bir akış oranı olan birim zaman başına kütle akışıdır ($\dot{m}_f$). Daha kullanışlı bir parametre ise her birim çıkış gücü için yakıt akış oranı olan özgül yakıt tüketimidir (*sfc*). Bu bir motorun iş üretmesi için yakıtı ne kadar etkili kullandığının ölçüsüdür.

$$\text{sfc} = \frac{\dot{m}_f}{P} \qquad (3.8a)$$

$$\text{sfc } [\frac{g}{kW.h}] = \frac{\dot{m}_f[\frac{g}{h}]}{P[kW]} \qquad \text{(SI birim sistemi)} \qquad (3.8b)$$

Motorlarda düşük özgül yakıt değerleri arzu edilir. SI motorları için en iyi değer 270 (g/kW.h), CI motorları için 200 (g/kW.h)'dir.

Bir motorun termal verimi çıkış gücü P'nin motora giren yakıtın kimyasal potansiyel enerjisine bölümüyle elde edilir [27] .

$$\eta_f = \frac{P}{\dot{m}_f x Q_{HV}} \qquad (3.9)$$

3.9 denklemindeki Q_{HV} yakıtın ısıl değeridir. (MJ/kg)

$$\eta_f = \frac{3600}{sfc[\frac{g}{kW.h}]xQ_{HV}[\frac{Mj}{kg}]} \qquad (3.10)$$

3.2 Motor, Jeneratör ve Alternatör Özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılan Pancar Motor seri üretimi olan, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, direkt püskürtmeli, 3000 d/d sabit dönme sayısı olan ulaşabilen PM-15 dizel motorun özellikleri Tablo 3.1'de, jeneratör ve alternatör özellikleri Tablo3.2'de sunulmuştur.

Tablo 3.1: PM-15 Dizel Motor Özellikleri

Motor Tipi	**PM15**
Silindir Adedi	1
Sil.Çapı X Strok	90 X 105 [mm]
Silindir Hacmi	0.668 [lt]
Ortalama Piston Hızı	10.5 (3000 rpm)
Sıkıştırma Oranı	18.8
Yağ Sarfiyatı	Tam Yükte yakıt sarfiyatının max %1
Yakıt Tüketimi	270 [g/kWh]
Yağ.Yağı Mik.Max X Min	2.5 / 2.0 [lt]
Rölanti Devri	850 [d/d]
Sabit Devir Toleransı	% 5 (3000 rpm de)
Soğutma Havası İhtiyacı	9 [m^3/dak.]
Yanma Havası İhtiyacı	1 [m^3/dak.]
Net Ağırlık	150 [kg]
Yakıt Tankı Kapasitesi	10.5 [lt]
Karter Yağ Hacmi	2.5 [lt]

Tablo 3.2: Jeneratör Ve Alternatör Özellikleri

Jeneratör Tipi	**P 113**
Genişlik	700 [mm]
Uzunluk	1050 [mm]
Yükseklik	910 [mm]
Ağırlık	270 [kg]
Şase	Çelik boru şase
Yakıt Deposu Hacmi	11.5 [lt]
Alternatör tipi	**Sincro ET2LCT 2 Kutuplu Senkron Regulasyonlu Fırçalı**
Güç	10.5 [kVa]
Güç, sürekli	9.5 [kVa]
Cos φ	0.8
Faz	3
Voltaj	230/380 [V]
Voltaj toleransı	±5 [%]
Frekans	50 [Hz]

3.3 Motor Deneyleri

3.3.1 Performans Deneyleri

Performans testleri ISO 15550 ve ISO 3046-1'de [62,63] belirtildiği gibi standart referans koşulları olarak 100 kPa toplam basınç, 25 ^{0}C hava sıcaklığı, % 30 bağıl nem alınmış ve her deney öncesi ortam basıncı ile ortam sıcaklığı ölçülerek kaydedilmiştir. Bu ölçülen ortam sıcaklığı ve ortam basıncı değerleri ISO 15550'de belirtilen formülasyon kullanılarak düzeltilmiş güç ve yakıt tüketimi değerleri elde

edilmiştir. Deneyler boyunca sık sık bu ortam şartlarının uygunluğu ve yüksek devirlerde motor yağında görülen aşırı ısınmanın motora vereceği zararı önlemek için yağ sıcaklığı kontrol edilmiştir.

Motor testleri 10-11 Mart 2007 tarihleri arasında Bayrampaşa Pancar Motor üretim tesisleri'nde yapılmıştır. Deney düzeneği ve ölçü aletleri hazırlandıktan sonra motor Euro dizel yakıt ile çalıştırılmıştır. Motor ısındıktan sonra ilk başta yüksüz olarak performans değerleri alınmıştır. Daha sonra alternatör ile motor yüklenerek yüklü performans değerleri üçer defa alınarak ortalamaları hesaplanmıştır. Euro dizel ile değerler alındıktan sonra biyodizel yakıt karışımlarından B10 kullanılarak aynı değerler üçer kez alınmış ve ortalamaları hesaplanmıştır. B20, B50, B75, B100 yakıt karışımları kullanılmadan önce motor devrelerinde bir önceki deneyde kullanılan yakıtın devrelerden atılması maksadıyla motor Euro dizel ile sekiz dakika boyunca çalıştırılmıştır.

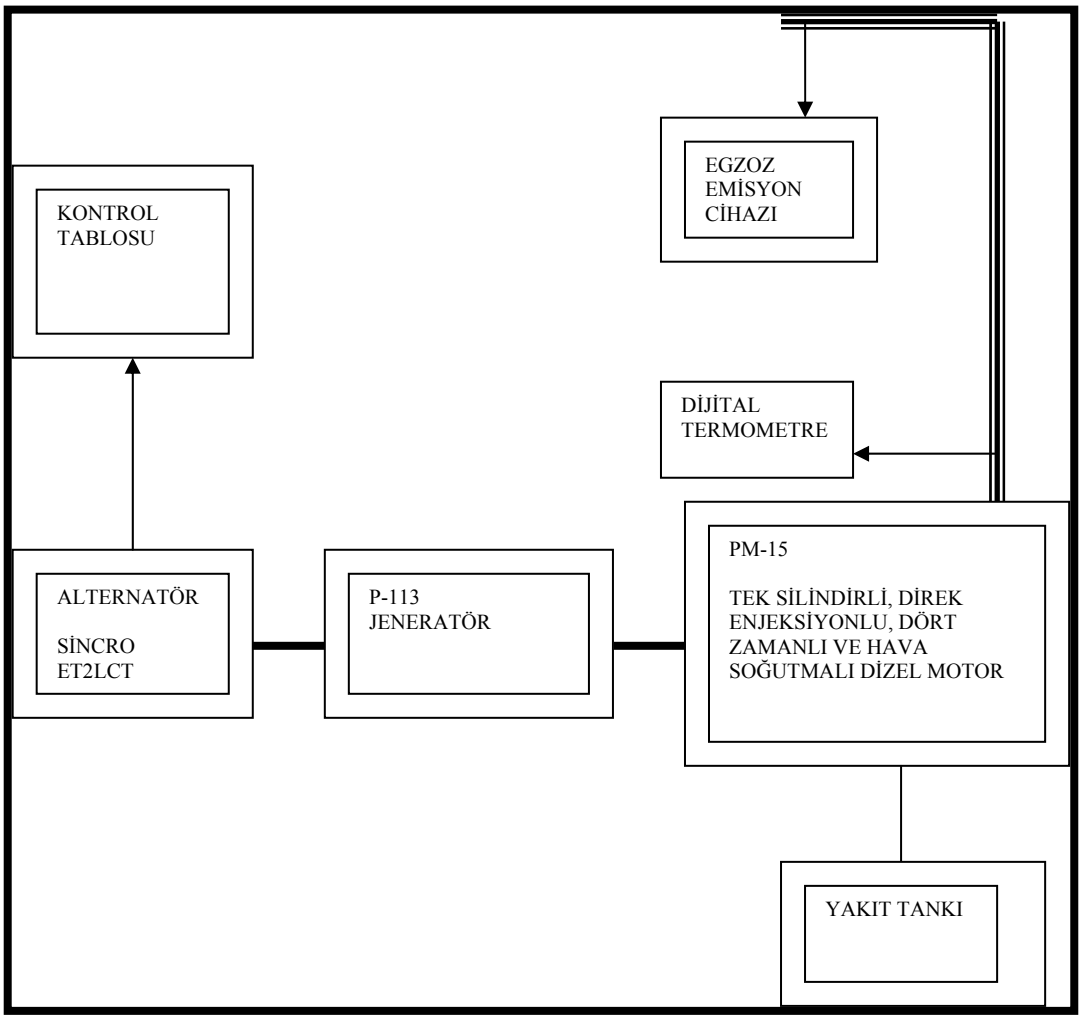
Motor fren gücü hesaplamalarında, dizel motorda sırasıyla Euro dizel, B10, B20, B50, B75, B100 yakıtları kullanılmıştır. Her bir yakıt karışımı için motor % 20, % 50, % 80 ve % 100 yüklenerek jeneratörün ortalama gücü hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama güçten motorun fren gücüne geçiş yapılmıştır. Elde edilen her bir güç değeri için o anki ortam basıncı, nemi ve sıcaklığı ölçülüp ISO 15550 standardına uygun olarak düzeltme faktörü hesaplanarak fren gücü belirlenmiştir.

Yukarıda bahsedilen yöntem ile fren gücü tespit edildikten sonra Euro dizel, B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıtları için saatteki yakıt tüketimi [g/h] ölçülmüştür. Bulunan değerler kullanılarak fren özgül yakıt tüketimi, birim saat [h] ve güç [kW] başına gram olarak hesaplanmıştır.

Yakıt karışımlarının fren ısıl veriminin (BTE) hesaplanması için yukarıda hesaplanan fren özgül yakıt tüketimi ve her bir yakıt karışımının ısıl değerleri kullanılmıştır. Fren ısıl verimi dizel motorların yaktığı yakıtın enerjisinin ne kadarını güce çevirebildiğinin bir göstergesidir [44].

Deneysel çalışmada kullanılan dizel motorun egzoz gaz sıcaklığı, egzoz manifoldundaki bir ısıl çift (termokapl) ile ölçülmüştür. Kullanılan dijital termometrenin kalibrasyonu yapılmış olup, hassasiyeti ± % 8 ^{0}C dir.

Deneysel çalışmada kullanılan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Deneysel Düzeneğin Şematik Gösterimi

3.3.2 Gürültü Ve Titreşim Deneyleri

Gürültü ve titreşim testleri Bayrampaşa Pancar Motor üretim tesislerinde, yansımaların minimumda tutulabilmesi maksadıyla açık alanda, TSE EN 27574 standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan dizel motor tekerlekli taşıyıcı bir düzenek üzerinde durmaktadır.

Titreşim ölçümleri Micro Vibe marka, kalibrasyonu yapılmış, hassasiyeti ± % 3 RMS, mm/s olan titreşim ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler Euro dizel, B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıtlarıyla ve farklı yükleme şartları (Yüksüz, % 20, % 50, % 80, % 100) için dizel motorun farklı bölgelerinden, beşer adet değer alınıp, bunların ortalamaları hesaplanarak yapılmıştır.

Gürültü ölçümleri Chauvin Arnoux marka, kalibrasyonu yapılmış, hassasiyeti ± 2 dB olan gürültü ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Ölçümler dizel motorun dört tarafından alınmış olup gürültü seviyesinin hesaplanmasında bu değerlerin ortalamaları kullanılmıştır.

3.4 Maliyet Analizi

Maliyet analizi, deneysel çalışmada kullanılan dizel motorun saatte yaktığı yakıtın deneysel çalışmanın yapıldığı tarihteki rafineri çıkış fiyatları üzerinden yapılmıştır. Bu tarihteki Euro dizel rafineri çıkış fiyatı 0.711 YTL/L iken, biyodizelin rafineri çıkış fiyatı 1.65 YTL/L olarak alınmıştır. Yukarıda bahsedilen özgül yakıt tüketimi (L/kW.h) hesaplandıktan sonra bu değer litre başına belli olan rafineri çıkış fiyatları ile çarpılarak her bir yakıt karışımı için işletme maliyetleri hesaplanmıştır.

3.5 Deneysel Hatalar ve Belirsizlikler

Deneysel çalışmada alınan ölçümlerin ve hesaplanan değerlerin hataları Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3: Deneysel Hatalar ve Belirsizlikler

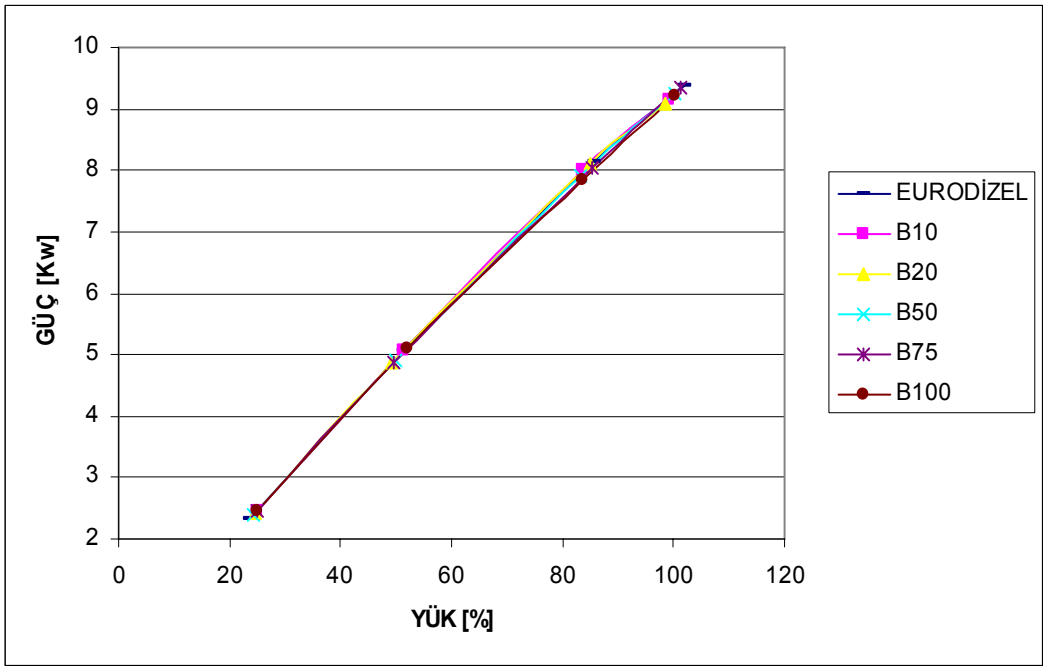
Ölçümler	Doğrulukları
Egzoz Sıcaklıkları	± 8 ^{0}C
Devir	± 2 %
Zaman	± 0.5 %
Gürültü	± 2 dB
Titreşim	± % 3 RMS,mm/s
Hesaplanan Değerler	**Belirsizlikler**
Güç	± 2 %
Bsfc	± 2.5 %
BTE	± 2 %

4. BİYODİZELİN DİZEL MOTOR PERFORMANSINA OLAN ETKİSİ

4.1 Biyodizelin Motor Gücüne Etkisi

Euro dizel, B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıtlarının değişik yüklerdeki güç karakteristikleri Şekil 4.1'de sunulmuştur. Motor yükü arttıkça dizel motorun gücü artmaktadır. Euro dizel ve biyodizel karışımları kullanıldığında motorun gücünde bir değişimin olmadığı Şekil 4.1'den görülmektedir.

Bunun sebebi deneysel çalışmada kullanılan dizel jeneratör sistemidir. Deneyler esnasında motorun farklı yükleme şartlarına getirilmesi için alternatör kullanılmıştır. Alternatör ile ısıtılan kangalların sayısı arttırılarak, akım değeri değiştirilmiş ve yük değerleri tüm yakıt karışımları için sabitlenmiştir. Dolayısı ile kullanılan dizel motorun güç karakteristiklerinde değişim olmamaktadır.



Şekil 4.1: Biyodizelin Motor Gücüne Etkisi

Biyodizel karışımlarının Euro dizel yakıta göre güç değerlerindeki yüzde değişimleri Tablo 4.1'de sunulmuştur. Tablo 4.1'e göre güç değerlerindeki maksimum artışın %

75 yükte, B10 yakıt karışımı için % 0.55 olduğu, maksimum azalmanın ise % 75 yükte, B100 yakıtı için % 1.48 olduğu görülmektedir.

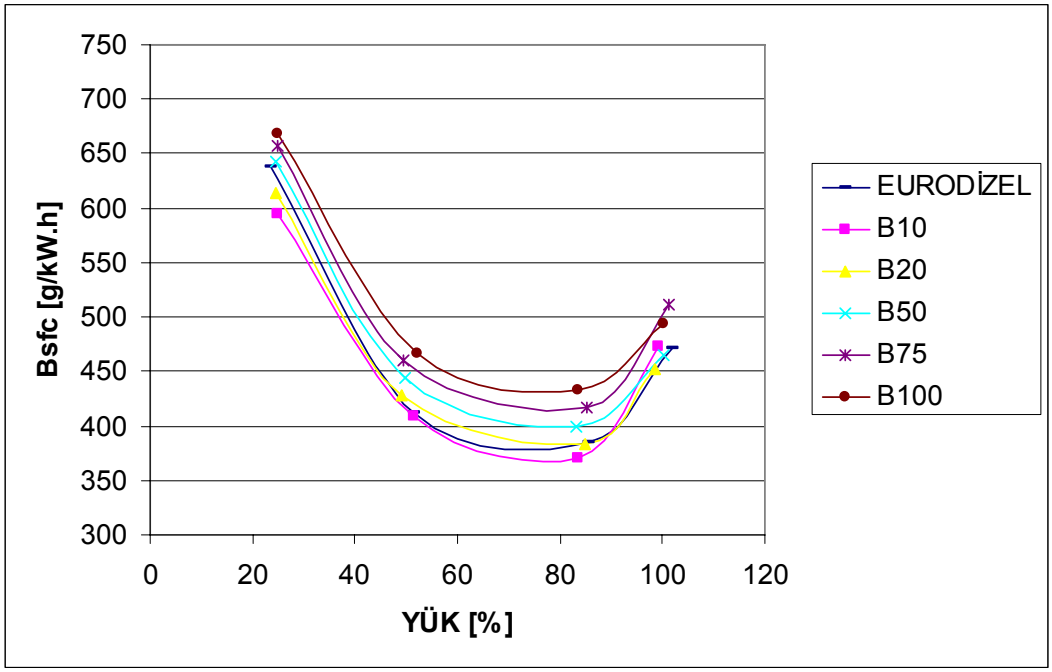
Tablo 4.1: Biyodizelin Fren Gücüne Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi

Motor Yükü	Euro dizel	B10	B20	B50	B75	B100
0		-	-	-	-	-
25	-	-0.09	-0.08	0.00	-0.06	-0.06
50	-	-0.05	-0.06	-0.06	-0.14	-0.42
75	-	0.55	0.26	-0.43	-0.96	-1.48
100	-	-0.69	-0.80	-0.27	-0.18	-0.40

4.2 Biyodizelin Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

Euro dizel, B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıtlarının değişik yüklerdeki fren özgül yakıt tüketimi karakteristikleri Şekil 4.2'de sunulmuştur. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi motor yükü arttıkça yakıt tüketimi azalmaktadır. Minimum yakıt tüketimi % 60 ila % 85 yük değerleri arasında olmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan dizel motorun yakıt tüketimi açısından optimum çalışma aralığı bu yük değerleridir. % 85 yükten sonra yakıt tüketimi tüm biyodizel karışımları ve Euro dizel için artmaktadır.

Tablo 2.1'deki yakıtların fiziksel özelliklerine bakılacak olursa biyodizelin ısıl değerinin Euro dizele göre % 13.28 daha az olduğu görülmektedir. Yakıt karışımındaki biyodizel oranı arttıkça yakıtın ısıl değeri azalmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan dizel-jeneratör grubunda gücün sabit olmasından dolayı motor bu gücü elde etmek için yanma odasına daha fazla yakıt göndermektedir. Yanma odasına giren yakıt miktarı artınca ise özgül yakıt tüketiminin yüksek yüzdeli biyodizel yakıt karışımları için artabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.2: Biyodizelin Fren Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

Biyodizel yakıt karışımlarının Euro dizele göre özgül yakıt tüketimlerindeki yüzde değişimleri Tablo 4.2'de sunulmuştur. Tablo 4.2'den anlaşılacağı gibi yakıtlardaki biyodizel oranı arttıkça özgül yakıt tüketimlerinde gözle görülür bir artış olmaktadır. Biyodizel yakıt karışımları arasında özgül yakıt tüketimindeki maksimum azalmanın % 25 yükte, B10 yakıt karışımı için % 4.86, maksimum artışın ise % 75 yükte B100 yakıtı için % 16.13 olduğu görülmektedir.

Tablo 4.2: Biyodizelin Fren Özgül Yakıt Tüketimine Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi

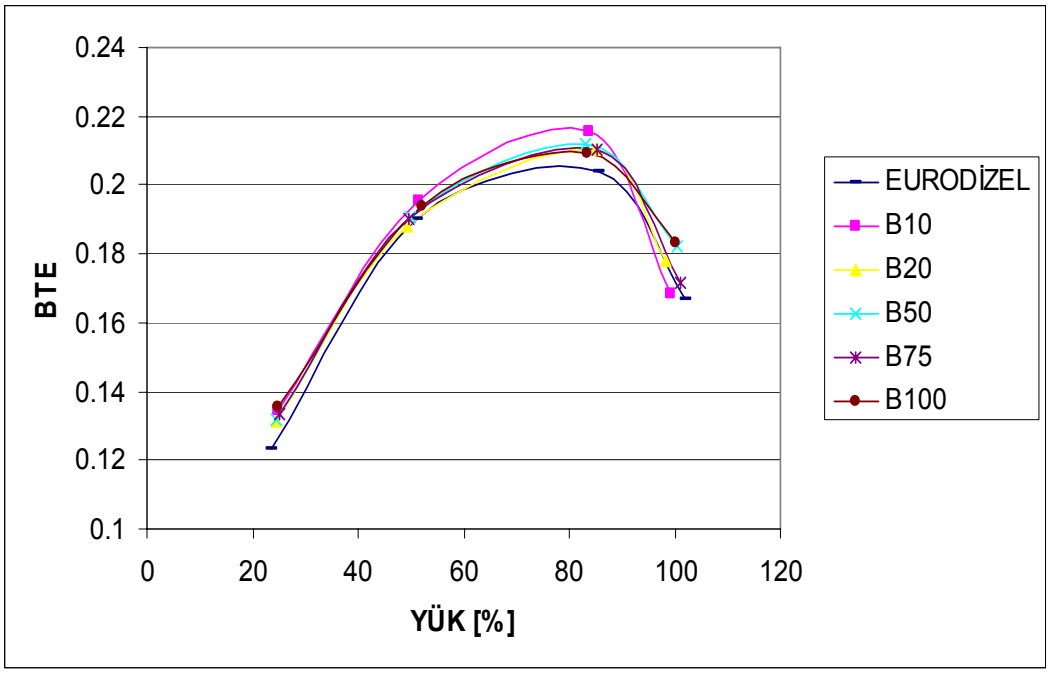
Motor Yükü	Euro dizel	B10	B20	B50	B75	B100
0		-	-	-	-	-
25	-	-4.86	-1.98	2.24	5.50	7.31
50	-	-0.84	1.35	5.65	9.14	13.60
75	-	-3.38	0.47	7.00	8.82	16.13
100	-	5.36	1.45	1.04	9.51	7.90

4.3 Biyodizelin Isıl Verime Etkisi

Euro dizel, B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıtlarının değişik yüklerdeki fren ısıl verim karakteristikleri Şekil 4.3'de sunulmuştur. Motor yükü arttıkça Euro dizel ve biyodizel karışımlarının ısıl verimlerinin arttığı görülmektedir. % 80 yükten sonra ise ısıl verimde düşüş olmaktadır. Bu düşüşün kullanılan dizel motorun özelliğinden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Bölüm 4.2 'de belirtildiği gibi çalışmada kullanılan motorun ısıl verim açısından bakıldığında da optimum çalışma aralığı %60-80 yük değerleri arasıdır.

Genel olarak tüm biyodizel yakıt karışımları Euro dizele göre ısıl verim değerlerinde bir artış göstermektedir. Bu artışın sebebi biyodizel yakıtının içinde bulundurduğu % 11'lik oksijen oranıdır. Yanma odasına gönderilen yakıt karışımlarının içindeki oksijen arttıkça yanma daha verimli hale gelebilecektir. Bunun paralelinde yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonu da azalmaktadır.

Fakat yakıtlardaki biyodizel oranının artmasıyla beraber yakıtın yoğunluğu ve viskozitesi de artmaktadır. Dolayısıyla bu kötü enjektörlerde kötü atomizasyona sebep olabilmektedir.



Şekil 4.3: Biyodizelin Fren Isıl Verimine Olan Etkisi

Tablo 4.3‘de biyodizel karışımlarının Euro dizele göre ısıl verimlerinin yüzde olarak değişimleri verilmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi maksimum artış % 25 yükte B100 yakıtı için % 6.73 olurken, maksimum azalma da % 100 yükte B10 yakıtı için % 5.02 olmuştur.

Tablo 4.3: Biyodizelin Fren Isıl Verimine Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi

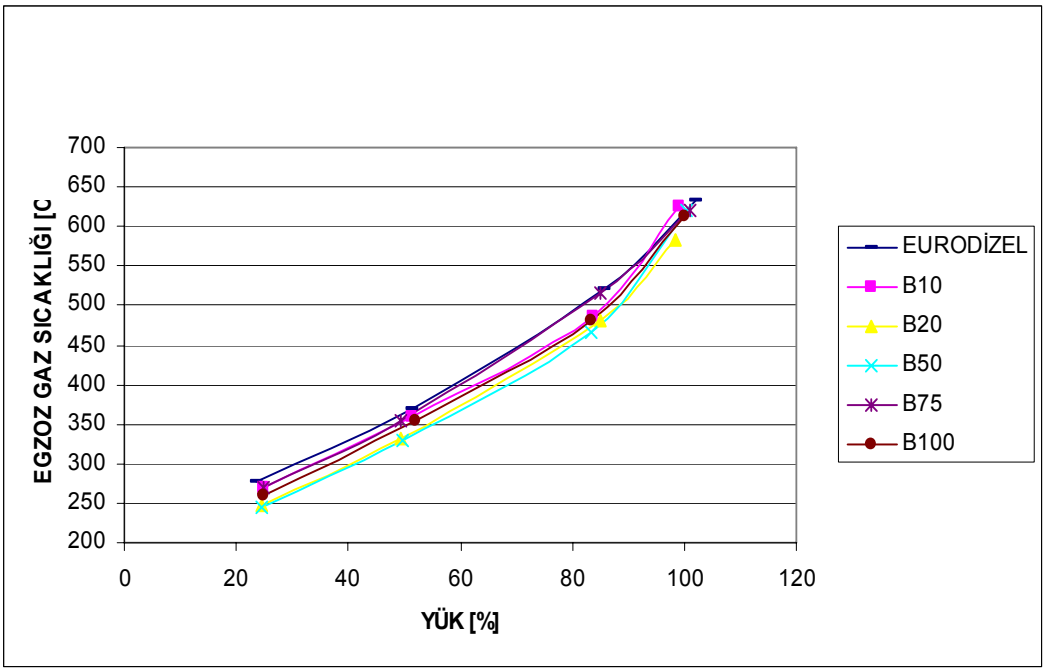
Motor Yükü	Euro dizel	B10	B20	B50	B75	B100
0		-	-	-	-	-
25	-	6.00	4.06	4.89	4.85	6.73
50	-	2.31	0.80	1.62	1.62	1.48
75	-	5.26	2.58	1.72	2.55	0.54
100	-	-5.02	-0.32	6.01	1.49	6.12

Kullanılan dizel motor için ısıl verimin maksimum olduğu yakıt B10 yakıtı ve yük aralığı da % 60 ila % 80 arasıdır. Bunun sebebinin ise B10 yakıt karışımının özgül yakıt tüketiminin ve ısıl değerinin diğer biyodizel karışımlarına göre daha düşük olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

4.4 Biyodizelin Egzoz Gaz Sıcaklığına Etkisi

Euro dizel, B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıtlarının değişik yüklerdeki egzoz gaz sıcaklığı karakteristikleri Şekil 4.4‘de sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi dizel motor yükü arttırıldıkça egzoz sıcaklıkları artmaktadır. Euro dizel ve biyodizel yakıt karışımlarına bakıldığında ise Euro dizel yakıtı kullanıldığında tüm biyodizel yakıt karışımlarına oranla egzoz gaz sıcaklığının biraz daha fazla olduğu görülmektedir.

Biyodizel yakıtın içinde % 11 ‘lik oksijen bulundurduğundan Bölüm 4.3‘de bahsedilmiştir. Yanma odasına giren yakıtın oksijen ihtiva etmesi yanmanın tam yanma özellikleri taşıyacağının göstergesidir. Fakat biyodizelin yoğunluğu ve viskozitesinin artması ile dizel yakıt için dizayn edilmiş enjektöre sahip dizel motorlarda atomizasyon problemleri ile karşılaşılabilmektedir. Biyodizel karışımlarının Euro dizele göre egzoz sıcaklıklarındaki azalmanın püskürtülen yakıtın atomizasyonunun bozuk olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.4: Biyodizelin Egzoz Gaz Sıcaklığına Etkisi

Biyodizel karışımlarının Euro dizel yakıta göre egzoz gaz sıcaklıklarındaki yüzde değişimi Tablo 4.4'de sunulmuştur. Tüm biyodizel yakıt karışımları için egzoz sıcaklıklarında Euro dizele göre bir azalış olduğu Tablo 4.4'de görülmektedir. Maksimum azalmanın % 25 yükte, B50 biyodizel yakıt karışımı için % 12.29 olduğu görülmektedir. Egzoz sıcaklığındaki % 12.29 'a varan düşüşün sebebinin bu kötü atomizasyondan kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Tablo 4.4: Biyodizelin Egzoz Gaz Sıcaklığına Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi

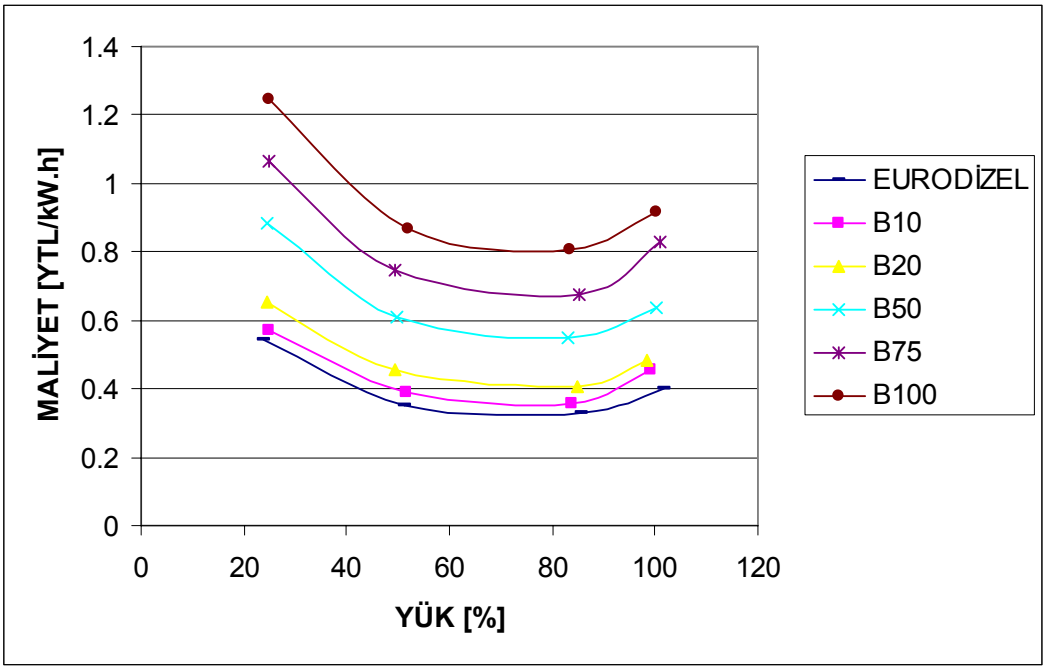
Motor Yükü	Euro dizel	B10	B20	B50	B75	B100
0		-	-	-	-	-
25	-	-3.69	-11.61	-12.29	-4.43	-7.52
50	-	-1.92	-7.74	-9.04	-2.05	-4.24
75	-	-6.14	-8.43	-10.10	-0.93	-6.52
100	-	2.98	-3.56	-0.32	-1.14	-1.06

5. BİYODİZELİN DİZEL MOTOR İŞLETME MALİYETİNE OLAN ETKİSİ

5.1. Biyodizelin Türkiye Şartlarında Motor İşletme Maliyetine Etkisi

Euro dizel, B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıtlarının değişik yüklerdeki işletme maliyeti karakteristikleri Şekil 4.5'de sunulmuştur. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi kullanılan motor için minimum maliyet % 60 ile % 80 yükler arasında gerçekleşmiştir. Yakıtlardan en az maliyetli olanı Euro dizel iken en fazla işletme maliyeti B100 yakıtı kullanıldığında ortaya çıkmaktadır. Biyodizel oranının artmasıyla maliyetlerin büyük oranlarda arttığı görülmektedir.

İşletme maliyetindeki bu açık farkın Türkiye'de kullanılan yakıtların üzerindeki ağır vergilerden ve biyodizelin satış fiyatındaki belirsizlikten kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Euro dizel yakıtının 9 Mart 2007 tarihinde Tüpraş rafinerisinden çıkış fiyatı 0.711 YTL iken, aynı gün bu yakıtın pompa satış fiyatı 2.35 YTL'dir. Aradaki fark ÖTV, KDV, EPDK payı ve bayilerin kar paylarından oluşmaktadır. Biyodizelin satışında ÖTV indirimi çalışmaları sürmektedir. Türkiye ekonomisine katkıda bulunması beklenen biyodizelin satış fiyatı No:2 dizel yakıta yaklaştırıldığında ortaya çıkacak tablonun daha farklı olabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 5.1: Biyodizelin Motor İşletme Maliyetine Olan Etkisi-Türkiye Şartlarında

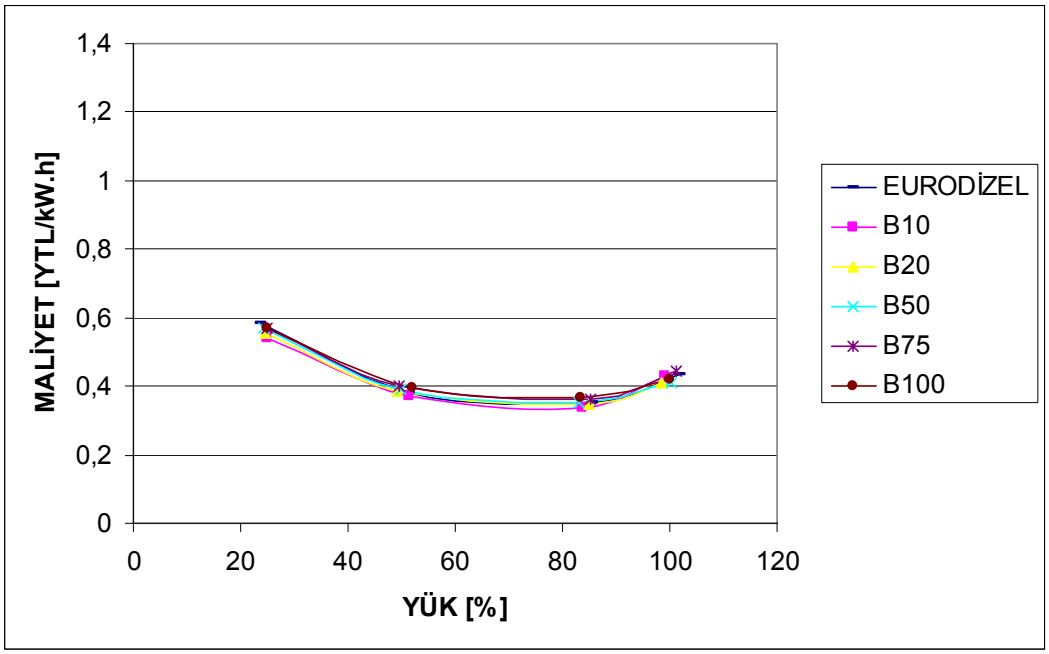
Biyodizel yakıt karışımlarının Euro dizel yakıta göre işletme maliyetlerindeki yüzde değişimleri Tablo 5.1'de sunulmuştur. Tablodan da görüldüğü gibi işletme maliyeti bakımından Euro dizele en yakın değer % 25 yükte, B10 yakıt karışımı için % 7.13 olurken, B100 yakıtı için maliyette % 153 'e varan artış söz konusu olmaktadır.

Tablo 5.1: Biyodizelin Motor İşletme Maliyetine Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi-Türkiye Şartlarında

Motor Yükü	Euro dizel	B10	B20	B50	B75	B100
0		-	-	-	-	-
25	-	7.13	22.52	64.87	100.85	134.55
50	-	11.65	26.68	70.36	107.77	148.29
75	-	8.79	25.57	72.53	107.16	153.81
100	-	18.63	26.80	62.92	108.48	135.83

5.2. Biyodizelin ABD Şartlarında Motor İşletme Maliyetine Etkisi

27 Mart 2007 tarihinde Amerika'daki dizel ve biyodizelin satış fiyatları sırasıyla 0.9248 YTL, 0.9063 YTL'dir. Bu satış fiyatları için biyodizel karışımları ve Euro dizel yakıtının motor işletme maliyeti karakteristikleri Şekil 5.2'de sunulmuştur. Dizel ile biyodizel yakıtlarının satış fiyatlarındaki yakınlık Şekil 5.2 'de daha net görülebilmektedir. Minimum maliyet yine motorun optimum çalışma aralığı olan % 60 ile % 80 yükler arasında ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.2: Biyodizelin Motor İşletme Maliyetine Olan Etkisi-ABD Şartlarında

Biyodizel yakıt karışımlarının Amerika'daki satış fiyatları üzerinden dizel yakıta göre işletme maliyetlerindeki yüzde değişimi Tablo 5.2'de sunulmuştur. Tablodan da görüldüğü gibi işletme maliyetlerindeki minimum değerler B10 yakıtı kullanıldığında elde edilmiştir. Maksimum azalmanın B10 biyodizel yakıt karışımı için % 25 ve % 75 yüklerde sırasıyla % 5.56 ve % 4.09 olduğu, maksimum artışın da % 50 yükte, B100 yakıtı için % 4.85 olduğu görülmektedir.

Tablo 5.2: Biyodizelin Motor İşletme Maliyetine Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi-ABD Şartlarında

Motor Yükü	Dizel	B10	B20	B50	B75	B100
0		-	-	-	-	-
25	-	-5.56	-3.47	-1.70	-0.61	-0.95
50	-	-1.57	-0.19	1.58	2.81	4.85
75	-	-4.09	-1.06	2.88	2.51	7.18
100	-	4.58	-0.09	-2.86	3.16	-0.41

Türkiye'de biyodizelin satış fiyatındaki düzenlemeler tamamlandıktan sonra dizel yakıta göre daha uygun satış fiyatı belirlenirse, biyodizel kullanılmasının motor işletme maliyeti açısından büyük bir avantaj sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

6. BİYODİZELİN DİZEL MOTOR GÜRÜLTÜ VE TİTREŞİM KARAKTERİSTİKLERİNE OLAN ETKİSİ

Bir dizel motorun titreşim ve buna bağlı motor gürültüsü yanma sırasındaki tutuşma gecikmesiyle ilgilidir. Tutuşma gecikmesi, yakıtın yanma odasına püskürtülme zamanı ile yanmanın başlaması arasında geçen zaman (veya krank açısı) olarak açıklanmaktadır. Yakıtın tutuşma karakteristiği tutuşma gecikmesini etkilediği için yakıtın bu özelliği duman emisyonu, gürültü ve titreşim gibi dizel motor çalışma karakteristiğini belirlemede çok önemlidir. Bir yakıtın tutuşma kalitesi onun setan sayısı ile belirlenmektedir. Düşük setan sayısı olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi daha uzun olmakta ve yakıtın çoğu yanma odasında tutuşma oluşmadan püskürtülmektedir. Bu yanma odasında hızlı yanmaya (Tam yanmanın gerçekleşememesine) ve silindir içi yüksek basınç artışlarına, dolayısıyla motorda 'dizel vuruntusu' denilen gürültüye sebep olmakla beraber motor gücünde de azalmalara yol açabilmektedir [44].

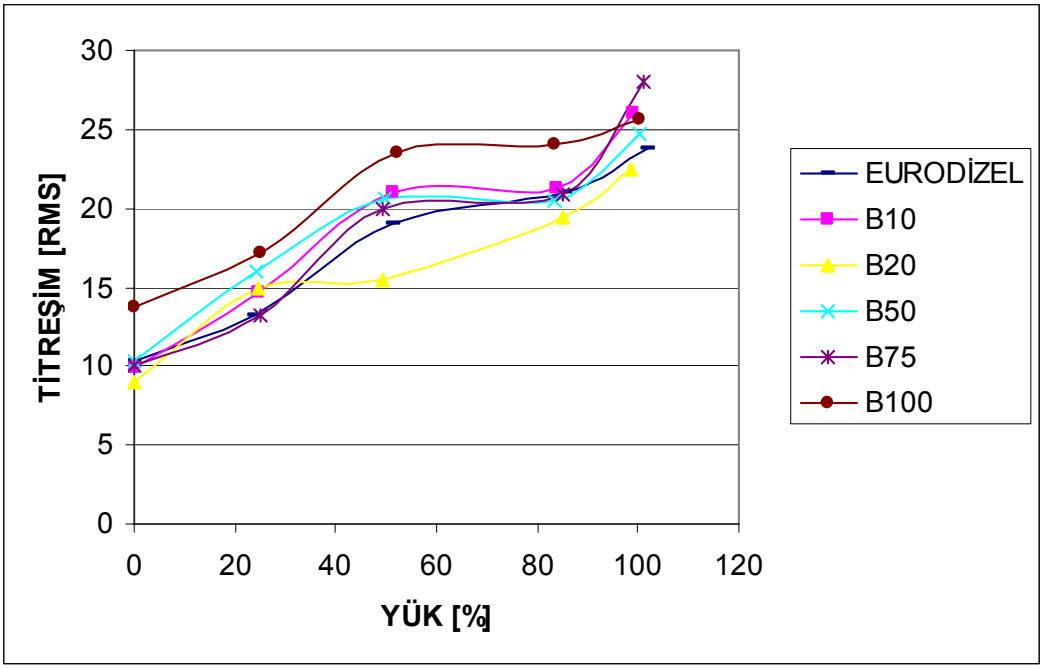
6.1 Biyodizelin Titreşime Etkisi

Euro dizel, B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıtlarının değişik yüklerdeki titreşim karakteristikleri Şekil 6.1 'de sunulmuştur. Şekilden görüldüğü gibi dizel motor yükü arttıkça motor titreşimi de artmaktadır. Yakıt karışımlarının biyodizel oranı arttığında ise Euro dizele göre titreşimin daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1'de yakıtların fiziksel özelliklerine göre biyodizelin setan sayısının 51, Euro dizelin setan sayısının 55 olduğu görülmektedir. Biyodizel yakıtın setan sayısındaki bu fark, yakıtın tutuşma özelliğinin daha düşük olduğunu, biyodizel karışım oranı fazla olan yakıt kullanıldığında tam yanmanın gerçekleşmediğini göstermekte dolayısıyla motor titreşiminde artışa sebep olabilmektedir.

Biyodizel yakıt karışımlarının titreşim seviyelerindeki bu artışın Şekil 4.2 ve Şekil 4.4 'de sunulan yakıt tüketimi ve egzoz gaz sıcaklığı karakteristikleri ile paralellik gösterdiği değerlendirilmektedir. Biyodizel karışımları B10 yakıtı hariç Euro dizele göre yakıt tüketiminde bir artma göstermiştir. Bunun sebebi biyodizel yakıtların ısıl

değerlerinin düşük olması ve motorun aynı gücü elde etmek için yanma odasına daha fazla yakıt pompalamasıyla açıklanmıştır. Aynı şekilde biyodizel yakıt kullanıldığında egzoz gaz sıcaklıklarında da bir azalış görülmektedir. Bu yüksek yüzdeli biyodizel yakıtlar kullanıldığında yanma odasındaki yanmanın tam olamadığını göstermektedir.



Şekil 6.1: Biyodizelin Motor Titreşimine Etkisi

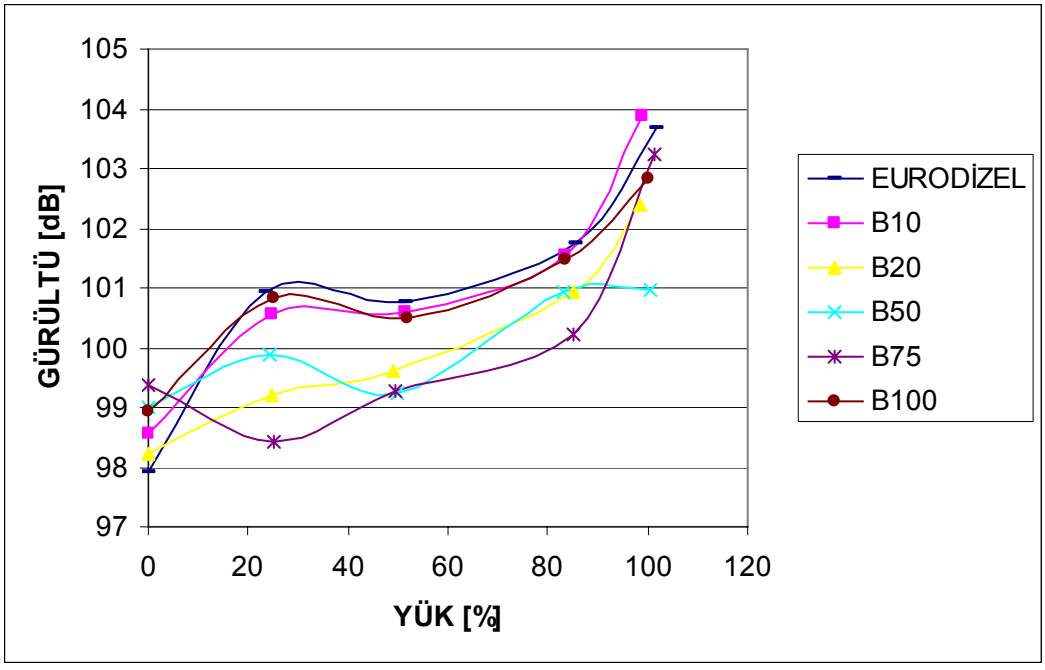
Biyodizel yakıt karışımlarının Euro dizele göre titreşim seviyelerindeki yüzde değişimler Tablo 6.1'de sunulmuştur. Tablodan görüldüğü gibi titreşimde Euro dizele göre maksimum artış % 50 yükte, B100 yakıtı için % 25.08, maksimum azalma % 50 yükte, B20 yakıtı için % 18.12 'dir.

Tablo 6.1: Biyodizelin Titreşime Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi

Motor Yükü	Euro dizel	B10	B20	B50	B75	B100
0		-4.32	-13.57	-0.39	-3.50	-3.74
25	-	9.26	10.22	19.78	-2.07	7.80
50	-	10.62	-18.12	9.21	6.36	25.08
75	-	2.15	-13.40	-1.02	-2.44	21.21
100	-	14.14	-1.50	5.49	17.05	7.82

6.2 Biyodizelin Gürültüye Etkisi

Euro dizel, B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıtlarının değişik yüklerdeki gürültü karakteristikleri Şekil 6.2 ‘de sunulmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi dizel motor yükü arttığında ölçülen gürültü seviyesi de artmaktadır. Euro dizel yakıtı ile biyodizel yakıt karışımlarının gürültü seviyelerinde önemli bir farkın olmadığı görülmektedir.



Şekil 6.2: Biyodizelin Motor Gürültüsüne Etkisi

Biyodizel yakıt karışımlarının Euro dizel yakıta göre gürültü seviyelerindeki yüzde değişimler Tablo 6.2 ‘de sunulmuştur. Tablodan görüldüğü gibi gürültü seviyeleri tüm biyodizel yakıt karışımları için genelde bir azalma göstermektedir. Maksimum azalmanın % 25 yükte B75 yakıt karışımı için % 2.52, maksimum artmanın ise motor yüksüz haldeyken B75 yakıtta % 1.48 olduğu görülmektedir.

Tablo 6.2: Biyodizelin Gürültüye Etkisinin Yüzde Olarak Değişimi

Motor Yükü	Euro dizel	B10	B20	B50	B75	B100
0		0.64	0.31	1.10	1.48	1.02
25	-	-0.41	-1.74	-1.10	-2.52	-0.14
50	-	-0.16	-1.15	-1.51	-1.47	-0.25
75	-	-0.14	-0.77	-0.56	-1.52	-0.06
100	-	0.66	-0.76	-2.34	-0.46	-0.55

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, alternatif ve yenilenebilir bir yakıt olan biyodizelin tek silindirli, direk püskürtmeli, dört zamanlı ve hava soğutmalı 3000 d/d sabit devirde çalışan, PM-15 model bir gemi dizel motorunun performansına ve gürültü ve titreşim karakteristiklerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, soya yağından elde edilmiş biyodizel ve biyodizel ile Euro dizelin karışımları olan B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıt olarak kullanılmıştır. Biyodizel ve karışımları kullanıldığında değişik yükler için elde edilen motor gücü, özgül yakıt tüketimi, ısıl verim, egzoz gaz sıcaklığı, gürültü ve titreşim değerleri Euro dizel kullanıldığında elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Euro dizel ve biyodizel yakıt karışımlarının motorun işletme maliyetine olan etkisi de incelenmiştir.

Kullanılan motor-jeneratör grubunda farklı yük değerleri elde etmek amacıyla alternatör kullanıldığı için Euro dizel ve biyodizel yakıt karışımlarının güç değerlerinde değişim görülmemektedir.

Euro dizel ve biyodizel karışımlarının fren özgül yakıt tüketimi değerlerinde yük arttıkça bir azalma olduğu, minimum yakıt tüketiminin % 60 ile % 80 yükler arasında gerçekleştiği görülmektedir. Kullanılan Euro dizel ve biyodizel yakıt karışımları arasında ise B10 yakıtının % 60-80 yükler arasında Euro dizel göre özgül yakıt tüketiminde ortalama % 3‘e varan azalma olduğu, bunun yanında genel olarak biyodizel yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimini arttırdığı görülmektedir. Bunun sebebinin biyodizelin Euro dizele göre ısıl değerinin düşük olması ve dolayısıyla deneysel çalışmada kullanılan dizel motorun aynı güç değerlerini elde edebilmek için yanma odasına daha fazla yakıt göndermesi olduğu değerlendirilmektedir.

Fren ısıl verimi yük arttıkça artmaktadır. Biyodizel yakıt karışımlarının tüm yük değerleri için Euro dizele göre ısıl verimlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu artışın sebebinin biyodizel yakıtının içinde bulundurduğu % 11’lik oksijen oranının olduğu dolayısıyla yanma odasına gönderilen yakıt karışımlarının içindeki oksijen arttıkça yanmanın tam yanma özelliği taşıdığı değerlendirilmektedir. En iyi

ısıl verim ise % 60 ile % 80 yükler arasında, B10 yakıt karışımı kullanıldığında gerçekleşmiştir.

Egzoz gazı sıcaklıkları dizel motor yükü arttıkça artmaktadır. Euro dizel ve biyodizel yakıt karışımlarına bakıldığında ise Euro dizel yakıtı kullanıldığında tüm biyodizel yakıt karışımlarına oranla egzoz gaz sıcaklığının biraz daha fazla olduğu görülmektedir. Biyodizel karışım oranı arttıkça yoğunluğu ve viskozitesi artmaktadır. Bu dizel yakıt için dizayn edilmiş enjektörler için püskürtme problemlerine yol açabileceği dolayısıyla yanma odasında yakıtın tam yanamamasına sebep olabileceği değerlendirilmektedir.

Motor titreşimi dizel motor yükü arttıkça artmaktadır. Yakıt karışımlarının biyodizel oranı arttığında ise Euro dizele göre titreşimin daha fazla olduğu görülmektedir. Biyodizelin setan sayısının Euro dizele göre düşük olması dolayısıyla yanma odasında tutuşma gecikmesine yol açabileceği, ayrıca yakıt tüketiminin biyodizel yakıt karışımları kullanıldığında artmasıyla yoğunluğu ve viskozitesi fazla olan yakıt enjektörden pulvarize olarak püskürtülemediğinden silindir içinde vuruntuya sebep olabileceği değerlendirilmektedir.

Ölçülen gürültü seviyesi dizel motor yükü arttığında artmaktadır. Euro dizel yakıtı ile biyodizel yakıt karışımlarının gürültü seviyelerinde önemli bir farkın olmadığı görülmektedir. Fakat özellikle B50 ve B75 yakıtları için gürültü seviyelerinin farklı yüklerde ani değişim göstermesinin sebebi o yük değerlerindeki testler sırasında ortam şartlarının değişim göstermesi olarak değerlendirilmektedir.

İşletme maliyetlerine bakıldığında motor yükünün artmasıyla maliyetin Euro dizel ve biyodizel karışımları için azaldığı, kullanılan motorun optimum çalışma aralığı olan % 60 ile % 80 yük değerleri arasında minimum değerlere ulaştığı görülmektedir. Ancak ülkemizde biyodizel satış fiyatının belirsizliğinden ve Euro dizel ile biyodizel rafineri fiyatlarının arasındaki büyük farktan ötürü işletme maliyetlerinde en düşük değerler Euro dizel için elde edilmiştir. Biyodizel karışım oranı arttıkça maliyetlerde büyük ölçüde artma görülmektedir. Türkiye'de ekonomiye katkısı olması beklenen biyodizelin satış fiyatının dizel yakıtlara yaklaştırılmasıyla işletme maliyetlerinde düşme olabileceği değerlendirilmektedir.

Bu deneysel çalışmada tek silindirli sabit devirli motorda, soya yağından elde edilmiş olan biyodizel farklı yüklerde test edilmiştir. Biyodizel birçok değişik bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilebilmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda değişik yağlardan elde edilen biyodizel yakıtların dizel motorlara etkisi incelenebileceği gibi, biyodizelin devir sayısına etkisi, biyodizel elde edilirken katalizör olarak içine ilave edilen katkı maddesinin etkisi ve biyodizelin uzun süreli kullanımlarda dizel motora olan etkisi de incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Usta, N. , Can, Ö. ve Öztürk, E.,** 2004. Alternatif Dizel Motor Yakıtı olarak Biyodizel ve Etanolün Karşılaştırılması, *Mühendislik Bilimleri Dergisi,* **3**, 325-334

[2] **Keskin, A. ve Aydın, K.,** 2005. Fındık Yağı Biyodizeli Üretimi ve Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt olarak Kullanımının Araştırılması, *Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi*, **1**, 75-83.

[3] **Wang, Y.D., Al-Shemmeri, T., Eames, P., McMullan, J., Hewitt, N., Huang, Y., Rezvani, S.,** 2006. An Experimental İnvestigation Of The Performance And Gaseous Exhaust Emissions Of A Diesel Engine Using Blends Of Vegetable Oil, *Applied Thermal Engineering*, **26**, 1684-1691.

[4] **Kegl, B.,** 2006. Experimental Investigation of Optimal Timing of the Diesel Engine Injection Pump Using Biodiesel Fuel, *Energy&Fuels,* **20**, 1460-1470.

[5] **Rakopoulos, C.D., Antonoulos, K.A., Rakopoulos, D.C., Hountalas, D.T., Giakoumis, E.G.,** 2006. Comparative Performance And Emissions Study Of A Direct İnjection Diesel Engine Using Blends Of Diesel Fuel With Vegetable Oils Or Bio-Diesels Of Various Origins, *Energy Conversion and Management,* **47**, 3272-3287.

[6] **Ramadhas, A.S., Muraleedharan, C., Jayaraj, S.,** 2005. Performance And Emissions Evaluaton Of A Diesel Engine Fuelled With Methyl Esters Of Rubber Seed Oil, *Renewable Energy*, **30**, 1789-1800.

[7] **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.

[8] **Ramadhas, A.S., Muraleedharan, C., Jayaraj, S.,** 2006. Theoretical Modeling And Experimental Studies On Biodiesel-Fueled Engine, *Renewable Energy*, **31**, 1813-1826.

[9] **Çanakçı, M., Erdil, A., Arcaklioğlu, E.,** 2006. Performance And Exhaust Emissions Of A Biodiesel Engine, *Applied Energy*, **83**, 594-605.

[10] **Lin, C.Y., Lin, H.A.,** 2006. Diesel Engine Performance And Emissions Characteristics Of Biodiesel Produced By The Peroxidation Process, *Fuel*, **85**, 298-305.

[11] **Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J.M., Gómez, J., López, F.J.,** 2003. Exhaust Emissions From A Diesel Engine Fueled With Transesterified Waste Olive Oil, *Fuel*, **82**, 1311-1315.

[12] **Puhan, S., Vedaraman, N., Sankaranarayanan, G., Bharat Ram, B.V.,** 2005. Performance And Emissions Study Of Mahua Oil (Madhuca İndica Oil) Ethyl Ester İn A 4-Stroke Natural Aspirated Direct İnjection Diesel Engine, *Renewable Energy,* **30,** 1269-1278.

[13] **Leung, D.Y.C., Luo, Y., Chan T.L.,** 2006. Optimization Of Exhaust Emissions Of A Diesel Engine Fuelled With Biodiesel, *Energy&Fuels,* **20,** 1015-1023.

[14] **Keskin, A. ve Aydın, K.,** 2005. Tal Yağı Biyodizeli Üretimi ve Bunun Motor Performansı ve Emisyonları Üzerindeki Etkileri, *Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi*, **1**, 85-94.

[15] **Agarwal, D., Sinha, S., Kumar, A.,** 2006. Experimental investigation of control of Nox emissions in biodiesel-fueled compression ignition engine, *Renewable Energy,* **31**, 2356–2369.

[16] **Fernando, S., Hall, C., Jha S**., 2006. NOx Reduction from Biodiesel Fuels, *Energy & Fuels,* **20**, 376-382.

[17] **Knothe, A., Sharp C., Ryan, T.,** 2006. Exhaust Emissions of Biodiesel, Petrodiesel, Neat Methyl Esters and Alkanes in a New Technology Engine, *Energy & Fuels*, **20***,* 403-408.

[18] **Tate, R.E., Watts, K.C., Allen, C.A.W., Wilkie, K.I.,** 2006. The Densities Of Three Biodiesel Fuels At Temperatures Up To 300 C, *Fuel,* **85,** 1004–1009.

[19] **Labeckas, G., Slavinskas, S.,** 2006. The Efect Of Rapeseed Oil Methyl Ester On Direct İnjection Diesel Engine Performance And Exhaust Emissions*, Energy Conversion and Management,* **47**, 1954–1967.

[20] **Tate, R.E., Watts, K.C., Allen C.A.W., Wilkie, K.I.,** 2006. The Viscosities Of Three Biodiesel Fuels At Temperatures Up To 300 C, *Fuel*, **85,** 1010–1015.

[21] **Dicks, A.L., Diniz da Costa, J.C., Simpson, A., McLellan, B.,** 2004. Fuel Cells, Hydrogen And Energy Supply İn Australia, *Journal of Power Sources,* 131, 1–12

[22] **Demirbaş, A., Kara, H.,** 2006. New Options for Conversion of Vegetable Oils to Alternative Fuels, *Energy Sources,* **28,** 619–626.

[23] **Prohit, C.,** 2003. Numerical Simulation of a Compression Ignition Engine Using Biodisel Fuels, *Master Thesis,* A Faculty of the College of Graduate Studies Lamar University, Beaumont.

[24] **Yahya, A.B.,** 1988. Performance Characteristics of a Direct Injection Diesel Engine Operating on Methyl Soyoil and Methyl Tallow Esters, *PhD Thesis*, Iowa State University*,* Iowa.

[25] **Tate, R.E.,** 2005. Measurement of the Physical Properties of Biodisel Fuels at Temperatures up to 300 C, *Master Thesis,* Dalhousie University, Canada.

[26] **Baig A.,** Optimization of a Two-Step Process for The Production of ASTM-Standart Biodiesel From Refurbished Oils and Fats, *Master Thesis,* Graduate Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto, Canada.

[27] **Kumar Menon S.,** 2006. Performance Measurement and Scaling in Small Internal Combustion Engines, *Master Thesis,* University of Maryland.

[28] **Monyem, A.,** 1998. The effect of biodiesel oxidation on Engine Performance and Emissions, *Master Thesis,* Mechanical Engineering, Iowa State University,Amel,Iowa.

[29] **Syed, A.S.,** 2005. Oxidation Studies of Surrogate BioiDiesel Fuels in Opposed Flow Diffusion Flames, *Master Thesis,* Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, Canada.

[30] **Tat, M.E.,** 2003. Investigation of Oxides of Nitrogen Emissions from Biodiesel-Fueled Engines, *PhD Thesis*, Mechanical Engineering, Iowa State University, Amel, Iowa.

[31] **Zhou, W.,** 2000. Production of Sunflower Oil Ethyl Ester For Use as a Biodiesel Fuel, *Master Thesis,* Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto, Canada.

[32] **Baber, T.M.,** 2005. A Novel Application of Ozone Chemistry for Biodiesel Improvement: Product Development and Characterization, *PhD Thesis*, Department of Chemical Engineering and Materials Science, Michigan State University, U.S.A.

[33] **Choi, C.Y.,** 1998. Experiments and Modeling of Fuel Composition Effects on Diesel Engine Performance and Emissions, *PhD Thesis*, Mechanical Engineering, University of Wisconsin-Madison, U.S.A.

[34] **George, S.,** 2004. Characterization of In-use Emissions from Marine Engines, *Master Thesis,* Mechanical Engineering, West Virginia University, Morgantown, West Virginia.

[35] **Rukowicz, S.F.,** 2006. Comparative Analysis of Alternative Fuels for Bus Transit, *Master Thesis,* University of Delaware, U.S.A.

[36] **Szybist, J.P.,** 2005. Fuel Composition Impacts on Processes in Compression Ignition Engines, *PhD Thesis*, The Department of Energy and Geo-Environmental Engineering, The Pennsylvania State University, U.S.A.

[37] **Çanakçı, M.,** 2001. Production of Biodiesel from Feedstocks with High Free Fatty Acids and Its Effect on Diesel Engine Performance and Emissions, *PhD Thesis*, Mechanical Engineering, Iowa State University, Amel, Iowa.

[38] **Kiss, A.A., Dimian, A.C., Rothenberg, G.,** 2005. Solid Acid Catalysts for Biodiesel Production –Towards Sustainable Energy, *Synth. Catal ,* 348**,** 75-81.

[39] **Gushee, D.,** 1995. Biodiesel: A Technology, Performance, and Regulatory Overview, *National Biodiesel Board,* **2**, 1-41.

[40] **Gary D.K.,**2001**.** The Benefits Of Marine Soy Biodiesel And How To Get Started, *Biodiesel Fuel,* **1**, 1-6.

[41] **Wedel, R.,** 1999. Technical Handbook for Marine Biodiesel, *Cyto Culture Enviromental Biotechnology,* **2**, 1-23.

[42] **TS-14214**, 2005. Otomotiv Yakıtları –Yağ Asidi Metil Esterleri (Yame /Biyodizel)- Dizel Motorlar İçin-Gerekler Ve Deney Yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[43] **Biodiesel, Handling and Use Guidelines',** DOE/GO-102006-288, Second Edition, US Department of Energy, USA, 2006.

[44] **Heywood, J.B.,** 1988.Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Company.

[45] **Doebelin, E.O.,** 1990. Measurement Systems Application and Design, McGraw-Hill Book Company.

[46] **Küçükşahin, F.,** 1980. İçten Yanmalı Gemi Makinaları, Milli Eğitim Basımevi

[47] **Pahl, G.,** Biodiesel, Growing a New Energy Economy, Foreword by B. McKibben, Chelsea Green Pub. Co., White River Junction, USA, 2005.

[48] **Işığıgür, T.A., Karaosmanoğlu, F., Aksoy, H.A.,** 1989. Bitkisel Yağların Dizel Yakıt Alternatifi Olarak Kullanımı, *Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği 7. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bilirileri*, 189-196.

[49] **Karaosmanoğlu, F.,** 1990. Alkollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[50] **Peterson, C.L.,** 1986. Vegetable oil as a diesel fuel: Status and Research Priorities, *Transaction of the ASAE*, **29**, 1413-1422.

[51] **Ryan, T.W., Callahan, T.J., Dodge, L.G.,** 1982. Characterization of Vegetable Oils for use as a Fuels in Diesel Engines, *Proc. Of the Int.Conf. on Plant and Vegetable Oils a Fuels,* 70-81.

[52] **Lipinsky, E.S., Kresovich, S., Wagner, C.K., Appelbaum, H.R., Mc Clure, T.A., Otis, J.L., Trayser, D.A.,** 1982. Vegetable Oils and Animal Fats for Diesel Fuels, *Proc. Of the Int.Conf. on Plant and Vegetable Oils a Fuels,* 1-11.

[53] **Pischinger, G.H., Siekmann, R.W., Falcon, A.M., Fernandes, F.R.,** 1982. Methylesters of Plant Oils as Diesel Fuels Either Straight or in Blends, *Proc. Of the Int.Conf. on Plant and Vegetable Oils a Fuels,* 198-208.

[54] **Mittelbach, M., Wörgetter, M., Pernkopf, J., Junek, H.,** 1983. Diesel Fuel Derived from Vegetable Oils: Preparation and Use of Rape Oil Methyl Ester, *Energy in Agriculture*, **2**, 369-384.

[55] **Schmidt, A.,** 1988. Possibilities for the Use of Vegetable Oils in Enegy Market, *International Conference, Alternative Energy Sources Today and 21. Century.*

[56] **Lurgi, A.G.,** 1991. Engine Fuel from Vegetable Oil, *New Developments ACHEMA*, 43.

[57] **Collina, A., Rocchietta, C.,** 1991. Diesel-Bi, The Fuel that does not Consume the World, *Report, Novamont, The Living Chemistry*, 4-23.

[58] **Ültanır, M.Ö.,** 1985. Petrol Yerine Kullanılabilecek Sentetik Motor Yakıtlarındaki Gelişmeler, *EİE Bülteni*, **116**, 1-33.

[59] **Bailey, D., Shore, T., Plenys, T., ve Anair, D.,** 2006. Public Comments on California Air Resources Board Regulatory Concepts for Commercial Harbor Craft, *Report.*

[60] **Marine Soy Biodiesel**, National Biodiesel Board, P.O. Box 104898, Jefferson City, MO 65110-4898, USA, 2006.

[61] **İlkılıç, C. Ve Yücesu, H.S.,** 2005. Investigation of the Effect of Sunflower Oil Methyl Esther on the Performance of a Diesel Engine, *Energy Sources*, **27**, 1225-1234.

[62] **Rakopoulos, C. D.,** 1992. Comparative Performance and Emission Studies When Using Olive Oil as A Fuel Supplement in DI And IDI Diesel Engines, *Renewable Energy*, 2, 327-331.

[63] **ISO 15550**, 2002. Internal Combustion Engines-Determination and Method for the Measurement of Engine Power-General Requirements, International Organization for Standartization .

[64] **ISO 3046-1**, 2002. Reciprocating Internal Combustion Engines-Performance, Part-1, Declaration of Power, Fuel and Lubricating oil Consumption and Test Methods.

[65] **Shay, E.G.,** 1993. Diesel Fuel from Vegetable Oils: Status and Opportunities, *Biomass and Bioenergy*, **4**, 227.

[66] **Çanakçı, M., Van Gerpen, J.H.,** 2003. Comparision of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow-grease biodiesel and soybean-oil biodiesel, *Trans ASAE*, **46**, 937-944.

[67] **TS-EN 27574-1**, 1996. Akustik Makine Ve Teçhizatın Belirtilen Gürültü Emisyon Değerlerini Tespit Etmek Ve Doğrulamak İçin Kullanılan İstatistiksel Metotlar - Bölüm 1: Genel Kurallar Ve Tarifler.

EK-A

BİYODİZEL STANDARDI TS-14214, 2005. OTOMOTİV YAKITLARI –YAĞ ASİDİ METİL ESTERLERİ (YAME /BİYODİZEL)- DİZEL MOTORLAR İÇİN-GEREKLER VE DENEY YÖNTEMLERİ

Özellik	Birim	En az	En çok	Deney yöntemi
Ester muhtevası	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15ºC'ta	kg / m³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite, 40ºC'ta	mm² / s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Parlama noktası	º C	120	-	EN ISO 3679
Kükürt muhtevası	mg/kg	-	10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Setan sayısı		51,0	-	EN ISO 5165
Sülfatlanmış kül muhtevası	% m/m)	-	0,02	ISO 3987
Su muhtevası	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu (50ºC'ta 3 saat)	derece	Sınıf 1	EN ISO 2160	
Oksidasyon kararlılığı, 110ºC'ta	h	6,0	-	EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0,50	EN 14104
İyot sayısı	g iyot/100 g	-	120	EN 14111
Linolenik asit metil esteri	% (m/m)	-	12,0	EN 14103
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) metil esterleri	% (m/m)	-	1,0	
Metanol muhtevası	% (m/m)	-	0,20	EN 14110
Monogliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,80	EN 14105
Digliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,20	EN 14105
Trigliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,20	EN 14105
Serbest gliserol	% (m/m)		0,02	EN 14105 EN 14106
Toplam gliserol	% (m/m)	-	0,25	EN 14105
Grup I metaller (Na+K) Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg mg/kg	-	5,0 5,0	EN 14108 EN 14109 prEN 14538
Fosfor muhtevası	mg/kg	-	10,0	EN 14107

ÖZGEÇMİŞ

Erinç DOBRUCALI, 7 Ağustos 1979 yılında Eskişehir'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Eskişehir ve Bursa'da tamamladıktan sonra 1993 yılında Deniz Lisesi'ne başladı. 1997 yılında Deniz Lisesi'nden ve 2001 yılında Deniz Harp Okulu'ndan 'Makine Mühendisi' unvanı alarak 'Teğmen' rütbesiyle mezun oldu.

Deniz Harp Okulu'ndan mezun olduktan sonra Sahil Güvenlik Komutanlığı bağlısı TCSG-80 II. Çarkçılık, TCG Rüzgar hücumbotunda II. Çarkçılık ve Gabya sınıfı fırkateynlerden TCG Göksu Komutanlığı'nda Yardımcı Makine Subaylığı görevlerini tamamlayan Erinç DOBRUCALI, halen Deniz Harp Okulu Komutanlığı Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsüne bağlı olarak görevini sürdürmektedir.

Erinç DOBRUCALI bekar olup, İngilizce bilmektedir.