



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KETENCİK BİYODİZELİNİN ÜRETİLMESİ,
İÇTEN YANMALI BİR MOTORUN
PERFORMANS VE EMİSYONLARINA
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Rahman ŞİMŞEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Makine Mühendisliği
Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Kasım-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Rahman ŞİMŞEK tarafından hazırlanan “Ketencik Biyodizelinin Üretilmesi, İçten Yanmalı Bir Motorun Performans Ve Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 25/11/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU

Danışman

Doç. Dr. Hasan AYDOĞAN

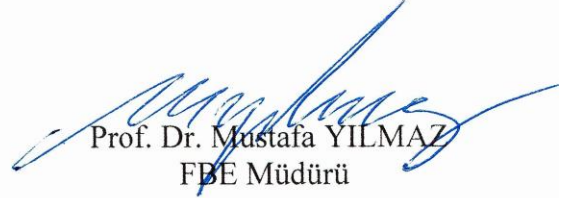
Üye

Doç. Dr. Hidayet OĞUZ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

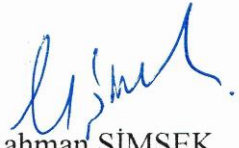
Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 114M838 nolu proje ile ve Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 16201038 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Rahman ŞİMŞEK

Tarih: 25.11.2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KETENCİK BİYODİZELİNİN ÜRETİLMESİ, İÇTEN YANMALI BİR MOTORUN PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Rahman ŞİMŞEK

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Hasan AYDOĞAN

2016, 56 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU

Doç. Dr. Hasan AYDOĞAN

Doç. Dr. Hidayet OĞUZ

Bu çalışmada, dizel motorlarda ketencik biyodizeli ve karışımlarının dizel yakıtına göre performans ve emisyonları 1000-1500-2000-2500-3000-3500-4000 d/d devir aralıklarında ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Öncelikle ham ketencik yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilen ketencik biyodizeli (B100) ve dizel yakıtını kullanarak B20 ve B50 yakıtlarını elde edilmiştir. Testlerde B0-B20-B50 ve B100 yakıtları kullanılmıştır. Ketencik biyodizelinin alt ısı değeri dizel yakıtından %10 düşük oluşu sebebiyle motor güç ve tork değerleri biraz düşük ve özgül yakıt tüketimi biraz yüksek gerçekleşmiştir. Ketencik biyodizelinin yapısındaki oksijen bütün koşullarda yanma verimine katkı sağlayarak motor performans kayıplarının daha düşük seviyelere indirgenmesinde ve yanma kimyasal reaksiyonlarında aktif olarak rol alması sonucunda emisyonlarda daha az CO, HC ve pusluluk; daha fazla CO₂ ve NO_x oluşumlarında etkili olmuştur. Daha temiz atmosfer, enerjide dışa bağımlılığı azaltması ve biyolojik kaynaklardan yenilenebilir bir enerji türü olması sebepleriyle Türkiye'nin atıl durumdaki arazileri ketencik üretiminde kullanılarak ülke ekonomisine ciddi katkılar sağlayabilir. Üretilen ketencik bitkisi kendisinin neden olduğu CO₂ oluşumunu atmosferden fotosentez işlevi sırasında kullanarak temizleyecek ve küresel ısınmaya bir katkısı olmayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, biyodizel – motorin karışımları, emisyonlar, transesterifikasyon

ABSTRACT

MS THESIS

Rahman ŞİMŞEK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN

2016, 56 Pages

Jury

**Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU
Assoc. Prof . Dr. Hasan AYDOĞAN
Assoc. Prof. Dr. Hidayet OĞUZ**

Experimental study, the performance and emissions of camelina biodiesels and its mixtures according to the type of diesel fuel of diesel engines was measured and compared to be around 1000-1500-2000-2500-3000-3500-4000 d/d. First of all, camelina biodiesel (B100) was obtained with the transesterification method of producing raw camelina and B20 and B50 fuels were obtained by using diesel fuel (B0). B0-B20-B50 and B100 fuels were used in the study. The engine power and specified torque took place at a little lower level and the specific fuel consumption took place at a higher level because the lower heating value of the camelina biodiesel is 10% lower than the diesel fuel. The oxygen in the structure of the camelina biodiesel has been effective with the reduce in the engine performance loss to a low level by contributing to the burning efficiency in every condition, the decrease in the values of CO, HC and dampness and the increase of CO₂ and NO_x. Using the idled lands in Turkey in the production of camelina can give serious contribution to the country's economy because of it being a type of renewable energy in ways to forming a cleaner atmosphere and reducing the external dependence in energy. CO₂ formed by the usage of the produced camelina biodiesel emission will be cleaned up in the atmosphere due to the usage of the formed camelina plant in the process of photosynthesis and it will not give any contribution to global warming.

Keywords: Biodiesel, biodiesel - diesel blends, emissions, transesterification

ÖNSÖZ

Dünyadaki enerji talebinin her yıl artması ve petrol kökenli yakıt rezervlerinin tükeniyor olması alternatif enerji arayışlarının önemini ortaya koymaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının yenilenebilir, çevreci ve topraklarımızdan temin edilebilir olması, enerjisinin %70'ini ithal eden ülkemiz için çok önem arz etmektedir. Dizel motorlarda kullanılabilen alternatif yakıtların en önemlisi biyodizeldir. Çevreci ve ekonomik olması nedeniyle biyodizel üretimi önemlidir.

Yapısında yağ olan biyolojik tüm kaynaklardan biyodizel üretilebilmektedir. Bu haliyle gelecekte insanlığın büyük sorunu olabilecek enerji üretimi için ümit vermektedir. Dolayısıyla biyodizel çevreci ve yenilenebilir olma özellikleri ile öne çıkan alternatif bir yakıttır.

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından, 114M838 nolu proje ile ve Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 16201038 nolu proje kapsamında yürütülmüştür. TÜBİTAK'a, Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne ve bu tez çalışmasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Hasan AYDOĞAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak her zaman maddi ve manevi yönden destekleri ve varlıkları ile hep yanımda olan aileme sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Rahman ŞİMŞEK
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyoyakıtların Tarihçesi	2
1.2. Biyoyakıtlar	5
1.3. Biyodizel Nedir?	5
1.4. Biyodizelin Özellikleri	6
1.5. Biyodizelin Yakıt Özellikleri	7
1.5.1. Viskozite	7
1.5.2. Yoğunluk	8
1.5.3. Parlama noktası	8
1.5.4. Setan sayısı	8
1.5.5. Isıl değer	8
1.5.6. Soğuk akış özelliği	9
1.5.7. Su içeriği	9
1.5.8. İyot sayısı	9
1.5.9. Karbon kalıntısı	10
1.5.10. Oksidasyon kararlılığı	10
1.5.11. Yağlayıcılık	10
1.5.12. Yağlama yağının seyrilmesi	10
1.5.13. Toksik etkisi	11
1.6. Biyodizel Standartları	12
1.7. Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları	14
1.7.1. Biyodizelin avantajları	14
1.7.2. Biyodizelin dezavantajları	15
1.8. Biyodizelin Üretim Yöntemleri	15
1.8.1. Seyreltme ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı	16
1.8.2. Piroлиз ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı	17
1.8.3. Mikroemülsiyon ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı	17
1.8.4. Süper kritik yöntemle ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı	17
1.8.5. Transesterifikasyon ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı	18
1.8.5.1. Asit katalizörlü transesterifikasyon	21
1.8.5.2. Baz katalizörlü transesterifikasyon	21
1.8.5.3. Enzim katalizörlü transesterifikasyon	21
1.9. Transesterifikasyona Etki Eden Parametreler	22
1.9.1. Serbest yağ asiti ve nem etkisi	22

1.9.2. Katalizör türü ve derişiminin etkisi.....	22
1.9.3. Alkolün yağa molar oranı ve alkol türünün etkisi.....	22
1.9.4. Reaksiyon sıcaklığının ve süresinin etkisi.....	23
1.9.5. Karıştırma hızı.....	23
1.10. Ketencik HamYağı veBiyodizelinin Özellikleri.....	23
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. Ketencik Biyodizel Üretimi	33
3.2. Test Yakıtları	36
3.3. Deney Düzenegi	36
3.3.1. Motor	36
3.3.2. Motor dinamometresi	37
3.3.4. AVL silindir içi basınç ölçer	38
3.3.5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı	38
3.4. Yöntem	39
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	42
4.1. Yakıtların Motor Performansları	42
4.1.1. Motor gücü değişimi	42
4.1.2. Motor tork değişimi	43
4.1.3. Özgöl yakıt tüketimi değişimi	44
4.1.4. Egzoz gazları sıcaklık değişimleri	45
4.1.5. Yanma karakteristiğı	45
4.2. Yakıtların Egzoz Emisyonları	46
4.2.1. CO değişimleri	46
4.2.2. CO ₂ değişimleri	47
4.2.3. HC değişimleri	48
4.2.4. NO _x değişimleri	49
4.2.5. Pusluluk değişimleri	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
5.1. Sonuçlar	51
5.2. Öneriler	52
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	56

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C	: Karbon
CH ₃ OH	: Metil Alkol
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
H	: Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
K	: Potasyum
KOH	: Potasyum Hidroksit
Na	: Sodyum
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NaOCH ₃	: Sodyum Metanolat
NO _x	: Azotoksit
O	: Oksijen
PbO	: Kurşunoksit
SO _x	: Kükürtoksit

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ASTM	: American Society for Testing and Material
B2	: % 2 Biyodizel + %98 Dizel
B5	: % 5 Biyodizel + %95 Dizel
B20	: % 20 Biyodizel + %80 Dizel
B50	: % 50 Biyodizel + %50 Dizel
B100	: %100 Biyodizel
KYME	: Ketencik Yağı Metil Esteri
DIN	: Deutsche Industrie Norm
DY	: Diesel Yakıtı
EN	: Avrupa Standardı
ISO	: International Organization for Standardization
KMA	: Krank Mili Açısı
OPEC	: Organization of Petroleum Exporting Countries
PLC	: Programmable Logic Controller
PTDY	: Petrol Türevi Dizel Yakıtı
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
ÜÖNö	: Üst Ölü Noktadan Önce

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynakları konusunda yaşanan sıkıntılar alternatif kaynak arayışlarını ve bu kaynakların kullanımı neticesinde meydana gelen çevresel tehditler kaynakların kullanımında yeni arayışlara yönelimi gündeme getirmiştir (Dinçbaş 2007).

Doğada her yıl üretilen 150 milyar ton biyokütlenin %10'u ticari olarak kullanılmaktadır. Günümüzde bir taraftan bu büyük potansiyelden daha fazla yararlanma mücadelesi verilirken bir taraftan da biyokütle teknolojisi önemli gelişmelere sahne olmaktadır. Tüm dünyanın ilgisini çeken biyoyakıtlar enerji arzının güvence altına alınması ve küresel ısınma ile mücadele açısından önem kazanmıştır. Birçok ülke biyoyakıtlarla ilgili zorunluluk bağlamında tedbirler geliştirilmektedir (Anonim 2015).

Enerji üretiminde yerel kaynakların kullanılması, çevrenin korunması, verimliliğin artırılması, kaynak çeşitliliği ve sürekliliğinin sağlanması önemlidir (Haşimoğlu 2005).

Rudolf Diesel'in 1893 yılında icat ettiği dizel motorda yakıt olarak Afrika kökenli yer fıstığı yağını kullanmıştır. Fakat günümüze kadar geçen süreçte dizel motorlarda enerji içeriği daha yüksek olan petrol kökenli yakıtlar daha fazla tercih edilmiştir. Biyodizelin egzoz emisyonlarını azaltmadaki başarısından dolayı 1980'li yılların başında dizel motorlarda kullanımı bir kez daha gündeme gelmiştir. Bitkisel yağlar özellikle bazı kritik zamanlarda (1930-1940, 1973 petrol krizi gibi) sadece acil durumlar için dizel motorlarda kullanılmıştır. Fakat bitkisel yağların dizel yakıtı (DY) kıyasla viskozitelerinin ve moleküler ağırlığının yüksek olması zayıf yakıt atomizasyonuna; içeriğindeki gliserinin silindir içerisinde tortulara, yapışkan maddelere ve karbon birikimine neden olması motorlarda ciddi problemler oluşturmuştur. Bitkisel, hayvansal veya atık bitkisel yağların, hiçbir modifikasyon yapılmayan Diesel motorda kullanılabilmesi için özellikleri dizel yakıtına (DY) çok benzeyen bir yakıtı dönüşmesi gerekmektedir (Özsezen ve Çanakçı 2009).

Saf olarak kullanılabilen biyodizel petrolden elde edilen dizel yakıtı(DY) ile karıştırılarak da kullanılabilir. İlk olarak "Biyodizel" ismi 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Diesel Geliştirme kuruluşu tarafından kullanılmıştır. Kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından üretilen, uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanır. Biyodizel, biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır. Genellikle yüksek kaliteli bitkisel yağlardan üretilmektedir. Biyodizel

ham maddesi olarak Avrupa’da kanola yağı Amerika’da ise soya yağı yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de üretilen yağların başında ayçiçeği ve pamuk yağı gelmektedir. Yüksek kaliteli rafine bitkisel yağların biyodizel hammaddesi olarak kullanılması, biyodizeli motorinden daha pahalı konuma getirmektedir (Alptekin ve Çanakçı 2011).

Çağımızda yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği artarken bir kısmı ekonomik alternatif olmak açısından değer kazanmakta ve bir kısmı üzerinde de ekonomik analizler yapılmaktadır. Bu kaynakların ortak yönü çevreye olumsuz etki oluşturmamasıdır (Artukoğlu 2006).

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan çevre kirliliğinin en aza indirilmesinde alkol (metanol ve etanol), hidrojen, bitkisel ve hayvansal yağlar, doğalgaz ve sıvılaştırılmış petrol gazı alternatif yakıt olarak kullanılabilecektir. Motorların yakıt donanımlarında en az değişiklikle kullanılabilmesi, performansta önemli düşüşler yapmayacak nitelikte olmaları ve birim fiyatlarının ucuz olması alternatif yakıtların tercih edilme nedenleridir. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde biyokütle en büyük potansiyele sahiptir. Bitkisel ve hayvansal kökenli olan biyokütlenin ana bileşenleri karbo-hidrat bileşikleridir. Bitkisel ve hayvansal kaynaklardan üretilen enerji "Biyokütle Enerjisi" olarak tanımlanır (Akgün ve ark 2009).

1.1. Biyoyakıtların Tarihçesi

Biyodizel, ilk ortaya çıkan ve kullanılan biyoyakıttır. Biyoetanolün biyodizele göre zaman içerisinde daha fazla gelişim sağladığı söylenebilir. Yaşanan enerji krizlerinin etkisiyle son dönemlerde bu iki biyoyakıtın uzun yıllar sonra gelişimlerine hız verdikleri görülür.

İlk biyoyakıtın ortaya çıkışı biyodizelle gerçekleşmiş olup, Rudolf Diesel’in 1893 yılında bitkisel yağları yakıt olarak kullanan motoru tasarlamasına dayanmaktadır. 1900 yılında Paris’te gerçekleştirilen Dünya Fuarı’nda yakıt olarak yer fıstığı yağını kullanan motorun sergilenmesi bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Bu buluşuyla Paris Dünya Fuarı’nda en yüksek ödüle layık görülen Rudolf Diesel, bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının, tarımın gelişmesine ciddi katkısının olacağını ifade etmiştir. Yaşanan bu gelişmelerden sonra bilim dünyasında bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar ivme kazanmıştır

(Gizlenci ve Acar 2008). Şekil 1.1’de Rudolf Diesel’in tasarladığı tek silindirli sabit diesel motor görülmektedir.



Şekil 1.1. Tek silindirli sabit dizel motoru, 1906 yapımı (Anonim 2015 a)

Biyodizel gelişiminde en önemli ikinci aşama Brüksel Üniversitesi’nde gerçekleşmiştir. Bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen ve biyodizel olarak adlandırılan yakıt için ilk patent Belçikalı bilim adamı G. Chavanne tarafından alınmıştır. G. Chavanne 1937 yılında almış olduğu “Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımındaki Dönüşüm İşlemi Patenti” ile biyodizelin iyi bir alternatif enerji kaynağı olabileceğini ispatlamıştır. Ancak, o dönem itibarıyla petrol ürünlerinin daha düşük maliyetli olmaları ve kullanımlarının yaygınlaşması biyodizelin gelişmesini olumsuz yönde etkilemiştir. Bu nedenlerle 1980’li yılların sonuna kadar biyodizel üretiminde kayda değer bir ilerleme gerçekleşmemiştir (Anastasov 2014).

1990 yılından 1991 yılına kadar süren Körfez Savaşı petrol fiyatlarını arttırmıştır. Bu durum, ülkeleri bir kez daha alternatif enerji kaynaklarına yönelterek sektörün yeniden hareketlenmesini sağlamıştır. Biyodizel piyasasının oluşmasında Almanya ve Fransa öncülük yapmışlardır.

Biyodizel sektörünün 2000’li yıllarda büyüme hızını iyice artırmasında petrol fiyatlarının tekrardan yükselişe geçmesi, artan çevresel hassasiyetler ve değeri yükselen kırsal kalkınma faktörleri etkili olmuştur. Küresel biyodizel piyasasında üretim; 2000’li yıllarda 1 milyar litrenin altında kalırken 2006 yılında 6 milyar litre ve 2008 yılında ise 12 milyar litre seviyelerinde gerçekleşmiştir (Hatunoğlu 2010).

Biyoetanolün tarihsel gelişimi incelendiğinde, biyodizele kıyasla daha sonra ortaya çıkmasına rağmen üretim ve kullanım noktasında önemli bir yol kat ettikleri söylenebilir. Aydınlatma lambalarında bir enerji kaynağı olarak kullanılan etil alkolün

motorlarda da kullanılabileceği fikri 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren biyoetanolün ortaya çıkışında ilham kaynağı olmuştur (Hatunoğlu 2010).

Biyoetanol, ilk olarak ABD’de Henry Ford tarafından üretilen araçlarda yakıt olarak kullanılmıştır. Biyoetanolün 1908 yılında piyasaya çıkan Model T adındaki araçlarda yakıt olarak kullanması bir devrim özelliğindedir. 20. yüzyılın ilk yarısında otomobil motorlarında biyoetanol kullanımı vergilerden, yasaklamalardan ve yüksek tarımsal hammadde fiyatlarından dolayı bir ilerleme kaydedememiştir. Biyoyakıtların 1950 yılına kadarki geçmişine bakıldığında savaş ekonomisinden dolayı sadece I. ve II. Dünya Savaşı’nın yaşandığı dönemlerde üretimde artışlar olduğu gözlemlenmektedir. II. Dünya Savaşı’ndan sonraki dönemde ucuz petrol fiyatlarının etkisiyle biyoetanol üretiminde sürekli azalma olmuştur (Çetin ve Kuş 2010).

1960 yılında kurulan Petrol İhraç Eden Ülkeler Teşkilatı’nın (OPEC) 1973 yılında aldığı kararlar dünyada şok etkisi yapmış ve petrolün varil fiyatı 3 dolardan 12 dolara yükselmiştir. Bu durum “1973 petrol krizi” olarak literatüre geçmiştir. 1973 petrol krizinden petrol ithal eden gelişmiş sanayi toplumları büyük çapta etkilenmiş ve dünyada sanayi üretimi durma noktasına gelmiştir. Yaşanan bu kriz biyoyakıtlar için dönüm noktası olmuştur. Biyoyakıtlar, artan enerji fiyatlarının bütçeye getirdiği yükü hafifletmek isteyen ve alternatif enerji kaynaklarına yönelerek enerji arz güvenliğini sağlamaya çalışan ülkelere krizden çıkışın reçetesi olarak görülmüştür (Dobrucalı 2007).

Brezilya ve ABD gibi ülkelerin 1970’li yıllarda hazırlamış oldukları biyoetanol programları, tüm dünyayı kasıp kavuran petrol krizini fırsata dönüştürmede atılmış en büyük adımlardan biri olmuştur. 1979 yılında yaşanan ikinci petrol krizinin de etkisiyle fosil yakıtlara kıyasla biyoyakıt sektörünün rekabet gücünün iyiden iyiye artması, söz konusu bu programların başarılı olmasına katkıda bulunmuştur. Buna ek olarak, Brezilya ve ABD’nin uygulamış olduğu biyoyakıt programlarındaki başta vergi indirimleri olmak üzere çeşitli teşvik ve destekleme mekanizmaları, biyoyakıt sektörünün gelişimine olumlu etki yapmıştır (Hatunoğlu 2010).

Biyoyakıtlarla ilgili büyük atılımların bu yıllarda yapılmasına rağmen Brezilya ve ABD haricinde bu konuya politika düzeyinde ağırlık veren başka ülke olmaması, biyoyakıt sektörünün küresel boyutta yeterince gelişmemesine yol açmıştır. 1986 yılında uluslararası petrol fiyatlarında meydana gelen düşüşler ve 1980’lerin sonlarında tarımsal hammadde fiyatlarında yaşanan artışlar sonucu ortaya çıkan arz daralması, biyoyakıtların ekonomik açıdan kullanılabiliirliğinin sorgulanmasını beraberinde

getirmiştir. 1990'lı yıllar ise, bu sorgulama ve araştırmaların yoğunlaştığı yıllar olmuştur (GBEP 2007).

21. yüzyılın başıyla birlikte biyoyakıt sektörü, aşırı derecede artan petrol fiyatlarının da etkisiyle diğer ülkelerin de ilgisini çekerek en parlak dönemine girmiştir. 2000'li yılların başından günümüze kadarki süreç biyodizel sektörü için atılım yıllarıdır.

1.2. Biyoyakıtlar

Tarımsal ürünlerin, odunun, hayvan, bitki ve belediye artıklarının çeşitli biyokimyasal ve/veya termokimyasal dönüşüm süreçlerinden geçirilmesiyle elde edilen gaz, sıvı ve katı ürünler “biyoyakıt” olarak adlandırılır. Biyohidrojen, biyogaz, singaz denilen sentetik gazlar “Gaz Biyoyakıtlar”; odun kömürü, biyokömür, biyopelet, biyobriket “Katı Biyoyakıtlar”; biyoetanol, biyodizel, biyometanol, biyodimetileter, biyoetiltersiyerbutileter ve bitkisel yağlar “Sıvı Biyoyakıtlar” olarak anılmaktadır. Biyoyakıtlar ulaştırma sektöründe taşıt yakıtı, hizmet sektöründe ısı ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır (Ar 2008).

Biyokütle yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşan biyolojik kökenli madde kütesidir. Ana bileşenleri, karbonhidrat bileşikler olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır (Şahin 2013).

Geniş tarım alanlarına sahip ve bol güneş alan ülkemiz için biyokütle enerjisi gelecek vaat etmektedir. Tarım ülkesi olan ülkemiz için biyodizel öncelikli bir seçenektir. Kırsal kesimin ekonomik yapısının güçlenmesi ve iş imkânlarının yanı sıra yan sanayinin de gelişmesine katkıda bulunacaktır (Özçelik 2011).

Biyoetanol ve biyodizel en yaygın ve popüler olan biyoyakıt çeşitleri arasındadır (Hatunoğlu 2010).

1.3. Biyodizel Nedir?

Biyodizel, petrol türevi dizel yakıtına (PTDY) alternatif olarak, diesel motorlarında kullanım için, bitkisel, hayvansal ve yosun (alg) yağları gibi yenilenebilir hammaddelerden elde edilen yağ asitlerinin alkil mono esterleri olarak tanımlanır.

“Biyo” eki bu yakıtın biyolojik kökenli olduğunu, “dizel” kelimesi ise diesel motorlar için kullanıldığını gösterir.

Biyodizel, büyük oranda üretildiği hammaddenin özelliklerini yansıtır. Teknik anlamda biyodizelin ne olduğunu kavrayabilmek için bu yağların kimyasal yapılarını hatırlamak yararlı olur (Şanlı 2014).

Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtlarıyla benzerlik göstermektedir. Dizel motorlarında biyodizel saf olarak kullanılabildiği gibi dizel yakıtı ile karıştırılarak da kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Saf biyodizel B100 olarak isimlendirilirken, %20 biyodizel ve %80 dizel yakıtı içeren bir karışım B20 şeklinde isimlendirilir (Alptekin ve Çanakçı 2006).

Biyodizel, dizel ile karışım oranları bakımından aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

- B2 : % 2 Biyodizel + %98 Dizel
- B5 : % 5 Biyodizel + %95 Dizel
- B20 : % 20 Biyodizel + %80 Dizel
- B50 : % 50 Biyodizel + %50 Dizel
- B100 : %100 Biyodizel

1.4. Biyodizelin Özellikleri

Yağlı tohum bitkileri, kendilerinden elde edilen biyodizelin motorda kullanılması sonucu açığa çıkan CO₂'i (karbon dioksit) fotosentez yolu ile dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığından sera etkisi yoktur. Kullandığımız biyodizelden atmosfere verilen CO₂, biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağ bitkisi tarafından en fazla bir yıl içinde geri alınacaktır. Biyodizel üretimi ve kullanımının yaygınlaştırılması, Dünya'nın en önemli çevresel sorunlarından olan ve fosil yakıtların geri alınamayan CO₂ emisyonlarının yol açtığı sera etkisi sonucunda ortaya çıkan küresel ısınma ve olumsuzluklarının azaltılması bakımından önemli katkılar sağlar (Ölçüm 2006).

Dizel motorlarında yanma odası içinde gerçekleştirilen hava-yakıt karışımının yanma verimi ve motor performans parametreleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Biyodizelin içerdiği %11 oranındaki oksijen sayesinde karışım oluşumu daha iyi olmakta ve bunun sonucunda egzoz emisyonlarında azalma gerçekleşmektedir (Altınsoy 2007).

Biyodizel ve dizel yakıtının 28 günlük bir sürecin sonunda suda çözünme oranları sırasıyla yüzde 95 ve yüzde 40'tır. Bu sebeple özellikle ABD'nde birçok eyalette göller ve nehirler gibi su kenarlarında kullanılan ulaşım araçlarında ve teknelerde saf biyodizel kullanımı zorunlu kılınmıştır (Çağla 2013).

Dizel yakıt için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel, temiz, kuru ve karanlık bir ortamda depolanmalı; aşırı sıcaktan korunmalıdır. Depo malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilmelidir. Depolama, taşıma ve motor malzemelerinde bazı elastomerlerin ve kauçukların kullanımı sakıncalıdır. Çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır. Bu olumsuzluğun aşılmasında biyodizelle uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı tavsiye edilmektedir (Artukoğlu 2006).

Biyodizelin ısı değeri dizel yakıtının ısı değerine oldukça yakın olup, biyodizelin setan sayısı dizelin setan sayısından daha yüksektir. Biyodizel kullanımı ile dizele yakın özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerleri elde edilirken, motor daha az vuruntulu çalışmaktadır. Biyodizel, motoru güç azaltıcı birikintilerden temizleme ve dizelden çok daha iyi yağlayıcılık özelliklerine sahiptir (Demirbas 2005).

Biyodizel iyi bir çözücüdür. Boyanmış yüzeyler ile temasında bazı boyaları çözebilmektedir. Dizel motorda kullanılan yalıtım elemanları biyodizelin çözemeyeceği maddeler ile değiştirilip kullanılmalıdır (Çağla 2013).

1.5. Biyodizelin Yakıt Özellikleri

1.5.1. Viskozite

Viskozite akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Dizel motorlarının yakıt besleme ve enjeksiyon sistemlerinde önemli bir değerdir. Biyodizelin karakteristik özelliğini belirler. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektör memelerinin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır. Biyodizelde viskozitenin yüksek olması istenmez. Hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça viskozite artar. Çift bağ sayısı arttıkça viskozite azalır. Bu nedenle viskozitenin azaltılması için transesterifikasyon yöntemi kullanılır (Nişancı 2007).

1.5.2. Yoğunluk

Bitkisel yağların yoğunlukları 15°C’de 880-920 kg/m³ arasında değişmektedir. Yoğunluk, yanma ısısı ve yakıt sarfiyatında etkilidir. Hidrokarbon zincirinin uzaması yoğunluğu azaltır. Çift bağ sayısının yükselmesi yoğunluğu artırır (Gerpen ve ark 2004).

Elde edilen biyodizelden gliserin yeterince uzaklaştırılmadığında yoğunluğu fazla çıkar. Biyodizel, dizel yakıtına oranla %10-15 daha az ısı değere sahipken yoğunluğu % 5-7 oranında daha fazladır. Düşük ısı değeri sonucu, motor gücü ve torkunda düşüş olurken yüksek yoğunluk nedeni ile güç kaybı azalmaktadır (Ergen 2006).

1.5.3. Parlama noktası

Parlama noktası yakıtın hava ile temas edip alev aldığı en düşük sıcaklık olarak tanımlanır. Yakıtın güvenilirliği ve depolanması parlama noktası ile ilişkilidir. Dizel yakıtının parlama noktası 55°C iken biyodizellerin 120-220°C arasındadır. Bu özelliği ile biyodizel güvenilir bir yakıttır (Gülüm 2014).

1.5.4. Setan sayısı

Yakıtın tutuşma kabiliyetini gösteren bir parametredir. Setan sayısı yükseldikçe yakıt daha kolay tutuşur. Yüksek setan sayısı dizel motorlarda vuruntuyu engeller. Biyodizelin setan sayısı elde edildiği kaynağa göre değişiklik göstermektedir. Hidrokarbonların uzunluğu arttıkça setan sayısı artar. Çift bağ sayısı arttıkça setan sayısı azalır. Doymuş ester içeriği yüksek yağların setan sayıları da yüksektir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesini azaltmakta ve enjektöre çok yakın yerde yanma başlangıcı ile enjektör memelerinde ve enjektör püskürtmesinde soruna sebep olabilmektedir. Yüksek setan sayısına bağlı olarak tutuşma gecikmesi ve silindir içerisinde yakıt birikmesi azalacak; motor daha sessiz çalışacaktır (Arslan 2015).

1.5.5. Isıl değer

Isıl değer, yakıtların birim hacimde veya kütlede verdiği enerji olarak tanımlanır. Biyodizelin yapısındaki oksijen içeriğinin yüksek olmasından dolayı dizel yakıtına göre kalori değeri daha düşüktür. Isıl değer, doymuş hidrokarbon zincir uzunluğu arttıkça yükselir; doymamışlık arttıkça azalır. Isıl değer yakıt enerjisinin göstergesi olduğu için kalori değerinin yüksek olması istenir (Şahin 2014).

1.5.6. Soğuk akış özelliği

Akma noktası, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası yakıtların kış koşulları için en gerekli akış özellikleridir. Akma noktası, yakıtın belirlenmiş standart şartlar altında soğutulurken akıcılığını devam ettirdiği en düşük sıcaklığı ifade eder. Biyodizel dizel yakıta göre yüksek akma noktasına sahiptir. Yüksek akma noktası yakıtların soğukta kullanımında sorun teşkil etmektedir. Bulutlanma noktası ilk wax kristal bulutunun gözlemlendiği sıcaklıktır. Yakıt sıcaklığı standartlarda belirtilen filtre tıkanma noktası değerlerine düştüğünde filtre tıkanır (Arslan 2015).

1.5.7. Su içeriği

Bitkisel yağlar yapısında su barındırmazlar. Bitkisel yağlardan biyodizel üretim prosesinde su ile yıkama işlemi sonrasında biyodizel yapısından yeterince uzaklaştırılamayan su bulunabilir. Yakıtın yapısındaki su motorda aşınmaya neden olur. Aşınma sonucu kopan parçacıklar yakıta karışarak enjektör ve filtrelerin tıkanmasına neden olur (Gerpen ve ark 2004).

Yakıtların belli oranda su içermesi motor için bir dezavantaj değildir. Su/yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığının düşmesine bağlı olarak NO_x emisyonları azalabilir. Ancak yüksek basınç altında yakıttan ayrılan su enjektör sisteminde çürümelere sebep olabilir (Altınsoy 2007).

1.5.8. İyot sayısı

Biyodizelin doymamışlık derecesinin bir ölçüsüdür. Doymamışlık tortu sorunlarına neden olmaktadır. Bitkisel ve hayvansal yağların yerini alan metil esterler ile yağların iyot sayıları aynıdır. İyot sayısı biyodizelin oksidasyonu ile ilgili olup yüksek olması motor yağındaki polimerizasyon tehlikesini arttırmaktadır (Felizardo ve ark 2006).

Bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre iyot sayısı değişmektedir. Yapılan araştırmalar sonucuna göre 115 'ten yüksek iyot sayısı, aşırı karbon kalıntısı oluşumu nedeniyle önerilmemektedir. Yüksek iyot sayısına sahip yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara veya yanma odasında hasar meydana gelmesine sebep olmaktadır (Nişancı 2007, Niyet 2009).

1.5.9. Karbon kalıntısı

DIN EN ISO 10370 test metoduna göre oksijensiz ortamda yakıtın yanması simüle edilerek bir yüzeyde karbon artığı belirlenmektedir. Karbon artığı enjektör deliklerinde ve yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır. Yapılan testlerde, karbon artığının maksimum kütlenin %0,4'u kadar olduğunun tespiti biyodizelde yok denecek kadar az karbon artığı bıraktığının göstergesidir (Acaroğlu 2013).

Karbon kalıntısı, yakıtın ısı yardımı ile buharlaşması sırasında bozunmaya uğrayarak oluşum gösteren karbon kalıntıları ifade eder. Düşük karbon kalıntısı miktarı biyodizelin kalitesinin göstergesi olup yakıtın gliseritlerden, sabunlardan ve diğer organik kalıntılardan arındıklarının ifadesidir (Sel 2013).

1.5.10. Oksidasyon kararlılığı

Dizel yakıtı göre biyodizelin kimyasal yapısından kaynaklı oksidasyon kararlılığı düşüktür. Oksidasyon kararlılığı yüksek biyodizeller (palmiye yağı) doymuş yağ asitlerine sahiptir (Nişancı 2007).

1.5.11. Yağlayıcılık

Biyodizelin yağlayıcılık özelliği çok iyidir. Bazı çalışmalarda kükürtsüz fosil dizel yakıtına % 0,15-0,50 (hac/hac) biyodizel eklenmesi ile aşınma izi standartta belirtilen 460 mikrometre değerinin altında kalmıştır (Altınsoy 2007).

İyi derecede yağlama ile hareketli motor parçalarında(piston-segman bölgeleri, yakıt pompaları, enjektörler vb.) sürtünme ve aşınma problemleri en aza indirgenebilir. Günümüzde dizel yakıtlarındaki kükürt miktarı azaltılarak yağlayıcılık vasfı zayıflatılmıştır. Bu durumda dizel yakıtların yağlayıcılık özelliklerini arttırmak için katkıları kullanılmaktadır. Yakıt besleme elemanlarında tortuların oluşmaması için katkı miktarı önemlidir (Arslan 2015).

1.5.12. Yağlama yağının seyrelmesi

Biyodizelin dizel motorlarında kullanımında yağlama yağında seyrelme görülmektedir. Biyodizel, motor içinde yakıt enjeksiyon pompasında ve silindir içerisindeki yakıt enjeksiyonu yanma sürecinde motor yağı ile karışabilmektedir. Yapılan araştırmalar yağlama yağındaki seyrelmenin %4-5 oranında olduğunu göstermiştir (Altınsoy 2007).

Motorun çalışma süresine bağlı olarak gelişen piston-silindir arasındaki aşınma sonucu yağ boşluğunun artması ile daha fazla yakıt yağlama yağına karışarak yağı inceltir. Yağlama yağına karışan dizel yakıtının büyük kısmı kısa sürede buharlaşıp yağdan ayrılırken biyodizel yakıtını oluşturan ester moleküllerinin kaynama noktasının yüksek oluşundan dolayı biyodizel buharlaşamaz ve motor yağı kısa sürede bozulur (Altınsoy 2007).

1.5.13 Toksik etkisi

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizelin ağızdan alınmasında öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığı ile biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. Biyodizelin insanlar üzerinde yapılan elle temas cilt testi %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Ergen 2006).

Biyodizel ve dizel yakıtın özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Biyodizel ve dizel yakıtın özelliklerinin karşılaştırılması (Acaroğlu 2003).

Özellikler	Biyodizel	Dizel
Setan sayısı	51-62	44-49
Yağlayıcılık	Oldukça iyi	Çok düşük
Biyolojik ayrışabilirlik	Kolayca ayrışabilir	Zayıf
Toksik	Gerçekte toksik değil	Yüksek toksik
Oksijen	%11 den fazla oksijen	Çok düşük
Aromatikler	Aromatik içermez	%18-22
Kükürt	Yok	%0,05
Parlama noktası	300-400 F	125 F
Dökülme zararı	Yok	Yüksek
Malzeme uyusabilirliği	Kauçuk hariç diğer malzemeler ile az uyusabilir	Kauçuk hariç doğal malzemelerde etkili değildir
Taşınması	Zarar vermeden ve patlamadan taşınabilir	Tehlikelidir
Isıl değeri	Dizel 'den %2-3 daha düşüktür	
Temin kaynağı	Yenilenebilir	Yenilenemez
Temini	Çok geniş	Sınırlı
Enerji teminatı	Ulusal ham materyal	Ulusal ve ithalat karışımı
Alternatif yakıt	Evet	Hayır
Üretim işlemleri	Kimyasal reaksiyonlar	Reaksiyon+ parçalanma

1.6. Biyodizel Standartları

Biyodizel için EN 14214 Avrupa Birliği Standardı ile ASTM D 6751 Amerikan Standardı yürürlüktedir. Ülkemizde EN 14214 ve EN 14213 standardı temel alınarak TSE Standardı hazırlanmıştır. EN 14214 biyodizel Avrupa Standartları Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. AB (EN 14214:2013) biyodizel Avrupa Standardı (Yaşar 2016).

Özellik	Birim	Sınır Değerler	Test Metodu
Ester içeriği	% (m/m)	96.5	EN 14103
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	860-900	EN ISO 12185
Kinematik viskozite (40°C)	mm ² /s	3.50-5.00	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	101 min	EN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	10 maks	EN ISO 20846
Karbon kalıntı	% (m/m)	0.30	EN ISO 10370
Setan sayısı		51min	EN ISO 5165
Sülfat kül içeriği	% (m/m)	0.02 maks	ISO 3987
Su içeriği	mg/kg	500 maks	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	24 maks	EN 12662
Bakır şerit korozyonu	Korozyon Derecesi	No 1 maks	EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı (110 °C)	Saat	8.0 min	EN 14112
Asit değeri	mg KOH/g	0.5 maks	EN 14104
İyot değeri	g I ₂ /100 g	120 maks	EN 14111
Linolenik asit metil esteri	% (m/m)	12 maks	EN 14103
Yüksek doymamış (≥4 çift bağ)	% (m/m)	1 maks	EN 15779
Metanol içeriği	% (m/m)	0.20 maks	EN 14110
Monoglisid içeriği	% (m/m)	0.80 maks	EN 14105
Diglisid içeriği	% (m/m)	0.20 maks	EN 14105
Triglisid içeriği	% (m/m)	0.20 maks	EN 14105
Serbest gliserol	% (m/m)	0.02 maks	EN 14105
Toplam gliserol	% (m/m)	0.25 maks	EN 14105
Grup I Metalleri (Na+K)	mg/kg	5.0 maks	EN 14108
Grup II Metalleri (Ca+Mg)	mg/kg	5.0 maks	EN 14109
Fosfor içeriği	mg/kg	4.0 maks	EN 14107

“ASTM D 6751-12 biyodizel standardı” Çizelge 1.3’te verilmiştir.

Çizelge 1.3. ABD (ASTM D 6751-12) biyodizel standardı (Yaşar 2016).

Özellik	Birim	Sınır Değerler	Test Metodu
Kinematik viskozite (40°C)	mm ² /s	3,5 – 6,0	D445
Parlama Noktası	°C	101 min	D93
Monogliserit İçeriği	% (kütlesele)	0.40 maks	D6584
Kükürt içeriği			
S15	mg/kg	15 maks	D5453
S500		500 maks	
Setan sayısı		47 min	D613
Sülfat kül içeriği	% (m/m)	0.02 maks	D874
Su ve Tortu	%(v/v)	0.05 maks	D2709
Soğuk Halde Filtrelenebilme (-12 C ve altındaki yakıt Sıcaklıklarında)	Saniye	200 maks	D7501
Bakır şerit korozyonu (3 saat, 50 °C)	Korozyon Derecesi	No 3 maks	D130
Karbon kalıntı	% (m/m)	0.5 maks	D4530
Oksidasyon kararlılığı	Saat	3.0 min	EN15751
Asit değeri	mg KOH/g	0.5 maks	D664
Fosfor içeriği	%(m/m)	0.001 maks	D4951
Serbest gliserol	% (m/m)	0.02 maks	D6584
Toplam gliserol	% (m/m)	0.24 maks	D6584
Grup I Metalleri (Na+K)	µg/g	5.0 maks	EN14538
Grup II Metalleri (Ca+Mg)	µg/g	5.0 maks	EN14538
Alkol Kontrolü (Bir tanesi karşılanmalıdır)			
1.Metanol İçeriği	% (kütlesele)	0.2	EN14110
2.Parlama Noktası	°C	130	D93
Distilasyon Sıcaklığı %90 Geri Kazanım	°C	360	D1160
Bulutlanma Noktası	°C	Bölgesel	D2500

Ülkemizde de biyodizel ile ilgili standartlar, 27.09.2005 tarihinde TS EN 14213, 29.06.2009 tarihinde TS EN 14214 no’lu standartlar olarak kabul edilmiş ve Türk Standartları arasına girmiştir. Motorin ve karışımlarla ilgili olan standart ise 27.09.2005 tarihinde kabul edilen TS 3082 EN 590 standardı kullanılmaktadır (Şahin 2013).

“Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri” Çizelge 1.4’te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri (Çağla 2013).

Yakıt Özellikleri	Birim	Sınır değeri Min-Max	Biyodizel	Dizel
Kapalı Formülü			$C_{19}H_{35,2}O_2$	$C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$
Molekül Ağırlığı	g/mol		296	120-320
Alt Isıl Değeri	Mj		37,1	47,2
Kütlesel, kg	Mj		32,6	35,5
Hacimsel, L				
Özgül Ağırlığı, 15 °C	kg/L	0,875-0,90	0,87-0,88	0,82-0,86
Kinematik Viskozite, 40 °C	mm ² /s	2-4,5	4,3	2,5-3,5
Tutuşma Noktası	°C	55-..	>100	>55
Kükürt İçeriği	% Kütlesel	..-0,05	<0,01	<0,05
Tutuşma Katsayısı	Setan Sayısı	49-..	>55	49-55
Kül	% Kütlesel	..-0,01	<0,01	<0,01
Su Miktarı	mg/kg	..-200	<300	<200

1.7. Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları

1.7.1. Biyodizelin avantajları

- Fosil kaynaklı yakıtların bitme sürecinde olması nedeniyle petrol fiyatlarının sürekli yükselmesi

- Ülkelerin, fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan büyük çevre kirliliğinin giderilmesi için enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve enerjide dışa bağımlılıktan kurtulabilme strateji ve çabaları,

- Savaş zamanlarında ve zorunlu durumlarda stratejik yakıt olma özelliği,
- Tarım ürünlerinin sanayiye entegrasyonunu sağlayarak ülkelerin tarımsal kalkınmasını hızlandırması,

- Dizel yakıtına göre setan sayısının ve yağlayıcılık özelliğinin yüksek oluşu,
- Evsel ve sanayi tipi üretiminin ekonomik uygulanabilirliği,
- Parlama noktasının yüksek oluşuna bağlı olarak taşıma ve depolanması açısından güvenli yakıt özelliği ile dünya standartlarında göre “Tehlikeli Madde” kapsamında yer almaması,

- Biyodizel kullanımı sırasında motorun yapısında herhangi bir değişikliğe ihtiyacı olmaması,

- Dizel yakıtına yakın güç, moment ve özgül yakıt tüketimi değerlerine sahip olması,
 - Motor ömrünü uzatan ve kurum oluşturmeyen bir yakıt olması,
 - Biyolojik olarak kolay ve hızlı bozunabilir olması,
 - Kanseri yapıcı madde ve kükürt oranının az olması,
 - Ulaşım dışında ısıtma sistemleri ve jeneratörlerde kullanıma uygun olması
- (Altınsoy 2007, Nişancı 2007),
biyodizelin üstünlükleridir.

1.7.2. Biyodizelin dezavantajları

- Dizel yakıtına göre ısı değeri düşüktür. Bu durum motorda biraz güç azalmasına neden olur.
- Dizel yakıtına göre soğuk hava koşullarından daha erken etkilenir. Biyodizelin bu özelliğinden dolayı soğuk iklim bölgelerinde kullanımı sınırlıdır. Bunu sorunu yenmek için B20 kullanım şekli tercih edilmektedir.
- Dizel yakıtına göre NO_x emisyonu biraz daha yüksektir. Ancak bu sorun yanma sıcaklığı düşürülerek aşılabılır.
- Yağlama yağının seyrelmesine neden olmaktadır.
- Yakıt tüketimi ağırlık esasında %5–6 ve hacim esasında %11 daha çok gerçekleşmektedir.
- Saf biyodizel (B100) kullanımında motor donanım malzemeleri (yakıt sistemindeki hortum ve bağlantı elemanı ile contalar) biyodizelin çözme özelliği dikkate alınarak belirlenmelidir (Altınsoy 2007, Çağla 2013).

1.8. Biyodizel Üretim Yöntemleri

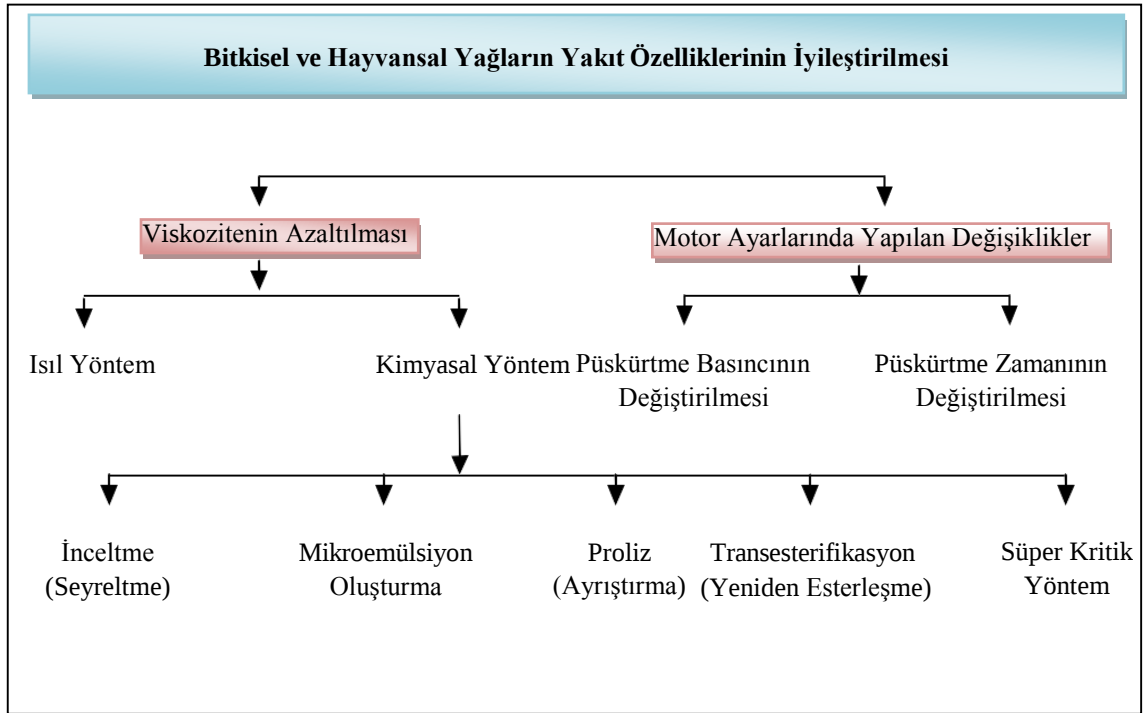
Bitkisel yağlar dizel yakıtına yakın özelliklere sahip olup oksijen değerleri yüksektir. Isıl değerleri dizel yakıtına göre %10-15 daha azdır. Uygunluk açısından oleik asitçe zengin yağlar öne çıkmaktadır (Acaroğlu 2013).

Herhangi bir işlem yapılmayan ham yağların motorda yakıt olarak kullanılması sonucunda yapısında katı partiküller belirlenen yağlama yağları kısa bir zaman sonra bozulmuştur. Bitkisel yağ kullanılarak yapılan çalışmalarda bitkisel yağı ısıtmanın püskürtme özellikleri üzerinde olumlu etkileri ile setan sayısında artışa neden olduğu belirlenmiştir. Kısa süreli testlerde elde edilen olumlu sonuçlara karşın uzun süreli

motor testlerinde çeşitli sorunlar ile karşılaşmıştır. Yapılan araştırmalar yüksek viskozitenin malzeme ve yanma problemlerine, özellikle karbon birikimleri ve yağlama yağının bozulmasına (seyrelme, kalınlaşma, asitlik artışı vb.) neden olduğunu göstermiştir (Şen 2012).

Yüksek viskozitelerinden dolayı yağların doğrudan yakıt olarak kullanımı uygun değildir. Yağların viskozitesi ısıl veya kimyasal yöntem uygulanarak azaltılabilir. Motorda oluşabilecek problemler nedeni ile ısıl yöntemler yerine kimyasal yöntemler daha çok tercih ediliyor. Mikro emülsiyon oluşturma, inceltme, piroliz, transesterifikasyon ve süper kritik olmak üzere beş çeşit kimyasal yöntem vardır (Şen 2012).

Bitkisel ve hayvansal yağların yakıt özelliklerini iyileştirilme yöntemleri Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Hayvansal ve bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi (Şen 2012).

1.8.1. Seyreltme ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı

Seyreltme modifikasyon tekniği uygulamasında yağın viskozitesini düşürmek için bitkisel yağa belli oranlarda organik bileşikler ve/veya motorin eklenir. Bu yöntemle viskozitesi düşük karışımlar hazırlamak kolaydır. Seyreltme tekniği ile hazırlanan bitkisel yağ/motorin karışımlarının depolanmasında hiç bir sorun ve bileşen ayrışması oluşmamaktadır (Şeker 2007).

Uygulamalarda B20, B30, B40 şeklinde kullanımları mevcuttur. Dizel yakıtlara göre seyreltme yöntemiyle elde edilen yakıtlarda maliyet düşüktür. Yapılan araştırmalarda, özellikleri bakımından dizel yakıtı ile bitkisel yağdan elde edilen karışımlar birbirine yakın görülmüştür. Seyreltme yöntemiyle karışım üretiminde en çok atık yağlar, yer fıstığı, ayçiçeği ve kanola yağları kullanılır (Çağla 2013).

1.8.2. Piroliz ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı

Piroliz: gaz, sıvı ve katı ürün üretmek amacıyla oksijensiz ortamda organik maddelerin ısı bozundurulmasıdır. 450-850°C sıcaklıkta Lewis asiti katalizörlüğünde ve oksijensiz ortamda uygulanan piroliz ile gaz, sıvı ve katı ürün aynı anda elde edilebilmektedir. Piroliz yöntemi aktif karbon üretiminde yüzyıllardan beri kullanılmaktadır. Hammadde düşük sıcaklıklarda yavaş tepkimeye sokularak yüksek miktarda katı ürün elde edilmektedir. Hızlı veya flash piroliz uygulaması ile maksimum düzeyde sıvı ürün temin edilebilmektedir. Özel kimyasalların, yiyecekler tat veren maddelerin ve yakıtların üretimi için hızlı piroliz prosesleri geliştirilmiştir. Bu yöntemde bitkisel yağların yakıt özellikleri dizel yakıtının özelliklerine yaklaşırken oksijenin yapıdan ayrılması ve harcanan enerjinin fazla olması yöntemin en belirgin dezavantajlarıdır (Yüce 2008, Çağla 2013).

1.8.3. Mikroemülsiyon ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı

Bitkisel yağların yüksek viskozitelerini düşürmek için uygulanan yöntemlerden biri de etanol ve metanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturmaktır. Mikroemülsiyon, boyutları(damlacık çapları) 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikroyapılarının koloidal denge dağılımı olup normalde karışmayan iki sıvı ve bir veya daha fazla yüzey aktif maddesinin bir araya gelmesiyle oluşur. Mikroemülsiyon yönteminde devamlı faz ile dağılım fazı arasındaki gerilimi düşürmek için yüzey aktif maddeleri kullanılır. Alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle emülsiyonun setan sayısının düşmesi ve düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesi yöntemin dezavantajıdır (Acaroğlu 2013, Tütüncü 2013).

1.8.4. Süper kritik yöntemle ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı

Sıvılar ve gazlar, kritik sıcaklık ve basınç değerleri üzerine çıkıldıkları zaman farklı özellikler göstermektedir. Ne sıvı, ne gaz, akışkan bir faz olurlar. (OH) grubu taşıyan su veya birincil alkoller süper-asit özelliği gösterir. Katalizör kullanmayan

sistem yüksek alkol:yağ oranı (42:1) gerektirmektedir. Süperkritik koşullarda (350-400 °C ve >80 atm veya 1200 psi) reaksiyon 4 dakikada tamamlanıyor. İşletme ve yatırım maliyeti yüksek, enerji tüketimi fazladır (Fedai 2006).

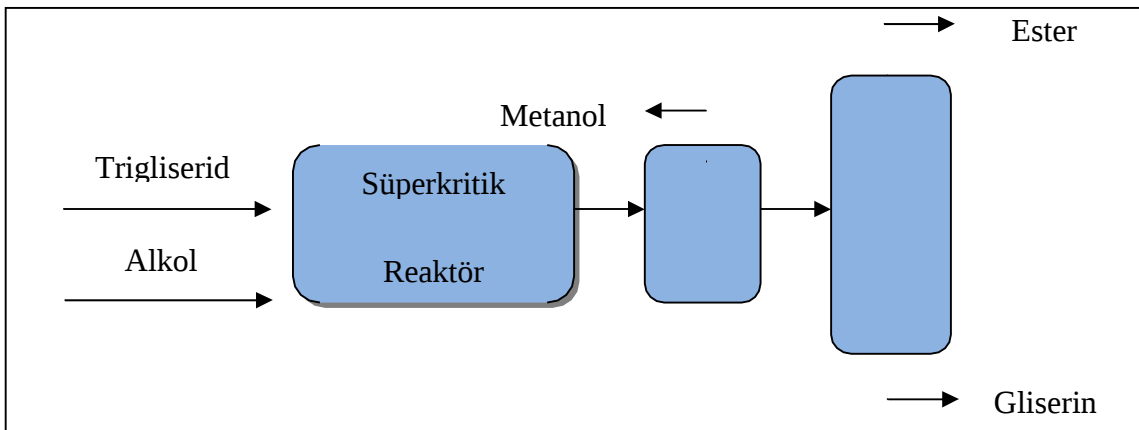
Çizelge 1.5’de Alkollerin kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.5. Alkollerin kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri

Alkol	Kritik Sıcaklık (°C)	Kritik Basıncı (MPa)
Metanol	239,2	8,1
Etanol	243,2	6,4
1- Propanol	264,2	5,1
1- Bütanol	287,2	4,9

Süper kritik sıcaklıkta çalışmanın ana fikri, basınç ve sıcaklık arasındaki ilişkinin etkisiyle çözücünün (metanol) dielektrik sabiti, viskozite, yoğunluk ve polarite gibi özelliklerini reaksiyon için uygun hale getirmektir. Örneğin, kimyasal reaksiyonların en önemli parametresi olan iyoniklik, basınç artırılarak iyileştirilebilir. Bu yüzden bitkisel yağların süper kritik metanolla muamelesinde, metanolün reaktif olarak davranmasının yanında asidik katalizör gibi davranması da beklenir. Buna ek olarak süper kritik şartlarda metanolün dielektrik sabiti bitkisel yağın dielektrik sabitine çok yaklaştığı için homojen bir karışım meydana gelir (Şen 2012).

Şekil 1.3’de süper kritik yöntem ile biyodizel üretim sistemi görülmektedir.

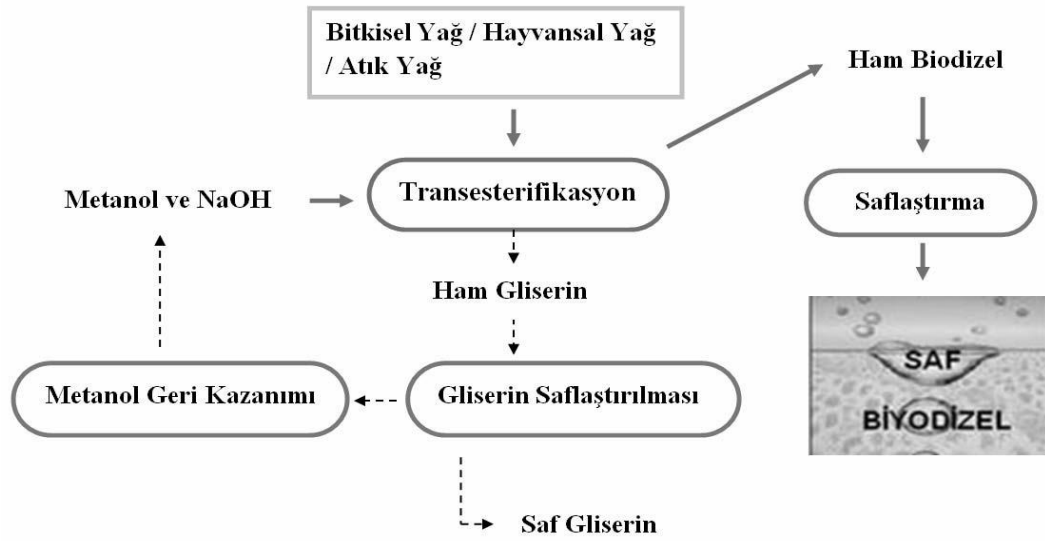


Şekil 1.3. Süper kritik yöntem ile biyodizel üretim sistemi (Şen 2012).

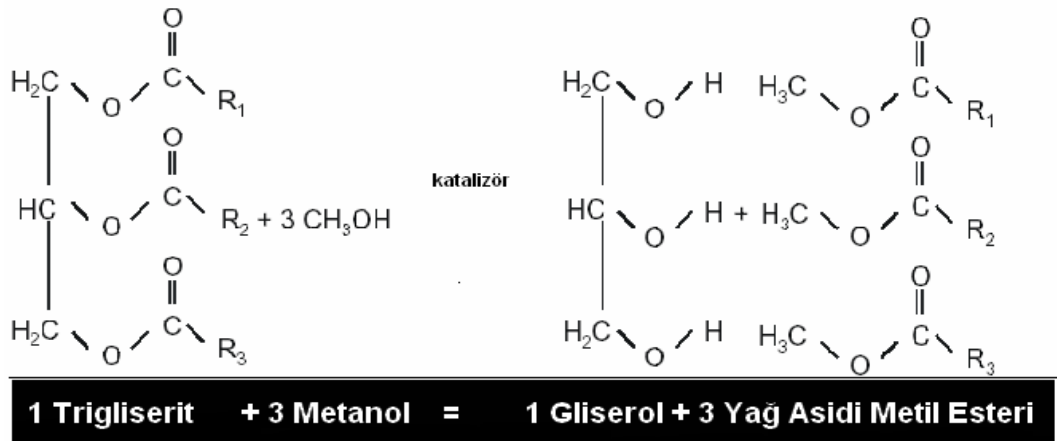
1.8.5. Transesterifikasyon ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı

Transesterifikasyon, bitkisel yağların biyodizele dönüşümünde kullanılan en yaygın yöntemdir. Yağ, transesterifikasyon reaksiyonunda katalizör (asidik katalizörler,

bazik katalizörler ile enzimler) varlığında monohidrik bir alkolle (etanol, metanol) tepkimeye girerek esterleşir. Esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak serbest yağ asitleri, di- ve monoglisericitler ve reaktant fazlası oluşur. Bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde en çok kolza, ayçiçeği, soya ve kullanılmış kızartma yağları tercih edilirken alkol olarak metanol ve katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) kullanılmaktadır. Transesterifikasyon reaksiyonunun mekanizması Şekil 1.4'te ve şematik biyodizel üretimi Şekil 1.5'te verilmiştir (Şeker 2007).



Şekil 1.4. Temel Transesterifikasyon Prosesi (Akgün ve ark 2009)



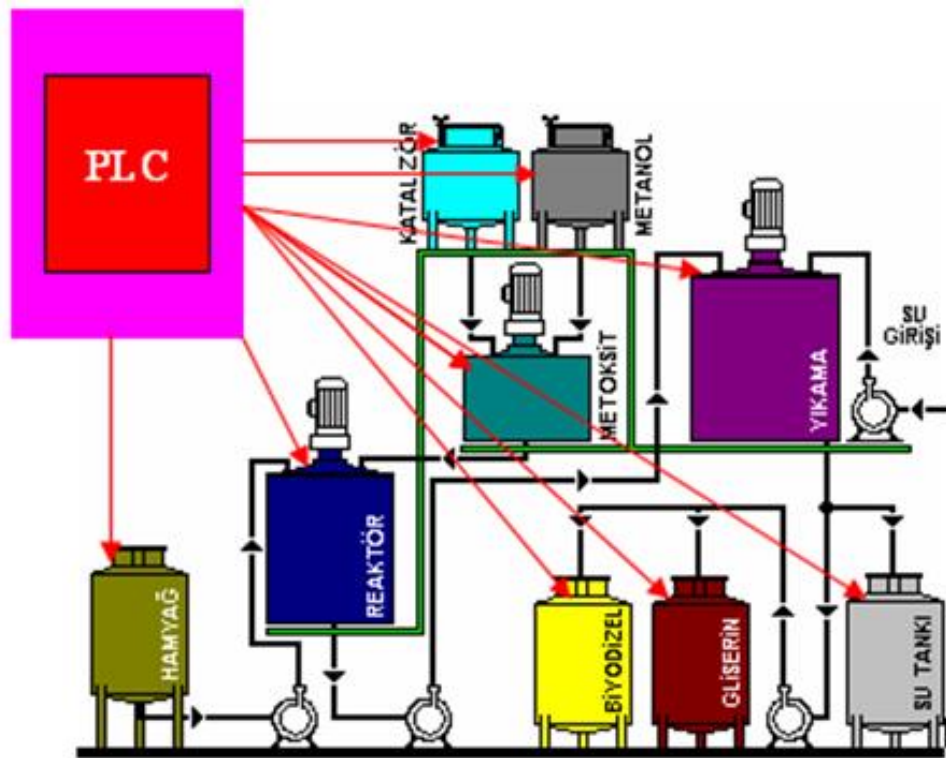
Şekil 1.5. Şematik olarak biyodizel üretimi (Şeker 2007).

Biyodizelin saflık derecesi % 99 üzerinde olmalıdır. Bu nedenle rafinasyon aşaması önemlidir.

Şekil 1.6’da örnek biyodizel üretim tesisi ve Şekil 1.7’de PLC ve tesis bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 1.6. Örnek biyodizel üretim tesisi (Anonim 2015 b)



Şekil 1.7. Programlanabilir kontrol cihazı (PLC) ve tesis bağlantı şeması (Öğüt ve Oğuz 2006).

1.8.5.1. Asit katalizörlü transesterifikasyon

Yüksek yağ asidi ve su içeren gliseritlerde asit katalizörlü transesterifikasyon yöntemi daha uygundur. Yağın serbest yağ asidi miktarı %1'in üzerinde ise, alkali katalizörler yerine asit katalizörler tercih edilmelidir. Alkol, proses içinde ayırıcı ve esterifikasyon ajanı olarak görev yapmaktadır. Genellikle sülfürik ve hidroklorik asit kullanılmaktadır (Şeker 2007, Tütüncü 2013).

1.8.5.2. Baz katalizörlü transesterifikasyon

Baz (alkali) katalizli transesterifikasyon asit katalizliye kıyasla daha hızlı ve yüksek verimlidir. Alkali katalizde sorun büyük miktarlarda serbest yağ asidi ve su içeren hammaddelerin kullanımında ortaya çıkmaktadır. Reaksiyonda serbest yağ asitleri ve su olumsuz etki yaparak sabun oluşumuna sebep olur ve son ürünün ayrılmasını güçleştirirler. Günümüzde, baz katalizli transesterifikasyon en fazla tercih edilen ve ara basamakları olmayan yöntemdir. Katalizörün miktarı yetersiz veya fazla olduğunda sabunlaşma meydana gelir. En çok tercih edilen katalizörler sodyum hidroksit ve potasyum hidroksittir. Kullanılabilen katalizör oranı % 0,3 ile % 1,5 arasında değişmektedir. Reaksiyon tamamlanma yüzdesi % 85 ile % 97 arasında değişmektedir (Fedai 2006, Altun 2009).

Şekil 1.8'de NaOH tanecikleri görülmektedir.



Şekil 1.8. NaOH tanecikleri

1.8.5.3. Enzim katalizörlü transesterifikasyon

Lipaz enzimli transesterifikasyonda gliserin kolayca ayrılmakta ve yağ asidi esterinin saflaştırılması kolaylaşmaktadır. Bu yöntemin kullanımında lipazın üretim maliyeti en büyük engeldir (Şeker 2007).

1.9. Transesterifikasyona Etki Eden Parametreler

1.9.1. Serbest yağ asidi ve nem etkisi

Alkali katalizörlüğünde yapılan biyodizel üretiminde bitkisel yağın yapısındaki serbest yağ asitlerinin ve suyun miktarı dikkat edilmesi gereken iki parametredir. Serbest yağ asidi (FFA) değeri %3'ten düşük olduğunda baz katalizli reaksiyon tamamlanabilmektedir. Yağın asitliği fazla ise dönüşüm verimliliği düşük olmaktadır. Reaksiyonda, yapısında su bulunmayan saf alkoller ve bitkisel yağlar kullanılmalıdır. Çünkü su biyodizel reaksiyonunu değiştirerek sabunlaşmaya sebep olabilir. Sabun, katalizörün reaksiyondaki etkisini azaltırken viskozitenin yükselmesine ve dolayısıyla jelleşmeye sebep olur. Bu nedenle üretilen üründen gliserinin ayrıştırılması zorlaşırken ürün verimi düşer (Tütüncü 2013).

1.9.2. Katalizör türü ve derişiminin etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonlarında alkali katalizörler, asit katalizörler ve enzimler kullanılmaktadır. Alkali katalizörlerden sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sodyum metoksit, potasyum metoksit, sodyum hidrit, potasyum amid ve potasyum hidrit; asit katalizörlerden sülfürik asit, fosforik asit, hidroklorik asit, sülfonik asit kullanılır. Sodyum ve potasyum metoksit, yağın %0,4-%2'si arasında değişen oranlarda kullanılır. Rafine ve ham yağda hem sodyum, hem de potasyum hidroksitin %1 oranında kullanımıyla oldukça başarılı reaksiyonlar gerçekleştirilebilir (Şen 2012).

Asit katalizörlere göre alkali katalizörler hem hızlı hem de daha az koroziftir. Yüksek ürün eldesi için NaOH, KOH, NaOCH₃ ve KOCH₃ gibi katalizörler kullanılabilirken en çok sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit tercih edilmektedir. NaOH katalizörü orta katalitik etkisi, düşük molar kütlesi ve diğer katalizörlere göre ucuz olması nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır (Çağla 2013).

1.9.3. Alkolün yağa molar oranı ve alkol türünün etkisi

Ester ürünleri üzerinde etkili ve öncelikli parametrelerden birisi de alkol-yağ molar oranıdır. Transesterifikasyon reaksiyonunda stokiyometrik olarak 1 mol yağ ile 3 mol alkol tepkimeye katılarak 3 mol yağ asidi ve 1 mol gliserol oluşur. Molar oranı yüksek reaksiyonlarda kısa sürede daha yüksek oranda ester dönüşümü gerçekleşmektedir. Biyodizel üretiminde daha çok etil ve metil alkoller

kullanılmaktadır. En çok metil alkolün tercih edilme nedenleri fiziksel ve kimyasal avantajları (kısa zincirli ve polar olması) ile düşük fiyatıdır. Su oluşumu ve sabunlaşma reaksiyonuna ortam hazırlaması nedeniyle etil alkol tercih edilmemektedir (Kafadar 2010).

1.9.4. Reaksiyon sıcaklığının ve süresinin etkisi

Reaksiyon, kullanılan alkol ve yağa göre çeşitli sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilebilir. Yüksek sıcaklık, tepkimeyi hızlandırırken dönüşümü artırır. Reaksiyon sıcaklığında genellikle alkolün kaynama noktasına yakın bir sıcaklık tercih edilir. Reaksiyon oda sıcaklığında da gerçekleşebilmektedir. Reaksiyon sıcaklığının artması özellikle süper kritik şartlarda ester dönüşüm verimi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Metil alkolün 65-70 °C reaksiyon sıcaklıklarında kaynama noktasına ulaşması ve aşması nedeniyle ester ürününün parçalanması sonucunda verim kaybının yaşandığı ve en uygun reaksiyon sıcaklığının 63 ± 1 °C olduğu belirtilmiştir. Polimerize olmuş atık kızartma yağları yüksek moleküler ağırlığa ve viskoziteye sahiptir. Kızartma işlemi, serbest yağ asidi miktarının artmasına da neden olur. Bu sebeple atık kızartma yağlarının kullanımında reaksiyon sıcaklığının yüksek seçilmesi viskoziteyi düşürürken tepkime süresini kısaltır. Reaksiyon süresinin uzamasına bağlı olarak ester dönüşümü artmaktadır (Altun 2009, Kafadar 2010).

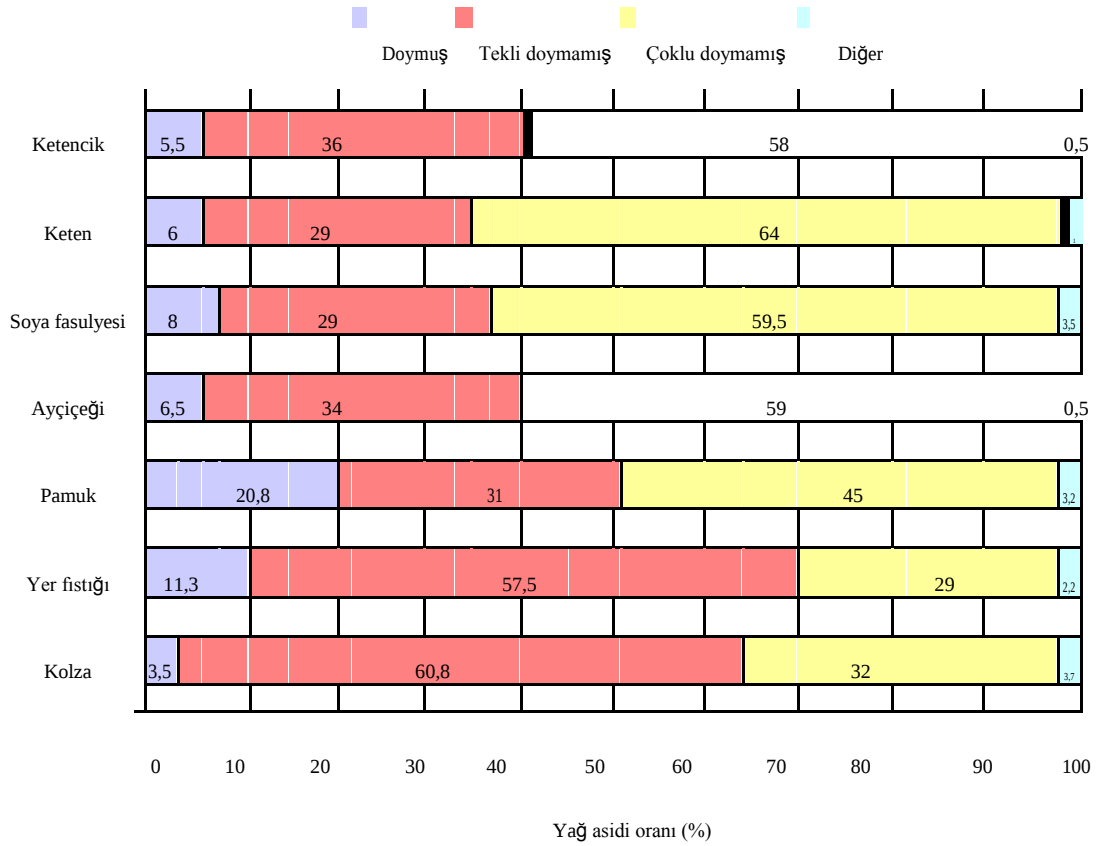
1.9.5. Karıştırma hızı

Karıştırma, esterleşme reaksiyonlarında homojen dağılım için önemlidir. Transesterifikasyon prosesinde yağ, KOH ve metanol birlikte karıştırılamaz. Önce uygun bir sıcaklığa kadar ısıtılan alkol ve katalizör karıştırılarak metoksit oluşturulur. Elde edilen metoksit yağa eklenerek reaksiyon başlatılır. Reaksiyonun başlangıç şartlarını arttırmada karıştırma hızları önemlidir. Karışımın olmadığı biyodizel üretiminde reaksiyonların gerçekleşmediği görülmüştür (Fedai 2006, Çağla 2013).

1.10. Ketencik Ham Yağı ve Biyodizelinin Özellikleri

Kimyasal yapısı uzun, dallanmış ve tek çift bağlı yağ asitleri içeren yağların uygun diesel yakıtı alternatifi olduğu ve doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediği yapılan çalışmalarda ortaya konmuştu (Acaroğlu 2013).

Doymuş ve doymamış yağ asitleri kompozisyonu bakımından ketencik ve diğer bazı yağ bitkilerinin mukayesesi Şekil 1.9’da verilmiştir.



Şekil 1.9. Doymuş ve doymamış yağ asitleri kompozisyonu bakımından ketencik ve diğer bazı yağ bitkilerinin mukayesesi (Kurt ve Seyis 2008)

Ham ketencik yağı ve dizel yakıt özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge 1.6’de ve ketencik biyodizelinin özellikleri Çizelge 1.7’de verilmiştir.

Çizelge 1.6. Ham ketencik yağı ve dizel yakıt özelliklerinin karşılaştırılması (Özçelik ve ark 2015)

Özellikler	Ketencik yağı	Dizel
Yoğunluk 15°C (kg/m ³)	918	838
Kinematik viskozite 40°C (mm ² /s)	24	2,92
Parlama noktası (°C)	> 220	102
Alt ısııl değeri (MJ/kg)	38	42,3
Kül (% kütle)	0,0025	0,01
Kükürt (mg/kg)	13,85	9
Su içeriği (mg/kg)	710	43,8
Asit değeri (mg KOH/g)	1,39	-
İyot sayısı (g.I ₂ /100g)	151,5	-

Çizelge 1.7. Ketencik biyodizelinin özellikleri (Özçelik ve ark 2015)

Özellikler	EN 2012	14214: Ketencik biyodizeli	Test metodu
Yoğunluk 15°C kg/m ³	860–900	885–888	EN ISO 12185
Kinematik viskozite 40°C mm ² /s	3,5–5	4,53–5,45	EN ISO 3104
Soğukta filtre tıkanma noktası (CFPP) °C	-	-3	EN 116
Bulutlanma noktası °C	-	3	EN 23015
Metil ester içeriği (wt%)	96,5	97,5	EN 14103
Parlama noktası °C	101min	202	EN ISO 3679
Kükürt içeriği mg/kg	10	0,59	EN ISO 20846
Karbon kalıntısı wt. %	0,30	0,019	EN ISO 10370
Su içeriği mg/kg	500	120	EN ISO 12937
Bakır korozyon testi (3h, 50°C)	1	1A	EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı (110°C) h	8	1,3-2,2	EN 14112
Asit değeri mgKOH/g	0,50	0,36	EN 14214
İyot sayısı max. g.I ₂ /g	120	154	EN 14111

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

(Ergen 2006), çalışmasında pamuk yağından transesterifikasyon metoduyla biyodizel üretmiş ve yakıt testlerini yapmıştır. Belirgin bir yakıt özelliği olarak motorinden daha yüksek viskoziteye sahip olan biyodizelin bu özelliğinin iyileştirilmesi için belirli sıcaklıklarda (60°C, 90°C ve 120°C) ön ısıtmaya tabi tutmuştur. Çalışmanın sonucunda ön ısıtmanın motor performans ve emisyonları üzerinde olumlu etkileri olduğunu belirlemiştir. En iyi değerleri 90°C’de yapılan ön ısıtmada elde etmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise bazı yakıt sistemi sorunlarına rastlamış, motor performansında olumsuz değerler saptamıştır.

(Aktaş ve Sekmen 2008), biyodizelin dizel motorlarda bir modifikasyon yapmadan kullanılabildiğini ve püskürtme zamanlamasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileyen önemli parametrelerden olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında dört zamanlı, tek silindirli bir dizel motorda biyodizeli yakıt olarak kullanarak püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Tam yükte 24,9, 26,6 ve 28,5°KMA püskürtme zamanlaması için efektif güç, motor momenti, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklıkları ile CO, HC ve NO_x emisyonlarını ölçmüşlerdir. Çalışmada püskürtme avansı 26,6°KMA olduğunda motor momenti ve efektif güçte yaklaşık %6 artış ve özgül yakıt tüketiminde %8 azalma görmüşlerdir. Ayrıca, CO ve HC emisyonlarında azalma elde ederken, NO_x emisyonlarında %4-11 arasında değişen artışlar belirlemişlerdir.

(Özsezen ve Çanakçı 2009), çalışmalarında kullandıkları dizel motorda yakıt olarak dizel yakıtı ve atık palmiye yağından üretilen biyodizel ile karışımlarını kullanarak motorun performansını ve emisyonlarını tam yük ve farklı devirlerde ölçmüşlerdir. Testlerde elde ettikleri performansların ve emisyonların karakteristiklerini tespit etmek üzere üç boyutlu haritalar hazırlayarak değerlendirmişlerdir. Değerlendirmelerinde karışımdaki biyodizel oranı yükseldikçe dizel yakıtı göre özgül yakıt tüketiminin artış gösterdiğini ve motorun momentinde düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Dizel yakıtına kıyasla egzoz emisyon değerlendirmeleri neticesinde karışımdaki biyodizel oranı arttıkça karbon monoksit (CO), yanmaya katılmamış yakıt buharı olan hidrokarbon (HC) ve pusluluk emisyon değerlerinde düşüşler tespit etmişlerdir. Bir taraftan da karışımlardaki biyodizel oranı arttıkça motor devir sayısındaki değişimlere göre karbon dioksit (CO₂) ile azot oksit (NO_x) emisyonlarında sergilenen görüntünün istikrarlı olmadığını belirtmişlerdir.

(Niyet 2009), çalışmasında motordaki aşınmaların önemli belirtilerinden biri olan ve yağlama yağına karışan demir (Fe) miktarını incelediğinde, biyodizel kullanımında dizel yakıtı nazaran daha hızlı artış ve motor yağlama yağında inceltme gözlemlenmiştir. B100 kullanımının DY'ye kıyasla yağlama yağını daha çabuk bozduğunu belirtmiştir.

(Kafadar 2010), çalışmasında transesterifikasyon yöntemi kullanımında değişik bitkisel yağların optimum koşullarını belirleyebilmek için katalizör, alkol/yağ molar oranı, sıcaklık ve reaksiyon süresi parametrelerini incelemiştir. Elde ettiği biyodizel numunelerinin uluslararası standartlardaki viskozite, yoğunluk, akma noktası, parlama noktası, iyot değeri, ısıl değeri, setan sayısı ile diğer özelliklerin yakıt değerlerini belirleyerek karşılaştırmalar yapmıştır.

Mısır yağının NaOH katalizörlüğünde optimum tepkime koşullarını 60°C sıcaklık ve 6:1 alkol/yağ molar oranında 2 saat olarak belirlemiştir. Geleneksel ısıtma yöntemlerine göre mikrodalga ile yapılan mısır yağı esterleştirme tepkimesinden yüksek verim elde etmiştir. Ayçiçeği ve fındık yağları ile bu yağları eşit oranlarda karıştırarak yaptığı deneylerde en yüksek verime KOH katalizörlüğünde erişmiştir. Kullanılmış ayçiçeği yağından da yüksek verimler elde edildiğini gözlemlenmiştir. Soya yağının transesterifikasyonunda en yüksek verimi NaOH katalizörlüğünde almıştır.

Sonuçta yakıt özellikleri standartlara uygun çıkan bütün biyodizel numunelerinin dizel motorlarda kullanılabileceğini belirtmiştir.

(Kaya 2010), çalışmasında biyodizel-dizel yakıt karışımları kullanılan tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motorda püskürtme basıncının motor performansına, gücüne ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemiştir.

Deneylerde % 0, 5, 20, 50 ve 100 oranında kanola yağı metil esterinden üretilmiş biyodizel-dizel yakıt karışımlarını kullanmıştır. Her bir püskürtme basıncı değeri (180, 200, 220, 240 bar ve sabit motor devri 2200 d/d) için karışım içerisindeki biyodizel miktarının artması ile özgül yakıt tüketimi, karbon dioksit ve azot oksit emisyonlarında artma efektif verim, karbon monoksit, hidrokarbon ve is emisyonlarında ise azalma tespit etmiştir. Motorun standart püskürtme basınç değerinin üzerine çıkılması veya inilmesi durumlarında özgül yakıt tüketimlerinde yükselme olurken efektif verimlerde düşüş olduğunu belirtmiştir. Püskürtme basıncının artırılması ile azot oksit emisyonlarında artma karbon dioksit, karbon monoksit, hidrokarbon ve is emisyonlarında azalma olduğunu belirtmiştir.

(**Şen 2012**), çalışmasında atık balık yağı kaynaklı biyodizel ve dizel yakıtı (DY) ile karışımlarının performans ve emisyon karakteristiklerini tek silindirli ve dört zamanlı bir dizel test motorunda tam yük ve değişik devir koşullarında analiz etmiştir. Analiz sonucunda, karışımdaki biyodizel oranı yükseldikçe dizel yakıtı göre özgül yakıt tüketiminin artış gösterdiğini ve motorun momentinde düşüş olduğunu belirtmiştir. Egzoz emisyon analizleri ise CO, HC ve is emisyonlarında iyileşme, NO_x emisyonlarında kötüleşme olduğunu göstermiştir.

(**İleri 2012**), çalışmasında biyodizele antioksidan eklenmesinin NO_x emisyonuna ve motor performansına etkilerini incelenmiştir. Dizel yakıtıyla hacimsel olarak %20 oranında kanola metil esteri karıştırarak B20 elde etmiş. B20 yakıtına kütsel olarak 500, 750 ve 1000 ppm konsantrasyonlarında butylated hydroxyanisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT), *tert*-Butylhydroquinone (TBHQ) ve 2-ethylhexyl nitrate (EHN) antioksidan katkı maddeleri ekleyerek deney yakıtları oluşturmuştur. Antioksidan maddelerin özellikle setan sayısının ve oksidasyon kararlılığının artırılmasında oldukça etkili olduğunu tespit etmiştir. Setan sayısı ve oksidasyon kararlılığının artırılmasında en etkili antioksidanların sırasıyla EHN ve TBHQ olduğunu belirlemiştir. Testleri tam yükte 1600, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 ve 4400 1/min'de gerçekleştirmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre; antioksidan maddelerin moment, efektif güç, egzoz gaz sıcaklığı ve ortalama efektif basınç değeri üzerinde düşük bir etkisi olduğu, fakat özgül yakıt tüketimi, NO_x, CO, CO₂ ve HC emisyonlarının azaltılması açısından oldukça önemli etkiye sahip oldukları belirlenmiştir. Özgül yakıt tüketimi ve NO_x emisyonlarının azaltılması açısından en etkili antioksidan karışımlarının sırasıyla B20+1000 ppm TBHQ ve B20+750 ppm EHN olduğu tespit etmiştir.

(**Şahin 2013**), çalışmasında, vidalı pres yardımıyla keten tohumundan elde ettiği ham yağ biyodizelini (B100) dizel yakıtı (0) ile çeşitli oranlarda karıştırarak B2, B5, B20, B50 yakıtlarını elde etmiştir. Elde ettiği biyodizel karışımlarının ve kıyaslama için kullandığı dizel yakıtının fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerini belirlemiştir. Keten yağı metil esteri (KYME) üretimini transesterifikasyon yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Standart dizel yakıtı ile Keten yağı metil esteri (KYME) ve karışımlarının fiziksel özellikleri ve dizel motorda kullanılması sonucunda elde edilen motor performans verilerinin birbirine yakın özellikler gösterdiğini belirtmiştir. Test yakıtları ile elde ettiği maksimum tork değerlerine bakıldığında en yüksek değerin dizel yakıtı ile 1000 1/min'de 59,6 Nm; B100 yakıtı kullanımında 1200 1/min'de 53,8 Nm ölçmüştür. Maksimum güç verileri değerlendirildiğinde en yüksek değerin dizel yakıtı

ile 2100 1/min'de yaklaşık 10,96 kW; B100 yakıtı ile 2000 1/min'de yaklaşık 10,23 kW ölçmüştür. Minimum özgül yakıt tüketimi verilerini incelediğinde en düşük değeri dizel yakıtı ile 1000 1/min'de yaklaşık 231,36 g/kWh; B100 yakıtı ile 1200 1/min'de yaklaşık 296,73 g/kWh ölçmüştür.

(Ciubota-Rosie ve ark 2013), çalışmalarında ketencik biyodizelinin kapsamlı karakter özelliklerini incelemişler ve şu bulguları ortaya koymuşlardır: Ketencik bitkisi %40 tan yüksek oranda yağ içerir ve kolaylıkla rafine edilebilir. Bu yağ homojen alkali katalizi kullanılarak kolayca transesterleştirilebilir. Elde edilen biyodizelin tüm kalite özellikleri EN 14214 ve ASTM D6751 standartlarına uymuyor. Ketencik biyodizeli metil ester içeriği linolenik ve çoklu doymamış (4 ve daha az çift bağları) yağ asitleri, iyot değeri, setan sayısı ve oksidasyon kararlılığı EN 14214 sınırlarını karşılamadığından biyodizel uygulamaları için ciddi sakıncaları olduğunu belirtmişlerdir. EN 14214 göre ASTM D6751 standardının daha az kısıtlayıcı olmasına rağmen ketencik bitkisi metil esterinin halen setan sayısı, damıtma sıcaklığı ve oksidasyon kararlılığı parametrelerini yerine getiremediğini, setan sayısının ve oksidasyon kararlılığının uygun katkı maddeleri kullanılarak düzeltilebilirliğine rağmen linolenik ve çoklu-doymamış (4 ve daha az çift bağları) yağ asitleri, iyot ve damıtma sıcaklığı değerlerini değiştirmenin çok zor olacağına dikkat çekmişlerdir. Ketencik bitkisini iyi bir biyodizel malzemesi haline getirmek için genetik mühendisliği veya geleneksel bitki yetiştirme ile yağın yüksek derecedeki doymamışlığının ve moleküler ağırlığının azaltılması gerektiğini söylemişlerdir.

(Sun ve ark 2014), çalışmalarında yağ asidi metil esteri, yağ asidi etil esteri ve yağ asiti butil esteri hazırlayarak karşılaştırmış, karakterize etmiş ve dört büyük sonuç elde etmişlerdir. İlk olarak, ketencik yağından yeşil ve ekonomik biyodizel üretme yolunun süperkritik kısa karbon zincirli alkollerin transesterifikasyonlarında basit olduğunu kanıtlamışlar. İkincisi, FAME, FAEE ile FABE biyodizel yakıtların verim yüzdeleri alkil gruplarında artan endüktif etkisine bağlı azaldığını; ketencik yağı doymamış yağ asitleri esterinin transesterifikasyon ile çok daha kolay ayrıştığını tespit etmişler. Üçüncüsü, transesterifikasyonun endotermik reaksiyonu nedeniyle biyodizelerde verimin arttığını belirtmişler. Çünkü alkil gruplarının artan endüktif etkisi, süper kritik metanol, etanol ve 1-bütanol ile C sativa yağının dengeye ulaşması için gerekli olan reaksiyon süresi alkollerin karbon zincir uzunluğunun artması ile artmaktadır. Son olarak, alkollerin karbon zincirinin uzunluğunun artması ile kalorifik

değer, setan sayısı ve biyodizel soğuk özelliklerinin arttığı; biyodizellerin doymamışlık derecelerinin artması ile azaldığıdır.

(Drenth ve ark 2014), çalışmalarında dizel motorda ketencik, carinata ve pennycress endüstriyel yağlı tohum biyoyakıt hammaddeleri arasında performans ve emisyon değerlendirmesi yapmışlardır. Bu değerlendirmede endüstriyel yağlı tohum ketencik, carinata ve pennycressin geleneksel yağlara çok benzediğini, tüm geleneksel yağlı tohum hammaddelerine kıyasla tipik motor gücü, yakıt tüketimi, ısı verimi ve emisyonu olduğunu belirtmişlerdir. Geleneksel ve endüstriyel yağlı tohum biyoyakıt türleri için ortalama fren özgül yakıt tüketiminin (BSFC) $\pm$ %1,3 aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Ketencik biyodizelinin setan sayısının, damıtma sıcaklığının ve oksitlenme stabilitesinin ASTM D6751 standartlarına uygun olmadığını tespit etmişler fakat ketencik yakıtının kullanılmasında motor çalışmasında motor işlerliği, performans ve emisyon sorunlarının olmadığını; diğer hammaddelerden önemli farklılıklarının olmadığını ortaya koymuşlardır. Tüm test kategorilerinde genel motor performansının olumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Yenilenebilir dizellerin petrol dizeli gibi motor performansı ve yanma özellikleri sunarken CO emisyonlarında azalma sağladığını, NO_x emisyonlarının da petrol dizelinden ortalama % 6 daha düşük çıktığını ve değişiklik yapılmayan modern bir CI motoru ile hacimsel oran olarak % 25 benzin + % 75 bitkisel yağ kullanılan yakıtın uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

(Saez-Bastante ve ark 2015), çalışmalarında ketencik yağından ultrason desteğinde biyodizel üretimini incelemişlerdir. Ses dalgasıyla transesterifikasyona benzer yağ asidi metil ester(FAME) verimi sağlarken ses dalgasının reaksiyon girdilerini ve enerji tüketimini azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca ses dalgası ve karıştırma aşamaları kombinasyonunun gliserit konsantrasyonunu azaltırken önemli ölçüde FAME verimini arttırdığını, FAME bakımından anlamlı bir farklılık olmamasına rağmen içerik ve özelliklerinin EN 14214 hepsini karşıladığını, ses dalgası karıştırma döngüsü ayrıca ısıtma adımları ile takviye edildiğinde gliseridin konsantrasyonunun azalmasına karşılık daha yüksek enerji tüketimi olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, “ses dalgasıyla birleştirilen karıştırma döngüsü tarafından üretilen biyodizeli EN 14214 uydurmak için daha az miktarda enerji gerekir” sentezi sonucuna varmışlardır.

(Drenth ve ark 2015), çalışmalarında ketencik, carinata ve pennycress endüstriyel yağlı tohum trigliserid karışımlarının(TGB) yakıt özelliği ölçümü ve ticari piyasada çiftlik yakıtı olarak kullanılması üzerinde yoğunlaşmışlar. E10 benzine bitkisel

yağ TGB(trigliserit karışımları) karışım yüzdesinin yakıt özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla karışım yüzdesini değiştirmişler. Birçok yakıt özellikleri SVO ya(Normal bitkisel yağ) benzin eklenmesi ile geliştirildiği belirtmişlerdir. TGB'lerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini NMR spektroskopisi ve faz diyagramları ile incelemişler. Kullanıcıların E10 benzin çözünürlüğü sağlamak için TGB'lerin etanol içeriğini sınırlamaları gerektiğini ve TGB'lerin kimyasal kararlılıklarının bir yıla kadar depolanabileceğini gösterdiğini belirtmişlerdir. Ham ve rafine yakıtlar için ölçülen yakıt özelliklerinde önemli bir fark olmadığını belirtmişlerdir. Genel olarak bu yakıt özellik değerlendirilmesi ve son motor testleri ile isteyen çiftçilerin bu yeni bitki ve yağ döngüsünü çiftlikte yakıt ihtiyaçları için kullanabileceklerini ve TGB'lerin kullanımının sürdürülebilir yakıt boşluğunu doldurabileceğini ortaya koymuşlardır. TGB'lerin uzak yerlerde yöresel yakıt olarak kullanımının uygun olabileceğini ve gelecekteki araştırmaların dizel motorlarda TGB'lerin uzun süreli dayanıklılığını içereceğini ifade etmişlerdir.

(Özçelik ve ark 2015), çalışmalarını 4 silindirli, 4 zamanlı, common rail yakıt sistemli, intercooler, turbo şarjlı ve su soğutmalı bir dizel motorda yapmışlardır. Test yakıtı olarak Ketencik biyodizeli (B7 ve B100) ve dizel yakıt karışımlarını kullanarak motor performanslarını, emisyonlarını, ısı salınım oranlarını, yanma özelliklerini ve silindir içi basınç değerlerini inceleyerek elde ettikleri sonuçları dizel yakıtı ile karşılaştırılmışlar ve şu ana sonuçları elde etmişlerdir:

1- Motorin ve tüm yakıt karışımları ile yüksek motor gücünü 2500 rpm'de elde etmişler. 2500 rpm 'de, yakıtın alt ısı değerine bağlı olarak dizel yakıtı oranla B7 ile % 4,97 ve B100 ile de % 14,39 motor gücünün azaldığını tespit etmişlerdir.

2- En yüksek tork değerini 2000 rpm'de bulmuşlardır. 2000 rpm 'de, motor torkunu dizel yakıt kullanımı ile 185 Nm, B100 yakıt kullanımı ile 158 Nm ve B7 yakıt kullanımı ile 175 Nm olarak ölçmüşlerdir.

3- En düşük özgül yakıt tüketiminin 2000-2500 rpm aralığında olduğunu; dizel yakıtı oranla B7 yakıtı ile %12,21 ve B100 yakıt kullanımı ile de %56,25 arttığını belirtmişlerdir.

4- Biyodizeldeki yüksek oksijen içeriğinin yanmayı iyileştirmesi sonucu dizel yakıtı CO₂ emisyonunu, B7 ve B100 yakıtlarına göre yaklaşık %20 daha düşük bulmuşlardır.

5- Biyodizel karışımının oksijen içeriği itibariyle zengin hava-yakıt karışım bölgelerinde oksijen oranını arttırmasına bağlı olarak B7 ve B100 yakıt HC değerlerini dizel yakıtı oranla sırasıyla %37,5 ve %68,8 düşük olduğunu ortaya koymuşlardır.

6- Biyodizel karışımının özgül yakıt tüketimi ve oksijen içeriğinin yüksek oluşunun zengin hava-yakıt karışım bölgelerinde yanmayı geliştirdiğini ve oluşan yüksek çevresel sıcaklıkların da dizel yakıtı oranla B7 ve B100 yakıt NO_x değerlerini sırasıyla %17,6 ve %58,8 arttırdığını tespit etmişlerdir.

7- Yanma özellikleri açısından tüm yakıt tiplerinde 2500 rpm ve 4000 rpm'de silindir içi gaz basınç değerlerini de oldukça birbirine yakın bulmuşlardır.

8- En yüksek ısı salınım hızlarının 2500 rpm ve 4000 rpm'de birbirine yakın olduğunu görmüşler ve maksimum 35 J / CAD olarak ölçmüşlerdir.

9- (MFB), her motor devrinde krank açısının bir fonksiyonu olarak kimyasal enerjinin serbest bırakılması sürecini 0-1 ölçekte anlatan normalleştirilmiş yanmış kütle payı büyüklüğüdür. B7 harmanı için bu değeri Ü.Ö.N. dan 30 derece sonra 2500 rpm'de ve Ü.Ö.N. dan 34 derece sonra 4000 rpm'de de %100 olarak bulmuşlardır.

Çevre ve sürdürülebilirlik kavramları dikkate alındığında biyodizelin değişik karışımlarının motor performansı ve emisyonları açısından son derece önemli olduğunu, ancak bugüne kadar uygulanmakta olan motor için yakıt uyarlanmasından ziyade (özellikle Avrupa Birliği'nin yeni B7 standardı dikkate alınarak) biyodizel karışım oranlarına göre yeni yanma odası tipleri tasarlanmasının ciddi bir ihtiyaç ve artan motor performansı ile ilgili bir süreç olduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

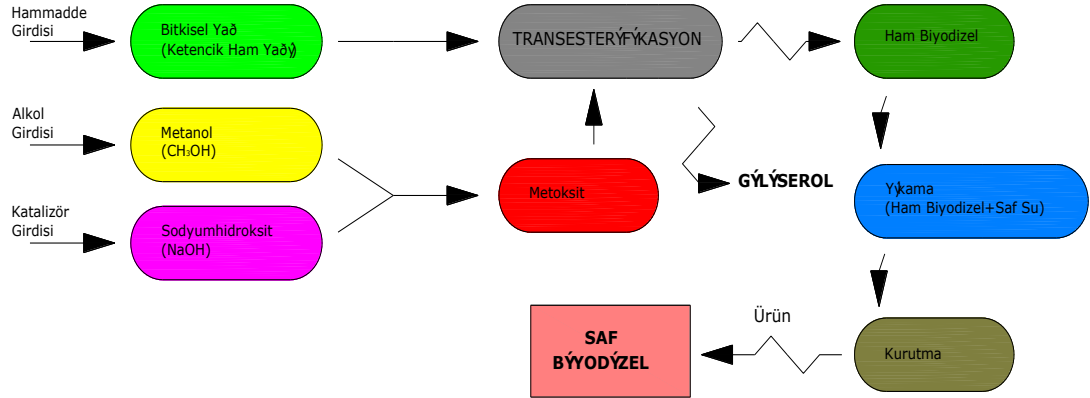
3.1. Ketencik Biyodizel Üretimi

Ketencik yağından biyodizel elde etmek için metil alkol (CH_3OH) ve sodyum hidroksit (NaOH) katalizörü kullanılmıştır. Şekil 3.1’de metanol görülmektedir.



Şekil 3.1. Metanol

Transesterifikasyon yönteminin gerektirdiği şartlarda ketencik yağı NaOH katalizörlüğünde metil alkol ile kimyasal tepkimeye sokularak KYME ve yan ürün olarak gliserin elde edilmiştir. Elde edilen ester saf su ile yıkandıktan sonra kurutularak saflaştırılmıştır. Şekil 3.2’de transesterifikasyon prosesimiz görülmektedir.



Şekil 3.2. Biyodizel üretiminde kullandığımız transesterifikasyon prosesi

Biyodizel üretiminde aşağıdaki yol izlenmiştir;

1- Yağ, reaktörde 55°C'ye kadar karıştırılarak ısıtılmıştır.

2- Kullanılacak ketencik yağının hacimsel olarak %20'si kadar metanol ve 1 litre yağa 3,5 g/litre oranında NaOH katalizör maddesi kullanılmış ve reaksiyon iki kademede gerçekleştirilmiştir (Acaroğlu 2003).

Şekil 3.3'te metoksit görülmektedir.



Şekil 3.3. Metoksit

3- Reaksiyonda ilk olarak metanol ile NaOH katalizörü karıştırılarak hazırlanan metoksit çözeltisi reaktörde ketencik yağına ilave edilerek karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi 80 l/min'de 60 dakika sürmüştür. İşlemin sonucunda en az 2 saat dinlendirilen karışımın tabanından gliserol alınmıştır. Şekil 3.4'de tabanda çöken gliserin görülmektedir.



Şekil 3.4. Tabanda gliserin üstte ham biyodizel

4- Reaktörde kalan ham biyodizelin soğuması ve içerisinde kalan gliserolün çökmesi için 1 gün beklenerek tabanda biriken gliserol tekrar alınmıştır.

5- 50°C sıcaklıktaki ham biyodizel ve saf su hacimsel olarak bire bir miktarda karıştırılıp yıkandı ve suyun çökmesi için 12 saat dinlendirilmiştir. Yıkama işleminin sonucunda biyodizel içerisindeki reaksiyona girmeyen yağ asitleri, alkol, Na^+ iyonları, katalizör madde ve ayrıştırma esnasında yapıda olabilecek gliserol uzaklaştırılmış oldu.

6- Reaktörde dibe çöken su boşaltıldıktan sonra kurutma işlemine geçilerek biyodizelin yapısında kalan su, en az 2 saat boyunca 100°C'de ısıtılarak ve karıştırılarak buharlaştırılıp saf biyodizel elde edilmiştir.

3.2. Test Yakıtları

Transesterifikasyon yöntemiyle üretilen ketencik yağı metil esteri(KYME) ile dizel yakıtından B20 ve B50 karışımları hazırlanmıştır. Testlerde, yakıt olarak dizel yakıtı (B0), B20, B50 ve biyodizel (B100) kullanılmıştır. Şekil 3.5'te teste kullanılan yakıtlar görülmektedir.



Şekil 3.5. Teste kullanılan yakıtlar

3.3. Deney Düzeneği

3.3.1. Motor

Testler, 1.9 Doblo Multijet motorunda yapılmıştır. Çizelge 3.1'de deney motorunun teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Test motorunun teknik özellikleri

Motor Özellikleri	1.9 Multijet
Silindir adedi ve yerleşimi	4, tek sıra, önde enlemesine
Silindir hacmi (cc)	1910
Sıkıştırma oranı	18,5:1
Yakıt	Motorin
Yakıt besleme	Elektronik kontrollü common rail tipi multijet direkt enjeksiyon, turbo ve intercooler
Ateşleme	Sıkışmalı
Çap × Strok (mm)	82 × 90.4

Şekil 3.6'da test motoru görülmektedir.



Şekil 3.6. Test motoru

3.3.2. Motor dinamometresi

Motorun moment, güç ve soğutma suyu sıcaklık değerleri hidrolik motor dinamometresi ile 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 d/d tam yükte ölçülmüştür. Şekil 3.7'de motor test ünitesi görülmektedir.



Şekil 3.7. Motor test ünitesi

3.3.3. AVL silindir içi basınç ölçer

Testler sırasında silindir içi basınç değişimleri şekil 3.8’de görülen cihaz ile tam yükte ölçülmüş ve elde edilen indikatör verileri ile diyagramları bilgisayarımızda kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.8. Silindir içi basınç ölçer

3.3.4. Egzoz emisyon ölçüm cihazı

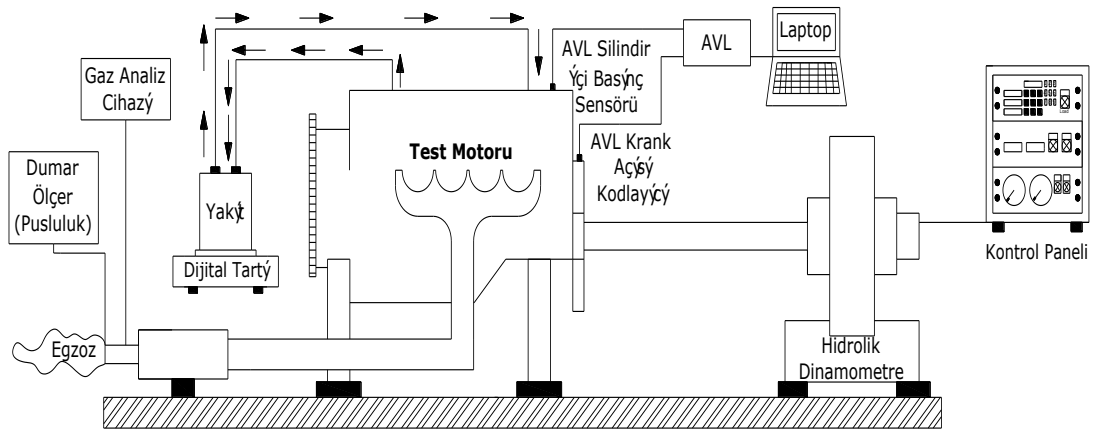
Testler sırasında emisyonların ölçümünde Şekil 3.9’da görülen Bosch BEA 350 model emisyon cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Bosch BEA 350 model emisyon cihazı

3.4. Yöntem

Bu çalışmada TS 1231 standartlarına göre yapılan motor performans deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Motor performans testlerinde hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Test motoru 90°C çalışma sıcaklığına geldikten sonra her bir test yakıtı ile en az 3'er defa olmak üzere motor performans ve emisyon değerleri ölçümü yapılarak kaydedilmiş ve daha sonra her ölçüm noktası için elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Ölçümler tam yükte ve 1000-1500-2000-2500-3000-3500 ve 4000 d/d aralıklarında yapılmış olup testler sırasında egzoz gazı ile soğutma suyu sıcaklıkları ve silindir içi basınç değişimleri de ölçülmüştür. Şekil 3.10'da şematik motor test düzeneği görülmektedir.

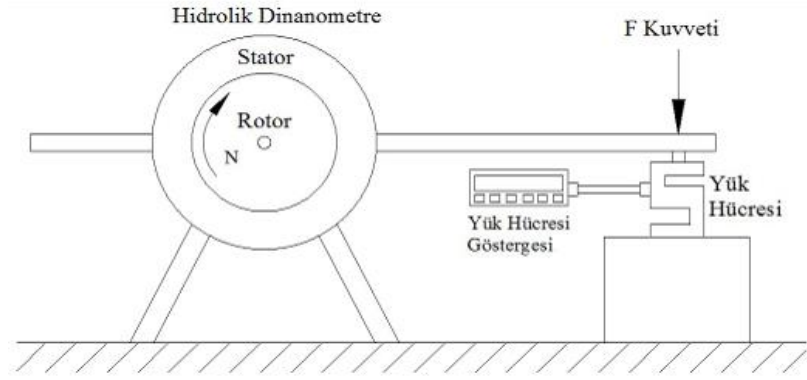


Şekil 3.10. Şematik motor test düzeneği

Moment ölçüm sistemi prensip şeması Şekil 3.12'de görülmektedir. Frenleme momenti doğrudan ölçülemediği için bu momente karşılık gelen kuvvet (F) ölçülerek moment kolu uzunluğu (L) ile çarpılır. Moment kolu uzunluğu 0,35 m'dir. Yük hücresi donanımında ölçülen F (N) değeri ve L (m) moment kolu uzunluğuna bağlı olarak motorun ürettiği moment (M):

$$M = F \cdot L \quad (3.1)$$

şeklindedir.



Şekil 3.12. Test düzeneğinde döndürme momentinin ölçülmesi (Şahin, 2013).

Kontrol panelinden okunan motor devri n (d/d) ise motorun efektif gücü (P_e):

$$P_e = \frac{n \cdot M_d}{9549,58} \text{ (kW)} \quad (3.2)$$

olarak elde edilir. Burada;

P_e :Motor gücü, kW

M_d :Motor momenti, Nm

n :Motor hızı, d/dk

Özgöl yakıt tüketimi, herhangi bir güçteki çalışma sırasında, saatte tüketilen yakıt miktarının üretilen güce oranıdır. Test motorunun tükettiği yakıt Şekil 3.13'te görülen düzeneğe yardımı ile ölçülmüştür.



Şekil 3.13. Dijital baskül

Dinamometrede okunan güç değerleri için saatte harcanan yakıt kütlesinin hesaplanmasında eşitlik 3.3 kullanılmıştır. Özgül yakıt tüketimi (b_e):

$$b_e = \frac{B \cdot 1000}{N_e} \quad (3.3)$$

b_e : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

B : Ölçülen saatlik yakıt tüketimi (g/h)

N_e : Efektif motor gücü

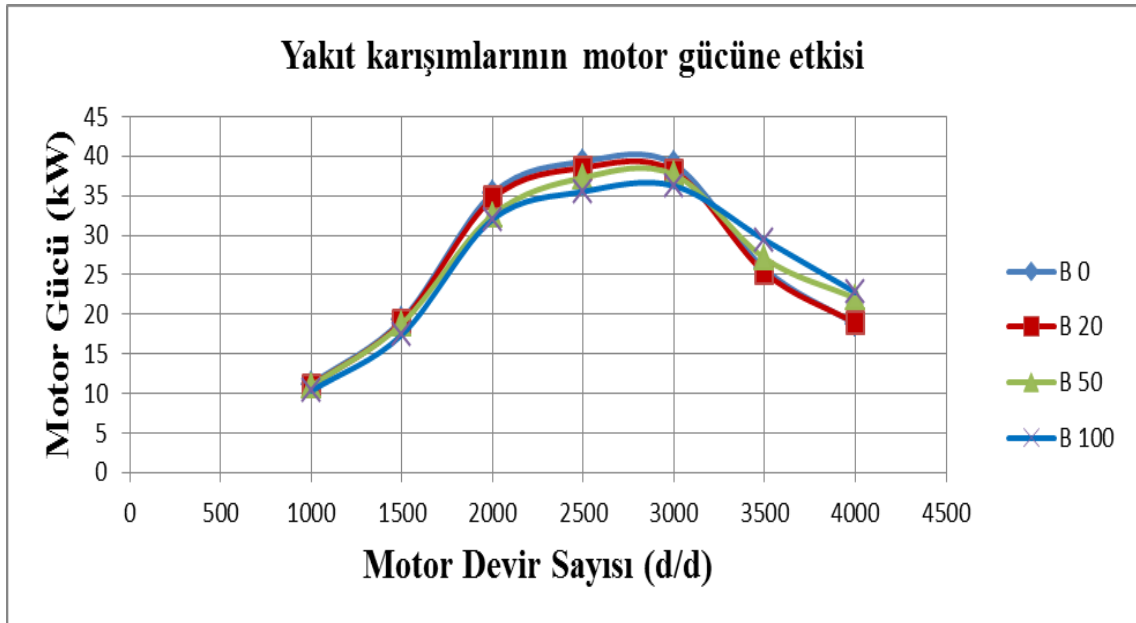
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 Yakıtların Motor Performansları

4.1.1. Motor gücü değişimi

Yakıt türlerinin hepsinde maksimum güç motor tam yükte 2800 d/d gerçekleşmiş olup B0 için 40kW, B20 için 39kW, B50 için 38,5kW ve B100 için 37kW ölçülmüştür. Bu tablonun gerçekleşmesinde yakıtların alt ısı değerleri etkili olabilir. Motor devrine bağlı olarak yakıtların motor güçleri değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir.

Normalde B0 ve B100 yakıtlarının alt ısı değerlerini oranladığımızda B100 yakıtı alt ısı değerinin B0 yakıtından %10 daha düşük olduğu görülür. Bu durumda B100’de %10 güç düşüklüğü beklenirken maksimum güçleri oranladığımızda B100’ün B0 yakıtından %8 civarında güç düşüklüğü olduğu görülmüştür. Burada enjektörlerin hacimsel olarak aynı miktarda yakıt püskürtmesine rağmen yoğunluk farkından dolayı kütesel olarak silindire daha fazla B100 yakıtı girişi olması nedeniyle B100’de yaklaşık %2’lik güç artışı sağlanmaktadır.



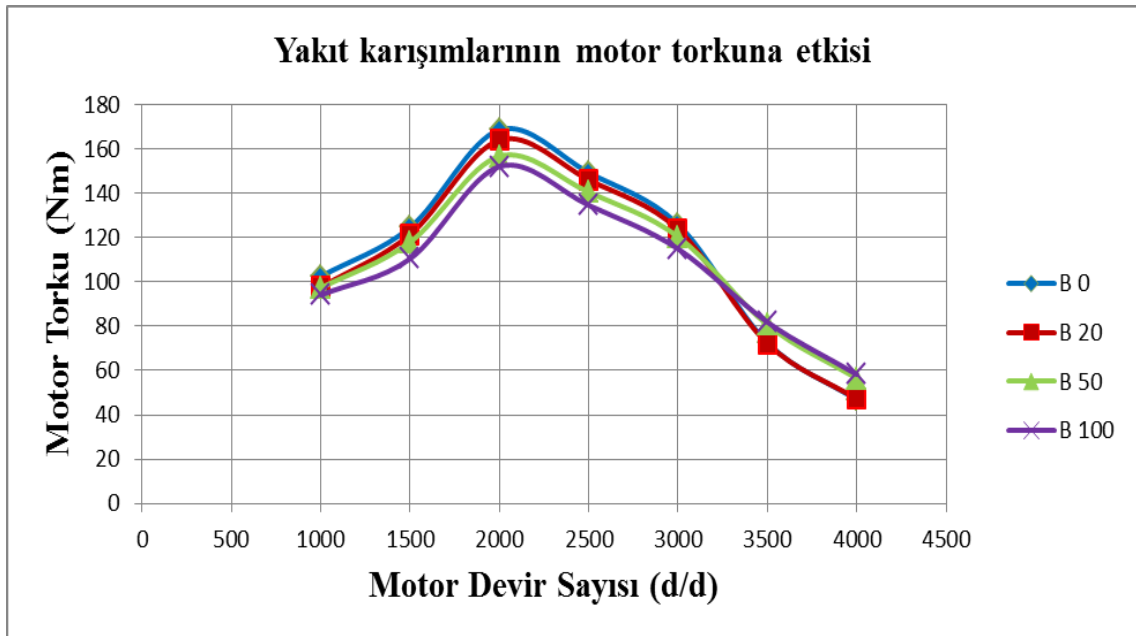
Şekil 4.1. Motor devrine bağlı olarak yakıtların motor güçleri değişimi

3200 d/d sonra B100’den elde edilen güç B0 yakıtını geçmektedir. Bunun nedeni olarak B100 yakıtının yapısındaki %11 civarındaki oksijenin emilen hava içerisindeki oksijenle birleşerek yanma verimini arttırdığını düşünüyorum. Motor devri arttıkça supapların açık kalma süreleri kısalmış ve silindire giren hava miktarı azalmıştır. Silindire

giren hava miktarının azalması oksijen miktarının azalması anlamına gelmektedir. Bu şartlarda volümetrik verimin düşmesine ve karışımın zenginleşmesine bağlı olarak B0 yakıtının yanma verimi düşmektedir. B0 yakıtının ölçülen HC emisyon değerleri motor devrindeki artışla beraber artmıştır.

Elde edilen motor gücü değişimleri Şahin'in (2014) yaptığı "Hardal yağından elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi" isimli yüksek lisans tezindeki hardal yağı metil esteri ve standart dizel yakıtı karışımları ile motor gücü sonuçları ile benzerdir.

4.1.2. Motor tork değişimi



Şekil 4.2. Motor devrine bağlı olarak yakıtların motor torkları değişimi

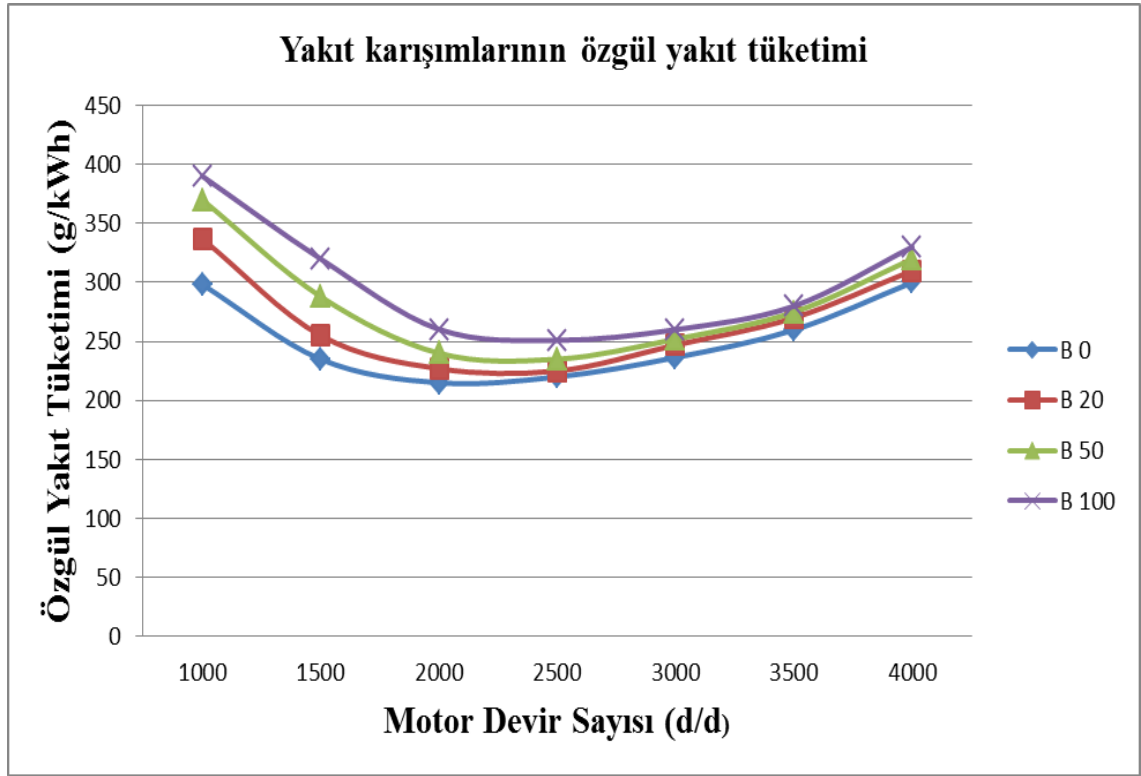
Yakıt türlerinin hepsinde maksimum tork motor tam yükte 2000 d/d gerçekleşmiş olup B0 için 168,6 Nm, B20 için 164 Nm, B50 için 157 Nm ve B100 için 152 Nm ölçülmüştür. B100'ün tork değeri B0 yakıtından yaklaşık %10 düşüktür. Motor devrine bağlı olarak yakıtların motor torkları değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir.

B100'ün ürettiği tork 3200 d/d sonra B0 yakıtını geçmektedir. B0 yakıtına göre B100 yakıtı için motor gücünde artışa neden olan faktörlerin burada da etkili olduğunu söylenebilir.

Elde edilen tork değişimleri Şahin'in (2013) yaptığı "Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması" isimli çalışmasındaki motor torku sonuçları ile benzerdir.

4.1.3. Özgöl yakıt tüketimi değişimi

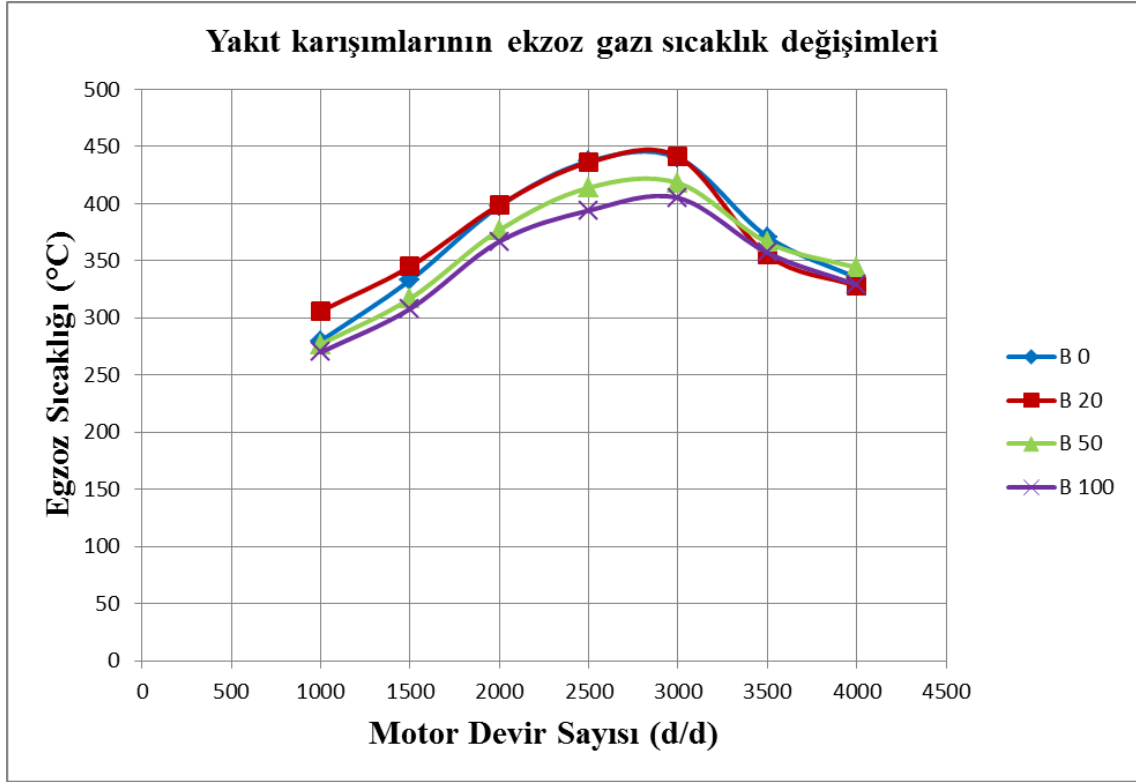
B0 yakıtı hariç diğer yakıt türlerinin hepsinde minimum özgöl yakıt tüketimi maksimum tork değerlerine paralel olarak motor tam yükte 2000 d/d; B0 yakıtında 2500 d/d gerçekteşmiş olup yedi ölçüm noktasının ortalama özgöl yakıt tüketimleri B0 için 262,78 g/kWh, B20 için 272,25 g/kWh, B50 için 281,04 g/kWh ve B100 için 287,57 g/kWh olarak ölçölmüştür. Diğer test yakıtlarına göre B100 yakıtının özgöl yakıt tüketimi 3200 d/d motor devrinde en az olmaktadır. Motor güçleri değişimi grafiğinde B100 yakıtıyla elde edilen gücün 3200 d/d sonra B0 yakıtını geçtiği görölmüştü. Motor devrine bağlı olarak yakıtların özgöl yakıt tüketim değişimleri Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Motor devrine bağlı olarak yakıtların özgöl yakıt tüketim değişimleri

Özgöl yakıt tüketimi değerlerindeki değişmeler Şahin'in (2014) yaptığı "Hardal yağından elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi" isimli çalışmasındaki değerlerle uyum içerisinde.

4.1.4. Egzoz gazları sıcaklık değişimleri

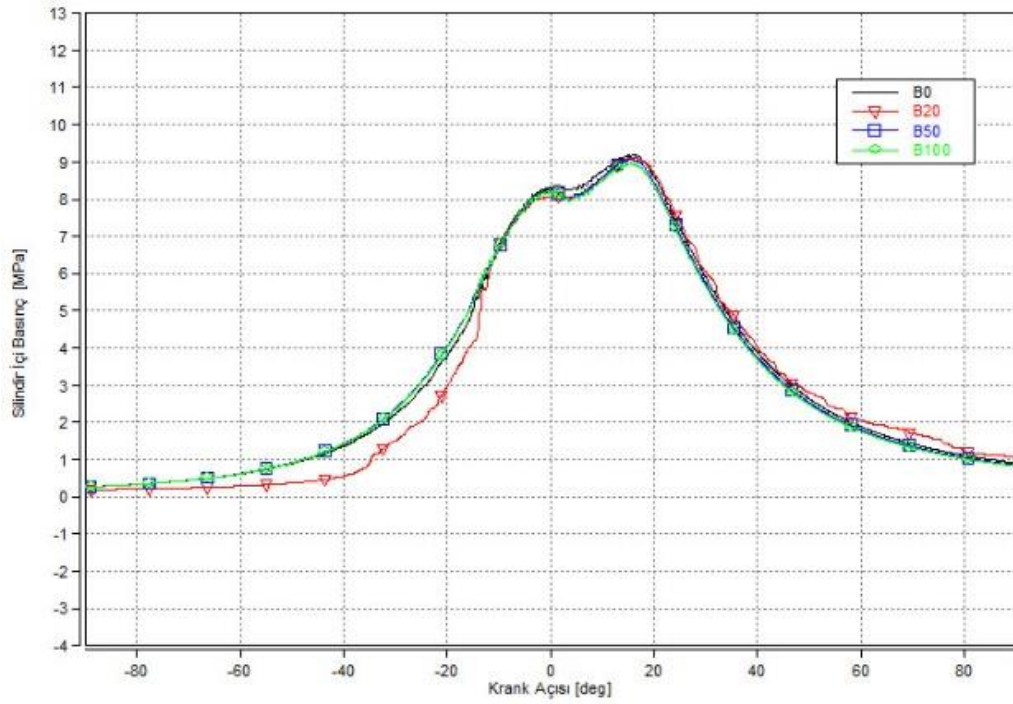


Şekil 4.5. Egzoz gazları sıcaklık değişimleri

Egzoz gazları sıcaklık değişimleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Egzoz gazı sıcaklıkları yakıtların sahip oldukları alt ısı değerleri ve yakıtların yanma verimleri ile doğru orantılıdır. Grafik incelendiğinde en az egzoz gazı sıcaklığının B100 ile sağlandığı görülmektedir.

4.1.5. Yanma karakteristiği

Yanma karakteristiği olarak silindir içi gaz basıncı incelenmiştir. İçten yanmalı bir motorda herhangi bir yakıtın yanması sonucunda silindir içerisinde meydana gelen mekanik yüklemelerin krank açısına göre dağılımı silindir gaz basıncı eğrileri ile ifade edilmektedir (Aydoğan, 2015). Deney motorunun silindir içi gaz basınçları çevrimlerde en fazla kullanılan maksimum tork değerinin elde edildiği 2000 d/d devrinde ölçülmüştür. Şekil 4.6'da farklı motor yakıtlarına ait silindir gaz basınç değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.

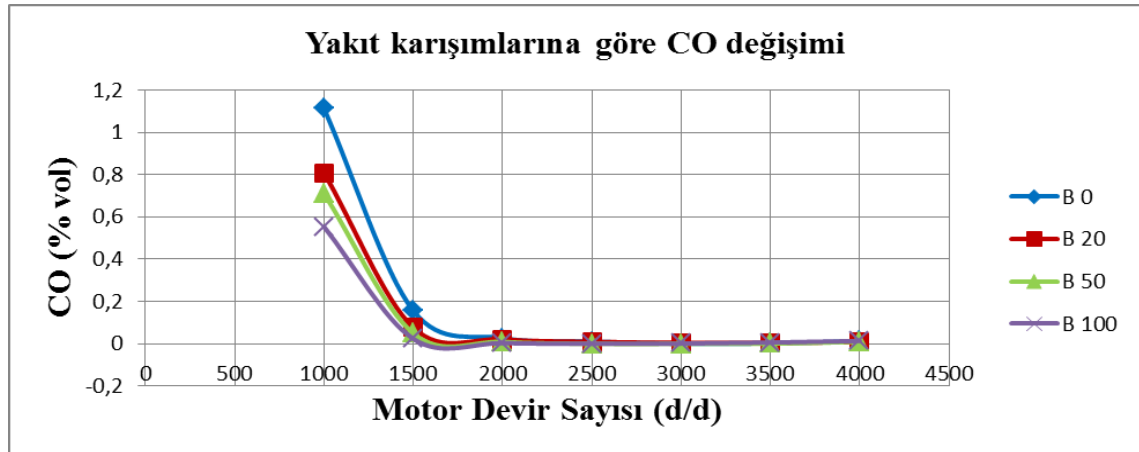


Şekil 4.6. Silindir içi basınç değerleri

Silindir içi basınç ölçümünde basınç değerleri krank milinin her 0,5 derecesinde, 120 çevrim boyunca kayıt edilmiş ve ortalamaları alınmıştır. Şekil incelendiğinde 2000 d/d'da silindir içi gaz basınçlarının bütün yakıt türlerinde bir birine oldukça benzediği görülmektedir. En yüksek basınç değeri 9 MPa olarak dizel yakıtında; en düşük değer ise 8,8 MPa ile B100 yakıtında ölçülmüştür.

4.2. Yakıtların Egzoz Emisyonları

4.2.1. CO değişimleri



Şekil 4.7. Yakıtların CO değişimleri

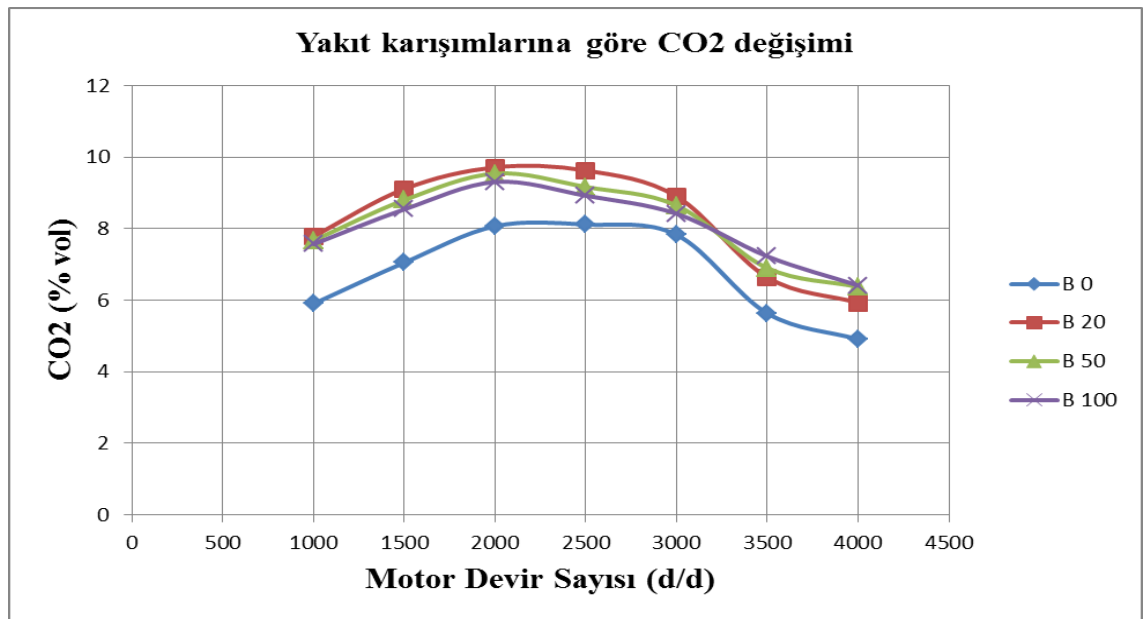
Yakıtların sırasıyla ortalama CO değerleri B0 için 0,19, B20 için 0,13, B50 için 0,11 ve B100 için 0,085 olarak hesaplanmıştır. Maksimumu CO değerleri B100 yakıtı için 0,55 ve B0 yakıtı için 1,1 ölçülmüştür. Hesaplanan ortalama değerleri karşılaştırdığımızda B100 yakıtının CO emisyonunun 0,19 ve B0 yakıtının CO emisyonunun 0,085 olduğu görülmektedir. CO emisyonunda B100 yakıtı büyük bir avantaj sağlamaktadır. B100 yakıtı oksijen içeriğinin yanma veriminde etkili olduğu söylenebilir.

Çalışmada ölçülen CO değerleri SEL'in (2013) yaptığı "Atık biyodizel kullanılan bir motorda yakıt katkısının performans ve emisyonlara etkisi" isimli çalışmadaki değerlerle uyum içerisinde.

4.2.2. CO₂ değişimleri

Karbondioksit, bir karbon ve iki oksijen atomundan kovalent bağ sonucu oluşan molekülün adıdır. Molekül formülü CO₂ ve molekül ağırlığı 44,009 g/mol'dür. Renksiz, kokusuz bir gazdır.

Yanma ürünleri arasında CO₂ bulunmasının ana nedeni karbon atomunun silindir içerisinde yeterli oksijen ile buluşmasıdır. Normal karışım oranlarında karışım içerisindeki hava miktarı en azından stokiometrik değerlerde olduğunda karbon silindir içerisinde yeterli oksijenle reaksiyona girerek tam yanmanın ürünü olan CO₂'yi oluşturur. Yakıtların CO₂ değişimleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



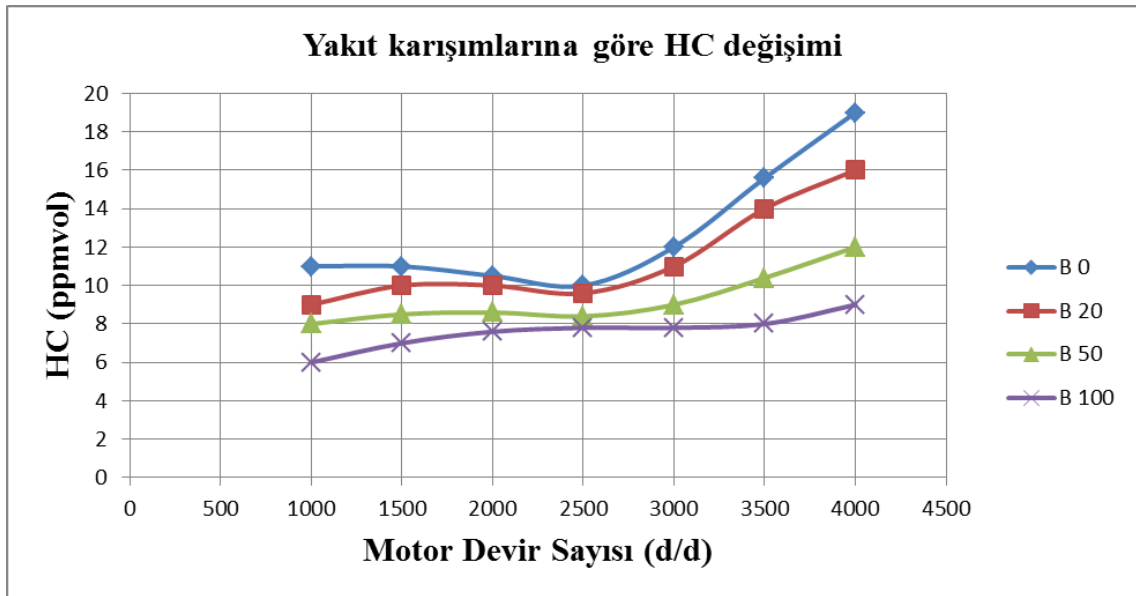
Şekil 4.8. Yakıtların CO₂ değişimleri

Yakıtların 1000-1500-2000-2500-3000-3500 ve 4000 d/d emisyon ölçüm noktalarının sırasıyla ortalama CO₂ değerleri B0 için 6,79, B20 için 8,24, B50 için 8,16 ve B100 için 8,05 olarak hesaplanmıştır. B100 yakıtı B0 yakıtına göre biraz daha fazla CO₂ üretmektedir. Zengin karışım bölgelerinde yakıtın yapısındaki oksijenin yanma verimine katkı sağlaması sonucunda sağlıklı yanmanın bir ürünü olan CO₂ miktarı artmış olabilir.

Bulunan değerler Albayrak'ın (2014) yaptığı "Biyodizelin tek silindirli bir dizel motorun performans, emisyon ve titreşimlerine olan etkilerinin incelenmesi" isimli çalışmada ki sonuçlara benzerdir.

4.2.3. HC değişimleri

Hidrokarbon, hidrojen ve karbon atomlarından oluşan molekülün adıdır. Yakıt, hidrokarbon bileşiklerinden meydana gelir. Silindir içerisinde buharlaşan fakat oksijenle tepkimeye giremeyen bir kısım hidrokarbon buharı bu emisyonun kaynağıdır. Yakıtların HC değişimleri Şekil 4.9'da verilmiştir.



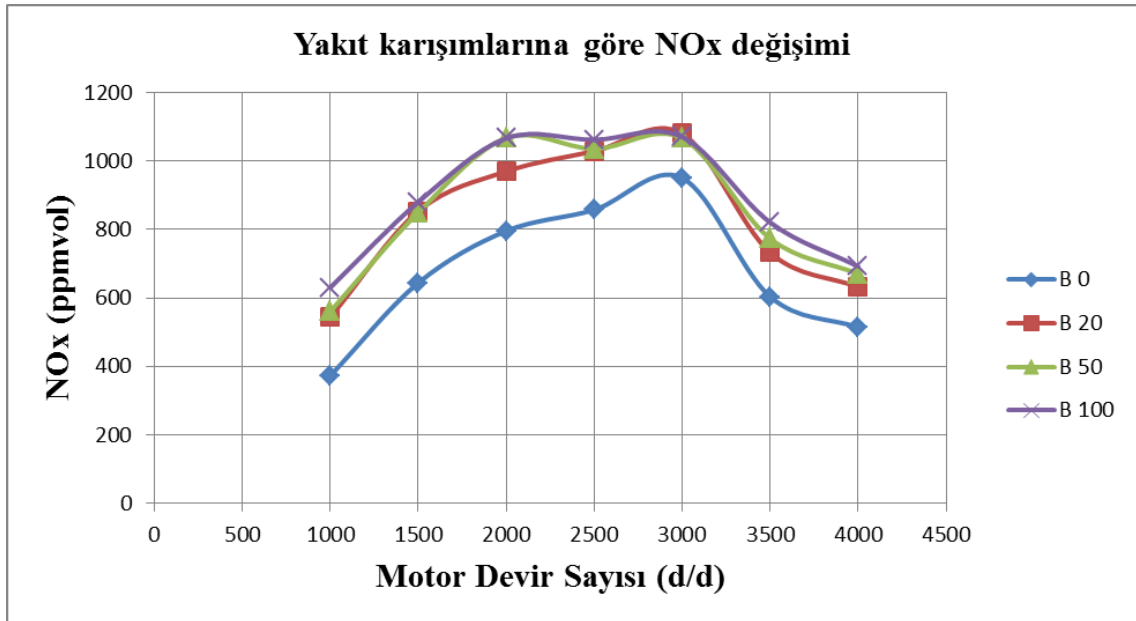
Şekil 4.9. Yakıtların HC değişimleri

Yakıtların sırasıyla ortalama HC değerleri B0 için 10,6, B20 için 11,07, B50 için 8,5 ve B100 için 7,07 olarak gerçekleşmiştir. B100 yakıtı B0 yakıtına göre daha az HC üretmektedir. Bu durumun gelişiminde zengin karışım bölgelerinde B100 yakıtının yapısındaki oksijen içeriğinin yanma verimini arttırması olabilir.

4.2.4. NO_x değişimleri

Azotoksit, azot ve oksijen atomlarından oluşan molekülün adıdır. Stokiyometrik orana yakın hava yakıt karışımlarında yanma sırasında oluşan NO_x miktarı yüksektir. Gaz sıcaklığı ve oksijen konsantrasyonu NO_x oluşumunu arttıran parametreler olarak karşımıza çıkar. İçten yanmalı motorlarda yanma odasındaki sıcaklık 1800 K'nin üzerine çıktığında, havanın içerisindeki azot ile oksijenin kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksit oluşumları görülür.

Yakıtların 1000-1500-2000-2500-3000-3500 ve 4000 d/d emisyon ölçüm noktalarının sırasıyla ortalama NO_x değerleri B0 için 676,86, B20 için 834,14, B50 için 860,43 ve B100 için 888,86 olarak gerçekleşmiştir. B100 yakıtı B0 yakıtından daha fazla NO_x üretmektedir. Yakıtların NO_x değişimleri Şekil 4.11'de verilmiştir.

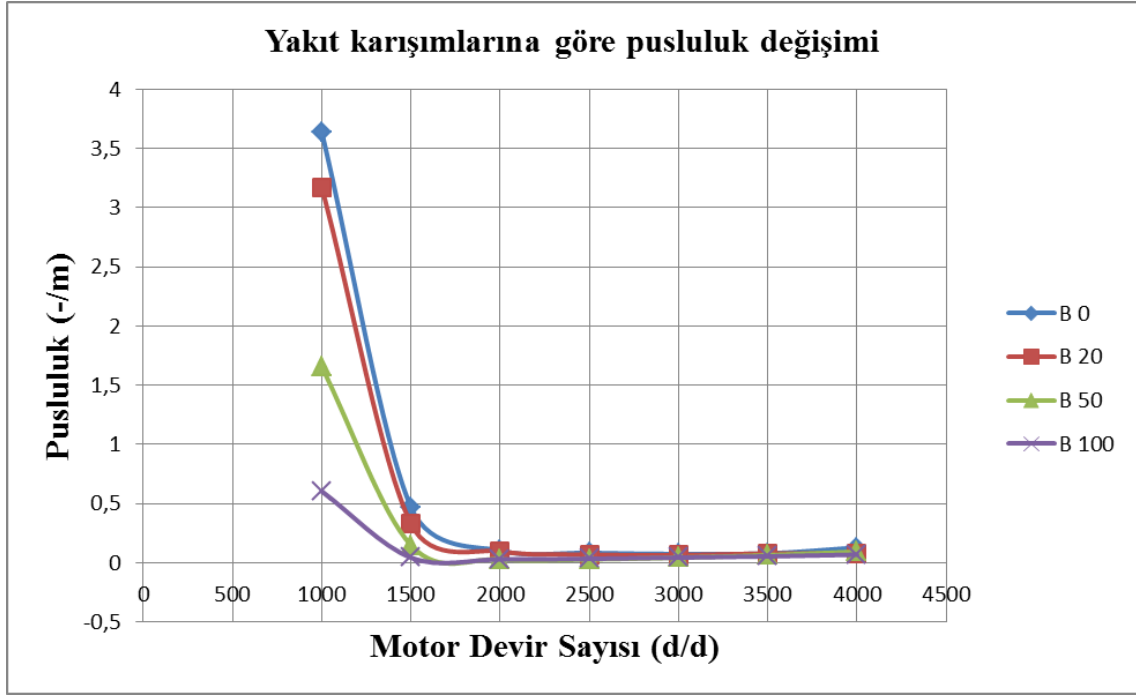


Şekil 4.11. Yakıtların NO_x değişimleri

Bu durumun nedeni B100 yakıtının oksijen içerikli olmasından dolayı yanma veriminin yüksekliği; silindir içi yanma sonu sıcaklığının 1800 K'den fazla oluşu ve azot ile oksijenin daha fazla miktarda kimyasal reaksiyona katılmasıdır.

Çalışmada elde edilen NO_x değerleri Şen'in (2012) yaptığı çalışmadaki değerlere benzerdir.

4.2.5. Pusululuk değışimleri



Şekil 4.12. Yakıtların pusluluk değışimleri

Pusluluğun azalması, yanma veriminin bir miktar arttığının işaretidir. Hava kirliliğinin azalması açısından pusluluk değeri önemlidir. Yapılan araştırmalar B0 yakıtının yapısındaki aromatik bileşiklerin bu yakıtın pusluluk değeri yüksek çıkmasında birinci neden olduğunu göstermektedir. Metil esterin yapısında ihmal edilecek kadar düşük miktarda aromatik ve sülfür barındırması pusluluk emisyonlarında ciddi azalmalar sağlamaktadır (Albayrak 2014).

Yakıtların pusluluk değışimleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Yakıtların 1000-1500-2000-2500-3000-3500 ve 4000 d/d emisyon ölçüm noktalarının sırasıyla ortalama pusluluk değeri B0 için 0,66, B20 için 0,56, B50 için 0,30 ve B100 için 0,13 olarak hesaplanmıştır. B100 yakıtına göre B0 yakıtı çok daha pusludur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada ketencik biyodizeli ve karışımlarının dizel yakıtına göre dizel motorlarda performans ve emisyonları karşılaştırılmıştır. Ketencik biyodizelinin alt ısıl değerinin dizel yakıtından %10 düşük oluşu sebebiyle motor güç ve tork değerleri biraz düşük ve özgül yakıt tüketimi biraz yüksek gerçekleşmiştir. Ketencik biyodizelinin yapısındaki oksijen bütün koşullarda yanma verimine katkı sağlayarak motor performans kayıplarının daha düşük seviyelere indirgenmesinde ve yanma kimyasal reaksiyonlarında aktif olarak rol alması sonucunda emisyonlarda daha az CO, HC ve pusluluk; daha fazla CO₂ ve NO_x oluşumlarında etkili olmuştur.

Yakıtların performans ve emisyon sonuçları aşağıda verilmiştir:

1- Yakıt türlerinin hepsinde maksimum güç motor tam yükte 2800 d/d gerçekleşmiş olup B0 için 40kW, B20 için 39kW, B50 için 38,5kW ve B100 için 37kW ölçülmüştür.

2- Yakıt türlerinin hepsinde maksimum tork motor tam yükte 2000 d/d gerçekleşmiş olup B0 için 168,6 Nm, B20 için 164 Nm, B50 için 157 Nm ve B100 için 152 Nm ölçülmüştür.

3- Dizel yakıtı hariç diğer yakıt türlerinin hepsinde minimum özgül yakıt tüketimi maksimum tork değerlerine paralel olarak motor tam yükte 2000 d/d; dizel yakıtında 2500 d/d gerçekleşmiş olup ortalama özgül yakıt tüketimleri B0 için 262,78 g/kWh, B20 için 272,25 g/kWh, B50 için 281,04 g/kWh ve B100 için 287,57 g/kWh ölçülmüştür. Yalnız 3200 d/d motor devrinden sonra B100 yakıtının özgül yakıt tüketimi en az olmaktadır.

4- 2000 d/d'da silindir içi gaz basınçlarının bütün yakıt türlerinde bir birine oldukça benzediği görülmektedir. En yüksek basınç değeri 9 MPa olarak dizel yakıtında; en düşük değer ise 8,8 MPa ile B100 yakıtında ölçülmüştür.

5- Yakıtların sırasıyla ortalama CO değerleri B0 için 0,19, B20 için 0,13, B50 için 0,11 ve B100 için 0,085 olarak gerçekleşmiştir. B100 yakıtı dizel yakıtının yaklaşık %45 oranında CO üretmektedir.

6- Yakıtların sırasıyla ortalama CO₂ değerleri B0 için 6,79, B20 için 8,24, B50 için 8,16 ve B100 için 8,05 olarak gerçekleşmiştir. B100 yakıtı dizel yakıtına göre yaklaşık %18,5 oranında daha fazla CO₂ üretmektedir.

7- Yakıtların sırasıyla ortalama HC değerleri B0 için 10,6, B20 için 11,07, B50 için 8,5 ve B100 için 7,07 olarak gerçekleşmiştir. B100 yakıtı dizel yakıtına göre yaklaşık %33 oranında daha az HC üretmektedir.

8- Yakıtların sırasıyla ortalama NO_x değerleri B0 için 676,86, B20 için 834,14, B50 için 860,43 ve B100 için 888,86 olarak gerçekleşmiştir. B100 yakıtı dizel yakıtına göre yaklaşık %31,32 oranında daha fazla NO_x üretmektedir.

9- Yakıtların sırasıyla ortalama pusluluk değerleri B0 için 0,66, B20 için 0,56, B50 için 0,30 ve B100 için 0,13 olarak gerçekleşmiştir. B100 yakıtına göre dizel yakıtı 5 kat oranında daha pusludur.

Elde ettiğimiz deneysel sonuçlarla yapılan diğer çalışma sonuçları birbirine yakın olup biyodizel ve karışımlarında motor gücünün ve torkunun düştüğü, özgül yakıt tüketiminin arttığı; CO, HC ve pusluluk emisyonlarında ciddi düşüşler ve CO_2 ile NO_x emisyonlarında artışların olduğu görülmüştür.

5.2. Öneriler

NO_x azaltılması için silindir içi yanma sonu sıcaklığının 1800 K'nin altına düşürülmesi gerekmektedir. Ancak bu şekilde kimyasal reaksiyona katılan N-O miktarını en aza indirgenebilir. Soğuk akış özellikleri ve motor performans ve özgül yakıt tüketim verilerine göre B0 yakıtına çok yakın değerler sergileyen B20 yakıtının kullanımı avantaj sağlarken emisyon verileri açısından ise B50 yakıtı ön plana çıkmaktadır. B20 ve B50 yakıtının kullanımı diğer yakıt karışımlarına göre daha uygundur. B20 ve B50 arasındaki değişik karışımlar kullanılarak daha farklı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu M, 2003. Alternatif enerji kaynakları, Nobel Yayınevi, 1. Basım, ISBN 975-6574-25-9, Ankara, 229-259.
- Acaroğlu M, 2013. Alternatif enerji kaynakları, Nobel Yayınevi, 3. Basım Ekim 2013, ISBN 978-605-730-133-620-6, Ankara, 359-491.
- Akgün G, Bayındır H, Aydın H, Düz Z, (2009). Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve teknik değerlerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu. Diyarbakır: 131-5.
- Aktaş A, Sekmen Y, 2008. Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi. Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Der., 23, 199-206.
- Albayrak S, 2014. Biyodizelin tek silindirli bir dizel motorun performans, emisyon ve titreşimlerine olan etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce.
- Alptekin E, Çanakçı M, 2006. Biyodizel ve Türkiye'deki durumu. Mühendis ve Makine, Ankara, 47, 58.
- Alptekin E, Çanakçı M, (2011). Hayvansal kökenli yağlardan biyodizel üretimi. VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKS, 2011) Kayseri: 1-9.
- Altınsoy AS, 2007. Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye'deki kaynakların incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Altun Ş, 2009. Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Anastasov A, 2014. Biodiesel—Basic Characteristics, Technology and Perspectives. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 23, sup1, 755-9.
- Anonim, 2015. Türkiye, <http://www.albiyobir.org.tr/biyyakitlar.htm>. [Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2015].
- Anonim, (2015 a). Türkiye, http://tr.wikipedia.org/wiki/Dizel_motor: [Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2015].
- Anonim, (2015 b). Türkiye, <http://www.unkamuhendislik.com/projelerimiz/biyodizel-tesisleri>: [Ziyaret Tarihi: 04 Temmuz 2015].
- Ar FF, 2008. Biyoyakıtlar tehdit mi-Fırsat mı? Mühendis ve Makine Dergisi, 581.
- Arslan M, 2015. Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve yabancı zeytinden (oleaoleaster) üretilecek biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Artukoğlu BD, 2006. Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Aydoğan H, 2015, Performance, Emission And Combustion Characteristics Of Bioethanol-Biodiesel-Diesel Fuel Blends Used In A Common Rail Diesel Engine, Journal of Thermal Science and Technology, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Journal of Thermal Science and Technology, 35, 2, 19-27, ISSN: 1300-3615.
- Ciubota-Rosie C, Ruiz JR, Ramos MJ, Perez A, 2013. Biodiesel from Camelina sativa: A comprehensive characterisation. Fuel, 105, 572-7.
- Çağla D, 2013. Biyodizel dizel karışımlarının bazı fiziksel özelliklerinin biyodizel oranı ile değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Çetin M, Kuş H, 2010. Biyoetanol yakıtların emisyon karakteristikleri ve Erzincan'ın biyoetanol yakıt üretim potansiyeli EÜFBED-Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3, 19-35.

- Demirbas A, 2005. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31, 5–6, 466-87.
- Dinçbaş A, 2007. Biyodizel kullanımının dizel motoru üzerindeki etkilerinin uzun süreli testlerle ve motorinle karşılaştırmalı olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Dobrucalı E, 2007. Biyodizelin bir gemi dizel motorunun performansına olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Drenth AC, Olsen DB, Cabot PE, Johnson JJ, 2014. Compression ignition engine performance and emission evaluation of industrial oilseed biofuel feedstocks camelina, carinata, and pennycress across three fuel pathways. *Fuel*, 136, 143-55.
- Drenth AC, Olsen DB, Denef K, 2015. Fuel property quantification of triglyceride blends with an emphasis on industrial oilseeds camelina, carinata, and pennycress. *Fuel*, 153, 19-30.
- Ergen G, 2006. Ön ısıtma uygulanarak kullanılan biyodizel yakıtının motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Fedai Ö, 2006. Transesterifikasyon ile kanola yağı metil esteri sentezinin optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Felizardo P, Correia MJ, Raposo I, Mendes JF, Berkemeier R, Bordado JM, 2006. Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management*, 26, 487-94.
- GBEP, (2007). A Review of the Current State of Bioenergy development in G8+5 Countries. Rome.
- Gerpen JV, Shanks B, Pruszko R, Clements D, Knothe G, (2004). Biodiesel Production Technology. Colorado, NREL National Renewable Energy Laboratory. **NREL/SR 510-36244**: 22-7.
- Gizlenci Ş, Acar M, (2008). Enerji bitkileri tarımı ve biyoyakıtlar. Samsun, Karadeniz Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü: 1-18.
- Gülüm M, 2014. Çeşitli üretim parametrelerinin mısır ve fındık yağından üretilen biyodizellerin önemli yakıt özelliklerine etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Haşimoğlu C, 2005. Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Hatunoğlu EE, 2010. Biyoyakıt politikalarının tarım sektörüne etkileri, Uzmanlık Tezleri, Ankara.
- İleri E, 2012. Biyodizele antioksidan eklenmesinin NOx emisyonuna etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Kafadar AB, 2010. Yağlardan biyodizel eldesine etki eden faktörlerin araştırılması Doktora Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- Kaya M, 2010. Biyodizel-dizel karışımı bir dizel motorda püskürtme basıncının performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Kurt O, Seyis F, 2008. Alternatif yağ bitkisi: Ketencik (*Camelina sativa* (L.) Crantz). *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23, 116-20.
- Nişancı S, 2007. Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Niyet M, 2009. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının motor aşınmasına olan etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Öğüt H, Oğuz H, 2006. Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel, Nobel Yayınevi, 2. Basım, ISBN 975-591-730-6, Ankara, 25-123.
- Ölçüm T, 2006. Biyodizel teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özçelik AE, 2011. Aspir biyodizelinin ve motorinle karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda yağlama yağına etkilerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Özçelik AE, Aydoğan H, Acaroğlu M, 2015. Determining the performance, emission and combustion properties of camelina biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, 96, 47-57.
- Özsezen AN, Çanakçı M, 2009. Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15, 173-80.
- Saez-Bastante J, Ortega-Roman C, Pinzi S, Lara-Raya FR, Leiva-Candia DE, Dorado MP, 2015. Ultrasound-assisted biodiesel production from Camelina sativa oil. *Bioresour Technol*, 185, 116-24.
- Sel ÖF, 2013. Atık biyodizel kullanılan bir motorda yakıt katkısının performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Sun Y, Ponnusamy S, Muppaneni T, Reddy HK, Patil PD, Li C, Jiang L, Deng S, 2014. Optimization of high-energy density biodiesel production from camelina sativa oil under supercritical 1-butanol conditions. *Fuel*, 135, 522-9.
- Şahin A, 2014. Hardal yağından elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.
- Şahin S, 2013. Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Şanlı H, 2014. Atık kızartma yağlarının karakterizasyonu ve biyodizel üretiminde değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Şeker S, 2007. Biyodizel üretimi ve katkı maddelerinin yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Şen S, 2012. Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Tütüncü H, 2013. Transesterifikasyonla balık yağı metil esteri sentezinin optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyonkarahisar.
- Yaşar F, 2016. Yosun yağından biyodizel üretimi ve bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılması, Doktora Tezi, Batman Üniversitesi, Batman.
- Yüce İ, 2008. Alternatif yakıt olarak biyodizelin Türkiye'deki ve Almanya'daki durumu ile taşıtlarda kullanımının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Rahman ŞİMŞEK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : İSTANBUL 08.10.1973
Telefon : 0505 741 48 19
Faks :
e-mail : rahmansimsek@mynet.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi, Ereğli, KONYA	1992
Üniversite	: Gazi Üniversitesi, ANKARA	1996
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1996	Karaman Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi	Öğretmen

UZMANLIK ALANI: Motor Performansı ve Emisyonları

YABANCI DİLLER: İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

1. Rahman ŞİMŞEK, Hasan AYDOĞAN, Ketencik Biyodizelinin Common Rail Enjeksiyon Sistemli Bir Motorun Performansına Etkileri Ve Yanma Karakteristikleri, 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 23 – 24 Mayıs 2016, 95-100, Bursa, Türkiye.
2. Rahman ŞİMŞEK, Hasan AYDOĞAN, Ketencik Biyodizelinin Üretimi Ve Common Rail Enjeksiyon Sistemli Bir Motorun Emisyonlarına Etkisi, V. Mühendislikte Yakıtlar, Yanma ve Yangın Konferansı – FCE2016, International Conference On Fuels And Combustion In Engines, 18-20 Ocak 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul / Türkiye.