

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BIODİZELİN OKSİTLENMESİNİN YAKIT
ÖZELLİKLERİNE ve MOTOR PERFORMANSINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömür SALTIK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmet ÇEVİK

Eylül 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİODİZELİN OKSİTLENMESİNİN YAKIT
ÖZELLİKLERİNE ve MOTOR PERFORMANSINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömür SALTİK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmet ÇEVİK

Bu tez .. / .. /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Alternatif yakıtlar, etanol, metanol, LPG, doğalgaz, hidrojen, bitkisel yağlar, biodizel, oksidasyon, peroksit.

Nüfusun hızla artmasından dolayı enerjiye olan ihtiyaç da hızla artmaktadır. Bununla birlikte insanoğlunun en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtlar hızla tükenmekte ve tükenirken de çevreyi kirletmektedir. Bu nedenlerden dolayı araştırmacılar, uzun yıllardır yenilenebilir alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapmaktadırlar.

Bu çalışmada da, içten yanmalı motorlarda kullanılabilen etanol, metanol, LPG, doğalgaz, hidrojen, bitkisel yağlar ve biodizel gibi alternatif enerji kaynakları üzerinde incelemeler yapılmış, özellikle biodizel ayrıntılı olarak incelenmiştir. Biodizel, dizel motorları için hayvansal ve bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen alternatif bir dizel yakıtıdır.

Deneysel çalışmada, rafine pamuk yağının metil esteri üretimi yapılmış, üretilen metil esteri 18 saat boyunca hava ile yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş, yakıt özelliklerini ve yaşlandırma neticesindeki peroksit değerini belirlemek için analizler yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde oksidasyonun süresine bağlı olarak yakıtın peroksit değerinin, viskozitesinin ve setan sayısının arttığı görülmüştür.

Ayrıca biodizel ve yaşlandırılmış biodizel, dizel yakıtı ile % 20 oranında karıştırılarak tek silindirli dizel motorunda teste tabi tutulmuştur. Motor karakteristikleri bir bütün olarak incelendiğinde B20 yakıtı ile dizel yakıtının benzer özellikler sergilediği, kimi motor devir aralıklarında ise her iki yakıtın aynı değerleri verdiği gözlemlenmiştir. YB20 yakıtı ise düşük motor devirlerinde dizel ve B20 yakıtına nazaran daha iyi performans göstermesine rağmen yüksek devir sayılarında bu üstünlüğünü kaybettiği yapılan deneyler esnasında görülmüştür.

INVESTIGATION OF BIODIESEL OXIDATION EFFECT ON FUEL PROPERTIES AND ENGINE PERFORMANCE

SUMMARY

Key Words: Alternative fuels, ethanol, methanol, LPG, natural gas, hydrogen, vegetable oils, biodiesel, oxidation, peroxide.

The need of energy has been speedily increasing because of growing population. However, fossil fuels that are the most important energy source of mankind, has been speedily exhausting, polluting the environment. On account of this reason, scientists have been studying on the subject of renewable alternative energy resources for long years.

In this study, alternative fuels like ethanol, methanol, LPG, natural gas, hydrogen, vegetable oils, biodiesel which can be used for internal combustion engines were investigated. Particularly, subject of biodiesel detailed. Biodiesel is an alternative fuel for diesel engines that can be produced from renewable feed stocks such as vegetable oil and animal fats.

In the experimental study section, edible refined cotton oil used to produce methyl ester. Then methyl ester that was produced, have been aged by air for 18 hours. To designate the fuel properties and peroxide value during the oxidation process analyses were made. Analyses show that peroxide value, cetane number and viscosity increased depending on oxidation time.

In addition, biodiesel and aged (oxidized) biodiesel have been mixed with diesel fuel proportion of 20 %. All fuels tested in a single cylinder diesel engine. All the engine characteristics show that B20 blends and diesel fuel have similar features, also they have same characteristic in some periods. Although oxidized biodiesel and diesel fuel blend has better performance than other fuels in low motor speed periods, it has not got good performance as other fuels in high motor speed periods.

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasında, rafine edilmiş pamuk yağından metil ester üretilmiş ve yakıt özellikleri tespit edilmiştir. Üretilen metil ester (biodizel) 18 saat boyunca yaşlandırma (oksidasyon) işlemine tabi tutulmuş ve zamana bağlı olarak biodizelin peroksit sayısındaki değişim incelenerek nedenleri araőtırılmıőtir. Ayrıca biodizel ve yaşlandırılmış biodizel, dizel yakıtı ile % 20 oranında karıştırılarak tek silindirli dizel motorunda teste tabi tutulmuőtir.

Tez çalıőmalarımın başladığı günden itibaren benimle her konuda ilgilenen ve yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. İsmet ÇEVİK'e, peroksit analizleri esnasında her türlü olanakları sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. İ. Ayhan ŞENGİL'e, katkı ve yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Can HAŐIMOĐLU'na, motor deneylerin yapılması sırasında yardımını esirgemeyen Arő. Gör. Murat KAPSIZ, teknisyen Hasan GÜREL ve Ferdi NARLI'ya, maddi ve manevi olarak desteğini esirgemeyen Sinan SALTİK'a teőekkürü bir borç bilirim.

Bu çalıőmayı, beni bu günlere getiren aileme ithaf ediyorum.

Ömür SALTİK

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN	
ALTERNATİF YAKITLAR.....	10
2.1. Etanol	10
2.2. Metanol	11
2.3. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG).....	13
2.4. Doğalgaz	15
2.5. Hidrojen	17
2.6. Bitkisel Yağlar	19
BÖLÜM 3.	
BİODİZELİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI.....	21
3.1. Giriş.....	21
3.2. Bitkisel Ve Hayvansal Yağların Kimyasal Yapısı	24
3.3. Biodizel Üretimi.....	25
3.3.1. Seyreltme Yöntemi	26
3.3.2. Mikroemülsiyon Oluşturma Yöntemi	26
3.3.3. Piroliz Yöntemi	26

3.3.4. Transesterifikasyon (Alkoliz) Yöntemi.....	27
3.4. Biodizel Standartları	29
3.5. Biodizelin Yakıt Özellikleri	32
3.6. Peroksit Sayısı.....	33
3.7. Biodizelin Oksitlenme Kararlılığı	34
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMA	37
4.1. Deneylerde Kullanılan Biodizelin Üretilmesi.....	37
4.2. Biodizelin Yaşlandırılması (Oksidasyonu) İşlemi	43
4.3. Peroksit Tayini	44
4.4. Parlama Noktası Tayini.....	46
4.5. Motor Performans Deneyleri.....	47
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA	52
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1a. Trigliserit.....	24
Şekil 3.1b. Trilaurin	24
Şekil 3.2. Tipik bir yağ asidinin kimyasal yapısı	24
Şekil 3.3. Metanol ve katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanılarak bitkisel yağın transesterifikasyonu.....	28
Şekil 4.1. Reaksiyon sırasında ısıtıcının üstten görünüşü.....	39
Şekil 4.2. Reaksiyon tamamlandıktan sonra ısıtıcının üstten görünüşü.....	40
Şekil 4.3. Yıkama işlemi başlangıcında saf su ile pamuk yağı metil ester karışımının durumu	40
Şekil 4.4. Enjektör vasıtasıyla asit püskürtülerek pH seviyesinin ayarlanması	41
Şekil 4.5. pH seviyesi ayarlandıktan sonra (pH = 7) yıkama işlemi.....	41
Şekil 4.6. Yıkama sonrasında minimum 12 saat boyunca dinlendirilmiş biodizel	42
Şekil 4.7. Elde edilen biodizel.....	43
Şekil 4.8. Yaşlandırma test düzeneğinin şematik görünümü	44
Şekil 4.9. Biodizel ve yaşlandırılmış biodizel yakıtlarının parlama noktalarının tespiti.....	47
Şekil 4.10. Deney düzeneği.....	49
Şekil 4.11. Deney düzeneğinin şematik görünüşü	49
Şekil 5.1. Yaşlandırma testi süresince biodizelin peroksit durumu	55
Şekil 5.2. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak moment değişimi.....	57
Şekil 5.3. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak efektif güç değişimi.....	58
Şekil 5.4. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak ortalama efektif basınç değişimi	59
Şekil 5.5. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak volümetrik verim değişimi	60
Şekil 5.6. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak efektif verim değişimi	61

Şekil 5.7. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi.....	62
---	----

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Dünya enerji tüketiminin bağı olduğu kaynaklar ve enerji tüketilen alanların yüzdesel gösterimi.....	2
Tablo 2.1.	Etanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	11
Tablo 2.2.	Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	12
Tablo 2.3.	Sıvılaştırılmış petrol gazlarının özellikleri	14
Tablo 2.4.	Doğalgazın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	16
Tablo 2.5.	Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	18
Tablo 3.1.	Bitkisel, hayvansal ve atık kızartma yağlarının yağ asidi dağılımı	25
Tablo 3.2.	Dizel yakıtı ile bitkisel yağların ve esterlerinin karşılaştırılması	29
Tablo 3.3.	ASTM D 6751 Biodizel standardı	30
Tablo 3.4.	EN 14214 Biodizel Avrupa Birliği standardı	31
Tablo 3.5.	Motorin ve biodizelin standart özellikleri.....	32
Tablo 4.1.	Pamuk yağının bitkisel ve kimyasal özellikleri	37
Tablo 4.2.	Deney motorunun teknik özellikleri.....	47
Tablo 4.3.	Motor testlerinde elde edilen bulgular ve hesaplanan değerler.....	50
Tablo 5.1.	Dizel yakıtı ve biodizelin standart özelliklerinin karşılaştırılması	52
Tablo 5.2.	Motorin, biodizel ve yaşlandırılmış biodizele ait yakıt analizleri.....	56

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Alternatif yakıtlar, etanol, metanol, LPG, doğalgaz, hidrojen, bitkisel yağlar, biodizel, oksidasyon, peroksit.

Nüfusun hızla artmasından dolayı enerjiye olan ihtiyaç da hızla artmaktadır. Bununla birlikte insanoğlunun en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtlar hızla tükenmekte ve tükenirken de çevreyi kirletmektedir. Bu nedenlerden dolayı araştırmacılar, uzun yıllardır yenilenebilir alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapmaktadırlar.

Bu çalışmada da, içten yanmalı motorlarda kullanılabilen etanol, metanol, LPG, doğalgaz, hidrojen, bitkisel yağlar ve biodizel gibi alternatif enerji kaynakları üzerinde incelemeler yapılmış, özellikle biodizel ayrıntılı olarak incelenmiştir. Biodizel, dizel motorları için hayvansal ve bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen alternatif bir dizel yakıtıdır.

Deneysel çalışmada, rafine pamuk yağının metil esteri üretimi yapılmış, üretilen metil esteri 18 saat boyunca hava ile yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş, yakıt özelliklerini ve yaşlandırma neticesindeki peroksit değerini belirlemek için analizler yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde oksidasyonun süresine bağlı olarak yakıtın peroksit değerinin, viskozitesinin ve setan sayısının arttığı görülmüştür.

Ayrıca biodizel ve yaşlandırılmış biodizel, dizel yakıtı ile % 20 oranında karıştırılarak tek silindirli dizel motorunda teste tabi tutulmuştur. Motor karakteristikleri bir bütün olarak incelendiğinde B20 yakıtı ile dizel yakıtının benzer özellikler sergilediği, kimi motor devir aralıklarında ise her iki yakıtın aynı değerleri verdiği gözlemlenmiştir. YB20 yakıtı ise düşük motor devirlerinde dizel ve B20 yakıtına nazaran daha iyi performans göstermesine rağmen yüksek devir sayılarında bu üstünlüğünü kaybettiği yapılan deneyler esnasında görülmüştür.

INVESTIGATION OF BIODIESEL OXIDATION EFFECT ON FUEL PROPERTIES AND ENGINE PERFORMANCE

SUMMARY

Key Words: Alternative fuels, ethanol, methanol, LPG, natural gas, hydrogen, vegetable oils, biodiesel, oxidation, peroxide.

The need of energy has been speedily increasing because of growing population. However, fossil fuels that are the most important energy source of mankind, has been speedily exhausting, polluting the environment. On account of this reason, scientists have been studying on the subject of renewable alternative energy resources for long years.

In this study, alternative fuels like ethanol, methanol, LPG, natural gas, hydrogen, vegetable oils, biodiesel which can be used for internal combustion engines were investigated. Particularly, subject of biodiesel detailed. Biodiesel is an alternative fuel for diesel engines that can be produced from renewable feed stocks such as vegetable oil and animal fats.

In the experimental study section, edible refined cotton oil used to produce methyl ester. Then methyl ester that was produced, have been aged by air for 18 hours. To designate the fuel properties and peroxide value during the oxidation process analyses were made. Analyses show that peroxide value, cetane number and viscosity increased depending on oxidation time.

In addition, biodiesel and aged (oxidized) biodiesel have been mixed with diesel fuel proportion of 20 %. All fuels tested in a single cylinder diesel engine. All the engine characteristics show that B20 blends and diesel fuel have similar features, also they have same characteristic in some periods. Although oxidized biodiesel and diesel fuel blend has better performance than other fuels in low motor speed periods, it has not got good performance as other fuels in high motor speed periods.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Gelişmişliğin bir göstergesi olan enerji tüketimi ve enerjiye olan talep gün geçtikçe artış göstermektedir. Bu talep, çoğunlukla petrol kökenli yakıtlarla karşılanmaktadır. Petrolün temininde karşılaşılan güçlükler, yakın bir gelecekte tükenmekte olması ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle insanoğlu petrole alternatif yakıtlar arayışı içerisine girmiştir.

Rudolf Diesel 1900 yılında Paris Fuarı'nda sergilediği ilk dizel motorunu yerfıstığı yağıyla çalışacak şekilde tasarlamıştı. Ancak o yıllarda petrolün temin edilebilirliği ve rahatlıkla kullanımı gibi faktörlerden dolayı bitkisel yağlara olan ilgi hemen hemen yok denecek kadar az olmuştur. İkinci dünya savaşı, 1970'lerdeki petrol darboğazı ve yeni dönemde çevre bilincinin artması yeni enerji kaynaklarına ilgiyi artırmıştır [1].

Günümüzde sürekli gelişen teknolojiye ayak uydurabilmek, gelişmiş toplumlar arasında yer alabilmek için güvenilir enerji kaynaklarına sahip olmak gerekir. Yeryüzünde kullanılan enerjinin % 90'ı fosil kökenli yakıtlardan elde edilmektedir. Tablo 1.1'de dünya enerji tüketiminin bağlı olduğu kaynaklar ve enerji tüketilen alanlar yüzdesel olarak gösterilmiştir.

Ülkemiz gibi petrol ihtiyacını kendi kaynaklarından karşılamaktan uzak olan ülkeler petrol ihtiyaçlarını dışarıdan karşılamakta ve bunun içinde büyük miktarlarda maddi kaynak ayırmaktadırlar. Bu durum dışa bağımlılığın bir göstergesidir. 1970'lerdeki petrol krizi bu dışa bağımlılığın ne derece kötü sonuçlara sebep olabileceğinin en belirgin örneği olmuştur. Ülkeler yaşadıkları bu petrol krizinden sonra kendi öz kaynaklarından elde edebilecekleri alternatif enerji kaynakları arayışına girmişlerdir.

Tablo 1.1. Dünya enerji tüketiminin bağlı olduğu kaynaklar ve enerji tüketilen alanların yüzdesel gösterimi [2]

Tüketilen Enerji Kaynakları		Enerjinin Tüketildiği Alanlar	
Petrol	% 39,4	Evsel	% 22,9
Kömür	% 21,2	Nakliye	% 20,6
Nükleer Enerji	% 6,3	Sanayi	% 37,8
Hidro-enerji	% 2,7	Enerji üretimi	% 18,7
Diğerleri	% 30,4		

Son yıllarda fosil kökenli yakıtların tükenmek üzere olan bir kaynak olmasının yanı sıra yanması ile çevreye verdiği zararlar toplumların dikkatini çekmiş ve 1997 yılında bu tehlikeyi göz önüne sermek için Kyoto Protokolü imzalanmıştır. Sözleşmede, başta petrol olmak üzere fosil enerji kaynaklarının kullanımına kısıtlama getirilmektedir [3].

İçten yanmalı motorların hayatı kolaylaştırmaya yönelik sağladığı faydaların yanı sıra çevreye verdikleri zararlar da büyüktür. İçten yanmalı motorlarda fosil kökenli yakıtların kullanılması neticesinde karbonmonoksit, karbondioksit, yanmamış hidrokarbonlar, azotoksitler, aldehytler, kurşun bileşenleri, kükürtdioksit, is ve partiküller açığa çıkar. Açığa çıkan bu maddelerin geneline emisyon adı verilmektedir.

Emisyonların insan sağlığına zararları şöyledir:

- Karbonmonoksit (CO), kalpte ritim bozukluğu, solunum yetmezliği, bilinç kaybı, kalp ve dolaşım bozukluklarına sebep olur.
- Hidrokarbonlar (HC), akciğer kanseri, bronşit, kalp hastalıkları, raşitizm gibi rahatsızlıklara neden olur.
- Azotoksitler (NOx), ciğerleri tahriş eder, cilt yanıkları, üst solunum yolu rahatsızlıkları, akciğer ödemeine neden olur.
- Kükürtdioksit, nefes darlığı, ödem, kronik bronşit ve akciğer hastalıklarına sebep olur.

– Kurşun bileşikleri ise sindirim rahatsızlıkları, zehirlenmeler, mide şikayetleri ve baş dönmesi gibi rahatsızlıklara neden olur.

İçten yanmalı motorların eksoz emisyonlarını insan ve çevre sağlığını tehdit etmeyecek düzeye çekmek için alternatif yakıt arayışları içine girilmiştir. Alternatif yakıtlar için yapılan çalışmalar petrol krizi dönemlerinde hız kazansa da kriz dönemleri sonrasında önemli ölçüde yavaşlama göstermiştir [4].

İçten yanmalı motorlarda çeşitli gaz ve sıvı yakıtlar alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Buji ateşlemeli motorlarda yaygın şekilde doğalgaz ve LPG kullanılmakta dizel motorlarda ise doğalgaz uygulamaları ve de bitkisel yağlar ile onların esterleri ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

Saf bitkisel yağların dizel motorlarında kullanımı ile ilgili çalışmalar dizel motorunun icadına kadar uzanmaktadır. Ancak bitkisel yağların yüksek viskoziteleri ile düşük uçuculuk gibi özelliklerinden dolayı dizel yakıtı ile karıştırılsalar bile motora zarar vermektedirler [5]. Bu sorunu aşmak için uzun bitkisel yağ moleküllerini küçük moleküllere dönüştüren esterleştirme diye ifade edilen işlemler yapılmaktadır. Bu işlemler neticesinde de biodizel yakıtı üretilmektedir.

Biodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal SoyDiesel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edildi. Kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından türetilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanır [6].

Biodizel üretimi için çeşitli üretim metotları olmakla birlikte bu metotlardan en yaygın olarak kullanılan transesterifikasyon yöntemidir. Bu yöntemle, bitkisel ve hayvansal yağları oluşturan trigliseritler parçalanarak yani içindeki gliserol alınarak kullanılan alkoldeki aktif radikali ile yer değiştiren bir ester dönüşümü sağlanmış olur. Böylece gliserol esaslı triesterler alkol esaslı monoesterlere dönüştürülür. Bu işlem ile setan sayısı ve ısı değeri korunurken çok büyük bir problem olan yüksek viskozite motorinin viskozitesine yaklaştırılır [7].

Biodizel ile ilgili dünya çapında bir çok araştırma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.

Şanlı ve Çanakçı yaptıkları çalışmada, biodizel yakıtı kullanıldığında açığa çıkan NO_x emisyonları üzerinde etkili olan tutuşma gecikmesi, setan sayısı, sıkıştırılabilirlik ve oksijen özelliği gibi yakıt özelliklerini incelemiştirler [7].

Altıparmak ve arkadaşları mısır yağı metil esteri ile yaptıkları çalışmada, mısır yağı metil esterinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyip tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda deneyerek dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Ölçülen tork ve güç değerlerinin dizel yakıtı ile elde edilen değerlere yakın olduğunu, CO ve duman emisyonlarının ise daha düşük olduğunu tespit etmişler, SO_x emisyonlarına ise rastlamamışlardır [8].

Altıparmak ve arkadaşları fındık yağı metil esteri ile yaptıkları çalışmada, fındık yağı metil esterinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyip tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda deneyerek dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Ölçülen tork ve güç değerlerinin dizel yakıtı ile elde edilen değerlere yakın olduğunu, CO ve duman emisyonlarının ise daha düşük olduğunu tespit etmişler, SO_x emisyonlarına ise rastlamamışlardır [9].

Çanakçı yaptığı çalışmasında, soya yağından üretilen biodizelin yanma, performans ve emisyon karakteristiklerini No. 2 dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır [10].

Karabektaş çalışmasında, motorin ve % 50 biodizel - %50 motorin karışımı yakıt kullanımının motor performansı üzerindeki etkisini motorin kullanımı ile karşılaştırmalı olarak iki silindirli, direk püskürtmeli bir dizel motorunda araştırmış, efektif momentin 1400 dev/dak'da biodizel kullanımı ile % 2, efektif gücün ise 2400 dev/dak'da % 3,2 oranında azaldığını, özgül yakıt sarfiyatının 1800 dev/dak'da % 6 oranında arttığını belirlemiştir [11].

Usta ve arkadaşları çalışmalarında, fındık yağı rafinasyon işleminin yan ürünü olan sabun stoğu ile kullanılmış ayçiçek yağı karışımından asit ve baz katalizörler ile

metanol kullanarak biodizel üretmişler ve üretilen biodizeli % 5, % 15 ve % 25 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırarak ön yanmalı turbo dizel motorunda motor performansı ve emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir [12].

Kuş ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bitkisel yağların motorlu taşıtlarda kullanılabilirliği ve emisyonlara olan etkileri araştırmışlardır [13].

Leung ve arkadaşları çalışmalarında, değişik depolama şartlarında biodizelin bozulma karakteristiklerini incelemişler, bunun içinde on iki tane örneği üçerli gruplar halinde değişik sıcaklık ve çevre koşullarında 52 hafta düzenli aralıklar boyunca takip etmişlerdir. Sonuç olarak yüksek sıcaklıkla birlikte hava olan koşullarda bozulma katsayısının daha fazla olduğunu görmüşlerdir [5].

Monyem ve Van Gerpen yaptıkları çalışmada, saf biodizel, okside olmuş biodizel ile No. 2 dizelin performans ve emisyonlarını karşılaştırmışlar, okside olmuş biodizelin egzoz emisyonlarının % 15 – 16 daha düşük olduğunu saptamışlardır [14].

Çanakçı ve arkadaşları, biodizelin oksidasyonu esnasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişiklikleri incelemişler ve oksidasyona oksijen miktarının, zamanın, sıcaklığın, metallerin ve biodizelin üretildiği maddenin etkin olduğunu bildirmişlerdir [15].

Monyem ve arkadaşları çalışmalarında, oksitlenmiş biodizelin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin, dizel yakıt sistemine etkilerini incelemişlerdir [16].

Van Gerpen ve arkadaşları, enjeksiyon zamanı ve yanma süresinin biodizelin yanmasına ve eksoz emisyonlarına etkisini araştırmışlar ve biodizel motor performansının No. 2 dizel yakıtıninkine benzer olduğunu bildirmişlerdir [17].

Van Gerpen ve Çanakçı, biodizel ham maddelerinin içerisinde bulunan serbest yağ asitlerini azaltmak için asit katalizör kullanılan bir teknik üzerinde çalışmışlardır [18].

Sayın ve arkadaşları, biodizelin üretimi, özellikleri ve dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanımı üzerine çalışmışlardır [19].

Van Gerpen ve Çanakçı çalışmalarında, asit katalizörlü transesterifikasyonda proses değişikliklerinin etkisini incelemişlerdir. Alkolün mol oranı, reaksiyon sıcaklığı, katalizör miktarı, reaksiyon zamanı ve serbest yağ asitleri incelenerek biodizel üretimi için en iyi yöntemi araştırmışlardır [20].

Usta ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, etanol ve iki farklı biodizelin özelliklerini, No. 2 dizel yakıtı ile karşılaştırmış, etanol ve biodizellerin ön yanmalı turbo dizel motorda performans ve emisyonlara etkilerini incelemişler ve kullanılan alternatif yakıtların CO, is ve SO₂ emisyonlarının azalmasını sağlarken, NO_x emisyonlarında artışa sebep olduklarını saptamışlar, etanol ilavesinin güçte bir miktar düşmeye sebep olurken, biodizel ilavesinin ise dizel yakıtı göre çok az oranda güç artışı sağladığını belirtmişlerdir [21].

Çanakçı ve Van Gerpen, çok miktarda serbest yağ asidi içeren geniş kapsamlı ham maddelerden biodizel üretimi için yol gösteren bir plan hazırlamışlardır [22].

Monyem ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, biodizelin kalitesini etkileyen, özelliğini değiştiren madde ve olayları sergilemişlerdir. Bunlar, su, gliserin ve oksidasyondur [23].

Cherng-Yuan Lin ve Hsiu-An Lin çalışmalarında dört zamanlı bir dizel motorunda peroksidant prosesi ile üretilen biodizeli denemişler, No. 2 dizel yakıtı ve peroksidant prosesi ile üretilmeyen biodizel ile motor performansı ve eksoz karakteristiklerini karşılaştırmışlardır [24].

Şanlı ve Çanakçı yaptıkları çalışmada, biodizelin yüksek olan üretim maliyetini düşürmek için atık bitkisel ve hayvansal yağlardan üretimi vurgulamışlardır. Ancak atık bitkisel ve hayvansal yağlarda fazla olan serbest yağ asidi azaltmak için uygulanan yöntemin de maliyeti etkilediğini belirtmişlerdir [25].

Çanakçı çalışmasında, atık bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen biodizelin motor performansı ve emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemiş ve dizel yakıtları ile karşılaştırmıştır. Atık yağ metil esterlerinin özgül yakıt tüketimi No. 2 dizel yakıtına göre % 14,44 daha fazla olduğu görülmüş, bu artışın sebebi ise biodizelin ısıl değerinin referans yakıtından daha düşük olması belirtilmiştir. Eksoz emisyonlarında ise NO_x hariç tüm emisyonlarda No. 2 dizel yakıtı ile kıyaslandığında önemli ölçüde azalma görülmüştür [26].

Taşyürek ve Acaroğlu, aspir metil esterinin yakıt olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirtmişler, depolama süresi ve depolama şartları davranışlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak ölçülen tarihe göre aspir metil esterinin viskozite değerleri 40 Redwood.sn altında kalmıştır [27].

Schumacher ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, cummins dizel motorlu dodge pikaplarında değişik bitkisel yağlardan üretilen biodizel ve çeşitli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılmış biodizeli denemişlerdir. Sonuç olarak da biodizel ve biodizel karışımlarının normal oranda motorlarda aşıntıya sebebiyet verdiklerini açıklamışlardır [28].

Lang ve arkadaşları çeşitli bitkisel yağlardan değişik alkol ve katalizörler kullanarak esterler meydana getirmişler ve bunların özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, bütül esterlerin daha düşük bulutlanma noktası olmasına karşın en yüksek yoğunluğa sahip olduklarını ortaya koymuşlardır [29].

Altın ve Balcı, ayçiçek metil esteri ile yaptıkları çalışmada, düşük devirlerde biodizelin motor momentinin yüksek, yüksek devirlerde ise dizelin motor momentinin daha yüksek olduğunu görmüşler ve bunun sebebinin de ayçiçek metil esterinin yoğunluğunun dizel yakıtına göre fazla olmasından dolayı yakıtın yüksek devirlerde pompaya dolma problemi olarak açıklamışlardır [30].

Neto da Silva ve arkadaşları ise, oleik ayçiçek metil esteri ile dizel yakıtı karışımlarını modifiye edilmemiş dizel otobüs motorunda test etmişler, eksoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Ayçiçek metil esterlerinin motor

performansını ve eksoz emisyonlarını kötüleştiren bir etkisi olmadıklarını belirtmişlerdir [31].

N. Usta, tütün tohumu yağı metil esterini üreterek dört zamanlı, dört silindirli ve turboşarjlı bir dizel motorunda test etmiş ve tütün tohumu yağı metil esterinin motorda hiçbir değişiklik yapmadan ve ön ısıtma sistemi kullanmadan motor parametreleri ve emisyonlarına dayanarak dizel yakıtının kısmen de olsa yerini alabileceğini belirtmiştir [32].

Çetinkaya ve arkadaşları, biodizel yakıtlı Renault Megan marka dizel otomobili, kış koşullarında 7500 km mesafeli trafikte test etmişler, sonuçları No. 2 dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Biodizelin tork ve fren gücü dizele nazaran % 3 – 5 oranında düşük, enjeksiyon basınçlarının her iki yakıt için benzer, biodizel kullanımı ile silindirlerin daha temiz olduğu görülmüştür [33].

Hass ve arkadaşları, modernize edilmiş endüstriyel biodizel üretim olanaklarının operasyon ve ana maliyetlerini hesaplayan bir bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir [34].

Ramadhas ve arkadaşları, kauçuk tohumu yağı metil esterini dizel motorunda test etmişler, motor performansı ve eksoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak kauçuk tohumu metil esterlerinin de alternatif yakıt olarak kullanabileceklerini belirtmişlerdir [35].

Kerschbaum ve Rinke, biodizel yakıtlarının sıcaklığa bağlı olarak viskozitelerini ölçmüşler, sıcaklığın 273 ⁰K'in altına düştüğünde viskozitenin hızla arttığını gözlemlemişler ve sebebini de doymuş metil esterlerin kristalize olmasını göstermişlerdir [36].

Çetinkaya ve Karaosmanoğlu oleik ve linoleik asit içeren kullanılmış pişirme yağlarının optimum şartlarını ve rafinasyon prosedürlerini araştırmışlar, sıcak su ile yıkama metodunu biodizel arıtımı için kullanmışlar ve EN 14214 standardını karşılayan biodizel üretmişlerdir [37].

Bozbaş çalışmasında, biodizelin yakıt karakteristiklerini ve Avrupa Birliği'ndeki üretimini araştırmış, üretilen biyoyakıtların % 82'sinin biodizel olduğunu bildirmiştir [38].

Shia ve arkadaşları, hacimsel olarak 5:20:75 oranında karıştırılmış etanol, soya metil ve dizel yakıtını dizel motorunda test etmişler ve partikül madde emisyonlarında dikkate değer bir azalma, NO_x emisyonlarında ise % 2 – 14 oranında azalma gözlemlenmişler, bununla birlikte az bir miktar etanol de eksozda saptamışlardır [39].

Dorado ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, biodizel üretiminin maliyetinin yüksek olduğunu, değerli bir yan ürün olan gliserinin değerlendirilmesi ile maliyetin düşürülebileceğini vurgulamışlardır [40].

Han ve arkadaşları süperkritik metanol kullanarak soya yağından biodizel üretmişler. Bu yöntem ile katalizör kullanımı ortadan kalkmış ve % 98 oranında metil ester on dakika içinde oluşturarak yöntemin endüstriyel proses olabirliği gösterilmiştir [41].

Özseven ve arkadaşları yaptıkları çalışmada biodizeli hızlı oksitlenme testine tabi tutmuşlar ve peroksit, asit ve viskozite değerlerinde artış gözlemlenmişlerdir. Peroksit yaklaşık 350 meqO₂/kg değerine ulaştıktan sonra sabit kaldığı, asit ve viskozite değerlerinin ise periyodik olarak arttığını belirtmişlerdir [42].

Bu tez çalışmasında ise rafine pamuk yağının metil esteri üretimi yapılmış, üretilen metil esteri 18 saat boyunca yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş, yakıt özelliklerini ve yaşlandırma neticesindeki peroksit değerini belirlemek için analizler yapılmış ve de tek silindirli Super Star marka dizel motorunda üretilen ve yaşlandırılan pamuk metil esterleri motorinle % 20 oranında karıştırılarak teste tabi tutulmuştur. Ayrıca içten yanmalı motorlarda kullanılan alternatif yakıtlara da değinilmiştir.

BÖLÜM 2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

2.1. Etanol

Etanol, içerisinde şeker veya şekere dönüştürülebilir madde bulunan bütün biyolojik ürünlerden ‘fermentasyon’ sonucunda elde edilebilen alkol esaslı bir alternatif yakıt türüdür. Etanol, mısır, patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi tarım ürünlerinden elde edilir. Etanolün motorlarda kullanımı düşüncesi tarım ürünlerinin bolca yetiştirildiği Brezilya gibi ülkelerde yaygındır. Ayrıca günümüzdeki etanol üretimindeki enerji dengesi negatiftir. Yani etanolün üretimi için, yanması sonunda vereceği enerjiden fazla enerjiye gereksinim vardır. Bu nedenlerle etanol alternatif yakıt olarak dünya çapında yaygın hale gelememiştir [43-44-45].

Etanol temiz, renksiz ve zehirli olmayan normal şartlarda sıvı halde bulunan bir maddedir. Etanolün ısı değeri benzinden daha düşüktür. Etanol su ile her oranda karışabilme özelliğine sahiptir. Etanol, yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında kullanımında birtakım sorunlar yaratabilmektedir. Kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından etanolün Otto motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Etanol genellikle alternatif yakıt olarak kullanımı yerine benzinin oktan sayısını arttırmak ve emisyon özelliklerini iyileştirmek için kullanılır [46].

Etanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksek, buhar basıncı düşüktür. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Etanolün en önemli dezavantajlarından biri içinde bulunan suyun yakıt donanımı ve emme sistemi üzerindeki korozif etkisidir. Etanolün korozif özellikleri nedeni ile korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Ayrıca etanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek

olması ve kolaylıkla nemlenmesi etanol benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir [47].

Tablo 2.1. Etanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri [43]

	Etanol
Kimyasal Denklemi	C_2H_5OH
C/H Oranı	0.333
Molekül Ağırlığı	46.07
Özgül Ağırlığı (gr/cm^3)Sıvı	0.79
Isıl Değeri (kJ/kg)	26900
Stokiyometrik Karışım h/y (hacimsel)	14.3
Buharlaştırma ısısı (kJ/kg)	856
Tutuşma sınırları % hacimsel	3.5-19
Hava fazlalık katsayısı λ	0.29-1.92
Adyabatik alev sıcaklığı ($^{\circ}C$)	1924
Kaynama Noktası ($^{\circ}C$)	78.7
Donma Noktası ($^{\circ}C$)	-117.7
Kendi kendine tutuşma Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	392
Oktan sayısı ROS (Araştırma oktan sayısı)	106

Emisyon özellikleri bakımından incelendiğinde ise etanol, petrol kökenli yakıtlara nazaran düşük C/H oranına sahip olduğundan dolayı daha az CO_2 üretmektedir. NO_x emisyonları ise motorun çalışma şartlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [48].

2.2. Metanol

Metanol içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıtılmaları yolu ile, doğalgaza birtakım damıtma işlemleri uygulanarak veya CO ve H_2 'nin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilir. Fakat doğal kaynakların yenilenebilir olamamasından dolayı metanolün alternatif bir yakıt olarak kullanılması geçici bir süre için söz konusu olacaktır. Ayrıca günümüzdeki metanol üretimindeki

enerji dengesi negatiftir. Yani etanol üretiminde olduğu gibi metanolün üretimi için de yanması sonunda vereceği enerjiden fazla enerjiye gereksinim vardır [43].

Tablo 2.2. Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri [43]

	Metanol
Kimyasal Denklemi	CH ₃ OH
C/H Oranı	0.25
Molekül Ağırlığı	32.04
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³) Sıvı	0.79
Isıl Değeri (kJ/kg)	20100
Stokiyometrik Karışım h/y (hacimsel)	6.44
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	1100
Tutuşma sınırları % hacimsel	6-37
Hava fazlalık katsayısı (λ)	0.24-2.22
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1878
Kaynama Noktası (°C)	65.1
Donma noktası (°C)	-97.6
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı(°C)	470
Oktan sayısı ROS (Araştırma oktan sayısı)	110

Metanol renksiz, tatsız, kokusuz ve çok zehirli bir maddedir. Petrole nazaran deriden içeriye çok daha çabuk nüfuz edebildiği gibi, içildiğinde körlüğe dahi sebebiyet verebilmektedir. Oktan sayısı yüksek olup, setan sayısı ise düşüktür. Bunların yanı sıra, alevlenme aralığı, alev hızı ve buharlaşma ile ilgili avantajlara sahiptir. Bu özellikleri metanol ile çalışan motorlarda daha yüksek bir motor ısı verimini beraberinde getirmektedir. Ayrıca oda sıcaklığında sıvı halde bulunabildiğinden, geleneksel yakıt depolama tanklarının değiştirilmesine gerek kalmadan kullanılabilir. Metanol kullanımında dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, su ile her oranda karışım yapabilmesinden dolayı korozyona karşı önlem alınmasıdır [46].

Metanolün buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu soğuk hava şartlarında motorlarda ilk hareketini zorlaştırmaktadır. Metanolün buharlaşmasına yardım etmek amacı ile emme manifoldu etrafında motorun soğutma suyu dolaştırılarak manifold ısıtılır [49].

Metanol yüksek oktan sayısına sahip olmasına rağmen çok düşük setan sayısına sahiptir. Bu nedenle dizel motorlarında kullanımında birtakım problemlerle karşılaşmaktadır. Metanol düşük setan sayısı, yüksek ateşleme sıcaklığı ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında yanma esnasında birtakım problemler yaratır. Yakıtın tutuşmasını geciktirir ve dizel motorlarında vuruntuya sebep olur. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına imkan sağladığından metanol Otto motorlarında rahatlıkla kullanılabilir. Bu sebepten dolayı metanol dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılması durumunda kullanılabilir [49].

Benzine nazaran daha düşük alev sıcaklığına sahip olduğu için metanolün yanması sonucu açığa çıkan NO_x ve CO miktarlarında azalma görülür. Metanol dizel yakıtı ile birlikte kullanıldığında ise dizel yakıtına nazaran partikül emisyonlarında % 80, NO_x emisyonlarında da % 50, HC ve CO emisyonlarında da azalma gözlemlenmiştir [48].

2.3. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Sıvılaştırılmış petrol gazı (Liquefied Petroleum Gas - LPG) petrolün damıtılması ve parçalanması esnasında elde edilen ve sonradan basınç altında sıvılaştırılan başlıca propan, bütan ve izomerleri gibi hidrokarbonlar veya bunların karışımıdır. LPG, genellikle doğal gazdan veya ham petrolün kuyulardan çıkarılması ve rafinerilerde tasfiye edilmesi sırasında ham petrolden ayrıştırılarak elde edilen ve kolayca sıvılaştırılabilen propan ve bütan gazlarının, basınç altında sıvılaştırılmış halidir.

LPG kokusuz olduğundan, kaza ve sızıntı durumlarında gazın hissedilebilmesi için, tüketiciye ulaştırılmadan önce, yasal bir zorunluluk olarak kokulandırılmakta

kokulandırıcı olarak yeterli miktarlarda organik kükürt bileşikleri eklenmektedir [43].

Tablo 2.3. Sıvılaştırılmış petrol gazlarının özellikleri [43]

ÖZELLİKLER	TİCARİ PROPAN	TİCARİ BÜTAN
İlk Kaynama Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	-46	-9
Sıvı Fazın Özgül Isısı (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$)	1366	1276
Bir Litre LPG'nin (sıvı fazdaki)buhar hacmi (m 3)	0.271	0.235
Hava-gaz Karışımında Patlama Sınırları (havada) hacimce buhar yüzdesi a) Alt b) Üst	2.15 9.60	1.55 9.60
Kaynama Noktasındaki Buharlaştırma Isısı(kJ/kg)	430	388
Alev Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	1980	2008
Tutuşma Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	493-549	482-538
Kükürt Miktarı (mg/kg)	185	140
Oktan Sayısı	111	103
Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	46100	45460

LPG'nin bazı özellikleri Tablo 2.3'de verilmiştir. Ticari propan yüksek uçuculuğun, ticari bütan daha düşük uçuculuğun gerekli olduğu alanlarda kullanılmaktadır. LPG'deki propan oranı ülkeden ülkeye % 100 ile % 50 arasında değişmektedir. Ülkemizde, taşıtlarda ve evlerde kullanılmakta olan LPG, % 50 bütan, % 50 propandan oluşan karışımdır [46].

Araçlarda benzin yerine LPG kullanıldığında eksoz emisyonlarında iyileşmeler görülmektedir. Benzine nazaran sahip olduğu düşük C/H oranı sebebiyle CO₂ emisyonlarında düşmeler gözlemlenmiş, CO ve HC emisyonlarında önemli ölçüde azalmalar tespit edilmiştir [50].

LPG'nin oktan sayısı yüksektir. Gaz fazında hava ile daha üniform karışması sonucu iyi bir yanma gerçekleşir. Benzin ve dizel yakıtına göre eksoz çıktısı daha temizdir. Karbon birikintisi yoktur. Motor yağı seyreltisi olmadığından motor yağı daha uzun ömürlüdür. Benzine göre dezavantajı ise, yüksek basınç deposuna ihtiyaç göstermesi, bununla beraber taşıt ağırlığının artması, bunun yanı sıra gaz formunda düşük molekül ağırlıklı yakıtın içeri verilmesi bunun da volümetrik verimi düşürmesi, dolayısıyla da motor gücünün düşmesi gibi etkenler sayılabilir [48].

2.4. Doğalgaz

Doğal gaz; metan (CH₄), etan (C₂H₆), propan (C₃H₈) gibi hafif moleküler ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşan bir karışımdır. Yeraltında yalnız başına veya petrol ile birlikte bulunabilir. Petrol gibi doğal gaz da kayaçların mikroskobik gözeneklerinde bulunur ve kayaç içerisinde akarak üretim kuyularına ulaşır. Doğal gaz, yüzeyde ayrıştırılarak içerisinde bulunan ağır hidrokarbonlar (bütan, pentan, vb) uzaklaştırılır. Doğal gaz, evlerimizde kullandığımız en temiz fosil yakıttır. Doğal gazın yanması durumunda karbondioksit, su buharı ve azot oksitler oluşur [51].

Düşük emisyonlar nedeniyle, benzin ve motorine alternatif yakıt olarak doğalgazın yaygınlaşması özellikle son senelerde dikkat çekmektedir. Doğalgazın birçok ülkede zengin kaynaklarının olması, diğer birçok ülkede ise boru hatları ile yaygınlaştırılmasına rağmen taşıtlarda yakıt olarak kullanılması, diğer uygulamalarına göre biraz yavaş kalmıştır. Son senelerde ise gerek doğalgazın yaygınlaşması, gerekse ekonomik ve çevresel faktörlerin tercihi, taşıtlarda doğalgaz kullanımını bir alternatif olarak gündeme getirmiştir [43].

Doğalgaz buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanıldığında oktan sayısının ve ısıl değerinin benzin ve alkollere göre yüksek olması sebepleriyle üstünlük sağlar.

Doğalgaz benzine oranla daha yüksek hava fazlalık katsayısı değerlerinde tutuşma olanağına sahip olduğu için motor fakir karışımla çalıştırılabilir, böylelikle yakıt ekonomisi ve eksoz gazları emisyonu açısından da yarar sağlanmış olur [44].

Tablo 2.4. Doğalgazın fiziksel ve kimyasal özellikleri [43]

	Doğalgaz
C/H oranı	0.25
Moleküler kütle	16.04
Özgül kütle (kg/dm ³) Gaz	0.78 x 10 ⁻³
Isıl değeri (kJ/kg)	50800
Stokiyometrik karışım h/y (hacimsel)	9.53
Buharlaştırma ısısı (kJ/kg)	509
Tutuşma sınırları % hacimsel	5-15.4
Hava fazlalık katsayısı (λ)	0.59-2.0
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1954
Kaynama noktası (°C)	-161.3
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	632
Oktan sayısı ROS (Araştırma oktan sayısı)	130

Ancak, benzine oranla birim kütlelerinin sahip olduğu enerji yoğunluğu daha fazla olduğu halde, stokiyometrik oranlardaki karışım enerji yoğunluğu benzine oranla daha düşüktür. Bu nedenle aynı motordan alınacak güç, doğalgaz kullanıldığında düşmektedir. Ayrıca yanma hızının da düşük olması, ısı verim açısından olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Doğalgazın korozyif özellikleri yoktur. Fakat bazen dünyada değişik bölgelerde elde edilen doğalgaz içerisinde nem olabilmekte, bu da motorda aşındırıcı bir etki göstermektedir. İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığının düşmesi NOx emisyonlarında azalma sağlayacaktır. Bunun yanında doğalgazın kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde azalmalar temin edecektir. Çok temiz

ve özellikleri sabit olan bir yakıt türüdür. Çevre kirliliği yapmaz. Doğalgazın depolanması, buharlaştırılması ve karbürasyonu farklı bir şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca sıvı yakıtı gaz haline getirmek, basıncını düşürmek ve motora uygun şartlarda vermek için özel ekipmanlara ihtiyaç vardır [43].

Metan gazının C/H oranı benzin yada dizel yakıtınınkinden daha düşük olmasından dolayı, CO₂ emisyonlarında azalma, daha iyi bir yanma ve yanma sonu sıcaklıklarında azalma meydana geldiği için CO ve HC emisyonlarında azalma görülmektedir. Bununla birlikte sıkıştırma oranının yüksek olması durumlarında ve düşük alev hızı sebebiyle NO_x emisyonlarında artış görülebilir [48-51].

2.5. Hidrojen

Hidrojen, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan, güneş enerjisi ve nükleer enerjiden, su gibi sonsuz bir kaynaktan elde edilebilir. Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında, yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkarması nedeni ile çevreye hiçbir zararı yoktur. Sınırsız kaynaklara sahip olan ve havayı kirletmesi açısından içten yanmalı motorlarda kullanılan diğer alternatif yakıtlara göre daha iyi durumda olan hidrojenin, içten yanmalı motorlarda kullanım çalışmalarına 1900'lü yılların başlarında başlanmıştır ve 1970'den sonra bu çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Günümüzde bir çok otomotiv firması bu konuda araştırmaya büyük bütçeler ayırmaktadırlar [44].

Hidrojenin üretiminde suyu parçalama esaslı bir çok metot kullanılmaktadır. İçlerinde en yaygın metot ise doğalgazdan elde edilen metanın buhar vasıtasıyla destile edilmesidir. Bu metotla birlikte, elektroliz, buharlı elektroliz, termokimyasal yöntem, fotoelektrokimyasal yöntem, fotobiyolojik sistemler, ısı su ayrıştırıcı yöntemler, gazlaştırıcı kullanımı gibi metotlar da bulunmaktadır [52].

Hidrojen, kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıdadır, doğadaki en hafif kimyasal elementtir. Hidrojen doğada en çok bulunan element olmasına rağmen, hafif olması nedeniyle atmosferde yükselip serbest kaldığından, yeryüzünde serbest halde çok az bulunur. Görünmez ve kokusuz bir gaz olan hidrojene yeryüzünde diğer

elementlerle bileşik yapmış halde rastlanır. Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksektir ve zehirli etkisi yoktur [53].

Tablo 2.5. Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri [43]

	Hidrojen
Kimyasal Denklemi	H ₂
C/H Oranı	0
Molekül Ağırlığı	2.016
Yoğunluk (kg/m ³) Sıvı	70.8
Isıl Değeri (kJ/kg)	84100
Stokiyometrik Karışım h/y (hacimsel)	29.53
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	447
Tutuşma sınırları % (hacimsel)	4.0–75.0
Hava fazlalık katsayısı (λ)	0.15–4.35
Laminar alev hızı (m/s)	2.91
Difüzyon katsayısı (cm ² /sn)	0.61
Kaynama Noktası (°K)	20.30
Donma noktası (°K)	14
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°K)	858
Oktan sayısı ROS (Araştırma oktan sayısı)	130

Hidrojen motorlarda yakıt olarak kullanıldığında petrol kökenli motor yakıtlara oranla birçok önemli avantaja sahiptir. Yüksek alev hızı ve tutuşma yeteneği, düşük ateşleme enerjisi gerektirmesi, geniş tutuşma ve yanma sınırları, yüksek ısıl değer ve termik verim, kirletici eksoz gazı emisyonlarının azlığı ve sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeni ile vurutuya karşı dirençli olması hidrojeni çekici kılmaktadır [54].

Hidrojenin yanması sonucu elde edilen alev hızı oldukça yüksektir. Bu değer stokiyometrik karışımlar için benzin hava karışımlarındaki alev hızının yaklaşık dört katı düzeyindedir.

Hidrojenin difüzyon katsayısı da öteki yakıtlardan daha fazladır. Ayrıca gaz halindeki hidrojen kağıt, kumaş, kauçuk gibi malzemelerden, platin, demir, çelik gibi

bazı metallere difüzyon yolu ile geçebilmektedir. Hidrojenin bu özelliği ise depolanmasına ilişkin bazı sorunlar yaratmaktadır. Hidrojenin depolamak için sıkıştırma, sıvılaştırma veya başka bir metalle kimyasal bağ kurmasından oluşan sistemlerden olan metal hidridlerle mümkün olmaktadır [45-54].

Hidrojenin hava ile yanması sonucunda, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile yanma ürünleri arasında CO, CO₂ ve HC'lar mevcut olmayacak, sadece motorun yağlama yağının yanması nedeni ile çok az miktarda oluşan HC'lar eksoz gazları arasında bulunacaktır. Diğer yandan bu motorlarda , yüksek yanma sıcaklıkları nedeni ile havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler bol miktarda üretilmektedir. Üretilen azot oksitlerin büyük kısmını oluşturan NO'ler eksoz sistemi içerisinde veya atmosfere çıktıktan sonra NO₂'ye dönüşmektedir [53].

2.6. Bitkisel Yağlar

Dizel motorlarında bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı yeni bir fikir değildir. 1900 yılında dizel motorunun mucidi Rudolf Diesel, Paris Fuarı'nda tanıttığı motorunu yerfistığı yağı ile çalışacak şekilde tasarlamıştı [1].

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı ile ilgili en ileri çalışmalar uygulanan yakıt ambargoları nedeniyle Güney Afrika'da yapılmıştır. Ağustos 1982'de Kuzey Dakota Fargo'da yapılan 1. Uluslararası Yakıt Olarak Bitkisel Yağlar Kongresi'nde yakıt maliyeti, bitkisel yağ yakıtlarının motor performansına ve dayanıklılığına etkileri, yakıt hazırlaması, özellikleri ve katıkları gibi kaygılar tartışılmıştır [55].

Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt amaçlı olarak kullanılabilmesi için bazı özelliklerinin dizel yakıtına yakın olması gerekir. Bitkisel yağların sıvı oluşu ve sıvılar gibi taşınabilirliği, ısı değeri yüksek oluşu gibi özelliklerinden dolayı avantajlı, yüksek viskozitelerinde dolayı makine parçaları arasında yavaş akmaları, düşük uçuculukları ve doymamış hidrokarbon zincirlerini nedeniyle reaksiyona girebilme yeteneklerinin az olması gibi özelliklerinden dolayı da dezavantajlıdır [57].

Yakıt olarak bitkisel yağlar kullanılarak yapılan deneylerde motorun ilk harekete zor geçtiği, düşük devirlerde motorun vuruntulu çalıştığı, deneysel çalışmalardan sonra enjektör meme ucunun karbon birikintileri ile kaplı olduğu görülmüştür. Piston başının tamamında karbon birikimi görülmüştür. Manifold ve emme kanallarının cidarları ve eksoz sisteminin cidarları normal bir görünüm göstermiştir. Eksoz ve emme subapları başlarında bitkisel yağlar ve dizel yakıtı için kısa süreli çalışmalarda fazla bir fark gözlenmemiştir [44].

Bitkisel yağların alternatif yakıt olabilmeleri için yukarıda sayılan olumsuz özelliklerini gidermek gerekmektedir. Bu amaçla yağın ön ısıtmaya tabi tutulması, diğer yakıtlarla karıştırılması, seyreltilmesi veya transesterifikasyon yoluyla biodizel üretilmesi gibi prosesler ortaya çıkmıştır. Bu prosesler içerisinde bitkisel yağların kimyasal yapısını değiştirerek transesterifikasyon yoluyla yeni bir yakıt üretme fikri ön plana çıkmış olup bu konuyla ilgili araştırmalar hızla devam etmektedir.

BÖLÜM 3. BİODİZELİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI

3.1. Giriş

Saf bitkisel yağların dizel motorlarında kullanımı ile ilgili çalışmalar dizel motorunun icadına kadar uzanmaktadır. Lakin bitkisel yağların yüksek viskoziteleri ile düşük uçuculuk gibi özelliklerinden dolayı dizel yakıtı ile karıştırılsalar bile motora zarar vermektedirler [5]. Bu sorunu aşmak için uzun bitkisel yağ moleküllerini küçük moleküllere dönüştüren esterleştirme diye ifade edilen işlemler yapılmaktadır. Bu işlemler neticesinde biodizel olarak isimlendirilen dizel yakıtı üretilmektedir.

Biodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal SoyDiesel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edildi. Kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından türetilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanır. Bir başka deyişle biodizel, bitkisel yada hayvansal orjinli yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli alkollerle reaksiyonu sonucunda açığa çıkan yakıt amaçlı üründür [6].

Biodizel, dizel yakıtı ile her oranda tam olarak karışabilmekte böylelikle de dizel yakıtının kalitesini büyük oranda düzeltmektedir. Örneğin yanma sonucu oluşan çevreye Zararlı gazların emisyon değerini düşürken yirmi bir gün içerisinde % 99,6'ya varan oranlarda biyolojik olarak parçalanabilmektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki; bir litre petrol içme suyu kaynaklarına ulaştığında bir milyon litre içme suyunu kirletirken, biodizelin suda yaşayan canlılara karşı zehirli bir etkisinin olmadığını göstermiştir.

1980'li yıllar ile birlikte özellikle Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde küçük çapta da olsa Biodizel üretimine başlanmıştır. Başlangıçta biodizel için belli bir norm olmaması ve üretimin şimdiki teknıklere göre ilkel sayılabilecek şekilde yapılması sonucunda pek

o kadar da kaliteli olmayan biodizel üretilmiştir. Bu nedenden ötürü bu biodizel kullanan bazı kamyon v.b trafik araçları bozulmuş ve yolda kalmıştır. Bu da biodizelin o yıllarda kötü isim yapmasına neden olmuştur.

Günümüzde yapılan araştırmalar, incelemeler ve deneyler sonucunda biodizel için Almanya da DIN 51606 ve A.B.D de soya bitkisinden elde edilen biodizel için ASTM'nin normları oluşturulmuştur. Bu normlara uygun üretilmiş biodizel güvenli bir şekilde kullanılmaktadır.

Şu an itibariyle dünyamızda 21'i aşkın ülkede biodizel üretimi söz konusudur.

Almanya'da yıllık biodizel üretimi 450.000 ton civarındadır ve hali hazırda %100 biodizel içeren araç yakıtı 900'ü aşkın benzin istasyonunda kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Yapılan planlara göre 2005 yılında dizel ihtiyacının % 2,2 2020 yılında ise % 4'ü biodizel ile karşılanacaktır.

1996 yılından itibaren piyasaya sürülen VW ve AUDI motorlu araçların hepsinde ve Mercedes kamyonlarında biodizel kullanımı tamamıyla serbest bırakılmıştır. Taksi amaçlı kullanılan Mercedes otomobillerde kullanımı da serbesttir. Diğer Mercedes ve BMW 5 serisi için ek 300 DM'lik bir dönüşüme ihtiyaç vardır.

Avusturya'da yıllık biodizel üretimi 30.000 ton civarındadır. Bir tane 40.000 ton/yıl kapasiteli yeni işletme ENERGEA teknolojisi 2001 yılı içerisinde biodizel üretimine geçecektir. Avusturya'da devlet tarafından biodizelin petrol kaynaklı dizel ile % 2 oranında karıştırılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca Avusturya'da ve Almanya'da biodizel için fosil yakıt vergisi alınmıyor.

Çek Cumhuriyeti'nde yıllık olarak biodizel üç tane orta boy ve on üç tane küçük işletmede toplam 70.000 ton/yıl civarında üretim söz konusudur. Benzin istasyonlarında % 30 Biodizel + % 70 Motorin karışımı Bionafta adı ile daha ucuza satışa sunulmaktadır.

Fransa'da ise biodizel üretimi 300.000 ton/yıl üzerindedir. Benzin istasyonlarında %5 Biodizel + %95 Motorin karışımı kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu %5'lik kısım fosil yakıt vergisinden muaftır.

İtalya'da 1999 yılına kadar 125.000 ton/yıl vergiden muaf bir kota bulunmaktaydı. Şu anda biodizel üretim kapasitesinin ancak % 15'i değerlendiriliyor. Bu kotanın kalkmasıyla birlikte biodizel üretiminin artacağı kesindir. Ayrıca İtalyan hükümetinin 100.000'den fazla nüfuslu belediyelerin kullandığı araçlarda alternatif enerji kaynaklı yakıtların kullanımı tavsiyesi bulunmaktadır.

A.B.D'de özellikle soya bitkisinin yağından biodizel üretimi söz konusudur. ASTM kuruluşunun normlarına uygun biodizel araçlarda yakıt olarak kullanılabilir. Yapılan planlara göre 2010 yılında enerji ihtiyacının % 30'u alternatif enerji kaynaklarından karşılanacaktır.

Belçika'da ise yıllık olarak Biodizel üretimi 240.000 ton civarındadır.

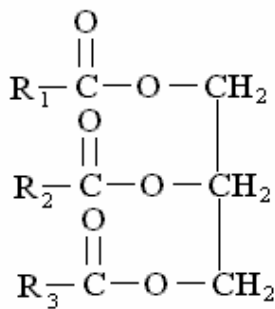
Danimarka'da 30.000 ton/yıl kapasiteli bir işletme ve İspanya'da ise 50.000 ton/yıl kapasiteli bir işletme plan halindedir [57].

Ülkemizde ise petrol ihtiyacının sadece yüzde 9'u yerli kaynaklardan karşılanmaktadır. Planlama eksikliği nedeniyle yağlı tohum üretimimiz ülkemizin ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu nedenle biodizelin, petrole olan bağımlılığımızı yakın ve orta vadede ortadan kaldıramayacağı tahmin edilmektedir. Ancak sahip olduğumuz imkanlarla, dünya ile paralel olarak, hatta onlardan daha ileri düzeyde adımlar atmak mümkündür. Hammaddenin ithal edilmesi halinde ise biodizelde rekabet şansımızın olamayacağı açıktır. Bu nedenle yağlı tohum üretimin acilen disiplin altına alınması gerekmektedir. Enerji amaçlı tarım, ülkemiz tarım politikaları içinde yer aldığı ve çiftçi yönlendirmesi doğru yapıldığı takdirde Gap bölgesinden 2010 yılı itibariyle 1,5 milyon ton/yıl biodizel üretimini sağlamak için hammadde temin edilebilecektir. Bugün Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde 25 şirketin biodizel üretim kapasitesi bulunmaktadır. Bu şirketlerin biodizel üretim kapasitesi son

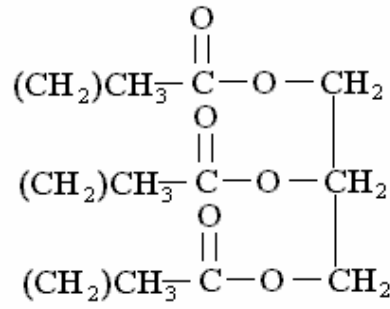
yıllardaki hızlı artışla yılda 450 bin tona ulaşarak Avrupa'da üçüncü sıraya yerleşmiştir [58].

3.2. Bitkisel ve Hayvansal Yağların Kimyasal Yapısı

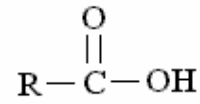
Bitkisel ve hayvansal yağların temel kimyasal yapısı trigliseritlerdir. Bitkisel yağlar % 90-98 oranında trigliseritlerden ve az miktarda di- ve monogliseridlerden meydana gelir [59]. Şekil 3.1a'da trigliserid molekülünün kimyasal yapısı, şekil 3.1b'de ise buna bir örnek görülmektedir. Şekil 3.1a'daki R₁, R₂, R₃ trigliseridin yağ asitlerinin hidrokarbon zinciri gösterir. Serbest durumda iken yağ asitleri Şekil 3.2'de gösterilen konfigürasyona sahiptir. Şekil 3.2'deki R 10'dan fazla karbon atomundan oluşan hidrokarbon zinciridir.



Şekil 3.1a. Trigliserit



Şekil 3.1b. Trilaurin



Şekil 3.2. Tipik Bir Yağ Asidinin Kimyasal Yapısı[25]

Kimyasal olarak, bitkisel ve hayvansal yağlar 3 yağ asidine bağlı gliserolden oluşan trigliseritlerdir. Eğer yağ asidi kısmında bütün karbon atomları iki hidrojen atomuyla bağ yapmışlarsa, yani tüm bağlar tekli olup hiç çift bağ yoksa böyle yağlara doymuş yağ denilmektedir. Çift bağ durumunda olan ne kadar karbon atomu varsa o yağ o kadar doymamış demektir. Doymamış yağlar daha düşük sıcaklıklarda sıvı olarak kalabilme özelliğine sahiptirler [48].

Yağ asitleri; karbon zincir uzunlukları ve çift bağların sayısı (doymamışlık) bakımından farklılıklar göstermektedir. Yağ asitleri iki rakamla gösterilirler. Birinci yağ asidi zincirindeki karbon atomunun sayısını, ikinci ise çift bağların sayısını gösterir. Örneğin; C18:2 (linoleik asit) için yağ asidinin 18 karbon atomundan oluştuğu ve 2 adet çift bağa sahip olduğu anlatılmaktadır. Trigliseritlerin ve ondan

üretileen biodizelin özellikleri, trigliserit molekülünde bulunan her bir yağ asidinin miktarına bağlıdır. Her trigliseritte, farklı yağ asitleri farklı miktarlarda bulunmaktadır. Bu farklılık yakıt özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Örneğin; yağ asidinin zincir uzunluğu arttıkça setan sayısı artarken, doymamışlık derecesi arttıkça setan sayısı azalmaktadır [17]. Bitkisel ve hayvansal yağlardaki temel doymuş yağ asitleri palmitik (C16:0) ve stearik (C18:0) asit iken doymamışlar ise oleik (C18:1) ve linoleik (C18:2) asitlerdir. Tablo 3.1’de biodizel üretiminde yaygın olarak kullanılan bazı bitkisel yağların, sığır iç yağının ve kullanılmış kızartma yağının yağ asidi dağılımı kütlelel bazda görülmektedir [25].

Tablo 3.1. Bitkisel, hayvansal ve atık kızartma yağlarının yağ asidi dağılımı [25-55]

Yağ Çeşidi	14:0 (%)	16:0 (%)	18:0 (%)	18:1 (%)	18:2 (%)	18:3 (%)
Ayçiçek Yağı	–	6,08	3,26	16,93	73,73	–
Soya Yağı	–	10,58	4,76	22,52	52,34	8,19
Kolza Yağı	–	3,49	0,85	64,40	22,30	8,23
Pamuk Yağı	–	28,33	0,89	13,27	57,51	–
Sığır İç yağı	3-6	24-3	20-23	37-43	2-3	–
Kullanılmış Kızartma Yağı	–	24-32	–	53	33	1

3.3. Biodizel Üretimi

Bitkisel yağların dizel motora için yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır.

Biodizel üretiminde, seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon (alkoliz) genellikle kullanılan yöntemler olup, içlerinde en çok kullanılan transesterifikasyon yöntemidir [55].

3.3.1. Seyreltme Yöntemi

Bu yöntemde bitkisel yağlar ve atık kızartma yağları belirli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılır. Bir yandan kullanılan yağın viskozitesi düşürülürken diğer yandan da dizel yakıtı kullanımı azaltılmış olur.

Uygulamalarda yaygın olarak kullanılan B20 yakıtı, dizel yakıtı içerisine %20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilir. Bu şekilde elde edilen yakıtın dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin de dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir.

Seyreltme yöntemi uygulamalarında en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kolza yağı, yerbıstığı yağı, kullanılmış kızartma atık yağları verilebilir [43].

3.3.2. Mikroemülsiyon Oluşturma Yöntemi

Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi ile metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkoller kullanılarak bitkisel yağlar mikroemülsiyon haline getirilir. Böylelikle püskürtme karakteristikleri iyileştirilirken viskozite değerleri de düşmektedir. Kullanılan alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle emülsiyonun da setan sayısının düşük olması ve düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesi gibi sakıncalı özellikleri de vardır. Bu özellikleri nedeniyle de tercih edilmeyen bir yöntemdir [43].

3.3.3. Piroliz Yöntemi

Piroliz, bir maddenin başka bir maddeye ısı veya asit katalizör ile ısı vasıtasıyla dönüşmesi işlemi olarak tanımlanır. Piroliz yöntemi ile yağ molekülleri, ısıtılarak

içerisindeki hava veya oksijen alınır ve kimyasal yapıları bozularak küçük moleküllü yapılara dönüştürülür. Böylelikle yağların viskoziteleri düşürülmüş olur.

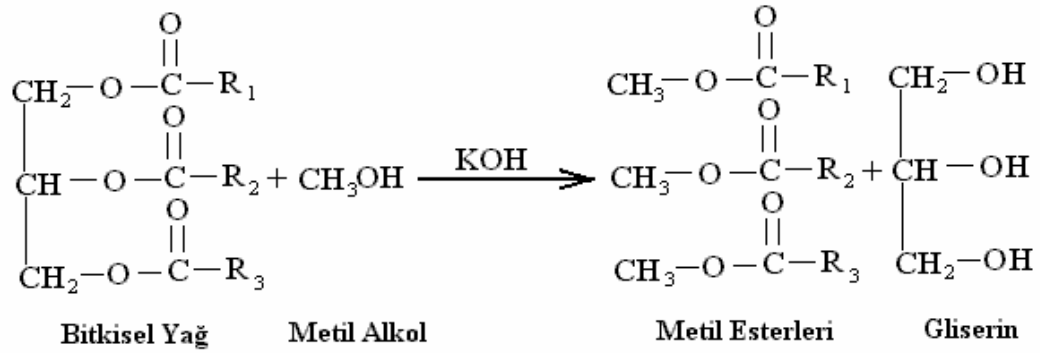
Piroliz kimyası, reaksiyon esnasında değişik reaksiyon yönleri ve çeşitli reaksiyon ürünleri açığa çıkabileceği için güçtür. Ayrıca pahalı bir yöntemdir. Tüm bunlara ek olarak, elde edilen ürün petrol türevli benzin ve dizel yakıtlarına kimyasal olarak benzer olduğu için piroliz işlemi esnasında içerisinden oksijenin alınmış olması oksijen içeren yakıtların çevreye sağlamış olduğu faydaları da ortadan kaldırmış olur [55].

3.3.4. Transesterifikasyon (Alkoliz) Yöntemi

Transesterifikasyon (alkoliz); yağın herhangi bir monohidrik alkole bir katalizör eşliğinde reaksiyona girmesidir. Bu reaksiyon ile yağlardan ayrıştırılan gliserin yerini alkol radikalleri ile almakta ve sonuçta ürünler arasında yağ asidi esterleri ve gliserol bulunmaktadır. Bu reaksiyon neticesinde bitkisel yağların viskoziteleri azalmakta, ısı değerleri ve setan sayılarında ise kayda değer bir değişikliğe neden olmamaktadır [60-61].

Esterleştirme işlemi yeni bir işlem olmayıp, ilk olarak 1853 yılının başında E. Duffy ve J. Patrick tarafından tanımlanmıştır. Esterleştirme işlemine tabi tutulmuş bitkisel yağ ise ilk olarak II. Dünya Savaşı'nda Güney Afrika'da iş makinelerinde kullanılmıştır [62].

Tipik ester moleküllerinin moleküler ağırlığı bitkisel yağ moleküllerinin ağırlığının yaklaşık olarak üçte biri kadardır. Esterlerin viskoziteleri ise dizel yakıtının viskozitesinden % 50 daha fazladır. Şekil 3.3'de metanol ve potasyum hidroksit kullanılarak yapılan transesterifikasyon işlemi gösterilmekte olup etil, izopropül ve bitül gibi diğer alkollerle birlikte katalizör olarak sodyum hidroksit ve sodyum metoksit gibi alkali katalizörler de kullanılabilir. Ayrıca asit katalizörlü transesterifikasyon işlemi de yapmak mümkündür [63].



Şekil 3.3. Metanol ve katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanılarak bitkisel yağın transesterifikasyonu [63]

Transesterifikasyon işleminin gerçekleşebilmesi için kullanılacak alkol ve katalizör tayininin iyi yapılması gerekmektedir. Trigliseritler olan bitkisel ve hayvansal yağları esterlere dönüştürmek için gerekli alkol miktarına stokiometrik oran denilmektedir. Lakin reaksiyonun tamamlanabilmesi için stokiometrik oranın haricinde gerekli bir miktar daha alkole ihtiyaç vardır. Eğer fazlalık alkol kullanılmazsa, trigliseritlerin hepsi estere dönüşmemekte ve bunun neticesinde kalitesiz bir yakıt ortaya çıkmaktadır. Fazladan kullanılan alkol reaksiyonda katalizör vazifesini görürken son ürünler içerisinde de yer almaz. Stokiometrik oran, bir yağdan diğerine göre yağın içerisindeki asit miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Metanol için genellikle stokiometrik oran hacimce % 12,5 olarak bildirilmektedir. Bu da 1 litre yağ için 125 ml. Metanol anlamına gelmektedir. Fazlalık miktar ise, genelde stokiometrik miktarın % 60 – 100’ü kadar olup bu da 125 ml. stokiometrik miktar için 75 – 125 ml. ilave yapılarak 200 – 250 ml.’yi bulmaktadır. Örneğin soya ve kanola yağı için % 60 fazlalık yeterli olabilirken, yüksek stokiometrik orana sahip hindistancevizi gibi yağlar % 100 fazlalık gerektirebilirler.

Kullanılacak katalizör miktarı ise esterleşme işlemi gerçekleştirilecek olan yağın litresi başına 3,5 gr KOH’dır. Reaksiyonda kullanılan katalizör ihtiyaçtan fazla ise, sabun oluşumuna sebebiyet vereceğinden yıkama işlemini zorlaştırır. İhtiyaçtan az katalizör kullanıldığında ise, reaksiyon tamamlanamayacaktır [64].

Tablo 3.2’de dizel yakıtı ile çeşitli bitkisel yağların ve bitkisel yağ metil esterlerinin bazı özellikleri verilerek karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 3.2. Dizel yakıtı ile bitkisel yağların ve esterlerinin karşılaştırılması [56]

Yakıt tipi	Isıl Değeri (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/m ³)	Viskozite 27 °C(mm ² /s)	Setan Sayısı
Dizel yakıtı	43. 350	815	4.3	47.0
Ayçiçek yağı	39. 525	918	58.5	37. 1
Ayçiçek metil esteri	40. 579	878	10.3	45.5
Pamuk yağı	39. 648	912	50. 1	48. 1
Pamuk yağı metil esteri	40. 580	874	11. 1	45.5
Soya yağı	39. 623	914	65.4	38.0
Soya yağı metil esteri	39. 760	872	11. 1	37.0
Mısır yağı	37. 825	915	46.3	37.6
Haşhaş yağı	38. 920	921	56. 1	-
Kolza yağı	37. 620	914	39.2	37.6

3.4. Biodizel Standartları

Kalite güvencesi açısından, dizel motorlarda kullanılacak olan bir yakıtın özellikleri çok dikkatli bir şekilde belirtilmeli ve belli kriterlere uygun olmalıdır. Aksi takdirde kullanılan yakıt, sağlayacağı düşünülen faydadan daha çok zarar verir.

Çeşitli ülkelerde biodizel için standartlar oluşturulmuştur. Örnek olarak, Avusturya'da ÖN C 1190 standardı kullanılmakta olup, Fransa ve İtalya 1993'te, Çek Cumhuriyeti 1994'te, İsveç 1996 da (SS 15 54 36) ve Amerika, ASTM (American Society for Testing and Materials) komitesi ile birlikte çalışmaları sonucu bu standartları oluşturmuşlardır. 2002 yılında ASTM (American Society for Testing Materials) ve AB (Avrupa Birliği) standartları oluşturulmuştur.

Ülkemizde ise Avrupa Birliği standardı olan EN 14214 üzerinde çalışmalar TSE tarafından yapılmaktadır. EN 14214 standardı kanola yağı baz alınarak hazırlandığı için yerli tarım ürünlerine de adaptasyonu gerekmektedir. TSE çalışmalarını bu yönde sürdürmektedir [58].

Tablo 3.3’de ASTM D 6751, Tablo 3.4’de de EN 14214 biodizel standartları verilmiştir.

Tablo 3.3. ASTM D 6751 Biodizel standardı [65]

Yakıt Özellikleri	Test Metodu	Biodizel
Kinematik Viskozite, 40 °C, cSt	D 445	1.9-6.0
Alevlenme Noktası, °C, Min.	D 93	130
Bulutlanma Noktası, °C	D 2500	(-3)-(-12)
Karbon Bakiyesi, Ağırlıkça %'si, Max.	D 4530	0.050
Bakır Korozyon Testi, Max.	D 130	No:3
Setan Sayısı, Min.	D 613	47
% 90 Distilat Toplanma Sıcaklığı, °C, Max.	D 1160	360
Asit İndisi, mgKOH/g, Max.	D 664	0.80
Kükürt İçeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	D 5453	0.05
Su ve Sediment İçeriği, Hacimce %'si, Max.	D 2709	0.050
Sülfate Kül İçeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	D 874	0.020
Serbest Gliserin İçeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	D 6584	0.020
Toplam Gliserin İçeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	D 6584	0.240
Fosfor İçeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	D 4951	0.001

Tablo 3.4. EN 14214 Biodizel Avrupa Birliği standardı [65]

Yakıt Özellikleri	Test Metodu	Biodizel
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	EN ISO 3675	860-900
Kinematik Viskozite, 40 °C, cSt	EN ISO 3104	3.5-5.0
Alevlenme Noktası, °C, Min.	ISO/CD 3679	101
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C 15 Nisan-30 Eylül 1 Ekim-15 Kasım 16 Kasım-28 Şubat 1 Mart-14 Nisan	DIN EN 116	0 -10 -20 -10
Karbon Bakiye, Ağırlıkça %'si, Maksimum	EN TSO 10370	0.3
Bakır Korozyon Testi, Min.	EN ISO 2160	No:1
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °G, saat, Min.	EN 14112	6
Setan Sayısı, Min.	EN ISO 5165	51
Asit İndisi, mg KOH/g, Max.	EN 14104	0.5
İyot İndisi, Maksimum	EN 14111	120
Ester İçeriği, Ağırlıkça %'si, Min.	EN 14103	96.5
Kükürt İçeriği, mg/kg, Max.	EN ISO 14596	10
Su İçeriği, mg/kg, Max.	EN ISO 12937	500
Tortu içeriği, mg/kg, Max.	EN 12662	24
Sülfat Kül İçeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	ISO 3987	0.02
Serbest Gliserin İçeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	EN 14105	0.02
Toplam Gliserin İçeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	EN 14105	0.25
Fosfor İçeriği, mg/kg, Max.	EN 14107	10
Metanol içeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	EN 14110	0.2
Trigliserid İçeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	EN 14105	0.2
Digliserid içeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	EN 14105	0.2
Monogliserid İçeriği, Ağırlıkça %'si, Max.	EN 14105	0.8
Alkali içeriği (Na+K), mg/kg, Max.	EN 14108	5
Linolenik Asit Metil Esteri Miktarı, Ağırlıkça %'si, Max.	EN 14103	12

3.5. Biodizelin Yakıt Özellikleri

Biodizel, fiziksel ve yakıt özellikleri bakımından dizel yakıtına benzer özellikler göstermekte olup, dizel motorlarında her hangi bir değişikliğe gidilmeksizin yakıt olarak kullanılabilir. Tablo 3.5’de bu benzerlikler açıkça görülmektedir.

Tablo 3.5. Motorin ve biodizelin standart özellikleri [66]

Özellikler	Motorin (EN 590:1993)	Biodizel (DIN E 51.606:1997)
Yoğunluk, 15°C, kg/m ³	820 – 860	875 - 900
Viskozite, 40°C, mm ³ /s	2.00 - 4.50	3.5 - 5.0
Alevlenme Noktası, °C	> 50	> 110
Kükürt İçeriği, Ağır. %'si	<0.20	> 0.01
Oksijen İçeriği, Ağır. %'si	0.0	10.9
Setan Sayısı	> 49	> 49
Isıl Değer, Mj/dm ³	35.6	32.9
Verim, %	38.2	40.7

Setan sayısı, yakıtın basınç altında tutuşma ve yanma kabiliyetinin bir ölçüsü olup, yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesini azaltarak emisyonları düşürmekte ve yakıtın daha verimli yanmasına olanak sağlamaktadır. Biodizel yapısındaki oksijen içeriğinden dolayı dizel yakıtına nazaran biraz daha yüksek setan sayısına sahip olduğunu için iyi bir tutuşma kalitesine de sahiptir [64].

Yüksek iyot değeri, yağların doymamışlığının bir göstergesi olup, doymamış yağlar daha düşük sıcaklıklarda sıvı olarak kalabilme özelliğine sahiptirler. Biodizel üretilen yağın iyot değeri ne kadar yüksek olursa, düşük sıcaklıklarda sıvı olarak kalabileceği için kullanılabilir kabiliyeti de artacaktır. Bununla birlikte yakıtın iyot sayısı arttıkça, yakıt oksijenle daha fazla reaksiyona girmek isteyecek ve sonuç olarak da reçine gibi istenmeyen ürünler açığa çıkarak motorlarda tahribata neden olacaktır [67].

Biodizel yapımında kullanılan yağ ne kadar doymamış olursa olsun, biodizelin soğukta davranış özellikleri dizele nazaran kötüdür. Soğuk ortamda kristalize olan yakıt, yakıt borularını ve filtreyi tıkayabilmekte, ayrıca yakıt pompasında sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunu aşmak için yakıt katkı maddeleri yada ısıtma sistemleri kullanılabilir gibi kışlama (winterisation) işlemi de uygulanmaktadır. Kışlama işlemine tabi tutulan biodizel, bulutlanma noktası ile donma noktası arasındaki sıcaklığa getirilerek içerisindeki kristalize olmuş yapılar filtre edilir [14].

Biodizelin motor parçaları ile uyumu genel olarak iyi olmasının yanı sıra lastik ve polimer esaslı bileşenler, uzun süreli kullanım da zarar görebilmektedir. Bir takım değişiklikler yapılarak bu malzemeler biodizele uyumlu hale getirilebilir [48].

Eksoz emisyonları açısından bakıldığında ise, genel itibariyle biodizel CO, HC, SO_x, partikül emisyonlarını ve kansere sebep olan aromaları azaltmakta, NO_x emisyonlarını ise bir miktar arttırmaktadır.

Biodizelin zehirleyici bir etkisi de bulunmamaktadır. Biodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17,4 g biodizel/kg vücut ağırlığı şeklinde iken bu oran sofrata tuzu için 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığı şeklinde olup, sofrata tuzu biodizele nazaran 10 kat daha fazla öldürücü etkiye sahiptir [64].

Biodizel petrol kökenli yakıtlara nazaran daha yüksek tutuşma sıcaklıklarında tutuşur. Bu özelliğinden dolayı da taşıma ve depolama sırasında kolaylık sağlar. Biodizel temiz, kuru ve ışık görmeyen bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan da kaçınılmalıdır [57-68].

3.6. Peroksit Sayısı

Peroksit sayısı, yağlarda bulunan aktif oksijen miktarının ölçüsüdür. Peroksit varlığı, asidik bir çözeltide potasyum iyodürden ayrılan iyodun kanıtlanıp belirlenmesi ilkesine dayanır [69].

Biodizelin ham maddesi de yağlar olduğu için yaşlandırma (oksidasyonu) neticesinde içerisinde bulunan oksijenin miktarının (peroksit sayısı) tespit edilmesi gerekir. Bunu belirlemek için AOCS (The American Oil Chemists' Society) Cd 8-53 standardı kullanılmaktadır. Ölçülen peroksidin değeri 'meq' (miliequivalent) ile ifade edilir [63].

Bu standart doğrultusunda yapılan peroksit değeri ölçümü Bölüm 4'de detaylı olarak anlatılmıştır.

3.7. Biodizelin Oksitlenme Kararlılığı

Biodizel, direk olarak veya dizel yakıtı ile karıştırılarak alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Lakin biodizelin sahip olduğu oksitlenme kararlılığı ve soğukta akış özellikleri arasındaki düzensiz ilişki biodizelin dezavantajlarından biridir. Doymuş bileşikler doymamış bileşiklerden daha az oksitlenmeye meylederler, bunun yanında daha yüksek sıcaklıklarda kristalleşme gösterirler [15].

Biodizel, oksitlenme işlemi sırasında daha viskoz olur. Oksitlenme işlemi esnasında yakıt özelliklerini değiştiren hidroperoksitler, aldehitler, ketonlar ve asitler oluşmaktadır. Hidroperoksit, oda sıcaklığındaki oksitlenme işleminin ilk ürünüdür. Hidroperoksitler esterin polimerleşmesine, çözünmeyen yapışkanlar ve tortular oluşmasına neden olur. Oluşan bu ürünler ise filtrelerin tıkanmasına sebep olur.

Daha önceki çalışmalar, hayvansal ve bitkisel yağ asit esterlerinin kimyasal özelliklerinin oksitlenme sırasında değiştiğini göstermiştir. Bu çalışmalarda peroksit asit ve viskozite değerleri oksitlenme esnasında artış göstermektedir. Elde edilen hava veya oksijen, oksitlenme işlemini etkileyen en önemli etkendir [42].

Johnson ve Kummerow, 200 °C'de 24 saatlik test süresince mısır yağını havalandırarak peroksit değerinin ve viskozitenin havalandırma oranına bağlı olarak arttığını bulmuşlardır [70].

Romano, 140 °C'de 100 saatlik test süresi ve 30 litre/saat havalandırma ile hızlandırılmış oksijenin, soya yağı ve soya yağı metil esteri üzerine etkisini incelemişlerdir. İnceleme neticesinde, soya yağı metil esterinin viskozitesinin % 46, soya yağı viskozitesinin ise % 2820 oranında arttığını belirlemişlerdir. Bunun yanı sıra, soya yağı metil esterinin asit değerinin soya yağı asit değerine nazaran çok daha hızlı arttığını tespit etmişlerdir [71].

Du Plessis ve arkadaşları ayçiçek yağından üretilen etil ve metil esterin oksitlenme kararlılığını incelemişlerdir. İncelemede 90 günlük test süresince, çeşitli deneysel şartlar altında ayçiçek yağının metil ve etil esterleri koyu ve açık kaplarda depolanarak test edilmiştir. Hava ile temas eden esterler ile hava ile temas etmeyen esterler karşılaştırıldığında, havayla temas eden metil esterin peroksit değerinin daha çabuk bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda metil esterin asit değeri ve viskozitesinin saf oksijen kullanıldığı zaman arttığı bulunmuştur [72].

Monyem ve Van Gerpen yapmış oldukları bir çalışmada, biodizelin oksitlenmesi ile peroksit değeri 340 meqO₂/kg'ye ulaşmış ve böylelikle biodizelin 51,1 olan setan sayısı oksitlenme işlemi neticesinde 72,7 olmuştur. Yine aynı çalışma göstermiştir ki, okside olmuş biodizel, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında % 28, okside olmamış biodizelle karşılaştırıldığında ise % 15 oranında daha düşük CO emisyonu üretirken, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında % 51, okside olmamış biodizelle karşılaştırıldığında ise % 16 oranında daha düşük HC emisyonları vermektedir. NOx emisyonlarında ise dizel yakıtına nazaran % 13-14'lük bir artış gözlemlenmiştir [14].

Literatürde depolama, ısıl ve oksitlenme olmak üzere üç tip yakıt kararlılığı tanımlanmıştır. Depolama, yakıtın uzun süreli depolanması sırasında hava veya su ile teması neticesinde yakıtta oluşabilecek değişimleri, ısıl kararlılık, yakıt ısındığında oluşabilecek değişimleri tanımlarken oksitlenme kararlılığı ise yakıt ile havadaki oksijenin teması durumunda meydana gelen değişimleri gösterir.

Oksitlenme prosedürleri uluslar arası standartlarla belirlenmiştir. Dizel yakıtının özelliklerinin ölçümünde kullanılan ASTM (American Society for Testing and Materials) D-2274, biodizelin yakıt özelliklerini belirlemek için uygun değildir.

Seyreltme veya filtreleme işlemleri ile dizel yakıtından tortu ve yapışkanların ayrışması sağlanabilirken bu işlemler biodizel için etkisizdir. Sıvıların oksitlenme kararlılığı test yöntemi olarak kullanılan AOCS Cd 12b-92 kararlılık indeksi ise biodizeller için kullanılabilir. Bununla birlikte 110 °C'lik oldukça yüksek test sıcaklığı, biodizel kullanımıyla ortaya çıkmayacak reaksiyonların meydana gelmesine neden olabilir. Test prosedürlerinde kullanılan biodizelin sıcaklığı 60 °C'dir. Bu sıcaklık normal yakıt geri dönüş oranı ile yakıt tankı için düşünülen uygun bir değerdir. Ayrıca yakıtın içerisinde bulunan oksijen kabarcıklarının, yakıt tankında bulunan havalandırma ile aynı işlemi yaptığı farz edilmektedir [42].

Bu çalışmada bir oksitlenme test düzeneği kurulmuş, zamana bağlı olarak biodizelin içerisindeki oksijen miktarındaki (peroksit sayısı) değişim incelenmiş, değişimler zamana bağlı olarak bir grafik üzerinde gösterilmiştir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deneyleerde Kullanılan Biodizelin Üretilmesi

Deneyleerde alternatif yakıt olarak pamuk metil esteri kullanılmıştır. Kullanılan pamuk esterleri üretmek için hammadde olarak piyasada ‘dok’ markası ile pazarlanan rafine yemeklik pamuk yağı kullanılmıştır. Tablo 4.1’de deneyleerde kullanılan yağa ait özellikler verilmiştir.

Tablo 4.1. Pamuk yağının bitkisel ve kimyasal özellikleri [73]

Yapılan Muayene ve Analizler	Analiz Yöntemi	Sonuçlar
Renk-Tat-Koku	Duyusal	Kendine Has
Kırılma İndisi (40 ⁰ C)	TS 4960	1,466
Uçucu Madde Miktarı	TS 130	% 0
Yoğunluk (20 ⁰ C)	TS 322 TS 342	0,922 g/cm ³
Asit Sayısı	TS 342	0,32 mg KOH/g
İyot Değeri	TS 894	112,8
Peroksit Sayısı	TS 342	2,65 meq/kg
Sabunlaşma Sayısı	TS 342	195,8 mg KOH/g
Sabunlaşmayan Madde	TS 894	% 1,3
Sabun Miktarı	TS 894	% 0,0038
Mineral Yağ Aranması	TS 894	Yok

Pamuk yağı metil esterinin (biodizel) üretimi için Bölüm 3’de anlatılan yöntemlerden transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Biodizelin üretimi aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

Kullanılan Malzemeler ve Oranları:

Metil esteri üretmek için 40 litre yemeklik rafine pamuk yağı kullanılmış, kullanılan yağın litresi başına da 3,5 gr KOH, 200 ml metil alkol kullanılmıştır. Ayrıca yıkama işlemi için reaksiyon sonunda oluşan metil esteri kadar saf su kullanılmıştır. Toplu olarak reaksiyon girdilerini yazacak olursak;

- 40 litre rafine yemeklik pamuk yağı
- 8 litre metanol (minimum % 95 saflıkta)
- 140 gram KOH
- Saf su
- Sülfürik asit (H_2SO_4)

Kullanılan yağın ısıtılması için kendinden rezistanslı bir ısıtıcı ve karışma işleminin gerçekleşmesi için karıştırıcı kullanılmıştır. Ayrıca pH seviyesini ayarlamak için pH kağıdı ve bir adet enjektör kullanılmıştır.

Üretim İşlemi:

- Katalizör olarak kullanılacak olan KOH, havadaki nemden etkilenmemesi için hızlı bir şekilde 140 gram olacak şekilde tartılıp hazırlanmıştır.
- Tartılan KOH tanecikleri, önceden bir kap içerisine konmuş 8 litre metanolün içerisine dökülmüştür. Daha sonra KOH'ın metanolün içerisinde çözünmesi için bir karıştırıcı vasıtasıyla 15 dakika boyunca karıştırılmıştır. Ortaya çıkan karışım (potasyum metaoksid) zehirli olduğu için gerekli önlemler alınmıştır.
- Bu esnada rezistanslı ısıtıcının içerisinde bulunan 40 litre pamuk yağı $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmıştır. Bunun sebebi ise yağın incelerek reaksiyona girmeye daha hazır bir hale getirilmesidir.
- KOH, alkol içerisinde iyice çözüldükten sonra KOH/metanol karışımı $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye sıcaklığı ayarlanmış olan yağın içerisine boşaltılmıştır.
- Bu yeni karışım, karıştırıcı ile 1 saat boyunca $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de yaklaşık olarak 1200 d/d'da karıştırılmıştır. Metanolün buharlaşma sıcaklığı $64,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu için daha yüksek

sıcaklıklara çıkılmamalıdır. Şekil 4.1’de karıştırma esnasında reaksiyonun durumu gözükmemektedir.

– Reaksiyon tamamlanıp karıştırıcı durdurulduğunda esterleşme işleminin durumuna göre karar verilir. Eğer esterleşme başarılı olmuşsa; karışım hızla berrak altınimsı bir renk alırken, dibe doğru açık kahverengi renkte gliserin tabakasının çökerek birikmeye başladığı görülür. Eğer gliserin tabakasında bir ayrışma söz konusu değil ise yağ metil estere dönüşmemiş yani biodizel olmamış demektir.



Şekil 4.1. Reaksiyon sırasında ısıtıcının üstten görünüşü

– Karışımın soğuması ile birlikte çökeltme işlemi iyice tamamlandıktan sonra elde edilen ürün olan karışımın üst kısmındaki ester tabakası gliserin tabakasından ayrılarak başka bir kaba alınmıştır. Şekil 4.2’de reaksiyon tamamlandıktan hemen sonraki durum gösterilmiştir.

– Elde edilen metil esterin içerisinde bulunan reaksiyondan arta kalan alkol, katalizör, gliserin, vs. artıklarını uzaklaştırmak için ester yıkama işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.2. Reaksiyon tamamlandıktan sonra ısıtıcının üstten görünüşü

– Yıkama işlemi için ayrı bir kaba alınan pamuk metil esteri miktarında yani 1/1 oranında saf su yavaşça kabın içerisine boşaltılmıştır. Aksi takdirde iki sıvı bir biriyle karışım yaparak emülsiyon oluşturabilir. Şekil 4.3’de saf su ile pamuk yağı metil esterinin karışım durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Yıkama işlemi başlangıcında saf su ile pamuk yağı metil ester karışımının durumu

– Kabın içerisine dip kısmına gelmesi şartı ile hava taşları sarkıtılmış ve havalandırmayı sağlamak (kabarcık oluşturmak) için de küçük bir kompresör kullanılmıştır. Hızlı bir karıştırma neticesinde emülsiyon olmasını önlemek amacıyla hava pompası seçilmiştir.

– Yıkama işlemine en az 8 saat hava üfleyerek devam edilmiştir. Hava pompasından pamuk yağı metil esteri-saf su karışımına hava üflenmeye başlandığında köpürme meydana gelmiştir.

– Bunun sebebi ise kullanılan katalizörün alkali (baz) olmasıdır. Köpürmeyi sona erdirmek ve dolayısıyla pH miktarını ayarlamak için karışıma bir enjektör vasıtasıyla sülfürik asit (H_2SO_4) püskürtülmüştür. Püskürtme işlemine pH seviyesi normal sınır olan 7'ye kadar devam edilmiştir. Şekil 4.4'de enjektör yardımıyla sülfürik asit püskürtülerek pH seviyesinin ayarlanması gösterilmiştir. Şekil 4.5'de ise pH ayarlamasından sonraki durum gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Enjektör vasıtasıyla asit püskürtülerek pH seviyesinin ayarlanması



Şekil 4.5. pH seviyesi ayarlandıktan sonra (pH = 7) yıkama işlemi

– Eğer transesterifikasyon işlemi esnasında, kaliteli bir biodizel (pamuk yağı metil esteri) elde edilmemiş ise yıkama işlemi esnasında saf suyla biodizel karışarak

emülsiyon oluştururlar. Bu krema görüntüsündeki emülsiyon istenmeyen bir durum olup, her ne kadar değişik metotlar kullanılarak ayrıştırılabilsede zaman alıcı ve uğraşı gerektirmektedir.

– Yıkama işlemi tamamlanınca faz ayrışması için karışım minimum 12 saat boyunca dinlendirilmiştir. Dinlendirme işlemi neticesinde (12 saat sonra) karışımın en altında saf su, orta kısmında sabun, en üst kısmında ise yıkanmış biodizel kalmıştır. Şekil 4.6’de bu durum açıkça gözükmektedir.

– Karışımın en üst tarafındaki yıkanmış ve dinlendirilmiş biodizel alınarak içerisindeki suyu buharlaştırmak için tekrar ısıtıcının içerisine konulmuştur. Biodizelin sıcaklığı 100 °C’ye ayarlanarak minimum yarım saat bekletilmiştir. Kaynama işlemi esnasında açığa çıkan buhar gözle görülebilmektedir.



Şekil 4.6. Yıkama sonrasında minimum 12 saat boyunca dinlendirilmiş biodizel

– Kaynama işlemi neticesinde biodizel başka bir kaba alınarak soğumaya bırakılmış, ağzı kapalı bir kap içerisinde de güneş görmeyen bir yerde depolanmıştır. Şekil 4.7’de üretilen biodizelin bir kısmı görülmektedir.



Şekil 4.7. Elde edilen biodizel

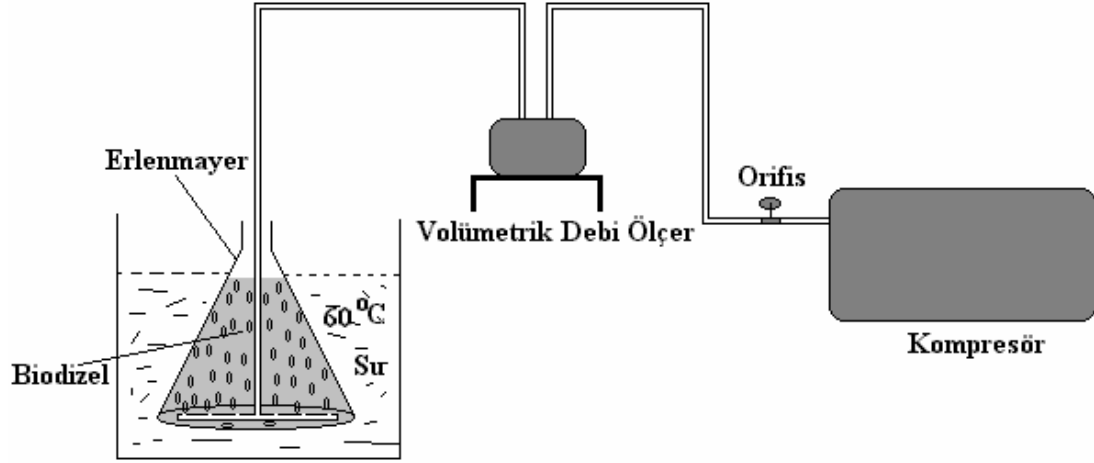
4.2. Biodizelin Yaşlandırılması (Oksidasyonu) İşlemi

Biodizelin yaşlandırılması, belirli sıcaklıktaki (60°C) biodizelin içerisine oksijen veya hava üflenmesi işlemi olup bu çalışmada oksitleyici olarak hava kullanılmıştır. Yaşlandırma işlemi esnasında kullanılan malzemeler ise şunlardır;

- Erlenmayer (3 litre hacminde)
- Rezistanslı ısıtıcı
- Volümetrik debi ölçer
- Kompresör
- Orifis

3 litre hacmi bulunan erlenmayer, içerisine tamamını dolduracak şekilde (3 litre) önceden hazırlanmış pamuk metil esteri (biodizel) doldurulmuştur. Rezistanslı ısıtıcı, erlenmayerin biodizelle dolu olan kısmı suyun içerisinde kalacak şekilde su ile doldurulmuş ve suyun sıcaklığı da 60°C olarak ayarlanmıştır. Biodizelle dolu olan erlenmayer, ısıtıcının içerisine yerleştirilmiş ve biodizelin içerisine hava göndermeyi sağlayacak olan boru erlenmayerin her tarafına hava ulaştıracak şekilde dallandırılmıştır. Biodizelin içerisine gönderilecek olan hava standart bir kompresör vasıtasıyla temin edilmiş, gönderilen havanın miktarını ölçmede ise volümetrik debi ölçer kullanılmıştır. Ayrıca kompresörün çıkışına hava akışını kontrol etmek için bir

adet orifis bağlanmıştır. Şekil 4.8’de yaşlandırma işlemini gerçekleştirmek için kurulan düzenek gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Yaşlandırma test düzeneğinin şematik görünümü

ASTM D-2274 standardında yaşlandırma işlemi için kullanılan oksijen miktarı $0,26 \times 10^{-6}$ - $1,85 \times 10^{-6}$ olarak bildirilmiştir [62]. Yaşlandırma işlemi esnasında biodizelin içerisine $9,1 \times 10^{-6}$ kg/sn miktarında hava gönderilmiştir. Gönderilen bu miktar yaklaşık olarak ASTM D-2274 standardında belirtilen miktarın beş katıdır. Havanın içerisinde % 21 oranında oksijen var olduğundan yola çıkılarak biodizelin içerisine gönderilen hava miktarı, standartta oksijen için belirlenmiş değerin yakalanması için oksijenin beş katı alınmıştır. Böylelikle beş kat daha fazla hava göndererek standartta belirtilen miktarda oksijen gönderilmiştir.

Biodizelin yaşlandırılması işlemine 18 saat boyunca devam edilmiştir. Saatte bir olmak kaydı ile biodizelden örnekler alınmış, alınan bu örnekler ise ağzı kapalı kaplarda muhafaza edilmiştir.

4.3. Peroksit Tayini

Biodizelin peroksit değerini ölçmek için AOCS Cd 8-53 standardı kullanılmıştır. Bu standart doğrultusunda yapılan işlemler aşağıdaki gibidir.

Kullanılan Materyaller:

- Pipet (0,5 ml)
- Erlenmayer (250 ml)
- Cam tüp (50 ml)

Hazırlanan Çözeltiler:

- Asetik asit – Kloroform çözeltisi 3 : 2 (Hacim esaslı)
- Saf su – Potasyum iyodür (KI) çözeltisi; Potasyum iyodür kaynatılmış saf su içerisinde iyice çözüldürülerek doymuş bir çözelti elde edilmiştir. Çözeltinin alt kısmında doymuş çözeltinin belirtisi olan potasyum iyodür kalıntıları bulunmalıdır.
- 0,1N Sodyum tiosülfat çözeltisi; 1 litre saf su içerisinde 24,9 gram sodyum tiosülfat çözülerek elde edilmiştir.
- Nişasta Çözeltisi; 1 gram nişasta ile az miktarda soğuk su karıştırılarak nişasta koyu bir kıvam almıştır. Daha sonra bu karışım 200 ml kaynayan saf su içerisine dökülmüş ve çözünmesi için birkaç saniye karıştırılmıştır. Nişasta iyice çözüldükten sonra çözelti kullanıma uygun hale gelmesi için soğutulmuştur.

Testin Yapılışı:

- 250 ml'lik deney tüpü içerisinde 5 gramlık biodizel numunesi tartılmış, 3:2 oranındaki asetik asit – kloroform çözeltisinin 30 ml'si ve 0,5 ml'lik potasyum iyodür çözeltisi numunenin üzerine dökülerek, numunenin erimesi için bir miktar çalkalanmıştır.
- 30 ml saf su eklenerek çözelti yaklaşık 1 dakika boyunca çalkalanmıştır.
- 0,1 N sodyum tiosülfat ile sarı renk hemen hemen kaybolana kadar titre edildilmiştir. Bu esnada 0,5 ml civarında nişasta çözeltisi eklenerek çözelti mavi renge dönüşmüş, bir süre daha çözelti çalkalandıktan sonra titrasyona mavi renk tamamıyla kaybolana kadar devam edilmiştir.
- Günlük olarak çözeltilerin blank deneyi titrasyonu yapılmıştır. Blank deneyi titrasyon, 5 gr numune kullanılmaksızın yukarıda sayılan üç aşama gerçekleştirilerek

saptanmıştır. Blank deneyi titrasyon 0,1 N sodyum tiosülfat çözeltisinin 0,1 ml'sini aşmamalıdır.

Hesaplamalar:

$$\text{Peroksit değeri (meq)} = (A - B) \times N \times 1000 / W$$

A = Titrasyonda kullanılan standart alkalini (ml)

B = Blank deney titrasyonu (ml)

N = Standart alkali normalitesi

W = Numunenin ağırlığı (gr)

Yukarıdaki formül kullanılarak 18 saat boyunca alınan her numunenin peroksit değeri hesaplanmış, sonuçlar ise bir grafik haline getirilerek bir sonraki bölümde gösterilmiştir.

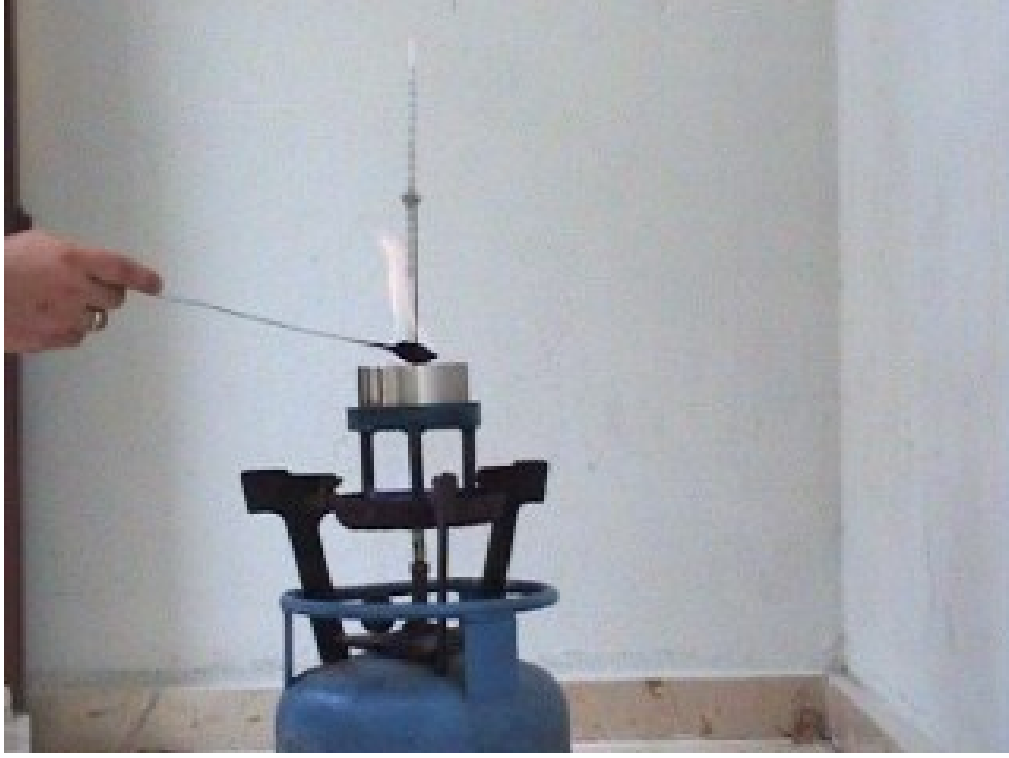
4.4. Parlama Noktası Tayini

Yakıtlar ve yağların, yanma sıcaklık derecesinden çok daha düşük bir sıcaklık derecesinde bir alev yaklaştırılınca parladığı görülür. Bunun nedeni içlerinde, yanabilecekleri sıcaklıktan daha düşük sıcaklık derecelerinde gaz durumuna geçebilen maddelerin bulunmasıdır.

Parlama noktası; yakıtların motorda kullanılabilmesi için, ön ısıtmaya gereksinim gösterip göstermediğinin belirtilmesi yönünden önemlidir.

Biodizel ve yaşlandırılmış biodizel yakıtlarının parlama noktalarının tayini için öncelikle yakıtlardan 50 ml'lik örnekler alınmıştır. Daha sonra parlama noktası tayin edilecek yakıt şekil 4.9'da görülen hazneye dökülmüş ve ısıtılmaya başlanmıştır. Isınan yakıtın sıcaklığı hazneye yerleştirilmiş olan termometre vasıtasıyla kontrol edilmiş ve bir yandan da yakıt üzerinde alev gezdirilmiştir. Yakıtın sıcaklığı artıkça üzerindeki buhar miktarı da artmaktadır. Yakıtın sıcaklığı kritik seviye ulaştığında yakıt üzerinde gezdirilen alevin yardımıyla yakıt parlamaktadır. Parlamamanın meydana

geldiği sıcaklık termometre vasıtasıyla tespit edilmiş ve bu sıcaklık yakıtın parlama noktası olarak tayin edilmiştir.



Şekil 4.9. Biodizel ve yaşlandırılmış biodizel yakıtlarının parlama noktalarının tespiti

4.5. Motor Performans Deneyleri

Motor testleri, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Laboratuvar'ında tek silindirli, direkt püskürtmeli, su soğutmalı bir dizel motoru ile su dinamometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. % 20 oranında pamuk metil esteri (biodizel) ve motorin karışımı (**B20**) ile % 20 oranında yaşlandırılmış biodizel ve motorin karışımı (**YB20**) kullanılarak motor testleri yapılmıştır. Motor deneyleri tam yük altında gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak moment, efektif güç, efektif verim, ortalama efektif basınç, volümetrik verim ve özgül yakıt tüketimi eğrileri elde edilmiştir.

Deney öncesinde motor yağı değiştirilmiştir. Ayrıca deneylere başlamadan önce motor, test edilecek yakıt türü ile yaklaşık olarak 15-20 dakika çalıştırılarak uygun çalışma sıcaklığına geldikten sonra ölçümlere başlanmıştır.

Deneylerde bir test yatağı üzerinde bulunan ve Tablo 4.2’de teknik özellikleri verilen bir dizel motorundan yararlanılmıştır.

Tablo 4.2. Deney motorunun teknik özellikleri

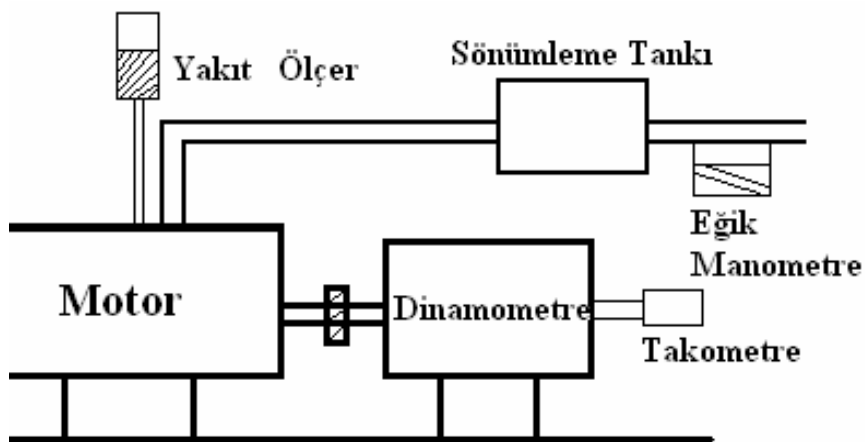
Super Star, 7710	
Çalışma Prensibi	4 Zamanlı, Direkt Enjeksiyonlu
Silindir Sayısı	1
Sıkıştırma Oranı	1/17
Silindir Çapı	98 mm
Strok	100 mm
Silindir Hacmi	0,77 litre
Püskürtme Basıncı	175 kg/cm ²
Maksimum Motor Gücü	10 hp (1800 d/d)

Yukarıda teknik özellikleri verilen dizel motoru Motosan marka su dinamometresi ile beraber çalışmaktadır. Motor çıkış miline bağlı olan bir kaplin vasıtasıyla dönen dinamometrenin su ile yüklenmesiyle motorun ürettiği kuvvet 0,72 m mesafede bulunan terazi vasıtasıyla ölçülmüştür. Motor devri, Elimko EHT 105 marka takometre, tüketilen yakıt miktarı yakıt ölçerin 25 cm³’lük hacmi kullanılarak kronometre yardımıyla hacimsel olarak gerçekleştirilmiş, içeriye alınan hava miktarı ise eğik manometre vasıtasıyla ölçülmüştür. Deney düzeneği şekil 4.10’da gösterilmekte, şekil 4.11’de de şematik olarak ifade edilmektedir.

Motor testleri, tam yük konumunda, 1000 – 2000 d/d dönme sayısı aralığında 200 d/d periyodik artışla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.10. Deney düzeneği



Şekil 4.11. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Örnek verilen motor test değerleri dizel yakıtı baz alınarak tam yükte ve 1800 d/d'de hesaplanmıştır. Hesaplamalar aşağıdaki gibidir;

1. Moment

$$M_d = F.L$$

L : 0,72 m (moment kolu mesafesi)

F : Kuvvet

2. Efektif Güç

$$P_e = M_d \cdot \frac{2\pi n}{60}$$

n : Devir sayısı (d/d)

3. Özgül Yakıt Tüketimi

Birim zamanda birim güç başına harcanan yakıt miktarına özgül yakıt sarfiyatı denir.

$$b_e = \frac{V_y \cdot d \cdot 3600}{t \cdot P_e}$$

t : Zaman (s)

V_y : Tüketilen yakıt hacmi (cm^3)

d : Yakıtın yoğunluğu (g/cm^3)

4. Ortalama Efektif Basınç

Ortalama efektif basınç motorun gerçek çevrimdekine eşdeğer bir P_e gücünü vermesi için bir strok boyunca pistona etkimesi gereken sabit basınç olarak ifade edilir.

$$P_{me} = \frac{W_e}{V_H} = \frac{P_e}{n_\ç \cdot V_H} = \frac{P_e}{V_H \cdot n \cdot i}$$

W_e : Bir çevrimdeki iş (Nm/çevrim)

$n_\ç$ = Çevrim sayısı, $n_\ç = n \cdot i$ (çevrim/s)

i = Bir devirdeki çevrim sayısı (çevrim/dev.)

4 zamanlı motor için $i = 1/2$, 2 zamanlı motor için $i = 1$ dir.

5. Efektif Verim

Efektif verim, motor milinden alınan işin silindire verilen enerjiye oranı şeklinde tarif edilir

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_T} = \frac{W_e / t}{Q_T / t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u}$$

\dot{m}_y = Kütleli yakıt debisi (g/s)

H_u = Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

6. Volümetrik Verim

Motorun belli çalışma şartlarında emdiği gerçek hava miktarının pistonun yer değiştirdiği hacme (teorik hava miktarı) oranıdır.

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{H,g}}{\dot{m}_{H,t}} = \frac{2\dot{m}_{H,g}}{z \cdot \rho_{H,g} \cdot V_H \cdot n} = \frac{2\dot{V}_{H,g}}{z \cdot V_H \cdot n}$$

V_H : Strok hacmi (m^3)

z : Silindir sayısı

Gerçekleştirilen motor testleri sonunda yakıtların tam yük konumundaki moment, efektif güç, efektif verim, ortalama efektif basınç, volümetrik verim ve özgül yakıt tüketimi değerleri motor devrine bağlı olarak bir sonraki bölümde grafiklerle gösterilmiştir. Grafiklerde gösterilen eğriler, eğri uydurma yöntemi ile 3. dereceden polinomlar olarak verilmiştir. Ayrıca motor testleri esnasında dizel, B20 ve YB20 yakıt türlerine göre alınan veriler Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Motor testlerinde elde edilen bulgular ve hesaplanan değerler

Yakıt	Devir (d/d)	Kuvvet (N)	Yakıt Tüketimi (s/25cm ³)	Hava Tüketimi (mmss)	Moment Md (Nm)	Efek. Güç P _e (kW)	Ö.Y.T. (g/kWh)	O.E.B. P _{me} (bar)	Efek. Verim η_e	Vol. Verim η_v
Dizel	1000	49,5	29	5	35,64	3,732	399,470	17,772	0,230	0,581
	1200	53,5	24	6	38,52	4,840	284,974	19,208	0,322	0,530
	1400	57	20	7	41,04	6,016	215,187	20,465	0,427	0,491
	1600	59	18	8,5	42,48	7,117	175,740	21,183	0,523	0,473
	1800	57	16	11,5	41,04	7,735	167,368	20,465	0,549	0,489
	2000	48	24	14	34,56	7,238	212,413	17,233	0,432	0,486
B20	1000	50	30	6	36	3,769	391,521	17,951	0,234	0,636
	1200	53	24	6,5	38,16	4,795	290,377	19,029	0,316	0,552
	1400	55	20	7,5	39,6	5,805	231,122	19,747	0,397	0,508
	1600	57	18	9,5	41,04	6,876	188,289	20,465	0,488	0,500
	1800	57	15	12	41,04	7,735	167,368	20,465	0,549	0,500
	2000	48	28	13,5	34,56	7,238	212,413	17,233	0,432	0,477
YB20	1000	53	29	5,5	38,16	3,996	348,452	19,029	0,263	0,609
	1200	55	33	6	39,6	4,976	269,642	19,747	0,341	0,530
	1400	56	20	7	40,32	5,911	222,941	20,106	0,412	0,491
	1600	58	17	9	41,76	6,996	181,852	20,824	0,505	0,487
	1800	52	15	11,5	37,44	7,057	201,101	18,670	0,457	0,489
	2000	46	32	14	33,12	6,936	231,286	16,515	0,397	0,486

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu deneysel çalışmada, transesterifikasyon yöntemi ile yemeklik rafine pamuk yağından metil ester (biodizel) üretilmiş ve üretilen metil esterin yakıt özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra üretilen metil ester 18 saat boyunca içerisine hava göndermek kaydı ile yaşlandırma (oksidasyon) işlemine tabi tutulmuş, test sonunda da peroksit tayini için analiz yapılmıştır.

Tablo 5.1’de dizel yakıtı ile üretilen biodizel yakıt özellikleri açısından karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.1. Dizel yakıtı ve biodizelin standart özelliklerinin karşılaştırılması [74]

Yakıt özellikleri	Dizel Yakıtı	Biodizel
Yakıt standardı	ASTM D975	ASTM PS
Alt ısı değeri, KCal/kg	131,295	117,093
Kinematik viskozite, 40 °C	1.3 - 4.1	1.9 - 6.0
Yoğunluk, g/cm ³ 15°C	7.079	7.328
Su, ağırlıkça ppm	161	% 05 Max
Karbon, % ağırlık	87	77
Hidrojen, % ağırlık	13	12
Oksijen, % ağırlık	0	11
Sülfür, % ağırlık	0.05 Max	0.0 - 0.0024
Kaynama Noktası, °C	188 - 343	182 - 338
Parlama Noktası, °C	60 - 80	100 - 170
Bulutlanma Noktası, °C	-15 - 5	-3 - 12
Akma Noktası, °C	-35 - 15	-15 - 10
Setan Sayısı	40- 55	48 - 65
Stokiyometrik Hava/Yakıt Oranı %	15	13.8

Setan sayısı, yakıtın basınç altında tutuşma ve yanma kabiliyetinin bir ölçüsü olup, yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesini azaltarak emisyonları düşürmekte ve yakıtın daha verimli yanmasına imkan sağlamaktadır. Biodizel yapısındaki oksijen içeriğinden dolayı dizel yakıtına nazaran biraz daha yüksek setan sayısına sahip olduğu için daha iyi yanma kalitesine de sahiptir. Bu yönü ile bakıldığında Tablo 5.1’de de görülebileceği gibi biodizelin setan sayısı dizel yakıtına nazaran daha yüksektir.

Bulutlanma ve akma noktaları yakıtların soğukta davranış özelliklerini belirleyen önemli parametrelerdendirler. Bu özellikler göz önüne alınarak her iki yakıt karşılaştırıldığında ise dizel yakıtının üretilen biodizele nazaran daha düşük bulutlanma ve akma noktalarına sahip olduğu görülmektedir. Bu da dizel yakıtının biodizele nazaran soğukta davranış özelliklerinin daha iyi olduğunun bir göstergesidir. Biodizelin bu soğukta davranış özelliklerini iyileştirmek için içerisine çeşitli katıklar katmak mümkündür. Böylelikle biodizelin bulutlanma ve akma noktaları aşağı çekilebilir.

Yoğunluk az ise yakıtın içersinde bulunan uçucu elemanlar fazladır ve bu yakıtın ısı değeri yüksektir. Ayrıca yoğunluğu düşük olan yakıtlar daha kolay püskürtülebilirler. Yoğunluk aynı zamanda yakıtın depo hacmini de belirler. Yoğunluk açısından her iki yakıt incelendiğinde ise biodizelin yoğunluğunun dizel yakıtına nazaran yüksek olduğu Tablo 5.1’de görülmektedir.

Yakıtın viskozitesi; yakıt bir enjektörden veya dar bir kanaldan hava içine püskürtüldüğünde oluşacak yakıt demetini çok etkiler. Viskozite büyüdükçe yakıtın zerrelere ayrılması azalır ve dolayısıyla iri yakıt tanecikleri oluşur. Küçük viskoziteli yakıtlar ise yakıt pompasında kaçaklara yol açmaktadır. Bitkisel yağların yüksek olan viskoziteleri transesterifikasyon yöntemi ile düşürülmesine karşın hala dizel yakıtından daha yüksek viskoziteye sahiptirler.

Yakıtın içerisindeki su, motordaki yanma olayında yüksek sıcaklıklarda buhar olarak kaldığından suyun buharlaşma ısısı enerji olarak motora aktarılmaz. Bu nedendir ki yakıtın içerinde suyun olmaması istenilen bir özelliktir. Bu özellik açısından her iki

yakıt incelendiğinde ise biodizelin dizel yakıtına nazaran çok daha iyi olduğu görülmektedir.

Parlama noktası açısından her iki yakıt karşılaştırıldığında ise biodizelin daha yüksek parlama noktasına sahip olduğu görülmektedir. Bu özelliğinden dolayı biodizel kolaylıkla depo edilebileceği gibi dizel yakıtına nazaran daha yüksek sıkıştırma oranlarında dolayısıyla da daha yüksek sıcaklıklarda püskürtülebilir. Ayrıca parlama noktası, yakıtların motorda kullanılabilmesi için, ön ısıtmaya gereksinim gösterip göstermediğinin belirtilmesi yönünden önemlidir.

Biodizel ve yaşlandırılmış biodizelin parlama noktaları bir önceki bölümde anlatıldığı gibi tespit edilmiştir. Biodizelin parlama noktası 162 °C, yaşlandırılmış biodizelin ise parlama noktası 172 °C olarak tespit edilmiştir.

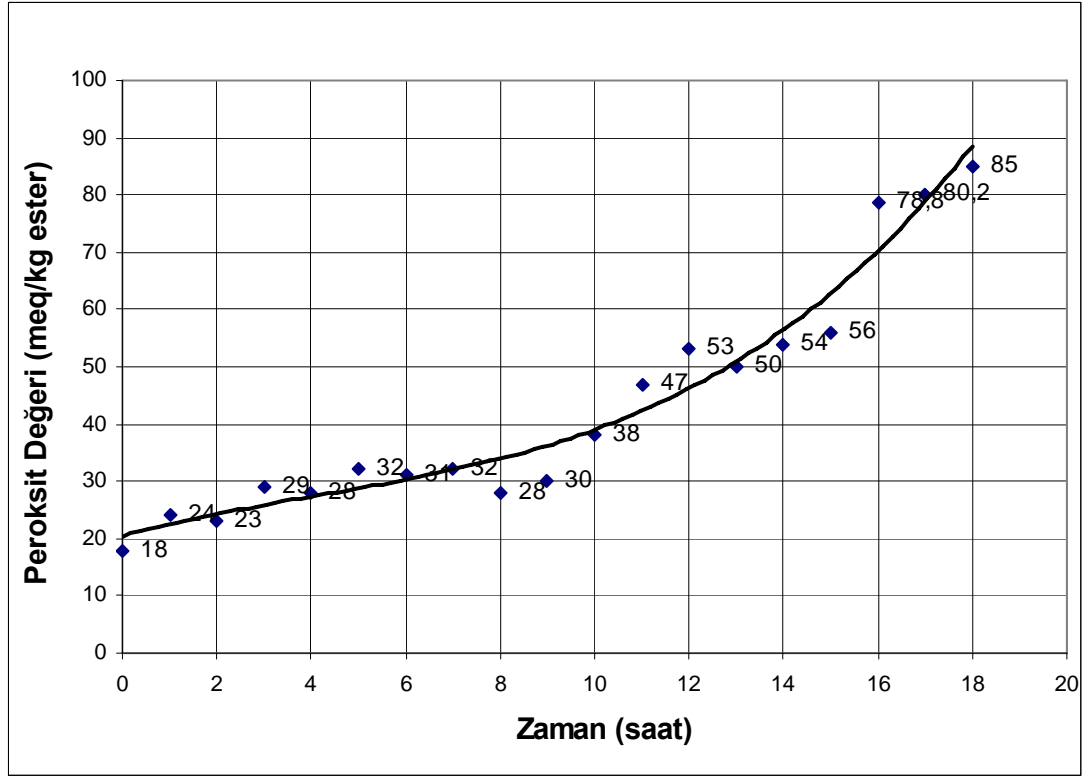
Biodizel içerisinde dizel yakıtına nazaran daha az miktarda karbon ve sülfat bulunmaktadır. Karbon ve sülfat yanma neticesinde eksoz emisyonları içerisinde istenmeyen bileşiklerin oluşmasına neden olur. Bu da istenmeyen bir özelliktir.

Biodizelin oksidasyon kararlılığı üzerine yapılan 18 saatlik testte elde edilen peroksit değerlerini zamana bağlı olarak gösteren grafik şekil 5.1'deki gibidir. Grafikte gösterilen eğri, eğri uydurma yöntemi ile 3. dereceden polinomlar olarak verilmiştir.

Hava ile oksidasyon testi neticesinde peroksit değerinin 18. saatin sonunda 85 meq/kg ester seviyesine ulaştığı görülmüştür. Oysa ki Van Gerpen ve arkadaşlarının (2001) yapmış olduğu çalışmada peroksit sayısının 340 meq/kg ester seviyelerinde olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada oksitleyici olarak saf oksijen kullanmışlardır. Saf oksijen havaya nazaran çok daha iyi bir oksitleyici olduğu için peroksit sayılarında bu denli farklılıklar söz konusudur. Halbuki gerçek olan, yakıtın hava ile temas etmesi şeklindedir.

Şekil 5.1'de de görüldüğü gibi hava ile yapılan oksidasyon işleminin sonucunda zamana bağlı olarak peroksit sayısında artış söz konusudur. Biodizelin içerisindeki peroksit sayısının artması ile yakıtın oksidasyonu da doğal olarak artmaktadır. Bunun

neticesinde ise yakıt test öncesi durumuna nazaran daha viskoz bir hal almaktadır. Yakıtlar için yüksek viskozite, püskürtme esnasında dolayısıyla yanma esnasında daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi sorunlara yol açmaktadır.



Şekil 5.1. Yaşlandırma testi süresince biodizelin peroksit durumu

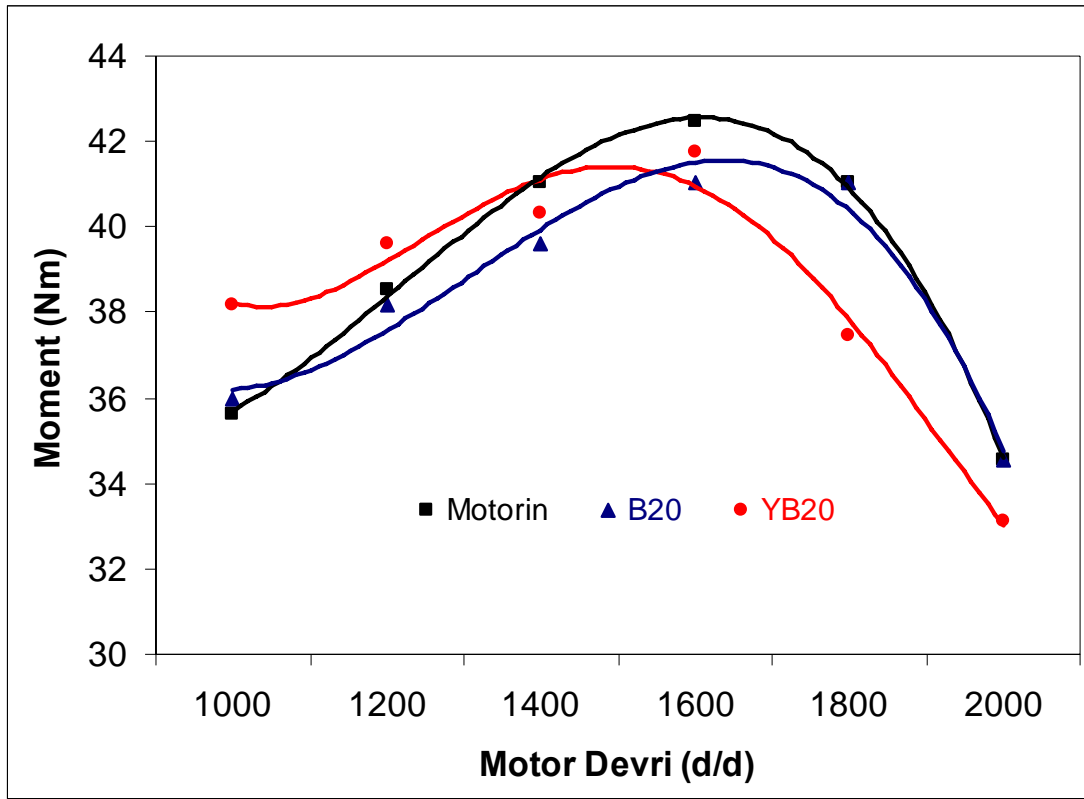
Biodizelin oksidasyonuna paralel olarak yakıtın asit değeri de artmaktadır. Yüksek asit değeri yakıt için istenmeyen bir özellik olup motor parçaları üzerinde olumsuz etkileri vardır. Ayrıca eksoz emisyonları açısından bakıldığında ise çevreye olan zararları (asit yağmurları gibi) da büyüktür.

Yakıtlar içerisindeki oksijen varlığı setan sayısı üzerinde etkilidir. Oksijen miktarı arttıkça yakıtın setan sayısı da artış göstermektedir. Oksidasyon işlemi esnasında yakıt içerisine gönderilen hava dolayısıyla içindeki oksijen setan sayısını arttırmaktadır. Tablo 5.2’de motorin, biodizel ve yaşlandırılmış biodizele ait yakıt analizleri verilmiştir.

Gerçekleştirilen motor testleri neticesinde yakıtların (motorin, B20, YB20) tam yük konumundaki moment, efektif güç, efektif verim, ortalama efektif basınç, volümetrik verim ve özgül yakıt tüketimi değerleri motor devrine bağlı olarak grafiklerle gösterilmiştir. Grafiklerde gösterilen eğriler, eğri uydurma yöntemi ile 3. dereceden polinomlar olarak verilmiştir.

Tablo 5.2. Motorin, biodizel ve yaşlandırılmış biodizele ait yakıt analizleri [14].

Yakıt	Motorin	Biodizel	Yaş. Biodizel
Molekül Ağırlığı	198	291,6	---
Karbon (%)	86,23	76,14	76,06
Hidrojen (%)	13,14	11,75	11,51
Kükürt (%)	0,034	< 0.005	0.010
Setan Sayısı (D6313)	47,4	51,1	72,7
Yanma Isısı			
Üst Isıl Değer (kJ/kg)	45504	39766	38896
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	42716	37273	36454



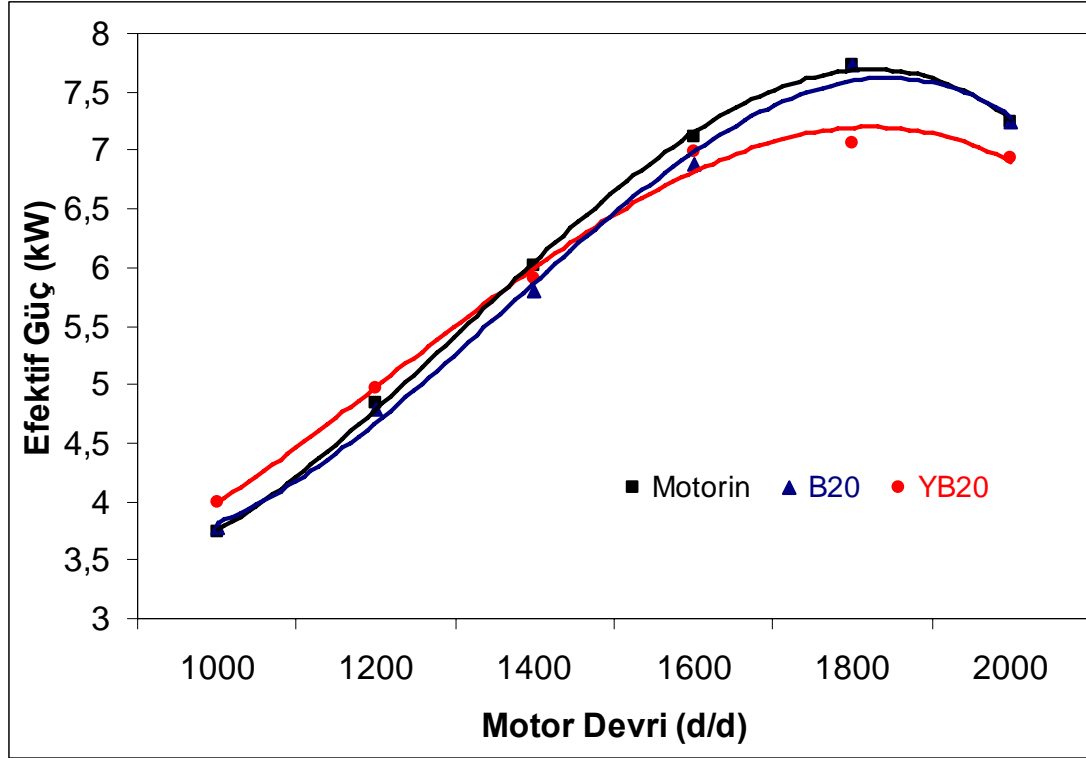
Şekil 5.2. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak moment değişimi

Şekil 5.2’de B20, YB20 ve Motorin yakıtlarının motor devrine bağlı olarak moment değişimi gösterilmektedir. Tam yük konumunda maksimum moment dizel yakıtı için 1600 d/d 42,48 Nm iken B20 yakıtında 1600 d/d’de 41,04 Nm, YB20 yakıtında ise 1600 d/d’de 41,76 Nm olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre karşılaştıracak olursak moment miktarlarında yaklaşık olarak B20 yakıtında % 3, YB20 yakıtında ise % 2’lik düşüş göze çarpmaktadır.

Deney bir bütün olarak incelendiğinde YB20 yakıtının düşük devirlerde B20 ve dizel yakıtına oranla daha yüksek moment üretmesine rağmen 1400 d/d’den sonra diğer iki yakıt daha fazla moment üretmektedir. 2000 d/d baz alındığında ise YB20 yakıtında dizel ve B20 yakıtlarına oranla % 4’lük bir moment düşüş söz konusudur.

B20 yakıtı, dizel yakıtına oranla deney başlangıcında yüksek moment üretmesine rağmen maksimum momentin her iki yakıt için yakalandığı 1600 d/d’de % 2’lik

düşüş göstermiş ancak elde edilen maksimum devir sayısında ise dizel yakıtı ile aynı momenti (34,56 Nm) üretmiştir.

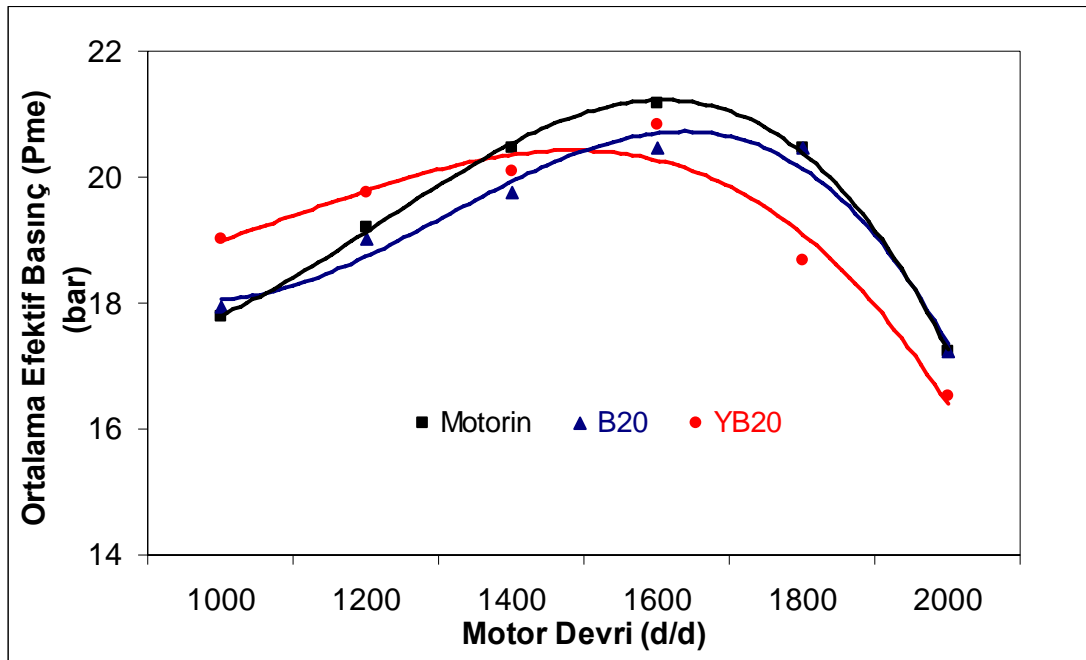


Şekil 5.3. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak efektif güç değişimi

Şekil 5.3’de B20, YB20 ve Motorinin motor devir sayısına bağlı olarak efektif güç değişimi görülmektedir. Tam yük konumunda maksimum efektif güç, dizel ve B20 yakıtları için 1800 d/d’de 7,735 kW olurken YB20 yakıtı için yine aynı motor devrinde yaklaşık olarak % 9’luk düşüş ile 7,057 kW olmuştur.

YB20 yakıtı, 1000 ve 1200 d/d devirlerinde diğer iki yakıtla oranla daha fazla efektif güç üretmesine rağmen 1200 d/d’den sonra bu üstünlüğünü 1400 d/d’de dizel yakıtına kaptırmıştır.

B20 yakıtı ise deney süresince dizel yakıtıyla benzer efektif güç üretmiştir. Özellikle deneyin son iki devir aralığı olan 1800 ve 2000 d/d’de B20 yakıtı, dizel yakıtı ile aynı miktarda (1800 d/d’de 7,735 kW – 2000 d/d’de 7,238kW) efektif güç sağlamıştır.

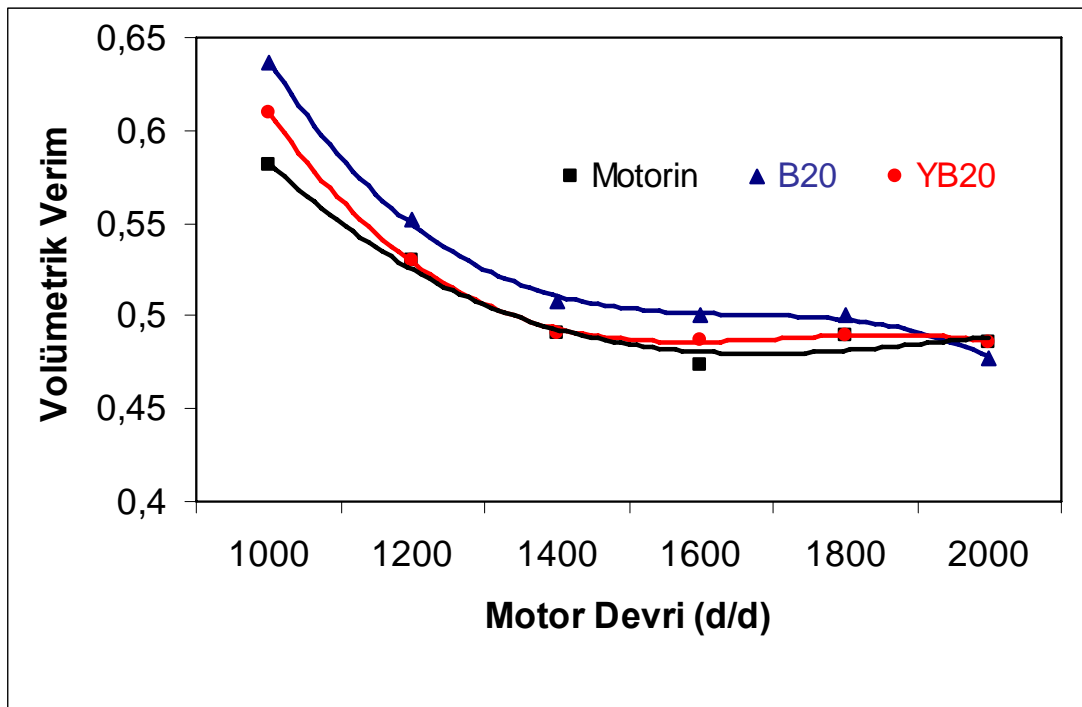


Şekil 5.4. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak ortalama efektif basınç değişimi

Şekil 5.4'de B20, YB20 ve Motorinin motor devir sayısına bağlı olarak ortalama efektif basınç değişimi görülmektedir. Tam yük konumunda maksimum ortalama efektif basınç, 1600 d/d'de dizel yakıtı için 21,183 bar olurken B20 yakıtı için aynı motor devrinde 20,465 bar, YB20 yakıtı için ise 20,824 bar olmuştur.

YB20 yakıtı önceki iki grafikte de görüldüğü gibi düşük devir sayılarında dizel yakıtı ve B20 yakıtına nazaran daha iyi bir performans göstermektedir. YB20 yakıtı, 1000 d/d motor devrinde 19,029 bar ortalama efektif basınç sağlarken dizel yakıtı YB20 yakıtına oranla % 7 daha düşük ortalama efektif basınç üreterek 17,772 bar, B20 yakıtı ise % 6 oranında daha düşük ortalama efektif basınç üreterek 19,029 bar basınç üretmiştir.

Yüksek motor devirlerinde ise dizel yakıtı ile B20 yakıtı ortalama efektif basınç verileri göz önüne alındığında benzer özellikler sergilemektedirler. Her iki yakıt türü de 1800 d/d'de 20,465 bar ve 2000 d/d'de de 17,233 bar ortalama efektif basınç üretmelerine karşın YB20 yakıtı, 1800 d/d'de % 9 oranında düşük ortalama efektif basınç üreterek 18,670 bar, 2000 d/d'de de % 4 oranında düşük basınç üreterek 17,233 bar ortalama efektif basınç üretmiştir.



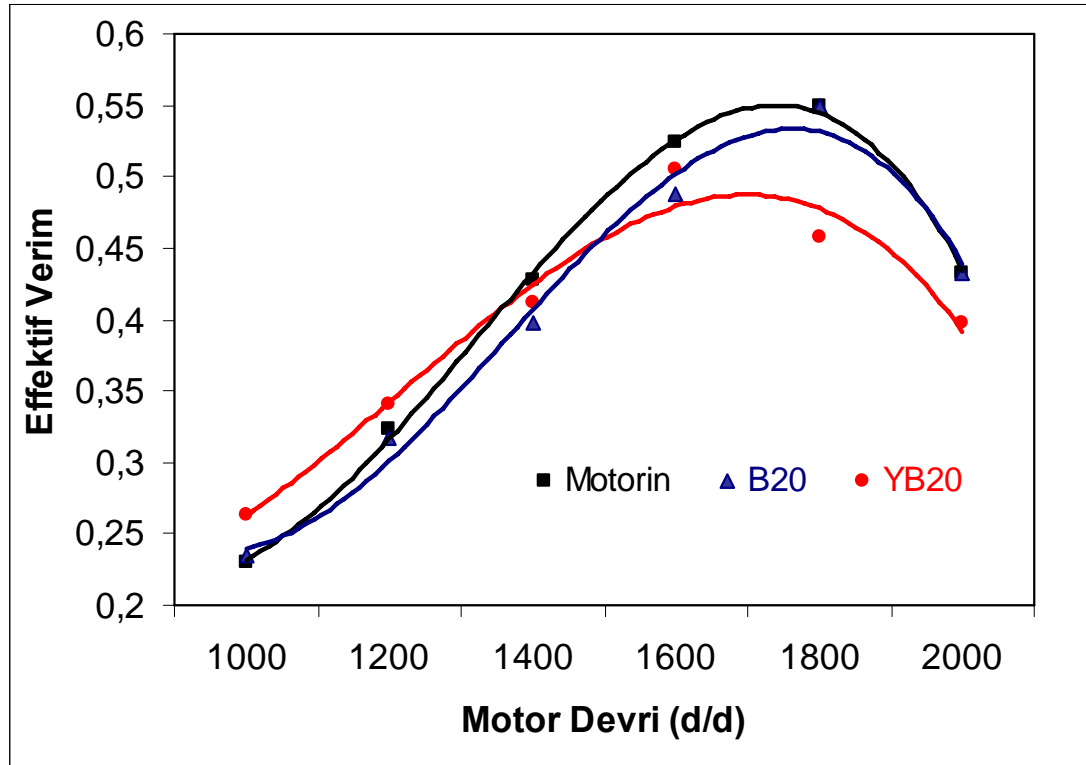
Şekil 5.5. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak volümetrik verim değişimi

Şekil 5.5’de B20, YB20 ve Motorinin motor devrine bağlı olarak volümetrik verim değişimi görülmektedir. Tam yük konumunda maksimum volümetrik verim, 1000 d/d’de B20 yakıtı için % 63,6 olurken YB20 yakıtı için % 60,9, dizel yakıtı için ise % 58,1’dir. Maksimum volümetrik verim açısından tüm yakıtlar kıyaslandığında B20 yakıtı % 63,6 ile ilk sırada yer alırken B20 yakıtına kıyasla % 4 oranında düşük volümetrik verim ile YB20 yakıtı, % 9 oranında düşük volümetrik verimle de dizel yakıtı sıralanmaktadır.

Motor devir sayısına bağlı olarak her üç yakıtın da sağlanmış oldukları volümetrik verim, devir sayısı arttıkça düşüş eğilimi göstermektedir. Bunun sebebi ise motorun devir sayısı arttıkça içeriye alınan havanın silindir içerisine giriş süresinin düşük motor devirlerine nazaran azalmasıdır.

2000 d/d göz önüne alınarak tüm yakıtlar karşılaştırıldığında ise motor deneyinin ilk periyotlarından itibaren diğer iki yakıtı nazaran daha fazla volümetrik verim sağlayan B20 yakıtı, bu motor devrinde % 47,7 ile en düşük volümetrik verimi

kazandırmıştır. YB20 ve dizel yakıtları ise aynı volümetrik verimi (%48,6) üreterek B20 dizel yakıtına oranla % 2 daha fazla volümetrik verim sağlamıştır.



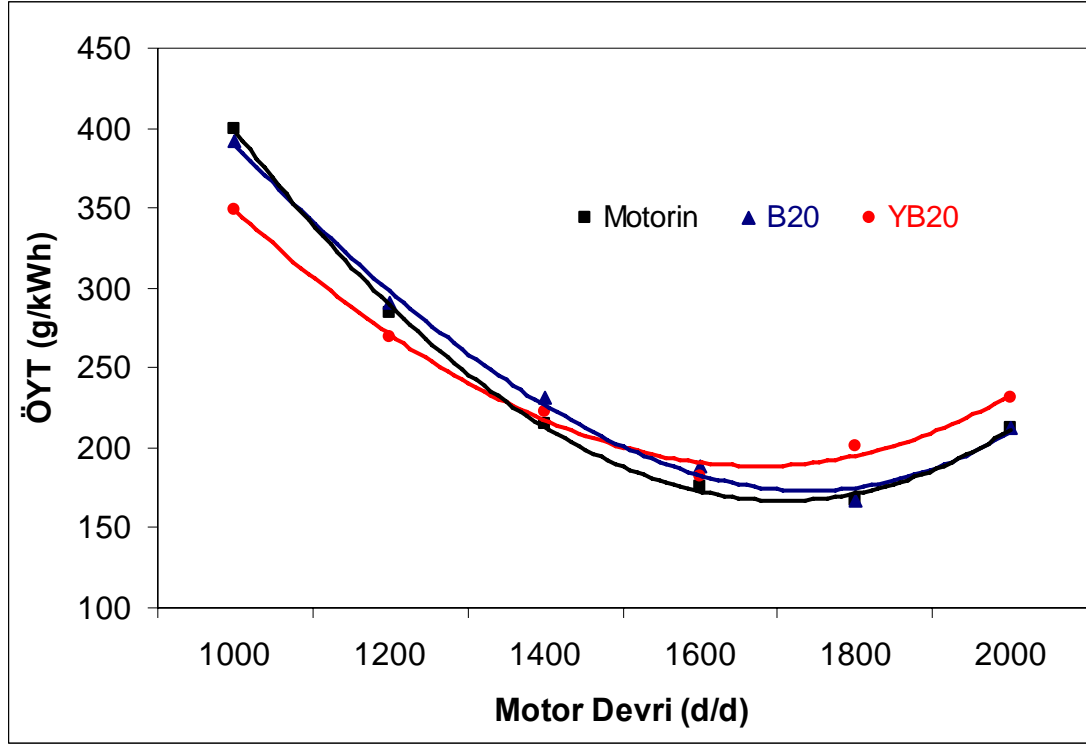
Şekil 5.6. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak efektif verim değişimi

Şekil 5.6'da B20, YB20 ve Motorinin motor devir sayısına bağlı olarak efektif verim değişimi gösterilmektedir. Tam yük konumunda maksimum efektif verim, 1800 d/d'de dizel ve B20 yakıtları için % 54,9 olurken YB20 yakıtı, bu iki yakıtla oranla 1600 d/d'de % 8'lik düşüş göstererek % 50,5 efektif verim sağlamıştır.

Motor deney verilerinin alınmaya başlandığı en düşük motor devri olan 1000 d/d göz önüne alınarak tüm yakıtlar efektif verim açısından karşılaştırıldığında B20 ve dizel yakıtları bir birine çok yakın efektif verim üretmelerine karşın (dizel yakıtı % 23, B20 yakıtı % 23,4) YB20 yakıtı, bu iki yakıtla oranla yaklaşık olarak % 12 daha fazla efektif verim (% 26,3) sağlamıştır.

Deneyin başlangıcından itibaren her üç yakıtın efektif verimleri yükseliş eğilimi göstermesine rağmen maksimum efektif verimin yakalandığı dizel ve B20 yakıtları

için 1800 d/d, YB20 yakıtı için ise 1600 d/d'den sonra düşüş eğilimi söz konusudur. 2000 d/d baz alınarak yapılan bir değerlendirmede, dizel ve B20 yakıtları % 43,2 efektif verim sağlarken YB20 yakıtı bu iki yakıtla oranla % 8 daha az efektif verim (% 39,7) sağlamıştır.



Şekil 5.7. B20, YB20 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi

Şekil 5.7’de B20, YB20 ve Motorinin motor devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimindeki değişim gösterilmektedir. Tam yük konumunda minimum özgül yakıt tüketimi, B20 ve dizel yakıtları için 1800 d/d’de 167,368 g/kWh olurken YB20 yakıtı için 1800 d/d’de diğer iki yakıtla oranla % 9 daha fazla yakıt tüketerek özgül yakıt tüketimi 181,852 g/kWh olmuştur.

YB20 yakıtı 1000 ve 1200 d/d’ye kadar her iki yakıtla nazaran daha düşük yakıt sarfiyatı sağlarken 1200 d/d’den sonra dizel yakıtı daha ekonomik bir hal almaktadır. 1000 d/d’de YB20 yakıtı ile 348,452 g/kWh özgül yakıt tüketimi sağlanırken dizel yakıtı ile YB20 yakıtına nazaran % 15 (399,470 g/kWh), B20 yakıtına nazaran da % 12 (391,521 g/kWh) daha az özgül yakıt tüketimi sağlanmıştır.

1600 d/d'den sonra dizel B20 yakıtlarından aynı özgül yakıt tüketimi verileri (1800 d/d'de 167,368 g/kWh, 2000 d/d'de 212,413 g/kWh) elde edilmiştir. YB20 yakıtı ise bu iki devir aralığında iki yakıtla oranla daha yüksek özgül yakıt tüketimi olduğu saptanmıştır. 1800 d/d'de YB20 yakıtı diğer yakıtlara nazaran % 20 (201,101 g/kWh), 2000 d/d'de ise % 9 (231,286 g/kWh) oranında daha fazla özgül yakıt tüketimi olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki tüm motor karakteristikleri incelendiğinde B20 yakıtı ile dizel yakıtının benzer özellikler sergilediği, kimi motor devir aralıklarında ise her iki yakıtın aynı değerleri verdiği gözlemlenmiştir.

YB20 yakıtı ise düşük motor devirlerinde dizel ve B20 yakıtına nazaran daha iyi performans göstermesine rağmen yüksek devir sayılarında bu üstünlüğünü kaybettiği yapılan deneyler esnasında görülmüştür.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fosil kökenli yakıtların temininde karşılaşılan güçlükler, yakın bir gelecekte tükenecek olması ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle insanoğlu fosil kökenli yakıtlara alternatif yakıtlar arayışı içerisine girmiştir. Bu alternatif yakıt arayışı içerisinde hidrojen, güneş enerjisi ve bitkisel yakıtlar ön plana çıkmaktadırlar.

Ham madde temin edilebilirliği, üretim kolaylığı, vurutuya dayanıklılık, emisyonlardaki iyileşme gibi özelliklerinden dolayı biodizel tercih edilen en önemli yakıt konumuna gelmiştir. Ayrıca biodizelin üretimi için diğer yakıtlarda olduğu gibi çok büyük üretim tesislerine gerek olmadığı gibi çok küçük atölyelerde bile üretimini gerçekleştirmek mümkündür.

Biodizel üretimi için dünyanın her ülkesinde ham madde temin edilebildiği için biodizel yerli bir yakıttır. Ülkelerin coğrafi konumlarına göre soya, ayçiçeği, kanola, pamuk, mısır, fındık, vb. gibi yağ potansiyeline sahip her türlü bitkiden biodizel üretilebilmektedir.

Biodizel üretimi birçok ülke tarafından benimsenmiş, en iyi performansın yakalanması amacıyla da üretim standartları oluşturulmuştur. Biodizel üretimi için, Almanya DIN E 51606, İtalya UNI 10635, Avusturya ÖN C 1191 normlarını kullanmasına rağmen Avrupa Birliği standardı olarak EN 14214 uygulanmaktadır. ABD ise biodizel standardı olarak ASTM D 6751'i kullanmaktadır.

Biodizelin yüksek setan sayısı dolayısıyla vurutuya karşı dayanıklılığı, içerisinde çok az miktarda su bulunması, yüksek parlama noktası ve dizel yakıtına oranla daha iyi emisyon değerleri sağlaması gibi avantajları vardır. Bu avantajlarının yanında biodizel, dizel yakıtına nazaran daha yüksek viskozite ve yoğunluk değerlerine sahip olduğu gibi yüksek bulutlanma ve akma noktaları gibi dezavantajlara da sahiptir. Biodizel tüm bu özellikleri ile dizel yakıtına alternatif bir yakıt olabileceğini

göstermiş olduğu gibi araştırmalar daha iyi özelliklerde biodizel üretimi için devam etmektedir.

Biodizel, saf olarak dizel motorunda kullanılabildiği gibi dizel yakıtı ile çeşitli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilmektedir. Yaptığımız çalışmada biodizel, dizel yakıtı ile % 20 oranında karıştırılmıştır. Bunun neticesinde de motor performans deneylerine ait grafiklerde de görüldüğü gibi dizel yakıtına benzer veriler elde edilmiştir. Ayrıca biodizelin yüksek olan viskozitesi, dizel yakıtı ile karıştırılması nedeniyle karışımın viskozitesi biodizele nazaran daha düşük olmuştur. Böylelikle yakıtın püskürtülmesi daha iyi olmuş dolayısıyla da daha iyi bir yanma elde edilmiştir.

Belirli oranlarda biodizelin dizel yakıtı ile karıştırılması, biodizelin dezavantajlarını kısmen de olsa ortadan kaldırdığı gibi dizel yakıtının da tüketimini karışım oranında azaltmaktadır.

Biodizelin depolanması, taşınması ve araçlardaki yakıt takında hava ile teması oksitlenmesine neden olmaktadır. Bilhassa araçlarda yakıtın çalkalanması, enjektörlerden yakıtın geri dönüşü oksitlenmeyi hızlandırmaktadır.

Oksitlenme yakıtın bazı özelliklerinde değişime neden olmaktadır. Oksitlenme neticesinde yakıtın viskozitesi, asit değerı ve setan sayısının arttığı, ısıl değerlerinin ise düştüğü gözlemlenmiştir. Viskozite ve asit değerinin artması, ısıl değerlerin düşmesi yakıt özelliklerini olumsuz yönde etkilemesine karşın yüksek setan sayısı ile yakıt özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir.

Yapılan parlama noktası tayini testi neticesinde biodizelin parlama noktası 162 °C, yaşlandırılmış biodizelin ise parlama noktası 172 °C olarak tespit edilmiştir. Bu özellik ise yaşlandırılmış (okside olmuş) biodizelin, dizel yakıtı ve biodizelden gerek taşıma gerekse depolama yönünden daha emniyetli olduğunu ifade etmektedir.

Literatürde okside olmuş biodizelin dizel yakıtına ve biodizele nazaran daha iyi egzoz emisyon değerleri verdiği bildirilmektedir.

Birçok araştırmacı biodizelin motor performansına etkilerini incelemiş, dizel yakıtıyla karşılaştırmışlardır. Genellikle moment ve gcte düşme, özgül yakıt sarfiyatında artma, egzoz emisyonlarında ise iyileşme tespit etmişlerdir.

B20 ve YB20 yakıtları dizel motorunda hiçbir modifikasyona ihtiyaç duyulmadan direk olarak kullanılmış ve performans deneyleri esnasında herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır.

Motor performans testleri esnasında B20 ve YB20 yakıtları kullanımında ilk harekete geçiş, ivmelenme ve yavaşlama süreleri boyunca herhangi bir olumsuz etkiyle karşılaşılmamıştır. Deney motoru, bu yakıtlar ile çalıştırıldığında dizel yakıtıyla çalıştırılmaya benzer karakteristikler göstermiştir. Daha nceki deneysel çalışmalarda bahsi geçen yakıt hatlarında ve malzemelerdeki bozulma, yapılan motor deneyleri süresince gözlemlenmemiştir.

Yaptığımız deneysel çalışmada da B20 yakıtı ile dizel yakıtının benzer özellikler sergilediği, kimi motor devir aralıklarında ise her iki yakıtın aynı değerleri verdiği gözlemlenmiştir. YB20 yakıtı ise düşük motor devirlerinde dizel ve B20 yakıtına nazaran daha iyi performans göstermesine rağmen yüksek devir sayılarında bu üstünlüğünü kaybettiği görülmüştür. Bu da özellikle viskozite ve yoğunluğun yüksek olması sebebiyle motorun yüksek devirlerindeki karışım hazırlama ve yanma süresinin kısılmasına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

Tam yük konumunda maksimum moment dizel yakıtı için 1600 d/d 42,48 Nm iken B20 yakıtında 1600 d/d'de 41,04 Nm, YB20 yakıtında ise 1600 d/d'de 41,76 Nm olarak hesaplanmıştır. Dizel yakıtına göre karşılaştıracak olursak moment miktarlarında yaklaşık olarak B20 yakıtında % 3, YB20 yakıtında ise % 2'lik düşüş göze çarpmaktadır.

Tam yük konumunda maksimum efektif gücü, dizel ve B20 yakıtları için 1800 d/d'de 7,735 kW olurken YB20 yakıtı için yine aynı motor devrinde yaklaşık olarak % 9'luk düşüş ile 7,057 kW olmuştur.

Tam yük konumunda maksimum ortalama efektif basınç, 1600 d/d'de dizel yakıtı için 21,183 bar olurken B20 yakıtı için aynı motor devrinde 20,465 bar, YB20 yakıtı için ise 20,824 bar olmuştur.

Tam yük konumunda maksimum volümetrik verim, 1000 d/d'de B20 yakıtı için % 63,6 olurken YB20 yakıtı için % 60,9, dizel yakıtı için ise % 58,1'dir. Maksimum volümetrik verim açısından tüm yakıtlar kıyaslandığında B20 yakıtı % 63,6 ile ilk sırada yer alırken B20 yakıtına kıyasla % 4 oranında düşük volümetrik verim ile YB20 yakıtı, % 9 oranında düşük volümetrik verimle de dizel yakıtı sıralanmaktadır.

Tam yük konumunda maksimum efektif verim, 1800 d/d'de dizel ve B20 yakıtları için % 54,9 olurken YB20 yakıtı, bu iki yakıtla oranla 1600 d/d'de % 8'lik düşüş göstererek % 50,5 efektif verim sağlamıştır.

Tam yük konumunda minimum özgül yakıt tüketimi, B20 ve dizel yakıtları için 1800 d/d'de 167,368 g/kWh olurken YB20 yakıtı için 1800 d/d'de diğer iki yakıtla oranla % 9 daha fazla yakıt tüketerek özgül yakıt tüketimi 181,852 g/kWh olmuştur.

B20 ve YB20 yakıtları ile yapılan motor performans deneyleri süresince yakıt filtresi ve enjektörlerde tıkanma gibi herhangi bir sorunla karşılaşılmasıdır.

Yapılan literatür çalışmaları ve deneysel çalışmalar neticesinde daha sonra yapılacak olan çalışmalara yol göstermesi açısından şu öneriler yapılabilir;

Pamuk bitkisi ülkemizde özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde çok geniş alanlarda yetiştirilmektedir. Pamuk yağının ülkemizde mevcut üretimi ve üretim potansiyelinin yüksekliği, diğer bitkisel yağlara nazaran daha ucuza temin edilebilirliği, biodizel üretimine uygunluğu göz önüne alındığında ülkemiz şartlarında biodizel üretimi için uygun bir yakıt olduğu görülmüştür. Bu konu kapsamında biodizel üretimi amaçlı pamuk bitkisi yetiştiriciliği ve pamuk yağı üretimi teşvik edilmelidir.

Literatürde incelenen çalışmalar, biodizelin çevreci bir yakıt olduğunu ve dizel yakıtına alternatif teşkil ettiğini göstermiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde de biodizelin dizel motorunda kullanımının sorunsuz olduğu görülmüştür. Biodizel, ülkemizin tarımsal kalkınmasını sağlaması açısından ve şehirlerde yoğunlaşan hava kirliliğini azaltması açısından da çözüm üretebilecek konumdadır.

Biodizelin oksitlenmesi yakıt özelliklerini olumsuz yönde etkilediğinden oksitlenmeyi minimum seviyeye indirmek için hava ile teması olabildiğince kesilmeye çalışılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] VERMEERSCH, G., “Development of a Biodiesel Activity”, International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils, Sf. 3, Würzburg, Almanya, 8-10 Ekim 2000
- [2] ŞENGİL, M., Karışım Bitkisel Yağ Etil ve Metil Esterinin Dizel Motorlarında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2005
- [3] http://tr.wikisource.org/wiki/Kyoto_Protokol%C3%BC
- [4] YÜCESU, H.S., ALTIN, R. ve ÇETİNKAYA, S., Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi, Türk J. Engin. Environ. Sci., Vol.25, Sf. 39-49, 2001.
- [5] LEUNG, D.Y.C., KOO, B.C.P. and GUO, Y., Degradation Of Biodiesel Under Different Storage Conditions, Bioresource Technology 97, Sf. 250–256, 2006
- [6] CONNEMANN, J. ve FISCHER, J., Biodiesel World 2000, International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils, Sf. 4, Würzburg, Almanya, 8-10 Ekim 2000
- [7] ŞANLI, H. ve ÇANAKÇI, M., Biyodizel Egzoz Emisyonundaki NOx Artışının Nedenleri Üzerine Bir Değerlendirme, 8th International Combustion Symposium, September 8-9, 2004, Ankara
- [8] ALTIPARMAK, D., KESKIN, A. ve GÜRÜ, M., Mısır Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 8-9 Eylül 2004, Ankara
- [9] ALTIPARMAK, D., KESKIN, A., YILDIRIM, H. M. ve GÜRÜ, M., Dizel Motorlarda Fındık Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak İncelenmesi, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 8-9 Eylül 2004, Ankara
- [10] ÇANAKÇI, M., Combustion Characteristics of A Diesel Engine Fueled With Biodiesel From Soybean Oil, 8th International Combustion Symposium, September 8-9, 2004, Ankara
- [11] KARABEKTAŞ, M., Dizel Motorunda Yakıt Olarak Biomotorin Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Belirlenmesi, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 8-9 Eylül 2004, Ankara

- [12] USTA N., ÖZTÜRK E. ve CAN Ö., Yüksek Serbest Yağ Asitlerine Sahip Bitkisel Yağ Kaynaklarından Biyodizel Üretimi ve Dizel Motorunda Kullanımı, 8th International Combustion Symposium, September 8-9, 2004, Ankara
- [13] KUŞ, R., BAYRAKÇEKEN, H. ve DÜZGÜN, M., Bitkisel Yağların Motorlu Taşıtlarda Kullanımı ve Emisyonlara Etkisi, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 8-9 Eylül 2004, Ankara
- [14] MONYEM, A. ve VAN GERPEN, J., The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions, Biomass and Bioenergy 20, Sf. 317–325, 2001
- [15] ÇANAKÇI, M., MONYEM, A. ve VAN GERPEN, J., Accelerated Oxidation Processes in Biodiesel, Transaction of The ASAE, Vol. 42(6), Sf. 1565-1572, 1999
- [16] MONYEM, A., ÇANAKÇI, M. ve VAN GERPEN, J., Investigation of Biodiesel Thermal Stability Under Simulated In-Use Conditions, 1999 ASAE Annual International Meeting
- [17] VAN GERPEN, J., MONYEM, A. ve ÇANAKÇI, M., The Effect of Timing and Oxidation on Emissions From Biodiesel-Fueled Engines, Transaction of The ASAE, Vol. 44(1), Sf. 35-42, 2001
- [18] VAN GERPEN, J. ve ÇANAKÇI, M., Biodiesel Production From Oils and Fats with High Free Fatty Acids, Transaction of The ASAE, Vol. 44(6), Sf. 1429-1436, 2001
- [19] SAYIN, C., ÖZSEVEN, N. ve ÇANAKÇI, M., Biodiesel Production and Its Use in Diesel Engines as an Alternative Fuel, Journal of Naval Science and Engineering, Vol.1, No.2, Sf.47-58, 2003
- [20] VAN GERPEN, J. ve ÇANAKÇI, M., Biodiesel Production Via Acid Catalysis, Transaction Of The ASAE, Vol. 42(5), Sf. 1203-1210, 1999
- [21] USTA, N., CAN, Ö. ve ÖZTÜRK, E., Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biodizel ve Etanolün Karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 11, Sayı 3, Sf. 325-324, 2005
- [22] ÇANAKÇI, M. ve VAN GERPEN, J., A Pilot Plan to Produce Biodiesel From High Free Fatty Acid Feedstocks, An ASAE Meeting Presentations, Paper Number 01-6049, 2001
- [23] MONYEM, A., VAN GERPEN, J. ve ÇANAKÇI, M., The Impact of Contaminants on Biodiesel Quality, Commercialization of Biodiesel: Producing a Quality Fuel Conference Proceedings, 1997

- [24] Lin C. ve Lin H., Diesel Engine Performance and Emission Characteristics of Biodiesel Produced by Peroxidation Process, *Fuel*, Vol. 85, Sf. 298-305, 2005
- [25] ŞANLI, H. ve ÇANAKÇI, M., Atık Kızartma ve Hayvansal Yağların Biodizel Üretiminde Kullanımı, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 2004
- [26] ÇANAKÇI, M., Atık Hayvansal ve Bitkisel Yağlardan Üretilen Biodizelin Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 2004
- [27] TAŞYÜREK, M. ve ACAROĞLU, M., Aspir Biyomotorinde Depolama Süresi ve Şartlarının Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi, 4th International Advanced Technologies Symposium Konya / Türkiye, 2005
- [28] SCHUMACHER, L. G., PETERSON, C. L. ve VAN GERPEN, J., Fueling Direct Injected Diesel Engines with % 2 Biodiesel Blend, An ASAE Meeting Presentations, Paper Number 98-6084, 2001
- [29] LANG, X., DALAI, A.K., BAKHSHI, N.N., REANEY, M.J. ve HERTZ, P.B., Preparation and Characterization of Bio-diesels from Various Bio-oils, *Bioresource Technology*, Vol. 80, Sf. 53-62, 2001
- [30] ALTIN, R. ve BALCI, M., Ayçiçek Metil Ester Yakıtının Dizel Motorlarında Yakıt olarak Kullanılması Üzerine bir Araştırma, *Z.K.Ü. Karabük Tek.Eğ.Fak. Dergisi*, Yıl 1, Sayı 1,1998
- [31] NETO DA SİLVA, F., PRATA, A.S. ve TEIXEIRA, J.R., Technical Feasibility Assessment of Oleic Sunflower Methyl Ester Utilisation in Diesel Bus Engines, *Energy Conversion Management*, Article In Press, 2003
- [32] USTA, N., An Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of A Diesel Engine Fuelled with Tobacco Seed Oil Methyl Ester, *Energy Conversion and Management*, Vol. 46, Sf. 2373–2386, 2005
- [33] ÇETİNKAYA, M., ULUSOY, Y., TEKİN, Y. ve KARAOSMANOĞLU, F., Engine and Winter Road Test Performances of Used Cooking Oil Originated Biodiesel, *Energy Conversion and Management*, Article In Pres, 2004
- [34] HAAS M. J., MCALOON A.J., YEE W.C. ve FOGLIA T.A., A Process Model to Estimate Biodiesel Production Costs, *Bioresource Technology*, Vol. 97, Sf. 671–678, 2006
- [35] RAMADHAS, A.S., MURALEEDHARAN, C. ve JAYARAJ, S., Performance and Emission Evaluation of A Diesel Engine Fueled with Methyl Esters of Rubber Seed Oil, *Renewable Energy*, Vol. 30, Sf. 1789–1800, 2005
- [36] KERSCHBAUM, S. ve RINKE, G., Measurement of The Temperature Dependent Viscosity of Biodiesel Fuels, *Fuel*, Vol. 83, Sf. 287–291, 2004

- [37] ÇETİNKAYA, M. ve KARAOSMANOĞLU, F., Optimization of Base-Catalyzed Transesterification Reaction of Used Cooking Oil, *Energy & Fuels*, Vol. 18, Sf. 1888-1895, 2004
- [38] KAHRAMAN, B., Review Biodiesel As An Alternative Motor Fuel: Production and Policies in The European Union *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Article In Pres, 2005
- [39] SHIA, X., PANGA, X., MUA, Y., HEA, H., SHUAİB, S., WANGB, J. ve CHENB, H., Rulong Libemission Reduction Potential of Using Ethanol–Biodiesel–Diesel Fuel Blend on A Heavy-Duty Diesel Engine, *Atmospheric Environment*, Article In Pres, 2005
- [40] DORADO, M.P., CRUZA, F., PALOMARA, J.M. ve LO'PEZ, F.J., Data bank An Approach to The Economics of Two Vegetable Oil-Based Biofuels in Spain, *Renewable Energy*, Vol. 31, Sf. 1231–1237, 2006
- [41] HAN, H., CAO, W. ve ZHANG, J., Preparation of Biodiesel From Soybean Oil Using Supercritical Methanol and CO₂ as Co-Solvent, *Process Biochemistry*, Vol. 40, Sf. 3148–3151, 2005
- [42] ÖZSEVEN, N., ÇANAKÇI, M. ve SAYIN, C., Biodizelin Oksitlenme Kararlılığı Üzerine Deneysel Bir Araştırma, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 10, Sayı 2, Sf. 157-167, 2004
- [43] ACAROĞLU, M., *Alternatif Enerji Kaynakları Kitabı*, Atlas Yayın Dağıtım İstanbul, Temmuz 2003
- [44] <http://www.fortunecity.com/skyscraper/terabyte/1432/motyak.htm>
- [45] <http://www.afdc.doe.gov>
- [46] MACLEAN, H.L. and LA VE, L.B., Evaluating Automobile Fuel/Propulsion System Technologies, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 29, Sf. 1-69, 2003.
- [47] SATGE de CARO, P., MOULOUNGUI, Z., VAITILINGOM, G. ve BERGE, J.C., Interest of Combining an Additive with Diesel-Ethanol Blends for Use in Diesel Engines, *Fuel*, Vol. 80, Sf. 565-574, 2001
- [48] POULTON, M.L., *Alternative Fuels for Road Vehicles*, Computational Mechanics Publications, Southampton, UK and Boston, USA, 1994
- [49] SEZER, İ., BİLGİN, A., Normal Benzine Metanol Katılmasının Motor Performansına Etkisi, *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 2002
- [50] http://selimcetinkaya.tripod.com/guncel/guncel_konular.htm

- [51] http://atlas.cc.itu.edu.tr/~pdgmb/question/faq_t.html#bas
- [52] <http://www.eere.energy.gov>
- [53] www.obitet.gazi.edu.tr
- [54] FARRELL, A.E., KEITH, D.W. and CORBETT, J.J., A Strategy for Introducing Hydrogen into Transportation, Energy Policy, Vol. 31, Sf. 1357-1367, 2003
- [55] MA, F. ve HANNA, M.A., Biodiesel Production : A Review, Bioresource Technology, Vol. 70, Sf. 1-15, 1999
- [56] ALTIN, R., ÇETİNKAYA S. ve YÜCESU, H.S., The Potential of Using Vegetable Oil as Fuel for Diesel Engines, Energy Conversion and Management, Vol. 42, Sf. 9-538, 2001
- [57] <http://www.20.uludag.edu.tr/Ryahyau>
- [58] www.izto.org.tr/
- [59] SRIVASTAVA, A. ve PRASAD, R., Triglycerides-Based Diesel Fuels, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1999
- [60] KUSY, P.F., Transesterification of Vegetable Oils for Fuels, Proceedings of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, ASAE, Vol. 4(82), Sf. 127-137, 1982
- [61] VAN GERPEN, J., HAMMOND, E.G., YU, L. ve MONYEM, A., Determining The Influence of Contaminants on Biodiesel Properties, SAE, Paper No. 971685, 1997
- [62] www.canola-council.org
- [63] MONYEM, A., The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions, Doktora Tezi, Iowa State University, 1998
- [64] <http://www.journeytoforever.org>
- [65] Biodiesel Development Corporation, Biodiesel Report, 2000
- [66] <http://www.ezici.com.tr/>
- [67] www.mam.gov.tr/etkinlikler/ee-calistay-sunuslari/
- [68] <http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html>
- [69] <http://www.kimyaevi.org/dokgoster.asp?dosya=109022000>

- [70] JOHSON, O.C. ve KUMMEROW, F.A., Chemical Changes which Take Place in An Edible During Thermal Oxidation, JAOCS, Vol. 34, Sf. 407-409, 1957
- [71] ROMANO, S., Vegetable Oils – A New Alternative, Proceedings of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, ASAE, Vol. 4(82), Sf. 106-116, 1982
- [72] DU PLEASSIS, L.M., DE VILLIERS, J.B.M. ve VAN DER WALT, W.H., Stability Studies on Methyl and Ethyl Fatty Acid Esters of Sunflower Seed Oil, JAOCS, Vol. 62(4), Sf. 748-752, 1985
- [73] T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Adana İl Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, Muayene ve Analiz Raporu, Muayene ve Analiz Tarih ve No. 19.04.2004 – 169/535
- [74] ACAROĞLU, M., Palm ve Aspir Biyomotorininde Depolama Süresi ve Şartlarının Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2005

ÖZGEÇMİŞ

Ömür SALTİK, 02.04.1980 tarihinde Sakarya’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Darıçayırı İlköğretim Okulu’nda tamamladıktan sonra 1999 yılında Sakarya Anadolu Teknik Lisesi Makine Bölümü’nden ve 2003 yılında Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği programından mezun oldu. 2004 yılında askerlik hizmetini tamamladı ve aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi programında yüksek lisans öğrenimine başladı ve halen bu okulda öğrenimine devam etmektedir.