

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

**BİR DİZEL MOTORUNDA MTBE KATKILI
BİYODİZEL KULLANIMININ DENEYSEL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhittin ÇITAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ

Şubat 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**BİR DİZEL MOTORUNDA MTBE KATKILI
BİYODİZEL KULLANIMININ DENEYSEL ANALİZİ**


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Muhittin ÇITAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Bu tez 21 / 02 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Murat HASÖZ
Üye


Doç. Dr. Can HAŞİMOĞLU
Üye

ÖNSÖZ

Dizel motorlar günümüzde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Özellikle iş makinelerinin tamamına yakınında dizel motorlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların bir gün tükenecek olması ve dizel motor kaynaklı egzoz emisyonlarının çevreye ve insan sağlığına olumsuz yönde etkileri sebebiyle dizel yakıtına alternatif olabilecek yakıtlar üzerine çalışmalara hız vermiştir. Çeşitli bitkisel veya hayvansal kaynaklı yağ metil esteri olan biyodizel yakıtlar, dizel yakıtına alternatif olabilecek, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu çalışmada bir dizel motorda dizel yakıtı, soya yağından elde edilen biyodizel yakıtı ve biyodizel yakıtına metil tersiyer bütül eter (MTBE) eklenerek elde edilen yakıtlarla deneyler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışmalarında karşılaştığım tüm sorunların aşılabilmesi için bana her zaman destek veren, yol gösteren, bilgilerinden ve tecrübelerinden faydalandığım saygıdeğer Tez Danışmanım Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ'a, laboratuvar ortamında ve tez yazım aşamasında ihtiyaç duyduğum her zaman fikirlerini, tecrübelerini ve desteğini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Gökhan ERGEN'e, yüksek lisans eğitimimi tamamlamam beni için teşvik eden, bana destek veren aileme ve Düzce Fatih Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi personeline teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Motorlu Taşıtların ve Fosil Yakıtların Gelişimi	1
1.2. Fosil Yakıtlar ve Sorunları	1
1.3. Yenilenebilir Enerji İhtiyacı	4
1.4. Çalışmanın Amacı	6

BÖLÜM 2.

ALTERNATİF YAKITLAR	8
2.1. Alternatif Yakıt ve Enerji Gereksinimi	8
2.2. Alternatif Motor Yakıtları	10
2.2.1. Gaz yakıtlar	12
2.2.1.1. Doğalgaz	12
2.2.1.2. LPG	13
2.2.1.3. Hidrojen	14
2.2.2. Sıvı yakıtlar	15
2.2.2.1. Etanol	15
2.2.2.2. Metanol	15
2.2.2.3. Biyokütle	16

BÖLÜM 3.

YAKIT OLARAK BİYODİZEL VE MTBE	18
3.1. Biyodizel	18
3.2. Biyodizelin Özellikleri	22
3.2.1. Yoğunluk	23
3.2.2. Kinematik viskozite	24
3.2.3. Parlama noktası	25
3.2.4. Soğukta akış özelliği	25
3.2.5. Akma ve bulutlanma noktası	25
3.2.6. Setan sayısı	26
3.2.7. Isıl değer	27
3.2.8. Yağlayıcılık	27
3.2.9. Karbon artığı	28
3.2.10. İyot sayısı	28
3.2.11. Kükürt içeriği	28
3.2.12. Su ve tortu miktarı	28
3.2.13. Oksidasyon kararlılığı	29
3.2.14. Yağlama yağının seyrelmesi	29
3.2.15. Toksik etkisi	29
3.2.16. Biyobozunabilirlik	30
3.3. Biyodizel Emisyonları	31
3.4. Biyodizelin Malzeme Uyumu	31
3.5. Biyodizelin Depolanması	32
3.6. Biyodizelin Kullanım Yöntemleri	32
3.7. Biyodizelin Diğer Kullanım Alanları	32
3.8. Biyodizelin Çevresel Özellikleri	33
3.9. Biyodizelin Tarımsal Özellikleri	34
3.10. Biyodizel Üretimi	35
3.11. MTBE	38
3.11.1. Oksijen içerikli yakıtlar	39
3.11.2. Oksijen içerikli yakıtların karakteristikleri	40
3.11.3. Dizel yakıtı katkısı olarak MTBE	41

BÖLÜM 4.

DİZEL MOTORLAR.....	43
4.1. Dizel Motorların Çalışması.....	43
4.1.1. Teorik dizel çevirimi.....	43
4.1.2. Gerçek dizel çevirimi.....	44
4.2. Dizel Motorda Yanma Olayı	46
4.2.1. Tutuşma gecikmesi	46
4.2.2. Kontrolsüz yanma	48
4.2.3. Kontrollü yanma	48
4.2.4. Art yanma	49
4.3. Dizel Motor Emisyonları	49
4.3.1. Karbonmonoksit (CO)	49
4.3.2. Azot oksit (NO _x)	50
4.3.3. Hidrokarbon (HC).....	50
4.3.4. Partikül madde (PM)	50
4.3.5. Kükürt oksit (SO _x)	51

BÖLÜM 5.

MATERYAL VE METOD	52
5.1. Deney Yakıtları	52
5.2. Deney Düzeneği ve Kullanılan Yakıtlar.....	54
5.2.1. Deney düzeneği	54
5.2.2. Test motoru	55
5.2.3. Dinamometre	56
5.2.4. Hava debi ölçeri.....	56
5.2.5. Yakıt tüketimi ölçümü	56
5.2.6. Sıcaklık göstergeleri ve termokupllar	57
5.2.7. Egzoz emisyon cihazı	57
5.3. Deneysel Yöntem	58
5.4. Hesaplama Yöntemleri.....	59
5.4.1. Efektif tork ve efektif motor gücü	59
5.4.2. Özgül yakıt tüketimi ve özgül enerji tüketimi	59

5.4.3. Termik (efektif) verim	60
BÖLÜM 6.	
DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ VE TARTIŞMA	61
6.1. Efektif Motor Gücü.....	61
6.2. Efektif Tork	62
6.3. Özgül Yakıt Tüketimi	64
6.4. Özgül Enerji Tüketimi	66
6.5. Termik Verim	68
6.6. Egzoz Gazı Sıcaklığı.....	69
6.7. CO Emisyonları	71
6.8. CO ₂ Emisyonları	73
6.9. NO _x Emisyonları	74
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR.....	77
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	86

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AÖN	: Alt ölü nokta
ASTM	: Amerika Test ve Malzeme Birliği
CNG	: Sıkıştırılmış doğalgaz
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
DIPE	: Diizopropil eter
EN	: Avrupa standartları
ETBE	: Etil tersiyer butil eter
H ₂ SO ₄	: Sülfirik asit
HC	: Hidrokarbon
HCl	: Hidroklorik asit
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu
KMA	: Krank mili açısı
KOH	: Potasyum hidroksit
LNG	: Likit doğalgaz
LPG	: Likit petrol gazı
MTBE	: Metil Tersiyer Bütil Eter
MTBE10B	: %10 MTBE katkılı biyodizel yakıtı
MTBE20B	: %20 MTBE katkılı biyodizel yakıtı
NaOH	: Sodyum hidroksit
Nm	: Newtonmetre
NO _x	: Azot oksit
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
ÖET	: Özgül enerji tüketimi
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi

PbO	: Kurşun oksit
PM	: Partikül madde
SO _x	: Kükürt oksit
SYME	: Soya yağı metil esteri
TAAE	: Tersiyer amil etil eter
TAME	: Tersiyer amil metil eter
TBA	: Tersiyer bütül alkol
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
ÜÖN	: Üst ölü nokta

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yıllara göre Türkiye'deki taşıt sayısı	2
Şekil 1.2. Enerji kaynakları.....	4
Şekil 3.1. Açık çevrim ve kapalı çevrim karbon döngüsü	20
Şekil 3.2. Biyodizel döngüsü	34
Şekil 3.3. Transesterifikasyon reaksiyonu	36
Şekil 3.4. Biyodizel üretim şeması.....	37
Şekil 3.5. MTBE molekülü	39
Şekil 3.6. Etanol(a) ve metanol(b) molekülleri	41
Şekil 4.1. Teorik dizel çevrimi	44
Şekil 4.2. Dizel motorda zamanlar	45
Şekil 4.3. Dizel motor yanma safhaları	47
Şekil 5.1. Biyodizel yakıtının elde edilmesi.....	53
Şekil 5.2. Deney düzeneği.....	54
Şekil 5.3. Test motoru	55
Şekil 5.4. Elektrikli dinamometre	56
Şekil 5.5. Hassas terazi.....	57
Şekil 5.6. Sıcaklık göstergeleri.....	57
Şekil 6.1. Motor devrine göre efektif motor gücü değerleri.....	62
Şekil 6.2. Motor devrine göre efektif tork değerleri	63
Şekil 6.3. Motor devrine göre özgül yakıt tüketimi değerleri	65
Şekil 6.4. Motor devirlerine göre özgül enerji tüketimi değerleri.....	67
Şekil 6.5. Motor devrine göre termik verim değerleri.....	68
Şekil 6.6. Motor devrine göre egzoz sıcaklıkları	70
Şekil 6.7. Motor devrine göre CO emisyonu değerleri	72
Şekil 6.8. Motor devrine göre CO ₂ emisyonu değerleri	73
Şekil 6.9. Motor devrine göre NO _x emisyonu değerleri	75

TABLÖLAR

Tablo 2.1. Alternatif enerjiler ve kaynakları	9
Tablo 2.2. Euro dizel, etanol ve metanolun yakıt özellikleri	16
Tablo 2.3. Bitkisel yağların yakıt özellikleri	17
Tablo 3.1. Dizel yakıtı ile biyodizelin bazı standart değerleri	21
Tablo 3.2. Yağ asidi metil esterlerinin standart özellikleri	23
Tablo 3.3. Dizel yakıtı, biyodizel ve MTBE'in özellikleri	42
Tablo 5.1. Deney yakıtlarının özellikleri	53
Tablo 5.2. Test motoru teknik özellikleri.....	55
Tablo 5.3. Ölçümü yapılan egzoz emisyonlarının ölçüm şekli ve ölçüm aralığı	58

ÖZET

Anahtar kelimeler: Alternatif Yakıt, Biyodizel, MTBE, Motor Performansı, Egzoz Gaz Emisyonu

Fosil kökenli olan petrol kaynaklarının rezervlerinin sınırlı olduğu, petrolden üretilen yakıtların çevreyi ve insan sağlığını tehdit eden egzoz emisyonları oluşturduğu bilinmektedir. Özellikle bu iki nedenden dolayı petrol kökenli yakıtlara alternatif olabilecek farklı yakıtlar üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu yakıtlar arasında bitkisel kökenli olan biyodizel; yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi, dizel motorlarda revizyona gerek olmadan kullanılabilmesi ve yüksek setan sayısına sahip olması gibi önemli avantajları göz önüne alındığında, dizel yakıtına önemli bir alternatif olarak görülmektedir. Bunun yanında biyodizel yakıtın dizel motorda kullanılabilmesi için bazı özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ilk aşamada transesterifikasyon metoduyla biyodizel yakıtı (soya yağı metil esteri) üretilmiştir. Biyodizel yakıtına viskozite ve yoğunluğun azaltılması amacıyla hacimsel olarak %10 ve %20 oranlarında metil tersiyer bütül eter (MTBE) ilave edilerek iki farklı karışım yakıt oluşturulmuştur. Daha sonra bir dizel motorunda dizel yakıtı, biyodizel ve farklı oranlarda MTBE ilave edilmesiyle elde edilen yakıtlar kullanılarak deneyler yapılmıştır. Farklı motor devirlerinde yapılan bu deneylerde motor performans parametreleri ve egzoz emisyon değerleri belirlenmiştir. Dizel yakıtı, biyodizel yakıtı ve MTBE katkılı yakıtların kullanımı ile elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Biyodizel yakıtının kullanımı ile dizel yakıtına göre daha farklı performans değerleri saptanmıştır. Biyodizel yakıt kullanımı CO emisyonlarında azalmaya sebep olurken NOx emisyonlarında ise artışa neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca biyodizel yakıtı kullanımı ile dizel yakıtı kullanımına göre termik verim ve özgül enerji tüketimi değerlerinde iyileşme olduğu görülmüştür. MTBE katkılı biyodizel yakıtlarının kullanımı ile yapılan deneyler neticesinde saf biyodizel yakıtı kullanımına göre efektif motor gücü, efektif tork, özgül enerji tüketimi değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca MTBE katkılı biyodizel yakıtlarının kullanımı ile termik verim ve NOx değerlerinde artışlar tespit edilmiştir.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF USAGE OF MTBE BLENDED BIODIESEL IN A DIESEL ENGINE

SUMMARY

Key Words: Alternative Fuel, Biodiesel, MTBE, Engine Performance, Exhaust Gas Emissions

It is known that fossil originated fuel sources are limited and fuel produced from petrol causes exhaust gas emissions that threatens nature and human health. Especially due to this reasons, studies have been continued to find different fuels which are alternatives to petrol based fuels. Among these fuels biodiesel is seen as an important alternative to petrol based fuels because it has significant advantages such as; it is obtained from renewable resources, can be used in diesel engines without the need for revision and has high cetane number. Besides, some properties of biodiesel need to be improved in order to use it in diesel engines.

In this study, by the method of transesterification, biodiesel fuel (soybean oil methyl ester) was produced in the first stage. In order to reduce the viscosity and density, %10 and %20 by volume, methyl tertiary butyl ether (MTBE) was added into the biodiesel fuel and two different blends of fuel was formed. Then experiment have been conducted by using diesel fuel, biodiesel fuel and MTBE blended biodiesel in diesel engines. Engine performance parameters and exhaust emissions values were determined in the experiments which had been done at different engine speeds. Result of these experiments that were obtained with the usage of diesel fuel, biodiesel fuel and MTBE blended biodiesel fuels were given graphically and commented by comparing with each other.

Different performance values were determined with the use of biodiesel fuel in comparison to diesel fuel. It is stated that while biodiesel fuels causes reduction in CO emissions, it causes increase in NO_x emissions. Furthermore it was found that biodiesel fuel had some improvements in spesific energy consumption and thermal efficiency in comparison to diesel fuel. Experiments show that the used of MTBE blended biodiesel usage caused reduction in effective engine power, effective torque and the specific energy consumption values. In addition the use of MTBE blended biodiesel fuels have increased thermal efficiency and NO_x values in comparison to pure biodiesel fuel.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Motorlu Taşıtların ve Fosil Yakıtların Gelişimi

Kendi kendine hareket edebilen ilk taşıt; 1769 yılında Nicolas-Joseph Cugnot'un yaptığı buhar makineli otomobildir. İlk içten yanmalı benzinli motoru 1876 yılında Alman Mühendis August Otto yapmıştır. İlk dizel motor ise 1882 yılında Alman Makine Mühendisi Rudolph Diesel tarafından yapılmıştır [1].

Rudolf Diesel, 1900 yılında yakıt olarak motorunda yerfıstığı yağını kullanmıştır. Petrol kökenli yakıtların uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunabilmesi ve bitkisel yağlar ve alkol gibi yenilenebilir kaynaklı çeşitli motor yakıtlarının petrol ürünlerine göre daha pahalı olmaları nedeniyle bu yakıtlar petrol kökenli yakıtlarla rekabet edememiştir. Motorlar bu üstünlüklerinden dolayı petrol ürünleriyle çalışacak şekilde geliştirilmişlerdir [2].

Yıllar geçtikçe motorlu taşıtların insanlık için önemi giderek artmıştır. Motorlu taşıtlar insanlara ulaşım rahatlığı, hareket özgürlüğü, iş yapabilme kabiliyeti gibi birçok yönde sağladığı faydaları ile günümüzde lüks olmaktan çıkıp ihtiyaç haline gelmiştir. Fosil kökenli yakıtlarla çalışan kara, deniz, hava ve demiryolu taşıtları halen insanlığın hizmetindedir. Günümüzde motorlu taşıtların olmadığı bir dünya düşünülemez [1].

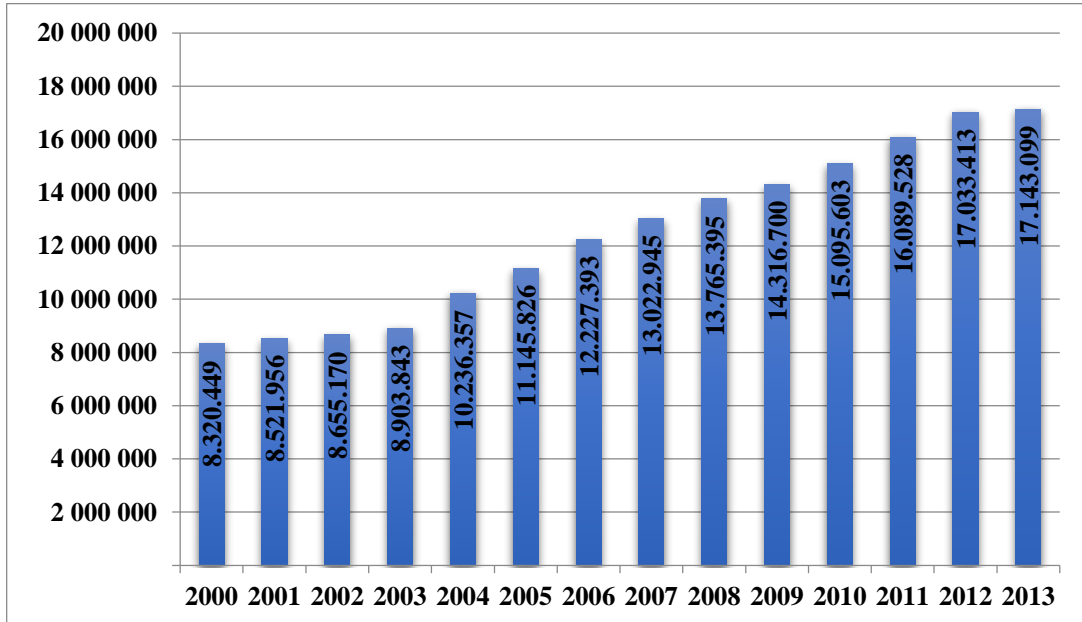
1.2. Fosil Yakıtlar ve Sorunları

Motorlu taşıtların sağladığı, sayılması güç faydalarının yanında, egzoz gaz emisyonlarıyla atmosferi, dolayısıyla şehirlerin havalarını kirlettiği, sera etkisi olarak tanımlanan ve gittikçe artan tehlikeyi de beraberinde getirdiği bir gerçektir. Hava kirliliğinin büyük boyutlara ulaştığı günümüzde, motorlu taşıtların egzoz

emisyonlarının bu kirlilikteki payı oldukça ileri düzeydedir. Özellikle büyük şehirlerdeki motorlu taşıt kaynaklı kirlenici emisyonlar hayatı olumsuz yönde etkilemektedir

Taşıtların emisyonlarından karbon monoksit, hidrokarbon, azot bileşikleri ve partikül maddelerin meydana getirdiği çevre sorunları, günümüzde birçok şehirde yaşamı etkileyecek ölçüde ciddi boyutlara ulaşmıştır. Milyonlarca taşıttan kükürt dioksit, kurşun gibi tehlikeli maddelerin de atmosfere yayıldığını düşünürsek çevreye verilen zararın boyutunu daha kolay anlayabiliriz. Bu nedenle motorlu taşıtların emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliği, kalıcı önlemleri gerektiren acil çevre sorunu haline gelmiştir [1,3].

Ülkemizde olduğu gibi tüm dünyada, özellikle gelişmekte olan ülkelerde motorlu taşıt sayısı nüfus ve gelir düzeyine bağlı olarak hızla artmaktadır. Ülkemizde toplam motorlu kara taşıtı sayısı 2000 yılında 8.320.449 iken bu sayı 2013 Ocak ayı sonu itibariyle iki kattan fazla artış göstererek 17.143.099'a ulaşmıştır [4]. Yıllara göre ülkemizdeki araç sayıları Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Yıllara göre Türkiye'deki taşıt sayısı [4].

Söz konusu çevresel tehlikelerin önüne geçebilmek için başta Avrupa Birliği üyesi ülkeler olmak üzere pek çok ülke egzoz emisyon değerlerini sınırlamak amacıyla bu

konudaki standartlarını sürekli yenilemekte, buna bağlı olarak sektörde faaliyet gösteren firmalar, son derece sıkı uygulanan egzoz gazı emisyon değerlerini karşılayabilecek motorlar üretilebilmek için pek çok yenilik yapmaya zorlanmaktadır. Ancak, belirtilen gelişmeler sadece yeni imal edilen motorlarda uygulanabildiği için halen trafikte kullanılmakta olan milyonlarca eski model aracın egzoz gazı emisyon değerlerinin standartlara uyamayacağı da göz ardı edilmemelidir [5].

Motorlu araç sayısındaki artışlar, beraberinde yakıt ihtiyacını da doğurmaktadır. Fosil yakıtlar ise rezervlerle sınırlı olduğundan bir gün tükeneyeceği aşikârdır. 2010 yılında dünya enerji talebi dünya ekonomik büyüme oranından daha hızlı artmış, küresel enerji tüketiminde %5,6'lık bir artış oranı ile 1973 yılından itibaren en yüksek artış oranı kaydedilmiştir. OECD dışı ülkelerde %7,5, OECD ülkelerinde ise %3,5 oranında bir tüketim artışı gerçekleşmiştir. 2010 yılında %11,2'lik enerji tüketim artışı yaşanan Çin 2,4 milyar ton tüketim miktarı ile 2,3 milyar tonluk ABD enerji tüketimini geride bırakmış ve dünyanın en fazla enerji tüketen ülkesi olmuştur.

Dünya enerji kaynaklarından petrol %33,6'lık bir tüketim oranı ile dünyanın birinci sıradaki enerji kaynağı olmayı sürdürmekle birlikte, tüketim oranı son 11 yıldır düşüş trendi göstermektedir.

2010 yılı dünya enerji tüketim dağılımında 2009 yılına oranla; petrolde %3,1 doğal gazda %7,4, kömürde %7,6 hidroelektrikte %5,3, nükleer enerjide %2 ve yenilenebilir enerjide %15,4 artış gerçekleşmiştir [6].

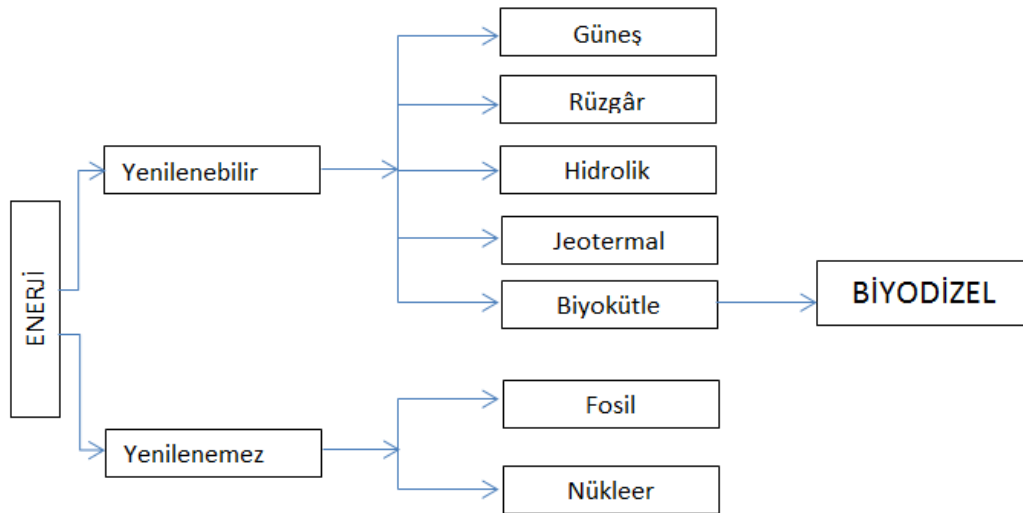
Dünya üzerindeki petrol yataklarının belirli bölgelerde toplanması ve izlenen politikalar zaman zaman petrol krizlerini ortaya çıkarmıştır. Petrol rezervlerine hâkim olma arzusu ülkeler için savaş sebebi olmakta ve bu savaşlar sonucu insanlar hayatlarını kaybetmektedirler. Petrol kaynaklarına hâkim olan ülkeler yeryüzündeki en önemli enerji kaynaklarını yönetmektedirler [5].

Ülkemiz ve dünyadaki daha birçok ülke petrol ithalatı yapmak zorundadır. Petrolde dışa bağımlılık, kritik zamanlarda ülkenin bu ihtiyacını karşılayamaması ve tedarik fiyatlarındaki belirsizlik gibi büyük sorunlarla karşı karşıya kalması demektir. Bunun

sonucu olarak da siyasi nedenlerle, dışa bağımlılığın azaltılması amacıyla petrole alternatif olabilecek motor yakıtlarının bulunması ve uygulamaya konulmasını zorunlu hale gelmiştir

1.3. Yenilenebilir Enerji İhtiyacı

Sanayileşmiş dünyada, her geçen gün artan enerji ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik olarak mevcut fosil kaynakların tükenebilir olması, nükleer enerji üretimi teknolojisinin sadece gelişmiş ülkelerde bulunması, küresel ısınma ve iklim değişikliğine yönelik önlemler çerçevesinde, yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların enerjiye dönüştürülmesine yönelik teknolojiler büyük ilgi görmeye başlamıştır. Fosil yakıtlardaki maliyet artışları ve çevreye verdiği zararlar, yenilenebilir enerjiyi stratejik sektör konumuna getirmiş, biyokütle, hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji ve diğer yenilenebilir enerji teknolojilerin kullanımı yaygınlaşmıştır [7]. Dünyada halen kullanılan farklı enerji kaynakları Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Enerji kaynakları

Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık %4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık, bu ihtiyacı karşılayan fosil yakıt rezervi ise çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. Tükenen fosil yakıtlar, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi

artırmakta ve biyodizeli daha da cazip bir yakıt haline getirmektedir. Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik maddelerden türetilen yakıtlar biyodizel olarak adlandırılır. Biyodizel oksijen içerikli, biyolojik, zehirsiz ve çevre dostu bir yakıttır.

Biyodizel üretebilmek için hammadde olarak çeşitli hayvansal yağlar, bitkisel yağlar ve atık yağlar kullanılabilir. Tarım potansiyeli yüksek olan ülkelerde bitkisel yağlar ve yağ esterleri alternatif dizel yakıtı olarak tercih edilmektedir [8].

Biyodizel üretiminde ultrasonik kavitasyon, hidrodinamik kavitasyon, mikrodalga ışınlama ve yanıt yüzey teknolojisi gibi çeşitli metotlar olmakla birlikte, günümüzde en yaygın olarak transesterifikasyon yöntemi kullanılmaktadır. Transesterifikasyon, yağ asitlerinin bazik bir katalizör (sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit) eşliğinde alkol (metanol, etanol vb.) ile esterleşme reaksiyonudur. Bu işlem ile viskozite uygun değerlere düşürülür ve dizel motor için yakıt hazırlanmış olur [9].

Türkiye ham petrol kaynakları oldukça kısıtlı ve petrol ürünleri tüketimi yüksek olan bir tarım ülkesidir. Geniş tarım toprakları, tarım kökenli kalabalık bir nüfus ve yüksek işsizlik oranına karşın ülkemizde tarım yeterli seviyede değildir. Ülkemizin dizel yakıtı tüketimi göz önüne alındığında boş haldeki tarım arazilerimizin bu amaçla kullanılmasından kazanılacak ekonomik girdinin, ülkemizin büyümesine de katkı sağlayacağı bir gerçektir. Türkiye'nin yaklaşık 1 milyon 900 bin hektarlık kullanılmayan ancak tarıma uygun arazisi olduğu belirlenmiştir. Dünyamızdaki enerji potansiyeli sınırlılığı ve ülkemizin de petrol ürünlerine bağımlı olması, alternatif enerji kaynaklarına önem verilmesini zorunlu kılmaktadır [10].

Ülkemiz bir tarım ülkesi olması, alternatif yakıtlar içinde bitkisel yağları ön plana çıkarmaktadır. Ülkemizde üretilen temel bitkisel yağları pamuk, ayçiçeği, soya, mısır, zeytin, fındık, haşhaş ve susam yağı olarak sıralamak mümkündür. Büyük bir üretim alanına sahip olan bitkisel yağın yemeklik yağ dışında dizel motoru yakıtı olarak araştırılması da bu üretim miktarında artış sağlayacaktır. Biyodizel üretimi için yapılan tarım, hem ülkemizin en önemli gündemlerinden olan işsizliğin

önlenmesine katkı sağlayacak, hem de ülkemizin ham petrol için dışa bağımlılığında önemli miktarda iyileşme sağlayacaktır [11].

Yağlı tohum bitkileri, patates, buğday, mısır, seker kamışı, pancar, enginar, keten, kenevir, sorgum, bezelye, fasulye gibi karbonhidrat bitkileri, keten, kenevir gibi elyaf bitkileri ve bunların yanı sıra bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk vb.), hayvansal atıklar ve şehirselle ve endüstriyel atıklar biokütle kapsamında değerlendirilmektedir. Bu biyokütlelerden mevcut yakıtlara alternatif çok sayıda katı, sıvı ve gaz yakıtlar elde edilebilmektedir [12].

İçten yanmalı motorlarda kullanılacak yakıtların, motorda en az yapısal değişiklik gerektirmeleri, motor ömrünü kısaltmamaları, üretimi, taşınması, depolanması ve kullanımı sırasında insan sağlığı ve çevreye zarar vermemeleri gibi belirli kriterleri sağlamaları gerekmektedir. Bunun yanında, fiyatları düşük, yenilenebilir, bol ve sürekli temin edilebilir olmaları da dikkat edilen hususlardandır [13].

1.4. Çalışmanın Amacı

Fosil kökenli yakıtların yakın bir gelecekte tükenecek olması alternatif yakıt kaynakları üzerinde çalışmaları kaçınılmaz kılmıştır. Ekonomik ve çevre faktörleri göz önüne alındığında, ülkemiz için biyodizel, üzerinde ciddi çalışmalar yapılması gereken bir yakıttır.

Bu çalışmanın amacı, alternatif enerji kaynakları arasında son yıllarda önemi artan biyodizelin, dizel motorlarda kullanımı sonucu motor performans ve egzoz emisyonlarında olan değişimlerin incelenmesidir. Bu amaçla ilk etapta bitkisel yağ kullanılarak metanol ve katalizör yardımıyla transesterifikasyon metoduyla biyodizel yakıt üretilmiştir.

Ayrıca, biyodizel yakıtının yüksek olan viskozite problemini azaltmak amacıyla belli oranlarda, biyodizel oranla daha düşük viskozite değerine sahip olan metil tersiyer bütill eter (MTBE) eklenmiştir. Saf motorin, saf biyodizel ve saf biyodizel %10 ve %20 oranlarında MTBE ilave edilerek oluşturulan MTBE10B ve MTBE20B

yakıtları, bir dizel motoru kullanılarak motor performans ve egzoz emisyon testlerine tabi tutulmuştur. Deneylerde elde edilen veriler grafikler yardımıyla karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve ayrıntılı olarak yorumlanmıştır.

BÖLÜM 2. ALTERNATİF YAKITLAR

2.1. Alternatif Yakıt ve Enerji Gereksinimi

Enerji ekonomik büyüme, sosyal gelişme, insan refahı ve yaşam kalitesini artırmak için önemli bir kaynaktır. Fosil yakıtların önemli bir bölümü keşfedilmelerinden bu yana geleneksel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Modernleşme ve sanayileşmedeki artışa paralel olarak dünyadaki enerji talebi de hızla artmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin çoğunda artan enerji talebi ile başa çıkmak için yerli üretimlerinin yanı sıra ham petrol ithalatı da kaçınılmaz olmuştur. Böylece günümüzde ülkeler gelirlerinin önemli bir bölümünün petrol ürünleri satın almak için harcamaktadır [14].

Dünyada insan nüfusunun artışına paralel olarak enerji talebi de sürekli artmaktadır. Termik santrallerin kömür veya petrol rezervleri kullanılarak dünyanın enerji talebini uzun yıllar boyunca karşılanabileceği düşünülemez. Özellikle sınırlı olan kömür ve petrol rezervlerinin bir gün tükenecekleri kesindir [15].

Bugün, petrol savaşları olarak tanımlanabilecek Körfez ve Afganistan krizleri göstermektedir ki, enerjinin endüstri ihtiyacı yanında çok büyük bir uluslararası bağımsızlık yönü de vardır. Günümüzde ülke politikalarında enerji başrolü oynamaktadır. Bir noktada bir ülkenin bağımsızlığı artık kendi enerjisini karşılayabilme potansiyeli ile de belirlenebilmektedir. Enerji olmadan endüstri, endüstri olmadan refah ve mutlu toplum ve bağımsızlığını koruyabilme yeteneği olmayacağı için, enerjiyi hafife alan bir ülke siyaseti düşünülemez. Bahsedilen krizler ve 1974 yılında meydana gelen ve petrol fiyatlarının aşırı yükselmesi ile sonuçlanan petrol krizi, enerjinin önemini ortaya koymaktadır [16].

Petrol, kömür ve hidrolik enerjiye dayanmayan, bilimsel terminolojide alternatif enerji kaynakları olarak isimlendirilen yeni enerji kaynakları geliştirilmişlerdir. Bu kaynakların her ülkede ulaşılabilir olmasına özellikle dikkat edilmiştir. Hiç şüphesiz en temel alternatif enerji, tasarruf veya yalıtım ile kazanılan enerjidir [17]. Sonuç olarak, klasik enerji kaynakları olan hidrolik enerji ve fosil yakıtlara alternatif olabilecek enerjiler (alternatif enerji kaynakları) Tablo 2.1’de görüldüğü gibi sınıflandırılabilir.

Tablo 2.1. Alternatif enerjiler ve kaynakları

	Alternatif Enerji Türü	Kaynağı veya Yakıtı
1	Nükleer enerji	Uranyum gibi ağır elementler
2	Güneş enerjisi	Güneş
3	Rüzgâr enerjisi	Atmosfer hareketleri
4	Dalga enerjisi	Okyanus ve denizler
5	Doğal gaz	Yer altı kaynakları
6	Jeotermal enerji	Yer altı suları
7	Hidrolik potansiyel	Nehirler
8	Hidrojen	Su ve hidroksitler
9	Biokütle, biyodizel ve biyogaz	Biyolojik yağlar ve atıklar

Tabloda verilen ve kaynaklar itibariyle insanlık hayatı açısından sonsuz sayılacak kadar çok güneş, rüzgâr, biyokütle gibi enerjiler yenilenebilir enerji olarak isimlendirilmektedir.

Fosil yakıtların içindeki karbon havadaki oksijen ile birleşerek CO₂ (tam yanma halinde) veya CO (yarım yanma veya yanma havasının az olması halinde) gazlarını ortaya çıkarmaktadır. Yine yakıt içerisinde eser miktarda bulunan kurşun, kükürt gibi elementler yanma sıcaklığında oksijen ile birleşerek insan sağlığı açısından önemli tehdit oluşturan bileşikler (SO_x, PbO, NO_x...) oluşturmaktadır. Bu yanma ürünleri atmosfere bırakılmakta ve atmosfer içerisinde birikmektedir. Fotosentez, çürüme gibi

tabii dönüşümler bu birikime engel olabilmektedir. Ancak araç sayısı ve aşırı yakıt tüketimi neticesinde giderek daha fazla oluşan bu birikimlerin bitkiler tarafından temizlenmesi için yeterli zaman olmadığından, çevremiz olumsuz etkilenmekte ve canlı yaşamı için tehdit oluşturmaktadır.

Atmosfer içinde biriken yanma gazları, güneş ve yer arasında tabii olmayan katman meydana getirmekte, bu katman insan ve bitki hayatı üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Sera Etkisi olarak da bilinen bu etki bugün artık her kesimden insan ve grubun önemle üzerinde durduğu çevresel tehditlerdendir [18]. Tabiatın ve tabii değerlerin korunması amaçlı çevreci düşünceler, toplumlarda taban bulmakta ve hatta bazı siyasi partilerin politikasına temel teşkil etmektedir. Dolayısıyla endüstrinin veya toplumun enerji talebi düşünülürken, seçilecek enerji türünün çevre ve insana olan etkisi de düşünülme durumundadır.

Araştırmalara göre dünyadaki kömür rezervlerinin 200 yıl, petrol rezervlerinin ise 40 yıl ömürlerinin kaldığı sanılmaktadır. Fosil yakıtların yakın gelecekte tükenecek olması, alternatif enerji kaynağına olan ihtiyacı daha önemli kılmakta ve bu yönde araştırmalara daha da yoğunlaşmaktadır [19].

2.2. Alternatif Motor Yakıtları

Dünya ekonomisindeki hızlı büyüme, enerji talebinde de çok büyük artışlara yol açmıştır. Mevcut petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıt rezervlerinin sınırlı oluşu ve çevreye verdikleri zararlar, yenilenebilir (alternatif) enerji kaynaklarına doğru bir yönelişi de beraberinde getirmiştir. Bu doğrultuda yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşiti de giderek artmıştır [20].

Özellikle 1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizi alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyacı gün yüzüne çıkarmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları, alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyoyakıtlar, gelecekteki enerji ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için başlıca kaynaklardandır [21].

Yenilenebilir enerji terimi; doğada bulunan ve varlığını sürdüren su, güneş, rüzgâr, jeotermal, biyoyakıt gibi enerji kaynakları için kullanılmaktadır. Günümüzde dünyada nükleer enerjinin yanı sıra yeni ve temiz enerji kaynakları olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynakları, son yıllarda üzerinde en çok tartışılan konulardan birisi hâline gelmiştir. Hayvansal ve bitkisel gıda artıklarının temiz enerji olarak geri dönüşümü, çevre kirliliğinin önlenmesi ve enerji kaynaklarının geliştirilmesi açısından önemlidir. Bu enerji, gıda artıklarının oksijensiz ortamda metan gazına dönüştürülmesiyle üretilmekte, geriye kalan kısmı ise zenginleştirilmiş bir gübre kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde biyoyakıt önemli bir potansiyele sahiptir. Yağlı tohumlar, karbonhidrat ve elyaf bitkileri ile hayvansal kökenli her türlü madde biyoyakıt kaynağı olarak kullanılabilir. Bu kaynaklardan üretilen enerji, biyoyakıt enerjisi olarak tanımlanmaktadır [12].

Mevcut alternatif yakıtlarını gaz ve sıvı olarak sınıflandırabiliriz.

Gaz Yakıtlar:

1. Doğalgaz
2. LPG
3. Hidrojen

Sıvı Yakıtlar:

1. Etanol
2. Metanol
3. Biyodizel

Halen her ne kadar sabit sistemlerde alternatif yakıtlar kullanılıyor olsa da, bunların taşınabilir sistemlere uygulanmasında zaman zaman zorluklarla karşılaşmaktadır.

Motorlarda kullanılacak yakıtların istenen bazı özelliklere cevap vermesi gereklidir. Öncelikle pahalı olmamalı ve kolayca elde edilebilmelidir. İyi bir enerji yoğunluğuna ve düşük buharlaşma basıncına sahip olmakla birlikte, soğuk hava

şartlarında kolayca çalışabilmeyi destekleyecek kadar kolay buharlaşabilmelidir. Egzoz emisyon zararları az olmalı ve turbo teknolojisine uygun olmalıdır.

2.2.1. Gaz yakıtlar

Alternatif yakıt olarak kullanılan ve üzerinde hala araştırmalar yapılan gaz yakıtlar;

1. Doğalgaz
2. LPG
3. Hidrojen

olarak sıralanabilir.

2.2.1.1. Doğalgaz

Normal atmosferik koşullarda gaz halinde bulunan yakıtlar gaz yakıtlar olarak adlandırılmışlardır. Gaz yakıtlar, doğal veya üretilen gaz yakıtlar olmak üzere de sınıflandırılmaktadır. Doğal olan gaz yakıtlardan günümüzde en önemlisi doğalgazdır.

1973 petrol krizi, dünyada doğalgazın kullanımında bir eşik olmuştur. Bu krizin ardından diğer alternatif yakıtlarda da olduğu gibi doğalgazın yaygın olarak kullanılabilmesi için çalışmalara hız verilmiştir. Doğalgaz yerli kaynaklardan elde edilebilme ve enerjiyi daha verimli kullanma yönündeki avantajlarıyla petrolün yerini alabilecek en önemli enerji kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Bu sebeple bir çok ülkede doğalgaz kullanımı hem ekonomiklik hem de çevre kirliliğinin önlenmesi açısından teşvik edilmiş ve ülkeler yoğun bir şekilde doğalgaz yatırımlarına yönelmişlerdir [17].

Doğalgaz, doğalgaz kuyularından ve petrolün çıkarılması esnasında petrol kuyularından çıkan, büyük çoğunluğu (%70-99) metan gazından oluşan, içinde az miktarlarda etan, propan ve bütanın da bulunduğu, tabii, renksiz ve kokusuz bir gazdır.

Doğalgaz taşıtlarda yüksek basınçlı tüpler içinde, gaz veya sıvı olarak depolanır. Günümüzde taşıtlarda genelde sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) kullanılır. Depo amaçlı kullanılan tüplerin basıncı 200 bar civarındadır. Gaz yakıtların dizel motorlarında kullanımı, çözümü gerektiren bazı problemleri de beraberinde getirmektedir. Bunların başında gaz yakıtların, sıkıştırma zamanı sonunda silindire sokulmalarının güçlüğü, tutuşma kabiliyetlerinin az oluşu ve yüksek sıkıştırma oranlarındaki vuruntu gelmektedir. Ancak oktan sayısı yüksek olan doğalgaz, uygun bir tutuşma ortamı sağlandığında, dizel motorlarda çalışması sırasında vuruntudan kaçınılabilmek olanağını da sağlamaktadır [22].

2.2.1.2. LPG

Gaz yakıtlar, doğal veya üretilen gaz yakıtlar olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Üretilen gaz yakıtlardan en önemlisi LPG'dir. LPG (Liquefied Petroleum Gas) sıvılaştırılmış petrol gazı sözcüğünün kısaltmasıdır. Gaz yakıtlar, depolama hacmini küçültmek amacıyla, orta ve yüksek basınçlarda (20-200 bar) sıkıştırılarak sıvılaştırılmaktadırlar (LPG ve LNG veya CNG gibi). Sıvılaştırılmış petrol gazı, genellikle propan, bütan, izobütan ve az miktarlardaki propilen ve bütilenden oluşan bir karışımdır. En yaygın ürünleri propan, bütan veya bunların belirli oranlardaki karışımıdır.

Bütan ve propan gazları, ham petrolün kuyulardan çıkarılması veya rafinerilerde tasfiye edilmesi esnasında ham petrolden ayrıştırılarak veya doğalgazdan elde edilir. LPG, bütan ve propan gazlarının basınç altında sıvılaştırılmış halidir. Bu gazlar sıvılaştırıldıklarında, hacimce yaklaşık 250 kat daralır. Sıvılaştırılmış petrol gazı, LPG ikmal istasyonları aracılığıyla taşıtların kullanımına sunulmaktadır.

Benzin ve dizel yakıtların kaynama noktası değerleri oda sıcaklığı üzerindedir, ancak LPG daha düşük ısılarda kaynar. Benzin ve dizel yakıtları atmosferik basınçta sıvı halde tanklarda saklanabilirken, LPG'nin belirli bir basınçta depolanması gerekir. Bu nedenle LPG, modern araçlarda basınçlı yakıt tanklarında depolanmak zorundadır. Benzine kıyasla LPG daha üstün antidetonasyon özelliğe sahiptir. Dizel yakıt ve benzine göre LPG'nin daha iyi kalorifik gücü vardır. Yapılan çalışmalarda LPG ile

çalışan motorlar, benzinle çalışan motorlara kıyasla %8 daha iyi performans göstermektedir. Benzin küçük damlacıklar halinde buharlaştırılırken, LPG zaten gaz olmasından dolayı benzine kıyasla hava ile daha homojen bir karışım oluşturur [17].

2.2.1.3. Hidrojen

Hidrojen normal şartlar altında bir gazdır ve evre dostudur. Doğalgazdan veya kömürden hidrojen üretilbildiği gibi, suyun elektrolizi yolu ile de üretilmesi mümkündür. Hidrojen, yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkarır ve bu nedenle yakıt olarak kullanılmasında çevreye kesinlikle zararı yoktur. En büyük avantajlarından biri, son derece fakir karışımlarla çalışabilmesidir. Ancak hidrojenin depolama ve dağıtım teknolojileri katı ve sıvı enerji kaynaklarına göre oldukça zor ve karmaşıktır [23].

Sınırsız kaynaklara sahip olan ve havayı kirletmesi açısından içten yanmalı motorlarda kullanılan diğer alternatif yakıtlara göre daha iyi durumda olan hidrojenin yakıt olarak kullanılma yönelik çalışmalar 1973'den sonra hız kazanmıştır. Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahip yakıttır. Yüksek alev hızı ve tutuşma yeteneği, yüksek ısıl değer ve termik verim, düşük ateşleme enerjisi gerektirmesi, geniş tutuşma ve yanma sınırları, kirletici egzoz gazı emisyonlarının azlığı ve sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeni ile vurutuya karşı dirençli olması, hidrojeni üzerinde çalışmaya sevk eden alternatif bir yakıt haline getirmiştir. Ayrıca benzin ve dizel yakıtı ile birlikte farklı karışım oranlarında, motorlarda ikinci yakıt olarak çalışabilme olanağına da sahip olması, motorlarda önemli değişiklikler yapılmadan geçiş döneminde hidrojen kullanımına imkân tanıyacaktır [1].

Hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanılmasında tercih sebebi olması için en önemli özelliklerden birisi, hidrojenin çok fakir karışımlardan, çok zengin karışımlara kadar uzanan çok u noktalardaki yakıt/hava karışım oranı aralığı içerisinde tutuşabilir olmasıdır. Hidrojen hava karışımlarını tutuşturmak için gerekli minimum enerji miktarı da diğer yakıtlara göre daha düşüktür. Hidrojen/hava

karişimlerinin tutuşma sınırlarının geniş olması ve kolay tutuşabilmesi emniyet sorunlarını arttırmaktadır [17].

2.2.2. Sıvı yakıtlar

Alternatif yakıt olarak kullanılan ve üzerinde araştırmalar yapılan sıvı yakıtlar;

1. Etanol
2. Metanol
3. Biyokütle

olarak sıralanabilir.

2.2.2.1. Etanol

Etanolün kimyasal formülü C_2H_5OH 'dir. Etanol renksiz, saydam, hafif kokulu bir sıvıdır. Etanolün içerisinde etil alkol bulunur. şeker ve şekere dnüşürülebilir selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu ile elde edilen bir alkol türüdür. Etanol patates, çeşitli tahıllar, şeker kamışı, şeker pancarı, mısır ve diğer bazı bitki ürünlerinden elde edilen, yenilenebilir bir yakıttır. Ancak yapılan araştırmalara göre, en ekonomik etanolün şekerpancarı, şeker kamışı, mısır ve buğdaydan üretildiği belirtilmektedir.

Etanol üretimindeki enerji dengesi negatiftir. Yani etanolün üretiminde, yanması sonunda alınan enerjiden daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır Etanol, genellikle ulaştırmada benzin katkısı olarak kullanılabilen bir yakıttır. Benzine karıştırılan etanol, benzinin daha verimli ve temiz yanmasına yardımcı olmaktadır. Ancak son dönemde dizel yakıtı ile de harmanlanarak kullanılabilir. E-Dizel olarak adlandırılan karişım dizel yakıtının içerisinde genellikle %15 etanol karıştırılarak üretilmektedir [12].

2.2.2.2. Metanol

Metanolün kimyasal formülü CH_3OH 'dir. Metanol kokusuzdur ve rengi çok az hissedilebilir. Metanol oldukça zehirli bir alkoldür. Endüstriyel kimyanın

gelişmesiyle metanol yakıt olarak düşünölmeye başlanmıştır. Metil alkol olarak da adlandırılan metanol kömür, odun ya da farklı tahıllardan yapılabilir.

1930'lerden itibaren, özellikle Grand Prix araçlarında yüksek performans sağlamak amacıyla direkt ya da katkı olarak kullanılmıştır. 1960'dan sonra egzoz emisyonları iyileştirmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1970'li yıllardaki enerji krizlerinin etkisiyle gerçek anlamda önem kazanmıştır. Sonraki yıllarda metanol, oktan sayısının yükseltilmesi amacıyla benzine ilave edilmiştir. MTBE ve metanol karışımı, TBA (Tersiyer bütül alkol) ile beraber uzun süre kullanılmıştır. Metanolün taşıtlarda kullanımlarındaki en büyük avantajı, son teknoloji araçlarda da kullanım imkânı sağlamasıdır [24].

Tablo 2.2. Euro dizel, etanol ve metanolün yakıt özellikleri [25]

Özellikler	Euro Dizel	Etanol	Metanol
Setan Sayısı	52	6	<5
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	42,5	28,4	19,7
Yoğunluk (kg/m ³) 20 °C'de	840	786	792
Viskozite (mPa s) 40 °C'de	2,4	1,2	0,59
Buharlaştırma Isısı (kJ/kg)	250–290	840	1178
Karbon İçeriği (%)	86,6	52,2	37,5
Hidrojen İçeriği (%)	13,4	13	12,5
Oksijen İçeriği (%)	0	34,8	50
Sülfür İçeriği (%)	<10	0	0

2.2.2.3. Biyokütle

Bitkisel ve hayvansal kökenli, ana bileşenleri karbon hidrat bileşikleri olan bütün maddeler biyokütle enerji kaynağıdır. Bu kaynaklardan üretilen enerji de biyokütle enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Odun, yağlı tohum bitkileri, karbonhidrat bitkileri, elyaf bitkileri, protein bitkileri, bitkisel atıklar, hayvansal atıklar ile evsel ve endüstriyel atıklar, biyokütle enerji teknolojileri kapsamında değerlendirilmektedir.

Günümüzde en büyük biyokütle enerjisi kaynağı yağlı bitkilerdir. Dizel yakıtı ve bazı bitkisel yağların çeşitli özellikleri Tablo 2.2’de gösterilmiştir. Biyokütle kökenli olan en önemli alternatif dizel yakıtı biyodizeldir. Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik maddelerden türetilen yakıtlar biyodizel olarak adlandırılır. Günümüzde bazı ülkelerde biyodizel yakıtının dizel yakıtına belirli oranda katılarak kullanılması zorunlu hale getirilmiştir [26]. Bazı bitkisel yağların yakıt özellikleri Tablo 2.3’de gösterilmektedir.

Biyokütle enerji kullanımını, sera gazına sebebiyet veren egzoz gazı emisyonlarını azaltmak için büyük bir potansiyele sahiptir. Fosil yakıtlarla yaklaşık aynı miktarda karbondioksit oluşturur, fakat biyokütle üretimi için yetiştirilen yeni bitkiler atmosferdeki karbondioksit için bir yutaktır. Bitkilerin biyokütle enerji amaçlı üretimi devam ettiği sürece karbondioksitin net emisyonu sıfır olacaktır. Biyokütle için yetiştirilen ve çabucak büyüyen enerji bitkileri biyokütle hammaddeleridir. Biyokütle için hammadde üretimi tarım sektöründe kârlılığını artırmaya yardımcı olabilir [17].

Tablo 2.3. Bitkisel yağların yakıt özellikleri [26].

Bitkisel yağın adı	Yoğunluk (kg/m ³)	Kinematik Viskozite (mm ² /s)	Isıl değeri (kJ/kg)	Setan sayısı (ASTM D163)	Tutuşma gecikmesi (krank açısı)	Donma noktası (°C)	Akma noktası (°C)	Oksitlenme süresi (h)
Ayçiçeği yağı	920	34,9	39644	33	23,8	7,2	-15	5,5
Soya yağı	920	36,4	39390	39	19,6	-3,9	-12,2	8
Pamuk yağı	910	37,4	37420	51	21,4	1,7	-15	7,5
Yer fıstığı	910	37,2	37160	39	19,6	12,8	-6,7	6,7
Kolza yağı	920	39	39913	37,6	21,9	-3,9	-31,7	10,5
Keten yağı	-	27,2	39300	34,6	-	1,7	-15	3
Susam yağı	-	35,5	39350	40,2	-	-3,9	-9,4	8,5

BÖLÜM 3. YAKIT OLARAK BİYODİZEL VE MTBE

3.1. Biyodizel

Biyodizel kimyasal formülü, C₁₆-C₁₈ yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Dizel motorlarda bitkisel yağ kullanımı, dizel motorunun kendisi kadar eskidir, fakat petrol hazır bir sektör olduğu için biyodizel yakıtlarının yaygınlaşması ancak bazı özel olaylar sonucu ve kısıtlı olmuştur. Dizel motorun mucidi Rudolf Diesel, 1900'de Paris Fuarında yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanarak, motorunun çeşitli türde yakıtlarla da çalışabileceğini göstermiştir. Rudolf Diesel "Dizel motorlar bitkisel yağlarla çalıştırılabilir ve bu durum ülkelerin tarımını geliştirmelerine yardımcı olacaktır." ve "Bitkisel yağların motorlarda kullanımı, günümüzde önemsiz görülebilir, ancak bitkisel yağlar zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacaktır." gibi açıklamalarıyla biyodizelin önemini vurgulamıştır [12,26].

Dizel motorlarda bitkisel yağ alternatif yakıt olarak, ikinci dünya savaşı sürecinde de acil durum yakıtı amacıyla kullanılmıştır. Biyodizelle ilgili ilk resmi dokümanı 1937'de G. Chavanne'nin aldığı patentdir. Bu patentde biyodizel, palm yağı metil esteri olarak tanımlanmıştır [15].

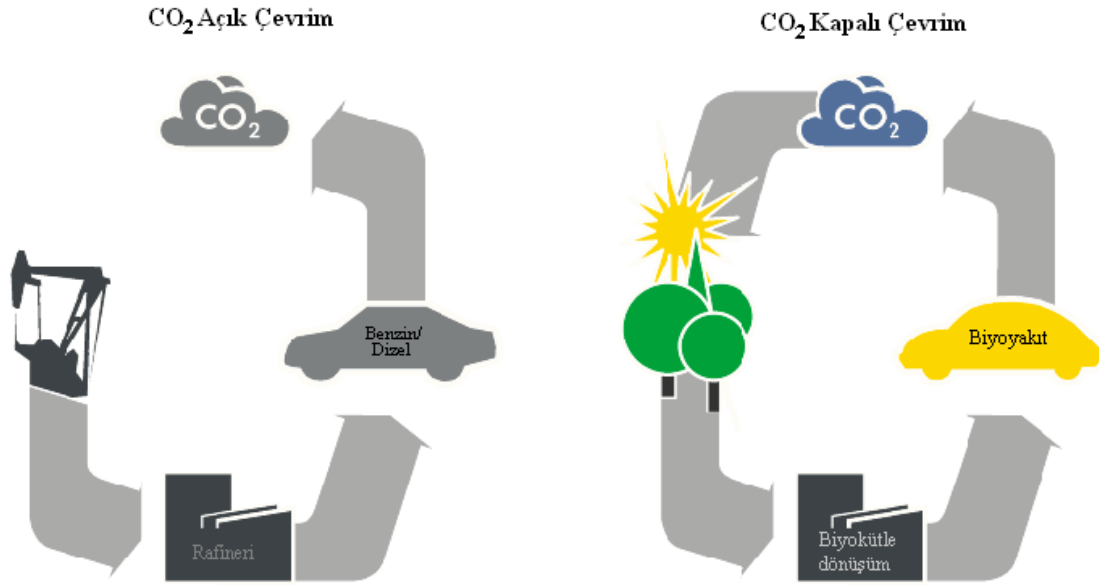
1970-1980 yılları arasındaki krizlerin de etkileriyle, dünyanın yenilenemeyen kaynaklarının tükenmesi endişeleri gündeme gelmiş ve geleneksel petrol bazlı yakıtlara alternatifler arama çalışmalarına hız kazanmıştır. İkinci dünya savaşı, 1970'lerdeki petrol darboğazı ve yeni dönemde çevre bilincinin artması yeni enerji kaynaklarına ilgiyi artırmıştır. Bu olaylar dizel motorlar için alternatif yakıt olarak bitkisel yağlara daha da çok önem kazandırmıştır [28].

Bitkisel yağlar halen alternatif yakıtların geliştirilmesinde önemli bir yere sahiptirler. Bitkisel yağ bazlı alternatif dizel yakıtı (biyodizel) ile ilgili dünyanın her yerinden çeşitli bilimsel makaleler ve bir çok çalışma raporları yayınlanmıştır. Biyodizel üzerine çalışmalar halen devam etmektedir. Yaygın olarak kullanılmadığından ticarileşmesinin henüz ilk basamaklarındadır. Bununla birlikte, bu yakıtların çeşitli teknik ve ekonomik yönlerinin daha da geliştirilmesi gerekmektedir [29].

Biyodizel terimi yaygın olarak; bitkisel yağlı tohumlardan, hayvansal yağlardan ve her türlü biyolojik kökenli yağlardan bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan yağ asidi metil veya etil esterleri olarak tanımlanır [30].

Biyodizel yerli, yeni veya kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen, temiz yanan, karbon emisyonlarını azaltan bir alternatif yakıt olarak kabul edilir. Biyodizelin üretimi için gerekli bitkilerin tarımının yapılması karbon emilimini arttıracığından, tabiatdaki karbon dengesinin sağlanması için önemli bir etken olacaktır. Biyolojik karbon döngüsü içinde biyodizel amaçlı ekilen bitkiler, fotosentez ile egzoz emisyonları sonucu atmosfere bırakılan CO₂'yi dönüştürüp karbon döngüsünü (Şekil 3.1.) hızlandırdığı için, biyodizel yakıtların sera etkisini artırıcı etkileri yoktur. Dolayısıyla biyodizel kullanımı, CO₂ emisyonları için doğal bir yutak durumdadır [20,31]. Fosil kökenli benzin ve dizel yakıtlarının kullanılması sonucu oluşan açık karbon döngüsü ve biyodizel yakıtlar kullanımı ile sağlanan kapalı karbon döngüsü Şekil 3.1'de belirtilmektedir.

İçten yanmalı motorlarda kullanılan fosil yakıtların yerini alabilecek alternatif yakıtların üretim teknolojilerini geliştirmek, motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemek amacıyla dünyanın çeşitli bölgelerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde başta ticari olmak üzere birçok taşıtta, farklı hacimlerde dizel motorlar kullanılmaktadır. Dizel yakıtına alternatif olarak üretilen biyodizelle ilgili ülkeler, bitkisel yağlar başta olmak üzere farklı yağları tercih edebilmektedir [32].



Şekil 3.1. Açık çevrim ve kapalı çevrim karbon döngüsü [33]

Başlangıçta bitkisel yağların en az işlem ve hazırlıkla doğrudan kullanılabilceği düşünülse de motorlar üzerinde yapılmış ayrıntılı deneyler göstermiştir ki, tam yanmanın gerçekleşmemesinden dolayı pratikte pek çok problem oluşmaktadır. Bu problemlere örnek olarak, enjektör memesinde karbon birikimi, aşırı miktarda motor içi birikintileri, yağlayıcı yağ seyrelmesi, piston segmanı yapışması, silindir gömleğinin aşınması ve hatta bitkisel yağın polimerleşmesinden dolayı yağlamada oluşan aksaklıklar verilebilir. Bunun yanı sıra bitkisel yağların soğukta ilk çalışma problemi, ateşleme kalitesinin ve ısı verimin düşüklüğü gibi çalışma esnasındaki olumsuz özellikleri bilinmektedir. Bu olumsuz özellikler direk püskürtmeli dizel motorlarda ve özellikle bu çalışma sorunların daha ciddi şekilde görüldüğü bölünmüş yanma odalı dizel motorlarda, bitkisel yağların doğrudan kullanılmasının önündeki en büyük dezavantajlardır [34,36].

Dizel yakıtlarda bulunan kükürt bileşikleri atmosfere yayılarak sülfürik asit yağmurlarına yol açarlar. Bitkisel yağların kükürt içerikleri sifıra yakın olduğundan çevresel açıdan daha güvenlidirler [35].

Bitkisel yağların viskoziteleri yüksek ve uçuculukları düşüktür. Bu dezavantajların sonucu biyodizellerde eksik yanma meydana gelir. Biyodizellerin motorlarda verimli

olarak kullanılabilirmeleri için çeşitli yollarla bu dezavantajlarının giderilmeleri gerekir [9].

Dizel motorda tüm yakıt-hava karışım oranlarında biyodizel, fosil yakıtlara göre atmosfere daha az kirletici salar. Bu da biyodizel için önemli bir avantajdır [9]. Dizel yakıtı ile biyodizelin bazı standart değerleri Tablo 3.1’de belirtilmiştir. Biyodizel sera gazına sebebiyet veren egzoz emisyonlarını azalttığı için bu kapsamda düşünülmekte ve son yıllarda çevre duyarlılığının artması dolayısıyla daha da önem kazanmaktadır. Biyodizel, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak çevreye önemli faydalar sağlamaktadır. Bitkisel yağların dizel yakıtı ile karışımları yakıtların viskozite, bulutlanma noktası, setan sayısı, ısıl değeri ve kaynama noktası gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir [13].

Tablo 3.1. Dizel yakıtı ile biyodizelin bazı standart değerleri [11]

Özellikler	Dizel Yakıtı (ASTM D 975)	Biyodizel (ASTM PS 121)
Yoğunluk (g/m ³) (15°C’de)	0,85	0,88
Kinematik Viskozite (40 °C’de)	1,3-1,4	1,9-6,0
Alt ısıl Değer (MJ/l)	36,6	32,6
Setan Sayısı	40-55	40-49
Parlama Noktası (°C)	60-80	100-170
Kaynama Noktası (°C)	188-343	182-338
Su (ppm)	161	max %5
Kükürt (%)	max 0,05	0-0,002

Bütün bu sebeplerden dolayı bitkisel yağların yapısı, dizel yakıtı yakın ve farklı silindir hacimlerindeki her tip dizel motorda sorunsuz bir şekilde kullanılmak üzere kimyasal değişikliğe uğratarak motorlarda yanmaya uygun bir hale getirilmelidir. Bitkisel yağlar çeşitli işlemler sonucunda ve kimyasal reaksiyonlar neticesinde esterleştirilerek ‘‘biyodizel’’ olarak anılan ve dizel motorda kullanıldığında bitkisel yağ kullanımının yol açtığı problemleri ciddi oranda azaltan alternatif yakıt elde edilmiş olur [36].

3.2. Biyodizelin Özellikleri

Yenilenebilirliği ve zehirsiz olması nedeniyle biyodizel, dizel motor yakıtı olarak potansiyel bir alternatiftir. Günümüzde kullanılan dizel yakıtına benzer özellikler gösteren biyodizel, dizel yakıtıyla belirli oranlarda harmanlanarak ya da saf olarak dizel motorlarında bazen küçük ayarlamalarla, bazı motorlarda da doğrudan kullanılabilir [25].

Biyodizel çevreci bir yakıttır ve petrol kökenli yakıtlara göre daha az kirletici emisyonlar üretir. Dizel yakıtına vuruntu önleyici amaçla kükürt ilave edilir fakat biyodizel kükürt içermez. Dizel motorlarında hava-yakıt karışımı yanma odası içinde basınç altında gerçekleştirilmekte, dolayısıyla yanma verimini ve motor performans parametrelerini olumlu yönde etkileyen bir işlem olmaktadır. Biyodizel yakıtının ve dizel yakıtının standart yakıt özelliklerinin bir kısmı Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Biyodizel, %11 oranında oksijen içerir ancak dizel yakıtı oksijen içermez. Biyodizelin bu oksijen içeriği sayesinde motorda daha iyi yanma sağlanır ve bunun sonucu egzoz gazı emisyonlarında azalma görülmektedir [36].

Yüksek viskoziteleri ve diğer bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri itibarıyla bitkisel yağların herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan dizel motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılmaları bazı olumsuz etkiler meydana getirir. Bu yağların yakıt olarak kullanılabilirliği için olumsuz olan özelliklerinin (özellikle viskoziteleri), bazı fiziksel ve kimyasal yöntemlerle iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu yöntemlerin başında, transesterifikasyon gelmektedir. Transesterifikasyon, bitkisel yağ asidi esterlerinin, metanol veya etanol gibi basit alkollerle belirli koşullar altında reaksiyona girmesi sonucunda, düşük viskoziteli yeni esterler elde edilmesidir [25]. Yağ asidi metil esterlerinin standart özellikleri Tablo 3.2'de belirtilmektedir.

Biyodizelin soğuk akış özellikleri dizel yakıtlarına oranla daha kötüdür. Soğuk havalarda ilk çalıştırma esnasında sorunlara neden olabilir. Bununla birlikte, yüksek miktarda doymuş yağ asidi içeren biyodizeller, kış aylarında yakıt filtresinin ve yakıt hattı borularının tıkanmasına sebep olabilir. Biyodizelin diğer bir dezavantajı da oksitlenmeye karşı olan eğilimidir. Havayla temas eden biyodizel,

özellikle yüksek sıcaklıklarda hızla oksitlenmeye başlar. Bununla birlikte biyodizelin parlama noktası daha yüksektir [19].

Tablo 3.2. Yağ asidi metil esterlerinin standart özellikleri [15]

Özellik	Birim	Sınırlar (TSE 14214)	
		En az	En çok
Ester içeriği	%(m/m)	96,5	-
Yoğunluk 15°C'de	kg/m ³	860	900
Viskozite 40°C	mm ² /s	3,5	5
Parlama noktası	°C	120	-
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	mg/kg	-	0,3
Setan sayısı		51	-
Sülfatlanmış kül içeriği	%(m/m)	-	0,02
Su içeriği	mg/kg	-	500
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24
Bakır şerit korozyonu 50°C'de 3 saat	Derece	Sınıf 1	
Oksidasyon kararlılığı 110°C'de	Saat	6	-
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0,5
İyot sayısı	g/iyot/100 g	-	120
Linolenik asit metil esteri	%(m/m)	-	12
Çoklu doymamış metil esteri	%(m/m)	-	1
Metanol içeriği	%(m/m)	-	0,2
Monogliserit	%(m/m)	-	0,8
Digliserit	%(m/m)	-	0,2
Trigliserit	%(m/m)	-	0,2
Serbest gliserin	%(m/m)	-	0,02
Toplam gliserin	%(m/m)	-	0,25
Grup I metaller (Na+K)	mg/kg	-	0,5
Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg	-	0,5
Fosfor içeriği	mg/kg		10

3.2.1. Yoğunluk

Yoğunluk, yakıtın birim hacmindeki kütle miktarı olup; yakıtın yapısı, karbon/hidrojen miktarı, yakıtın parçalanması ve tutuşma kabiliyeti ile ilgili bir ön

bilgi verir. Yoğunluk partikül madde ve NO_x emisyonları oluşumunda en önemli etkendir [38].

Yoğunluk biyodizel için oldukça önemli bir parametredir. Biyokütlenin içeriğindeki gliserin işlem sonucun yeterince ayrıştırılamazsa yoğunluğun yüksek çıkmasına sebep olur. Yüksek yoğunluk yakıt için ciddi bir olumsuz etkidir. Biyodizelin yoğunluk değeri hammadde ve yapılan işleme bağlı olmakla birlikte dizel yakıtından biraz daha yüksektir. Dizel yakıt için yoğunluk değeri 850 kg/m³'e yakın iken, biyodizel için bu değer 860-900 kg/m³ arasında değişir ve genellikle 880 kg/m³ olarak kabul edilmektedir [37].

3.2.2. Kinematik viskozite

Kinematik viskozite, bir akışkanın yer çekimi etkisi altında, akmaya karşı gösterdiği dirençtir ve biyodizelin karakteristik özelliğidir. Herhangi bir viskozite için, belirli bir hacimdeki sıvının akış süresi, sıvının kinematik viskozitesi ile doğrudan orantılıdır [37].

Yüksek viskozite yakıtın enjektörden kötü püskürmesinin etkisiyle yetersiz atomizasyonuna, kötü yanmasına, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikimine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır. Yüksek viskozite, biyodizelin pompalanabilmesini güçleştirir. Enjektörlerin püskürtmesini olumsuz etkiler. Viskozite sıcaklığa bağlıdır. Biyodizelin viskozite değeri 40 °C'de 1,9-6 mm²/s arasında değişmektedir. Viskozite hidrokarbonların zincir uzunluğu ile doğru orantılıdır, çifte bağ sayısı arttıkça viskozite azalır. Biyodizel yakıtında ölçülen yüksek viskozite, transesterifikasyon işleminin herhangi bir aşamasındaki hatadan dolayı başarı ile tamamlanamadığının göstergesidir [39].

Yüksek viskozite sorununu çözmek için iki temel strateji vardır;

- a. Motorun yakıtı uyarlanması
- b. Yakıtın motora uyarlanması

Motorun yakıtta uyarlanması oldukça masraflı ve yoğun çalışmalar gerektirdiğinden, yapılan deneylerde daha pratik olan yakıtın motora uyarlanması stratejisi tercih edilmektedir.

3.2.3. Parlama noktası

Parlama noktası; yakıt buharının, hava ile yanıcı bir karışım meydana getirebilmesi için yakıtın ulaşması gereken en düşük sıcaklık olarak ifade edilmektedir. Biyodizelin dizel yakıt karşısındaki başlıca üstün özelliklerinden birisi de parlama noktasının yüksek olmasıdır. Bu özellik, biyodizelin depolamasının ve taşınmasının kolaylığı ile birlikte güvenliğini de beraberinde getirmektedir. ASTM D 6751 standartlarına göre biyodizel için parlama noktası sınır değeri minimum 120 °C'dir [15].

3.2.4. Soğukta akış özelliği

Biyodizelin soğuk akış özellikleri dizel yakıtına göre daha kötüdür ve soğuk havalarda sorunlara neden olabilir. Biyodizelin özelliklerinin çoğu, petrol esaslı dizel yakıt ile karşılaştırılabilir olsa da, düşük sıcaklık akış karakteristiğinin iyileştirilmesi hala dizel motorlar için, alternatif yakıt olarak biyodizel kullanımında en önemli sorunlardan biridir. Önemli miktarda doymuş yağ bileşenleri ile bitkisel veya hayvansal yağlardan üretilen biyodizel yakıtta, yüksek bulutlanma ve akma noktaları görülür. Soğuk mevsimlerde biyodizel doymuş yağ asidi metil ester bileşenlerinin kristalleşmesi, yakıt hatları ve filtreler gibi parçaların tıkanması gibi sorunlara neden olmaktadır [40].

3.2.5. Akma ve bulutlanma noktası

Biyodizel üretiminde özellikle ucuz maliyeti sebebi ile kullanılan hayvansal yağlar ve kızartma yağları, yüksek miktarlarda doymuş yağ asitleri içerdiği için, çok yüksek sıcaklıklarda kristalize olurlar. Bu özellik, iklim şartlarından etkilenerek donmalarına, depolama ve kullanım esnasında problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yakıtların kış şartları için en temel akış özellikleri akma ve bulutlanma

noktalarıdır. Bu değerler yakıtların soğukta çalışma özelliklerinin önemli bir göstergesidir [41].

Akma noktası, yakıtın belirlenmiş standart şartlar altında soğutulurken akıcılığını devam ettirdiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, yakıtın hiç kristalleşme olmadan akabildiği en düşük sıcaklıktır. Bulutlanma noktası ise, yakıtın belirlenmiş standart şartlar altında soğutulurken parafin kristallerinden oluşan bir sis veya bulutun gözlemlendiği ilk sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Yakıtın sıcaklığı, bu sıcaklığın altında bir değere düşmeye devam ederse yakıt jelleşir ve akış yavaş yavaş durur.

Bulutlanma noktası, esterleşme kompozisyonu içerisindeki doymuş yağ asidi miktarı ile anlaşılmaktadır. Biyodizel üretiminde özellikle düşük maliyeti sebebi ile kullanılan hayvansal ve atık kızartma yağları, yüksek oranda doymuş yağ asitleri içerdiği için yüksek sıcaklıklarda kristalize olurlar. Doymuş yağ asidi oranı yüksek olan hammaddelerden üretilen biyodizelin bulutlanma noktası da yüksek olmaktadır. Bu nedenle biyodizelin bulutlanma noktası dizel yakıttan 20-25 °C daha yüksektir. Bu özellik, iklim şartlarından etkilenerek donmalarına, depolama ve kullanım esnasında problemler çıkmasına neden olmaktadır. Yani yakıtın soğukta çalışma özellikleri kötüleşir. Bu sorunu çözmek için yakıt içerisine özel katkı maddeleri ilave edilebilir. Üretimi esnasında, kullanılacak yüksek doymuş yağ asitli yağlara, düşük yağ asitli yağlar katılarak da asitlik düşürülebilir [40].

3.2.6. Setan sayısı

Dizel motorda kullanılacak yakıtlarının tutuşma özelliği setan sayısı olarak ifade edilir. Dizel yakıtlarının tutuşma kalitesi, setan sayısı ile ölçülür. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesini azaltır, soğukta çalışmayı kolaylaştırır, gürültüyü azaltır ve motorun ömrünü uzatır [42].

Yüksek doymuşluk oranına sahip hayvansal ve atık yağların setan sayıları 70 civarındadır. Soya ve ayçiçeği yağının doymamışlığı yüksek olup setan sayıları düşüktür. Bu özellikleri ile birlikte biyodizel, dizel yakıtına belirli oranda eklenerek

kullanıldığında, egzoz emisyonlarından CO, HC ve partikül miktarında azalma tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, NO_x emisyonlarında ve özgül yakıt sarfiyatında artış gözlemlenmektedir [19]. Biyodizelin setan sayısı, elde edildiği hammaddeye bağlı olarak 40 ile 49 arasında değişmektedir.

Bitkisel yağların tutuşma gecikmesi dizel yakıtından daha uzun olduğundan yakıt olarak kullanılabilmesi için bazı değişikliklere uğraması gerekir. Transesterifikasyon yöntemi ile geliştirilen biyodizel yakıtlarındaki tutuşma gecikmesi dizel yakıtına yakın özellikler gösterir [36].

3.2.7. Isıl değer

Yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarıdır. Genel olarak yakıtın ısıl değerini içeriğindeki karbon, hidrojen, oksijen ve sülfür değerleri belirler. Bu değer ağırlık sınırlaması olan araçlar için daha çok önemlidir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısıl değer artar. Doymamışlık (hidrojen fakirliği) arttıkça ısıl değer azalır.

Biyodizelin oksijen içeriğinden dolayı fosil dizel yakıtına göre ısıl değeri daha düşüktür. Enjeksiyon süresi veya yakıt miktarı artarsa aynı motor performansı elde edilebilir, ancak yakıt sarfiyatı da artar [43].

3.2.8. Yağlayıcılık

Motor elemanlarının sürtünme ve aşınma problemlerinin giderilmesi için yağlamaya ihtiyaçları vardır. Günümüz fosil kökenli dizel yakıtlardaki kükürt miktarı oldukça düşürülmüştür. Kükürt miktarı düşürülen dizel yakıtları için yağlama özelliğini arttıran katkıları kullanılmaktadır. Ancak katkı miktarı arttığında yakıt besleme elemanlarında tortular oluşmaktadır [2].

Biyodizelin yağlayıcılık özelliği çok iyidir. Bazı çalışmalarda %1 biyodizel eklenmesi ile kükürtsüz fosil dizel yakıtı için aşınma izi standartta belirtilen 460 mikrometre değerinin altında kalmıştır [15].

3.2.9. Karbon artığı

Karbon artığı enjektör deliklerinde veya yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır. Yapılan deneyler, biyodizelin pratikte yok denecek kadar az karbon artığı bıraktığı ve maksimum karbon artığı değerinin, yakıt kütlelerinin sadece %0,02'si kadarı olduğunu göstermiştir [37].

3.2.10. İyot sayısı

İyot sayısı, yakıtın doymamışlık derecesini vermektedir. Doymamışlık, tortu ve depolama stabilizesi sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Esterlerin dizel motorlarda kullanımı, yakıtın motor yağını inceltmesine ve motor yağının incilmesi de yakıtın viskozitesinin düşmesine neden olmaktadır. Esterlerdeki yüksek doymamış yağ asidi miktarı, yüksek iyot sayısı ile açıklanır ve motor yağının polimerleşme tehlikesini arttırır. Yakıtın doymamışlığının oksidasyonu ve polimerizasyonu, yakıtın incelmesini ve yağın bozulmasını desteklemektedir. TSE EN 14214'de iyot sayısı en çok 120'dir. Yapılan araştırmalar sonucunda 115'ten yüksek iyot sayısının aşırı karbon kalıntısı oluşumuna neden olduğu saptanmıştır [15].

3.2.11. Kükürt içeriği

Kükürt, yağlayıcılık özelliğinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılan bir dizel yakıtı katkısıdır. Kükürt emisyonları insan sağlığı ve çevre için oldukça zararlıdır. Biyodizel kükürt içermez. Bitkisel yağların dizel yakıtıyla karşılaştırılarak kullanılması ile kükürt emisyonlarının miktarlarında azalma olduğu görülür. [35].

3.2.12. Su ve tortu miktarı

Su ve tortu miktarı bir yakıtın temizliğini gösteren önemli bir parametredir. Yakıtlarda bulunan su ve tortu, kullanıldıkları motorun bazı parçalarının işlevini olumsuz yönde etkileyerek önemli derecede ömrünü kısaltmakta ve motor performansını düşürmektedir. Yakıt içindeki su, enjeksiyon sistemlerinde aşınma ve

paslanmaya ve motorlarda teklemeye sebep olduğu için yakıt içinde hiç su istenmez. Tortu ise, filtrelerin tıkanmasına, enjeksiyon sistemlerinde birikerek tortulaşmaya ve diğer motor arızalarına sebep olabilmektedir [42].

Bitkisel yağlar su içermezler ancak biyodizel üretimi ve depolanması esnasında su karışabilmektedir. Biyodizel için ASTM D 6751 standartlarına göre sınır değeri hacim olarak en yüksek %0,05'tir [15].

3.2.13. Oksidasyon kararlılığı

Yakıtın havadaki oksijenle temas ettiği zaman, yakıtta meydana gelen değişimleri oksidasyon kararlılığını göstermektedir. Kimyasal yapısı itibariyle biyodizel oksidasyon kararlılığı dizel yakıtına göre çok daha düşüktür. Özellikle çoklu doymamış yağ asitleri, oksidasyon kararlılığı açısından düşüktür. Doymuş yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı yüksektir. Oksidasyon kararlılığı ham yağın tokoferol ve karoten içeriğine de bağlıdır. Antioksidan katkıları kullanılır [39].

3.2.14. Yağlama yağının seyrelmesi

Biyodizelin dizel motorlarında kullanımında ortaya çıkan olumsuzluklardan biri, yağlama yağının seyrelmesidir. Yağ seyrelmesi motor yağının büyüklüğü ile veya motorun çalışma süresinin fazlalığı ile artış gösterir. Piston-silindir arasındaki aşınma ve yağ boşluğunun artması ile daha fazla yakıt yağlama yağına karışır ve sonuçta yağı bozar. Dizel yakıtı kullanımında, yağlama yağına karışan yakıtın büyük kısmı kısa sürede buharlaşırken, biyodizel kullanımında, yakıtı oluşturan ester moleküllerinin kaynama noktaları birbirine yakın olduğu için buharlaşma olmaz ve motor yağı kısa sürede bozulur [15].

3.2.15. Toksik etkisi

Biyodizelin kanıtlanmış bir toksik etkisi yoktur. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için 1.75 g tuz/kg vücut ağırlığı olan bu değer, her gün tükettiğimiz tuzun biyodizelden 10 kat

daha yüksek öldürücü etkiye sahip olduğunu gösterir. Elle temas testlerinde ise biyodizelin ciltte sabun çözeltisinden %4'lük daha az bir oranda toksik etkisi olduğunu göstermiştir [44].

Biyodizel toksik değildir ancak, biyodizel ve biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının kullanımında dizel yakıtı için zorunlu olan standart koşulların kullanılması önerilmektedir [45].

3.2.16. Biyobozunabilirlik

Biyodizeli oluşturan C₁₆-C₁₈ metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur. 10.000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suya bırakıldığında 28 günün sonunda biyodizelin %95'i, dizel yakıtının ise %40'ı bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir [45].

Yukarıda anlatılan özelliklerin yanında, biyodizelin elde edilmesinde, temel madde olarak zirai ürünler kullanıldığı için, birçok ülke tarafından yerli kaynaklarla üretilir. Bu zirai ürünlerin üretimlerinin yaygınlaşmasıyla ülke ekonomilerinde, dışa bağımlılıkta ve işsizliğin azaltılmasında önemli iyileşmeler görülebilir.

Anlatılanlar ışığında, aşağıda sıralanan sebepler nedeni ile biyodizel önem kazanmaktadır;

- a. Fosil yakıtların tükeniyor olması ve bu nedenle petrol fiyatlarının giderek yükselmesi,
- b. Fosil yakıtların kullanımından doğan büyük çevre zararları ve bunların telafisi için ülkelerin enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve enerjide dışa bağımlılıktan kurtulabilme strateji ve çabaları,
- c. Savaş ve zorunlu hallerde stratejik yakıt olma özelliği,
- d. Tarım ürünlerinin sanayiye entegrasyonunu sağlayarak ülkelerin tarımsal kalkınmasını çarpan etkisiyle hızlandırması,

- e. Motorlar üzerinde sağladığı avantajlar; setan sayısının dizel yakıtına göre yüksek oluşu, yağlayıcılık özelliği nedeniyle motorlara yanma ve kullanım açısından sağladığı faydalar,
- f. Küçük (evsel) ve sanayi tipi üretiminin ekonomik uygulanabilirliği,
- g. Parlama noktası dizel yakıtına göre daha yüksek olması sebebiyle taşıma ve depolanması itibarıyla dünya standartlarında “Tehlikeli Madde” kapsamında yer almaması, güvenli yakıt kabul edilmesi,
- h. Biyodizelin kullanımında motorların herhangi bir değişikliğe ihtiyacı olmaması.

Bu üstünlüklerine rağmen biyodizelin bazı sakıncalı yönleri de vardır. Bu sakıncalı yönler;

- a. Isıl değeri dizel yakıtına göre düşük olması sebebiyle motordaki yanma sonucunda bir miktar güç düşmesine yol açması,
- b. Soğuk hava şartlarında dizel yakıtına nazaran daha çabuk etkilenmesi,
- c. Azotoksit emisyonu dizel yakıtına göre biraz daha yüksek olması,
- d. Yağlama yağının seyrrelmesine sebebiyet vermesi

olarak sıralanabilir [10].

3.3. Biyodizel Emisyonları

Biyodizel ve biyodizel-dizel yakıtı karışımı kullanımı ile CO, PM, ve SO_x emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında ise artma görülmektedir. Biyodizel biyolojik karbon döngüsü içinde fotosentez ile karbondioksiti dönüştürür, karbon döngüsünü hızlandırır, ayrıca sera etkisini arttırıcı yönde etkisi yoktur [45].

3.4. Biyodizelin Malzeme Uyumu

Biyodizel, yakıt olarak kullanılacak motorlarda küçük değişiklikler yapılarak veya herhangi bir teknik değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Biyodizel doğal kauçuk ile uyumlu değildir. Özellikle 1996 yılı ve öncesinde üretilen bazı araçlarda kullanılan doğal kauçuktan imal edilmiş yakıt sistemi malzemelerinin değiştirilmesi gerekir. Aksi halde biyodizel, doğal kauçuktan yapılan hortum ve contaları tahrip eder [44].

Biyodizel orta sınıf bir çözücüdür. Biyodizelin çözücü özelliği nedeniyle dizel yakıtının depolanmasından kaynaklanan yakıt deposu duvarlarındaki ve borulardaki kalıntıları ve tortuları çözer. Bu kalıntı ve tortular özellikle filtrelerin tıkanmasına yol açacağından önlemler alınmalı, biyodizel kullanımının ilk zamanlarında yakıt filtresi normalden daha kısa sürelerde değiştirilmelidir. Ayrıca yakıt istasyonları ve araç tamirhanelerinde herhangi bir değişikliğe gerek yoktur [46].

3.5. Biyodizelin Depolanması

Biyodizelin depolanmasında herhangi bir sorun yoktur. Dizel yakıtı için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de uygulanır. Biyodizel temiz, kuru, ışık almayan bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan ve aşırı soğuktan korunmalıdır [29]. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen kullanılabilir. Depolama, taşıma ve motor malzemelerinde bazı elastomerlerin, doğal ve butil kauçukların kullanımı sakıncalıdır, çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır. Bu gibi durumlarda biyodizel ile uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir [45].

3.6. Biyodizelin Kullanım Yöntemleri

Biyodizel yakıtı, saf olarak veya dizel yakıtı ile farklı oranlarda karıştırılarak dizel motorlarında kullanılmaktadır. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtına karışım oranlarına göre genellikle aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır [47].

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

3.7. Biyodizelin Diğer Kullanım Alanları

Biyodizelin motor yakıtı olarak kullanımını dışında başka kullanım alanları da vardır. Bunların başlıcaları;

- a. Soba, fener ve diğ er ısıtıcılarda
- b. Kalorifer kazanlarında
- c. Makine yağ layıcısı olarak
- d. Jeneratörlerdir.

3.8. Biyodizelin Çevresel Özellikleri

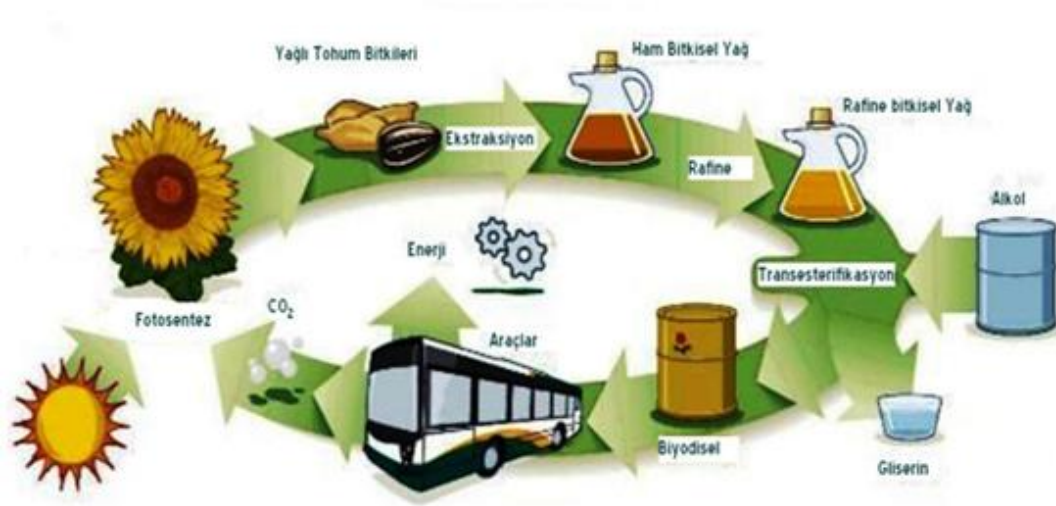
Biyodizel çevre dostu bir yakıttır ve dizel motorlarda herhangi bir değı şikliğı ihtiyaç duyulmadan da kullanılabilir. Biyodizel üretiminin sınırlı olduğı düşük oranlarda dahi dizel yakıtı ile harmanlanması durumunda CO₂ ve sülfür emisyonlarında iyileşme sağlamaktadır [48].

Fosil yakıtların ekonomiler üzerinde oluşturduğı baskı ve olumsuz etkilerin yanında bir büyük problem de fosil esaslı yakıtların sebebiyet verdiğı küresel ısınmadır. İçten yanmalı motorların egzoz gazı emisyonları ile atmosfere her yıl 420 milyon ton CO₂ salmaktadır. Bu emisyonlar yeryüzünde aşırı ısınmaya yol açan sera etkisine neden olmaktadır. Oysa biyodizelin yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ bitkiler tarafından tutulur, karbon ve oksijen ayrılarak oksijen tekrar atmosfere salınır. Yani biyodizel, kullanılması atmosfere salınan CO₂ emisyonunu, kendi hammaddesi olan bitkilerce kendisi temizler [20].

Biyodizel kullanımında ortalama olarak CO emisyonu %50, partikül madde %30 azalmaktadır. Biyodizel kullanımıyla asit yağ murlarının ana nedeni olan egzoz emisyonundaki SO ve sülfatlar önemli ölçüde ortadan kalkmaktadır. Yine insan sağlığı üzerine önemli bir tehdit olan aldehit bileşikleri dizel yakıtına göre %30, yerleşim alanları üzerinde duman oluşumuna neden olan hidrokarbon emisyonları %95 civarında azalmaktadır. Biyodizel yakıtının üretimini ve tüketimi sonucu açığa çıkan CO₂ emisyonların giderilmesini gösteren biyodizel döngüsü Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

Biyodizel biyolojik olarak bozunabilir. Biyodizeli oluşturan C₁₆ – C₁₈ metil esterleri doğada hızla parçalanıp bozunur. Biyodizelin suya karışması halinde 28 günde %95'i

tamamen bozunurken, dizel yakıtının yalnızca %40'ı bozunabilmekte, kalan %60'lık kısmı ise yıllarca bozunmamaktadır.



Şekil 3.2. Biyodizel döngüsü [49]

Biyodizelin olumsuz bir toksik özelliği bulunmamaktadır. Aynı miktarda ağız yoluyla tüketildiğinde, günlük tükettiğimiz sofraya tuzu biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri, biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizelin sudaki canlılara karşı da yapılan ölçümler sonucunda tespit edilmiş herhangi bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizelin bu özelliklerine karşılık, yıllardır kullanılan ve çeşitli çevre felaketlerine sebebiyet veren ham petrolün 1 litresi, 1 milyon litre suya toksik etkide bulunur [44].

Çevre Koruma Ajansı (EPA) fosil kökenli dizel yakıtı kaynaklı egzoz emisyonlarının akciğer kanserine sebebiyet verdiği, her yıl çocuklarda 17.600 akut, 5.500 kronik bronşite sebebiyet verdiği, biyodizelin her yıl 360.000 kişiyi astım krizinden koruyacağı ve 1,5 milyon iş günü kaybını önleyeceğini belirtmektedir.

3.9. Biyodizelin Tarımsal Özellikleri

Ülkemizde üretilen bitkisel yağların tamamına yakını yemeklik yağ olarak tüketilmektedir. Biyodizel elde etmek için ekim ve üretim miktarları bu alana cevap

verebilecek seviyededir. Ülkemizin ekilebilecek arazi mevcudunun %15-20 kadarlık kısmı nadas gerekçesiyle üretim dışı bırakılmaktadır. İleri tarım tekniklerinin uygulandığı ülkelerde nadastan vazgeçilmektedir. Bu tekniklerden biri de münavebedir. Ülkemizde de bu alanda yapılacak araştırmalarla biyodizel üretilebilecek yağ bitkilerinin münavebe olanakları artırılarak nadas alanları azaltılabilir [50].

Biyodizel kullanımı ile ülke tarımında çeşitli gelişmeleri de beraberinde getirebilmektedir. Bu gelişmeler;

1. Tarımsal üretimde çeşitliliği sağlayarak ekolojiye olumlu katkıda bulunması ve sürdürülebilir tarımsal yapı oluşturması,
2. Organik tarımın gelişimini desteklemesi,
3. Yağ bitkileri tarımını yaygınlaştırarak gıdadaki yağ açığını kapatması,
4. Ekim nöbetini yaygınlaştırarak toprak verimliliğini artırması ve polikültür tarıma imkân sağlaması,
5. Çiftçilerin en büyük gideri enerji ihtiyacını kendisinin üretmesini sağlaması,
6. Yağlık tohumun yağlık çekirdeklerinin dışındaki kısmı ve biyoyakıt üretiminden geriye kalan organik karakterli atıkların hayvan yemi olarak kullanımı ile hayvancılığın gelişiminin temini,
7. Tarımsal ürünlerin sanayi ve enerjiye entegrasyonu ile sözleşmeli tarıma yol açması olarak sıralanabilir.

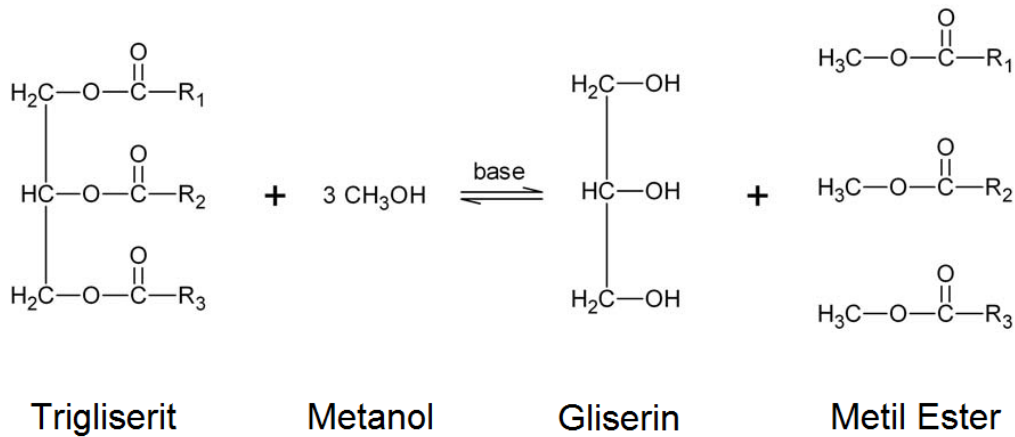
3.10. Biyodizel Üretimi

Bitkisel yağların viskozitelerinin yüksek olması ve çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri, dizel motorlarda direkt kullanılmalarını neredeyse imkânsız hale getirir. Bu yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için bazı fiziksel ve kimyasal yöntemlerle olumsuz olan özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bitkisel yağların dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi için çeşitli yöntemler olmakla birlikte en fazla tercih edilen yöntem transesterifikasyondur [7,32].

Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, mono hidrik bir alkolle (etanol, metanol) katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) eşliğinde ana ürün olarak yağ asidi

esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Katalizör olarak genellikle NaOH ve KOH tercih edilir. Katalizör reaksiyon hızını ve verimi arttırmak için kullanılır. Transesterifikasyon reaksiyonu Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Transesterifikasyon esterlerin bir tipinin, başka bir estere dönüşmesi olarak da açıklanabilir. Trigliseritler normal yağların %95'ini oluşturmaktadırlar. Bu nedenle bitkisel yağlar, trigliserit olarak adlandırılır. Teorik olarak, transesterifikasyon reaksiyonu bir denge reaksiyonudur [51].

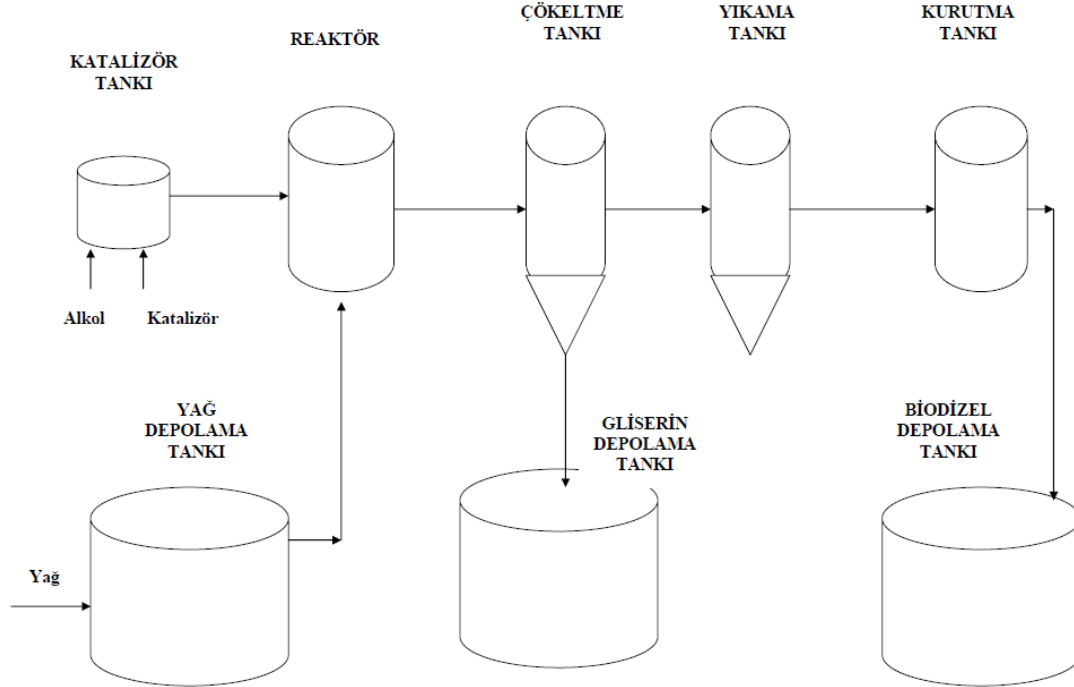
Transesterifikasyon reaksiyonu içinde kullanılan alkoller arasında, metanol, etanol, propanol, bütanol ve amil alkol bulunmaktadır. En sık kullanılan alkoller metanol ve etanoldür. Transesterifikasyon işleminde etanol, metanol ile karşılaştırıldığında tercih edilmesi gereken bir alkoldür. Çünkü tarımsal ürünlerden elde edilen, yenilenebilir ve çevreye biyolojik olarak daha az sakıncalı bir alkoldür. Ancak düşük maliyetli ve fiziksel ve kimyasal avantajları (polar ve kısa zincirli bir alkol olması) nedenleriyle metanol daha yaygın kullanılır [39,52].



Şekil 3.3. Transesterifikasyon reaksiyonu [51]

Çeşitli yağlardan biyodizel üretimi genellikle Şekil 3.4'de gösterildiği gibi gerçekleşmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonu alkaliler, asitler veya enzimler tarafından da katalize edilebilir. Bazı katalizör, asidik katalizöre göre reaksiyonu daha hızlı olması sebebiyle tercih edilir. Katalizör, küçük bir reaktörde, kuvvetlice karıştırılarak metanol içinde çözülür. Daha sonra yağ, biyodizel reaktörü içine aktarılır ve katalizör/alkol karışımı yağa ilave edilir. Nihai karışım çevre basıncında

70 °C'da 2 saat boyunca kuvvetli bir şekilde karıştırılır. Bu aşamadan itibaren, alkol kaybını önlemek için sistem atmosfere tamamen kapatılır.



Şekil 3.4. Biyodizel üretim şeması

Başarılı bir transesterifikasyon reaksiyonu sonunda ester ve ham gliserin üretilir. Ham gliserin ağır olduğundan reaktörün alt kısmına çöker. Faz ayrılması 10 dakika içinde görülebilir ve çökeltme yaklaşık iki saat içinde rahatlıkla fark edilir. Gliserinin tam olarak çökeltmesinin gerçekleşme süresi 20 saati bulabilir.

Biyodizel üretiminden sonra reaksiyona giremeyen alkol, katalizör ve gliserini ayırmak için saf su ile yıkama yapılır. Reaksiyona girmemiş alkol yakıtın enerji değerini artırdığından motor için bir avantajdır ancak sentetik malzemeden yapılmış yakıt donanımı elemanları alkolden zarar görebileceğinden alkolün yakıttan uzaklaştırılması gereklidir. Ayrıca alkol, biyodizelin parlama noktasını ve setan sayısını düşürür.

Çökeltme tamamlandığında, yağ ve metil ester hacmi göre yüzde 5,5 oranında su ilave edilir ve 5 dakika daha karıştırılır ve gliserin yeniden çökmesi beklenir. Ester yıkama son derece dikkatle gerçekleştirilmesi gereken bir süreçtir.

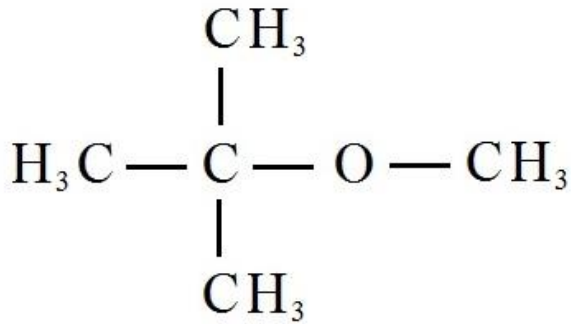
Estere su yıkama çözeltisinin hacimce yüzde 28 oranında yağ ve litre başına 1 g tannik asit eklenir ve yavaşça karıştırılır. Ester tabakası temizleninceye kadar bu işlem devam edilir. Biyodizel üstte, gliserin altta kalır. Elde edilen biyodizel dizel yakıtına katıldığında emisyonlarda %75 iyileşme görülür [52].

3.11. MTBE

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri endişe verici boyutlara ulaşmıştır. Son yıllarda dünya genelinde hükümetler, çeşitli etkenlerle bozulan hava kalitesinde iyileşmeler meydana getirmek amacıyla bir dizi yasal düzenlemeler uygulamaya başlamışlardır. Bu düzenlemeler Avrupa Birliği ülkeleri ve ABD gibi bazı ülkelerde yakıt formülasyonlarında bazı unsurları zorunlu hale getirmiştir.

Çeşitli kanunlar yapılarak diğer yakıt bileşenlerinin yerine benzine yeni formülasyonunu sağlayan oksijen içerikli yakıtların eklenmesi işlemi zorunlu hale getirilmiştir. En fazla tercih edilen oksijen içerikli yakıt olan metil tersiyer butil eter (MTBE), genel olarak doğal gazdan türetilmiş bir kimyasal bileşiktir. MTBE içerikli benzinin yaygın kullanımı ile hava kalitesinde önemli gelişmeler meydana gelmiştir.

MTBE metanol ile izobutilenin reaksiyonundan elde edilen bir kimyasal bileşiktir. Moleküler yapısı Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Metanol üretimi genellikle doğal gazdan yapılır. İzobutilen doğal gazdan üretildiği gibi, sıvı ve buhar kraking işlemlerinin yan ürünleri olarak da elde edilir. MTBE berrak, renksiz, düşük viskoziteli, yanıcı ve kendine özgü bir kokusu olan bir sıvıdır. Üretilen MTBE büyük oranda otomotiv yakıtların için katkı maddesi olarak kullanılır. Benzine karıştırılan MTBE, benzinin oktan sayısını artırarak yanmayı geliştirir ve böylece zararlı egzoz emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olur. MTBE üstün özelliklere sahip, kolaylıkla karışabilen, iyi bir yakıt bileşenidir [53].



Şekil 3.5. MTBE molekülü

3.11.1. Oksijen içerikli yakıtlar

Tarihsel olarak oksijen içerikli yakıtlar, 1970'li yılların başında benzine oktan artırıcı olarak ilave edilen kurşun gibi toksik maddelerin yerlerini alabilmeleri maksadıyla, aşamalı bir şekilde geliştirilmişlerdir.

Bugün Avrupa'da ve özellikle ABD'de faaliyet gösteren birçok akaryakıt firması, oktan geliştirici olarak çeşitli oranlarda oksijen içerikli yakıtlar kullanmaktadır. Benzinde toksik bileşiklerin (kurşun gibi) yerlerine genellikle oksijen içerikli yakıtlar kullanılmaktadır. Oksijenli yakıtlar, daha temiz ve daha rahat solunabilir hava gereksinimlerini karşılayabilmek, ozon oluşturuucu hava kirliliğini önlemek, tehlikeli karbonmonoksit kirliliğini azaltmak ve diğer zehirli hava kirleticileri minimum düzeye indirmek amacıyla kullanılırlar.

Oksijenli yakıtlar, motorlu taşıt yakıtlarına ilave edildiğinde zehirli egzoz gazı emisyonlarının önemli ölçüde azalmalarını sağlayan, katıldığı yakıtın daha temiz yanmasına yardımcı olan, oksijen açısından zengin bileşiklerdir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan zararlı emisyonlar özellikle sanayileşmiş ülkeler arasında, insan kaynaklı azot oksit oluşumlarının neredeyse yarısından, karbon monoksit (CO) emisyonlarının yaklaşık üçte ikisinden ve hidrokarbon emisyonlarının da yaklaşık yarısından sorumludur. Temiz yanan oksijenli yakıtlar, otomotiv kaynaklı hava kirliliği ile mücadelede önde gelen çözümlerden biridir.

Oksijen içerikli yakıtlar çeşitli hammaddelerden üretilir. Esas olarak doğalgazdan elde edilen metanol, en çok tercih edilen oksijen içerikli yakıt olan MTBE üretiminde kullanılan bir hammaddedir.

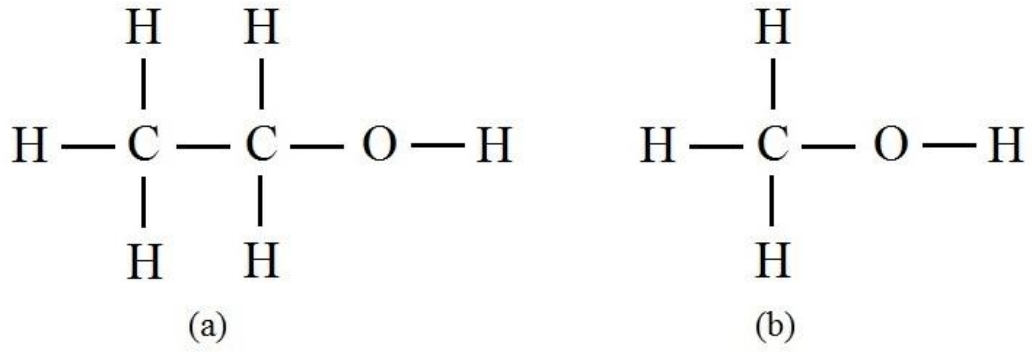
Etanol, başta mısır olmak üzere çeşitli tarım ürünlerinin fermentesi ile elde edilir. Etanol bir katkı maddesi olarak doğrudan kullanılabilirdiği gibi başka bir oksijenli yakıt olan etil tersiyer butil eter (ETBE) üretimi için bir hammadde olarak da kullanılır. MTBE ve ETBE üretimlerinde kullanılan diğer bir ham madde olan izobutilen, doğal gazdan ya da petrol rafinelerinden türetilen bir yan üründür [53].

3.11.2. Oksijen içerikli yakıtların karakteristikleri

Oksijenli yakıtlar karbon ve hidrojen atomlarının yanında oksijen atomu da içerirler, oysa benzin oksijen içermez. Oksijen içerikli yakıtlardaki bu oksijen varlığı, benzinin motorda daha temiz yanmasını sağlar. Benzinin oktan sayısı artar ve egzoz emisyonlarında iyileşmeler sağlanır. Benzine genel olarak alkoller ve eterler olmak üzere iki tip oksijenli yakıt eklenir.

Alkollerde, her bir oksijen atomu, bir karbon atomu ve bir hidrojen atomuna bağlanarak karbon-oksijen-hidrojen dizisi oluştururlar. En yaygın kullanılan alkol türü oksijenli yakıt etanoldür. Oksijenli yakıt olarak kullanılan (ya da potansiyel olarak kullanılabilir) diğer alkol türleri metanol ve tersiyer-butil alkol (TBA) dır. Günümüzde en yaygın kullanılan alkol türü oksijenli yakıtlar olan etanol ve metanolün moleküler yapısı Şekil 3.6'da gösterilmiştir. TBA aynı zamanda MTBE'nin potansiyel atıkları ve MTBE'nin üretimindeki bozunmaların bir ürünü olarak açığa çıkar.

Eterlerde, her bir oksijen atomu, iki karbon atomu ile bağlantılıdır ve bir karbon-oksijen-karbon dizisi oluştururlar. MTBE yüksek oktan özellikleri, yaygın olması, maliyet etkinliği ve tedarik esnekliği avantajlarıyla en sık kullanılan eter oksijen içerikli yakıttır.



Şekil 3.6. Etanol(a) ve metanol(b) molekülleri

Yakıtların yanmalarını iyileştirmek ve egzoz gazı emisyonlarını azaltabilmek amacıyla oksijen içerikli yakıt olarak kullanılabilen diğer eterler, tersiyer amil metil eter (TAME), tersiyer amil etil eter (TAEE), etil tersiyer bütül eter (ETBE) ve diizopropil eter (DIPE) olarak sıralanır [53].

3.11.3. Dizel yakıtı katkısı olarak MTBE

MTBE ısı, alev veya kıvılcıma maruz kaldığında yüksek derecede yanıcı ve parlayıcıdır. MTBE oldukça uçucudur. Benzin içerisinde karıştırılabilen MTBE, su, alkol ve diğer eterler içerisinde de kolayca çözünebilir özelliktedir. MTBE fiziksel herhangi bir karıştırma gereksinimi olmaksızın katıldığı yakıtlar içerisinde homojen olarak dağılabilmektedir. Bu özelliği MTBE'nin katkı yakıtı olarak tercih edilmesinde önemli bir etkidir [54].

Dizel motorlarının performanslarının artırılması ve egzoz emisyonlarının düzenlenmesi için, en çok üzerinde çalışılan yöntem dizel yakıtına çeşitli katkıların ilave edilmesi yöntemidir. Geleneksel dizel yakıtının çeşitli katkılarla harmanlanmasına olan ilginin etkisiyle bazı metalik katkı maddeleri, oksijenli katkı maddeleri ve ateşleme iyileştirme özellikli katkı maddeleri geliştirilme yönünde çalışmalar hız kazanmıştır. Dizel motorlarda metil tetra butül eter (MTBE), çeşitli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak MTBE katkılı dizel yakıtları oluşturulmuştur. Hazırlanan bu katkılı yakıtlar kullanılarak yapılan deneylerde saf dizel yakıtına göre, daha başarılı performans değerleri elde edildiği ifade edilmektedir [55]. Dizel yakıtı,biyodizel ve MTBE'nin bazı yakıt özellikleri Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Dizel yakıtı, biyodizel ve MTBE'in özellikleri [2, 25, 55, 57]

	Dizel Yakıtı	Biyodizel	MTBE
Yoğunluk (g/cm ³)	0,836	0.871	0,7404
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	42,8	37,5	35,1
Viskozite	4,7	4,6	~ 2,8
Setan sayısı	48	51	~ 6
Buharlaştırma entalpisi	250	300	340
Karbon oranı %	86	77.10	68.1
Hidrojen %	14	12,1	13.7
C/H	6,14	6.52	4.97
Oksijen %	-	10,8	18.2
Kaynama noktası (°C)	154,30	-	55,2
Ergime Noktası (°C)	-30 / -18	-	-108
Alevlenme noktası (°C)	56	167	-28
Parlama noktası (°C)	64	-	480

Dizel yakıtına katılan MTBE, NO_x ve PM emisyonlarını düşürücü etkisi olduğundan dolayı, dizel yakıtı katkısı olarak oldukça ilgi çekicidir [54]. MTBE'nin çeşitli oksijen içerikli bileşikler arasında, egzoz dumanı azaltılması açısından iyi sonuçları verdiği, yapılan çeşitli deneyler sonucunda anlaşılmıştır. İçerdiği oksijen sayesinde motordaki hava-yakıt oranlarını etkileyerek CO emisyonlarını azalttıkları gözlemlenmiştir [53]. Saf dizel yakıtına göre MTBE katkılı dizel yakıtı kullanılan deneylerde, NO_x emisyonlarında dikkat çekici düşüş gerçekleştiği gözlemlenmiştir. MTBE'nin oksijen içermesi nedeniyle ilave edildiği dizel yakıtının daha iyi yandığı anlaşılmıştır. MTBE düşük kaynama sıcaklığı değerine sahip olduğundan, hem daha iyi buharlaşmaya, hem de daha iyi yanmaya yol açacağından, egzoz emisyonlarında da azalmalar meydana getireceği düşünülmektedir [57].

BÖLÜM 4. DİZEL MOTORLAR

Alman mühendis Rudolph Diesel 1892 yılında ilk dizel motorun prototipini yapmış ve 1895 yılında da patentini almıştır. Dizel motorlar, ilk kullanımından günümüze kadar teknoloji ile beraber sürekli geliştirilmiştir. Dizel motorların ana dezavantajlarından olan fazla gürültülü ve vuruntulu çalışmaları, günümüzde kabul edilebilir seviyelere indirilebilmiştir. Bu iyileştirmelerle dizel motorların kullanım alanları daha da artmıştır. Günümüzde iş makineleri, otomobiller ve jeneratörler gibi, enerji ihtiyacı duyulan birçok alanda dizel motorlar tercih edilmektedir.

4.1. Dizel Motorların Çalışması

Dört zaman prensibine göre çalışan dizel motorlarda meydana gelen olaylar;

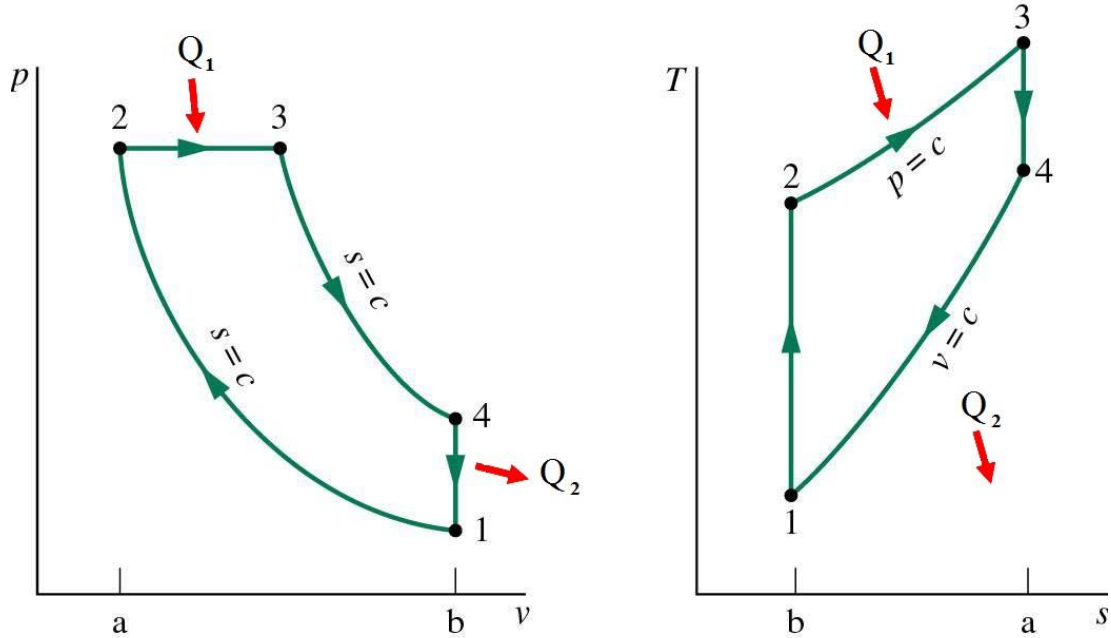
1. Emme zamanı
2. Sıkıştırma zamanı
3. İş zamanı
4. Egzoz zamanı

olarak sıralanır.

4.1.1. Teorik dizel çevirimi

Teorik dizel çeviriminde, emme zamanında silindirlere ideal gaz alınır. Teorik dizel çevirimi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. İdeal gaz 1 noktasından 2 noktasına kadar izentropik olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma sonunda ideal gazın basıncı ve sıcaklığı artar. 2 noktasından 3 noktasına kadar sıcaklığı artan ideal gaza sabit basınç altında dışarıdan ısı verilir. İdeal gazın sıcaklığı daha da artar. 2-3 noktalarında sabit basınçta genleşme meydana geldiğinden piston aşağı doğru itilir. Bu genleşme izentropiktir. 4 noktasından 1 noktasına kadar sabit hacimde çalışma maddesinden

dışarıya ısı atılır ve 1 noktasında sistem en baştaki koşullarına döner ve çevrim tamamlanır [58].



Şekil 4.1. Teorik dizel çevrimi [59]

Çevrim şu şekilde oluşur;

1 noktasında atmosfer koşullarındaki ideal gaz sırası ile:

1-2 Adiyabatik sıkıştırma

2-3 Q_1 ısısı sabit basınçta verilir

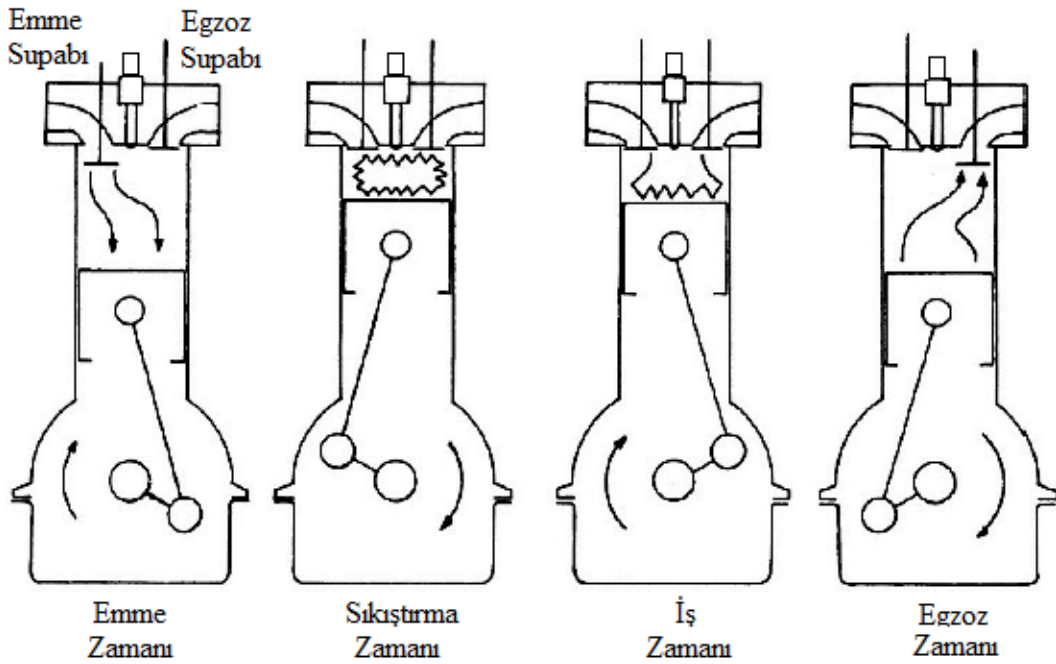
3-4 Adiyabatik genişleme

4-1 Q_2 ısısı sabit hacimde dışarı atılır.

4.1.2. Gerçek dizel çevrimi

Emme zamanı: temiz havanın silindir içerisine alındığı zamandır ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bu zamanda piston ÜÖN'den AÖN'ye doğru hareket eder ve bu genişleme ile silindir içerisindeki hava basıncı hızla düşer. Piston AÖN'ye inerken aynı zamanda emme supabı da açık olduğundan, oluşan vakumun etkisiyle silindir içerisine hızla temiz hava dolar. Ayrıca egzoz yapılamamış bir miktar atık gaz da silindir içerisinde kalmıştır. Silindire daha fazla hava alabilmek için emme supabı, piston ÜÖN'ye gelmeden $0-40^\circ$ krank mili açısı (KMA) önce açılır, piston AÖN'yi

geçtikten 5-90 KMA sonra kapatılır. Emme zamanı bitiminde silindir içerisine dolan havanın sıcaklığı 75-120 °C civarlarında, basınç ise 0,7-0,9 bar civarındadır. Silindire daha da fazla hava alınabilmesi için turbo şarj, süper şarj veya birden fazla emme supabı gibi uygulamalar da yapılabilir.



Şekil 4.2. Dizel motorda zamanlar [60]

Sıkıştırma zamanı: emme zamanında silindirlere alınan temiz havanın sıkıştırılması safhasıdır ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Sıkıştırma zamanında piston AÖN’yi geçtikten sonra emme supabının kapanmasıyla emme zamanı biter ve sıkıştırma zamanı başlar. Sıkıştırma zamanında her iki supap da kapalıdır. Piston silindir içerisinde AÖN’den ÜÖN’ye doğru çıkarken havayı sıkıştırmaya başlar. Piston ÜÖN’ye geldiğinde sıkıştırma sonunda havanın sıcaklığı 600–900 °C’ye, basıncı da 30-45 bar civarlarına ulaşır. Yakıt enjeksiyon işleminin başlamasıyla sıkıştırma zamanı sona erer.

İş zamanı: dizel motorda gücün üretildiği zamandır ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. İş zamanında piston ÜÖN’ye yaklaşırken, sıcaklığı artan havanın üzerine enjektörlerden yakıt püskürtülmesiyle yanma ve aynı zamanda iş zamanı başlar. Yanma, pistonun AÖN’ye hareket etmesi ve yakıt enjeksiyonunun bitiminden sonra

bir süre daha devam eder. Enjektörlerden püskürtülen yakıtın yanmasıyla üzerinde basınç oluşturulan piston, AÖN'ye doğru ittirilir. Pistonun doğrusal hareketi dairesel harekete çevrilerek kullanılır. Piston AÖN'ye yaklaştığında egzoz supabının açılmasıyla iş zamanı sona erer.

Egzoz zamanı: yanma artıklarının silindir dışına atıldığı zamandır ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Egzoz zamanında piston ÜÖN'den AÖN'ye doğru harekete başlayıp, yakıt enjeksiyonunun sona ermesinin ardından da yanma olayı devam eder. Yanma olayının bitimine doğru, piston AÖN'ye yaklaştığında egzoz supabı açılır ve egzoz zamanı başlar. Piston AÖN'den ÜÖN'ye doğru hareket ederken önündeki atık gazları açık olan egzoz supabından dışarı doğru süpürür. Egzoz zamanı sonlarında sıcaklık 80–120 °C, basınç 3–5 bar civarlarındadır. Piston ÜÖN'ye yaklaştığında egzoz supabının kapanıp emme supabının açılmasıyla egzoz zamanı da sona erer. Egzoz işleminin daha rahat olabilmesi için birden fazla egzoz supabı kullanılabilir [61].

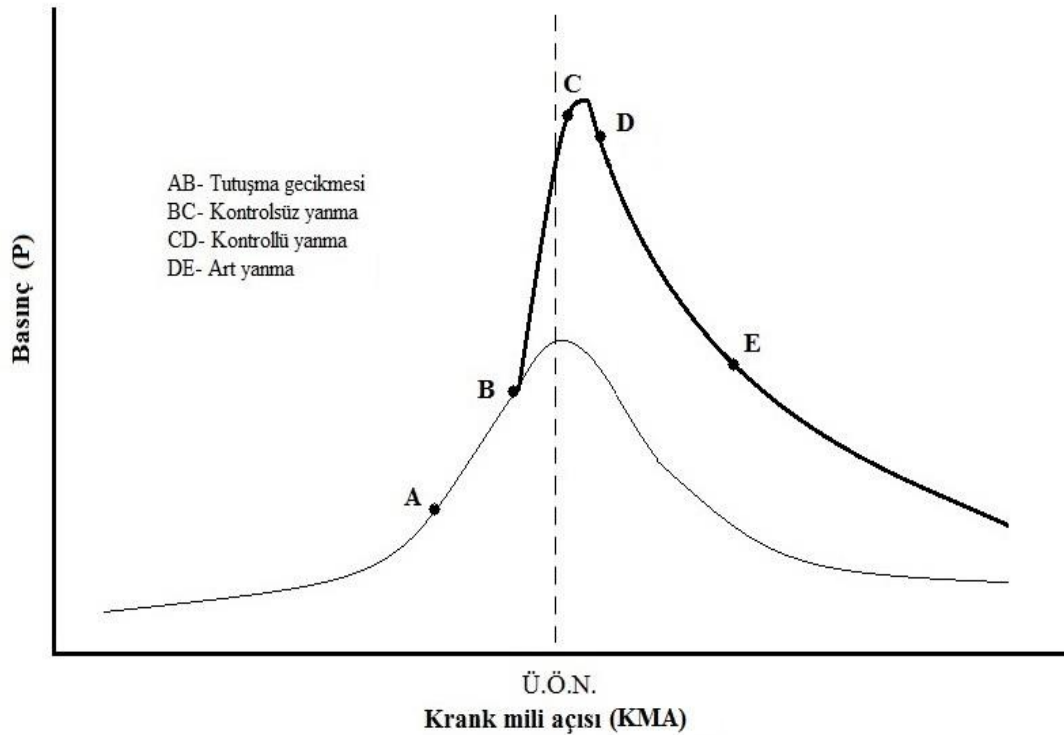
4.2. Dizel Motorda Yanma Olayı

Dizel motorlarda yanma olayı, enjektörden yakıtın püskürtülmesiyle başlayan ve egzoz supabının açılmasına kadar devam eden, çok hızlı ve oldukça karmaşık bir süreçtir. Yanma safhaları Şekil 4.3'de görülmektedir. Dizel motorlarda yakıt, sıkıştırma sonunda silindire püskürtüldüğünden homojen bir karışım oluşturulamaz. Dizel motorlarda yanma bölgesinin sıcaklığı, basıncı, karışım oranı ve oksijen miktarı, yanma olayını doğrudan etkilerler. Dizel motorlarda yanma safhaları tutuşma gecikmesi, kontrolsüz yanma, kontrollü yanma ve art yanma olarak sıralanabilir.

4.2.1. Tutuşma gecikmesi

Yanma odasına sıkıştırılan havanın üzerine yakıt püskürtülmesi ile yakıtın alev alması arasında geçen süre tutuşma gecikmesi olarak tanımlanır. Tutuşma gecikmesi safhası Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Enjektörden zerrecikler halinde püskürtülen yakıt, sıkıştırılan havanın ısıyla buharlaşır, ardından hava ile karışır. Ayrıca kimyasal

olayların gerçekleşmesi için de zamana ihtiyaç vardır. Fiziksel ve kimyasal olayları içeren tutuşma gecikmesi 1-3 ms kadar sürer. Tutuşma gecikmesinin aşırı olduğu durumlarda, enjektörden silindire içerisine ilk püskürtme anının ardından püskürtülen yakıtların yanması gecikir. Bu yanmanın gecikmesi olayı ile, biriken yakıtların büyük bir kısmı aniden yandığından düzensiz yanma, yani patlama meydana gelir. Tutuşma gecikmesi dizel motor için hem vuruşta hem de gürültü meydana getiren yanma safhasıdır.



Şekil 4.3. Dizel motor yanma safhaları

Ortamın sıcaklığı ve ortam basıncı, tutuşma gecikmesini etkileyen iki ana faktördür. Ortam sıcaklığı ve ortam basıncının artması, tutuşma gecikme süresini kısaltır, ortam sıcaklığı ve basıncının düşmesi de tutuşma gecikme süresini artırır. Bu iki ana faktörle birlikte motor devir sayısı, emme hava sıcaklığı ve basıncı, motor yük durumu, oksijen konsantrasyonu, sıkıştırma oranı, motor soğutma koşulları, püskürtme kalitesi, yakıt setan sayısı ve genel olarak yakıtın kalitesi de tutuşma gecikmesinde etken faktörlerdendir. Yeni nesil dizel motorlarda kontrolsüz yanma safhası oldukça iyileştirildiğinden motor performansı, egzoz emisyonları, gürültülü çalışma ve motor sarsıntıları da olumlu yönde etkilenmişlerdir [62].

4.2.2. Kontrolsüz yanma

Tutuşma gecikmesi sürecinde silindir içerisine püskürtülen dizel yakıtı ısınır, oksijenle karışır ve buharlaşır. İlk alev çekirdeği meydana geldiği anda, yakıtın hepsi birden yanmaya katılır ve hızlı bir yanma oluşur. Yanma ilk olarak oksijene daha yakın olan yakıt demetinin dış kısmından başlar. Hızlı yanma ile basınç aniden yükselir ve motor parçaları arasındaki boşlukların çok hızlı alınması sonucu keskin ve sert bir ses ve titreşimler meydana gelir. Bu sese dizel vuruntusu olarak adlandırılır. Tutuşma gecikmesi safhasının iyileştirilmesiyle dizel vuruntusu da iyileştirilmiş olur. Günümüzde bu vuruntuyu azaltmak amacıyla başlangıçta püskürtülen yakıtın miktarının düşürülmesi için kademeli püskürtme yöntemi ve oldukça yüksek basınçlarda yakıt püskürtülmesi işlemleri geliştirilmektedir [61].

4.2.3. Kontrollü yanma

Dizel motorlarda yanmanın oluştuğu ana safha kontrollü yanmadır. Tutuşma gecikmesinden sonra başlayan kontrolsüz yanmanın ardından kontrollü yanma başlar. Kontrollü yanmada yakıtın buharlaşarak hava ile karışması, yanma hızı için önemli etkenlerdir.

Dizel motorda yanma odasındaki yakıtın alev alması, birden fazla noktada başlayabilir. Bu nedenle yanma hızı, yanma odasındaki ısı miktarının değişimi olarak tanımlamak daha doğru olur. Karışımın oluşum hızı, yanma hızının kontrol edilmesinde önemli bir etkenidir. Normal şartlarda sıvı halde bulunan dizel yakıtının, buharlaşarak hava ile karışımı yeterli hızda sağlanamaz ise yanma olayı AÖN'ye doğru devam eder. Oysaki yanmanın ÜON'ye yakın konumlarda sona erdirilmesi istenir. Bunun sebebi pistonun AÖN'ye hareketi ile hacimde genişleme gerçekleşmesi ile sıcaklığın hızla düşmesidir. Bu sıcaklık düşüşü sebebi ile henüz yanamamış olan yakıtların alev almaları zorlaşır. Yanamayan yakıtların bir kısmı is olarak atılır, arta kalan kısmı da emme havasına karışarak volümetrik verimde düşme ile sonuçlanmasına sebep olur [61].

4.2.4. Art yanma

Kontrollü yanma safhasının ardından, yanma sürecinin maksimum sıcaklığına ulaşmasının ardından meydana gelen yanmaların oluşturduğu safhadır. Kontrollü yanma safhasında yanma fırsatı bulamayan yakıtlar bu safhada oksijen buldukça yanarlar. Art yanma genişleme sürecinin önemli bir kısmıdır. Bu safha ÜÖN'den sonra 70-80 KMA kadar devam eder [61].

4.3. Dizel Motor Emisyonları

Dizel motor yakıtı olarak genellikle $C_{17}H_{34}$ formüllü, motorin olarak da adlandırılan, ayrıca bazı katkı maddeleri de ihtiva eden yakıt kullanılır. Dizel yakıtının hava ile karışarak yanması sonucunda yanma ürünleri açığa çıkar. Bu yanma ürünleri CO_2 , H_2O ve N_2 'dir. Motor çevrimi sonucunda yanmanın tam olarak gerçekleştirilememesi durumunda, bu bileşenlere ek olarak CO, HC, SO_x , NO_x ve PM gibi egzoz gazı emisyonları da açığa çıkar. Dizel motorlarda hava fazlalık katsayısı, benzinli motorlara göre daha yüksek olduğundan, daha fazla PM ve NO_x emisyonları ve daha düşük CO ve HC emisyonları görülür [63,64].

4.3.1. Karbonmonoksit (CO)

Dizel motorlarda yakıtın yanması için yeteri kadar oksijenin bulunmaması CO emisyonuna sebep olur. Dizel motorlar çoğunlukla fakir karışım oranları ile çalıştırıldığından CO emisyonu düşük olmaktadır. Genel olarak oksijen yetersiz olabileceği gibi, karışımın homojen olmaması durumunda yanma odasının belirli bir konumda yerel olarak eksik yanma olabilir. CO oluşumu hava fazlalık katsayısının önemli bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

Karbonmonoksit, oksijen taşıma kapasitesini azaltması sonucunda kandaki oksijen miktarını önemli oranda düşürür. Bu düşüşün etkisiyle kan damarlarının çeperleri, beyin, kalp gibi hassas organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana gelir ve böylece canlı ölümlerine sebep olabilir [65].

4.3.2. Azot oksit (NO_x)

Yanma sırasında oluşan NO_x miktarı büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Yanma sonucu meydana gelen yüksek sıcaklıklarda havanın içerisindeki azot ile oksijene birleşmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. NO_x'in büyük bir kısmı kontrolsüz yanma aşamasında meydana gelir. NO_x içerisinde esas element azottur. Oksijen yoğunluğu yükseldikçe NO_x oluşum hızı da artar. Egzoz gazlarının atmosfere atılması sonucu oksijenle temas eden NO'nun bir kısmı NO₂ ve diğer NO_x bileşiklerine dönüşmektedir. NO_x oluşumunu etkileyen iki önemli parametre hava/yakıt oranı ve yanma odası sıcaklığıdır [66].

4.3.3. Hidrokarbon (HC)

Dizel motorlarda karışımın zengin veya fakir olması hidrokarbon emisyonunu etkiler. Dizel motorlarında HC oluşumunun en önemli sebebi, püskürtme sonucu enjektör ucunda kalan yakıt zerrecikleridir. Bu zerrecikler, piston AÖN'ye yaklaşırken genişleyerek silindire girer ancak yanma için gerekli oksijeni bulamaz. Yetersiz oksijenle yanma tam gerçekleşemediğinden HC emisyonu oluşur.

Dizel motorlarda tutuşma gecikmesi uzadıkça hidrokarbon emisyonu da artar. Motordaki hidrokarbon emisyonu daha ziyade tam yanma olmayan bölgelerden oluşmaktadır. Aşırı doldurma uygulanmayan motorlar, düşük yüklerde oldukça fazla HC emisyonu gerçekleştirir. Hidrokarbon emisyonu, motor yükü ve hızına doğrudan bağlı değildir. Enjeksiyon sistemi ve yanma odası geometrisi hidrokarbon oluşumunda daha önemli etkenlerdir [67].

4.3.4. Partikül madde (PM)

Partikül maddeler; katı parçacıklar, duman veya is olarak da tanınır. Dizel motorunda hem karışım hem de yakıt cinsi, partikül maddelerin oluşumuna sebep olmaktadır. Oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısı parçalanması, özellikle Hidrojenlerin kolayca oksitlenmesi, Karbonların ise oksitlenmeden ortamda çoğalması durumunda partikül maddeler oluşur. İS, bu durumda oluşan katı karbon

tanecikleridir. Motorun yük durumuna göre değişen hava fazlalık katsayısının bir fonksiyonu olarak is miktarı değiştiğinden motorun gücünü de sınırlayan bir etkidir. Genelde is oluşumu dizel yanmasının bir safhasıdır. Bu nedenle başlangıçta oluşan karbonun büyük bir kısmı tekrar yanar. Ancak gücü arttırmak amacı ile yanma odasına fazla miktarda yakıt gönderildiğinde, yeterli oksijen bulunmadığı için egzoz gazları içerisinde bir miktar is bulunacaktır. İS oluşumu silindirin aşınmasına segman yuvalarının karbonla dolarak zarar görmesine neden olmaktadır. Yanma odasında yeterli sıcaklık, oksijen ve zaman bulunmaz ise partikül maddeler egzozdan dışarı atılmaktadır.

Partiküller çapları bakımından tehlike sınıflandırmasına tabidirler. Yani partikül çapı küçüldükçe çevresel ve sağlık açısından tehdidi de büyür. Trafik kökenli partikül maddeler, dizel motorlarda düşük kükürlü yakıt kullanılması ve yakıt pompasının doğru ayarlanması ile büyük ölçüde önlenir.

Nefes alındığında akciğere kadar giderek yerleşebilen bu maddeler bronşları tahriş ettiği için insan sağlığına zararlıdır [65].

4.3.5. Kükürt oksit (SO_x)

Dizel motorlarda oluşan emisyonlar haricinde yakıtta kontrol edilmesi gereken emisyonlar SO_x gazlarıdır. Kükürt içeren fosil yakıtların yanması sonucunda oluşarak atmosfere verilen bu gaz, renksiz ve geniz yakıcı bir özelliğe sahiptir. Dizel yakıtlarda %0,05'in altında kükürt vardır. SO_x emisyonları büyük oranda SO₂'dir.

Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak özellikle dizel motorlarda yanma sonucu kükürdün hava ile birleşmesi ise SO₂ oluşmaktadır. Oluşan sülfürik asit motor elemanlarının korozyonuna neden olmaktadır [2].

BÖLÜM 5. MATERYAL VE METOD

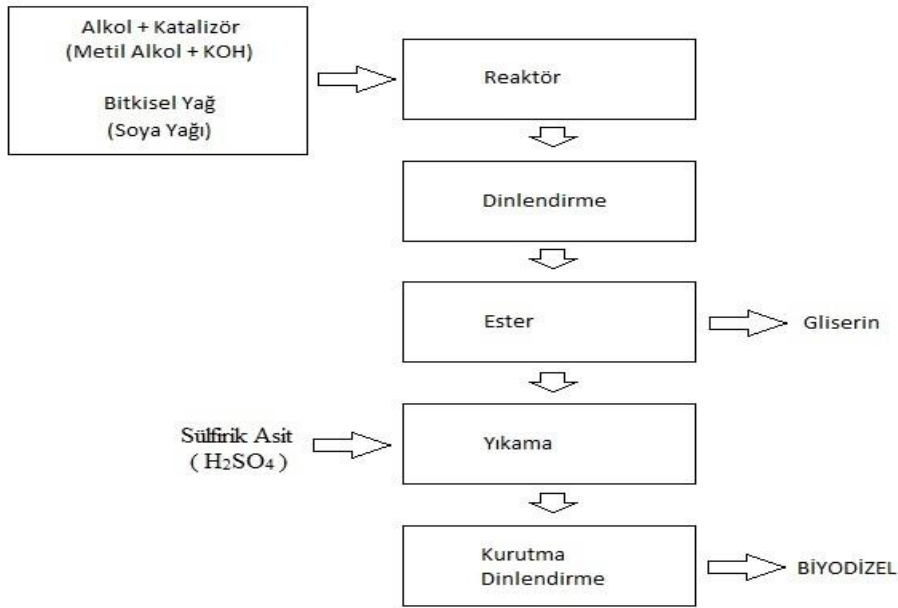
5.1. Deney Yakıtları

Bu çalışmada biyodizelin yüksek olan viskozite değerini azaltmak için düşük viskoziteli MTBE ile katkı yapılması sonucu performans ve emisyon değerlerindeki değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Deney yakıtları olarak testlerde dizel yakıtı, saf biyodizel (soya yağı metil esteri) yakıtı, %10 ve %20 oranlarında MTBE içerikli biyodizel yakıtları olan MTBE10B ve MTBE20B yakıtları kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan biyodizel yakıtı, rafineri soya yağından elde edilmiştir. Biyodizel üretimi için Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarları kullanılmıştır. Biyodizelin elde edilme aşamaları şematik olarak Şekil 5.1’de gösterilmektedir.

Her 10 lt rafine soya yağına, katalizör madde olarak 2 lt metil alkol ve 35 g KOH ilave edilerek biyodizel üretilmiştir. Rafine soya yağı reaktöre boşaltılmış ve sıcaklığı 70 °C’ye ulaşıncaya kadar 1200 dev/dak’da sürekli karıştırılmıştır. Aynı zamanda metil alkol içerisinde KOH çözdürülerek katalizör hazırlanmıştır. Rafine soya yağının sıcaklığı 70 °C’ye ulaşıncaya, hazırlanan katalizör (metil alkol-KOH karışımı) reaktöre boşaltılmış ve bir saat boyunca sürekli karıştırılmıştır. Bir saatin sonunda elde edilen karışım, ayrı bir kaba alınarak dinlenmeye bırakılmıştır.

Dinlenme süresinin sonunda soya yağı metil esterinin kabın üst kısmında, gliserinin de kabın alt kısmında kaldığı gözlemlenmiştir. Çökelti halindeki gliserin kabın içerisinden alınmıştır. Metil estere dönüşen karışımın yıkanması için 1:1 saf su kullanılmıştır. Saf su ve metil esterin içerisine elektrikli bir hava motoru ile hava üfleme yapılmıştır.



Şekil 5.1. Biyodizel yakıtının elde edilmesi

Karışımın pH değeri ölçülüp, pH değerinin 7 seviyesinde olması için karışım içerisine yeterli H_2SO_4 ilave edilmiştir. 12 saat süren hava üfleme işlemi sonunda karışım üç faz şeklinde katlara ayrıldığı gözlemlenmiştir. Biyodizelin altında gliserinin, gliserinin altında da saf suyun olduğu görülmüştür. Biyodizel, gliserin ve saf sudan ayrılarak ayrı bir kaba alınmış ve kurutma işlemi safhasına geçilmiştir. Kurutma işlemi için biyodizel, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bir saat boyunca kaynatılmış ve ardından soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan biyodizel dizel test motorunda deney yakıtı olarak kullanılabilir hale gelmiştir.

Tablo 5.1. Deney yakıtlarının özellikleri

ÖZELLİKLER	DİZEL YAKITI	SYME	MTBE
Kinematik Viskozite $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de (cst)	3,25	5,57	0.47 ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$)
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	42700	37034	35108
Yoğunluk $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de (g/cm^3)	0,84	0,886	0,836
Alevlenme Noktası	55	208	-10

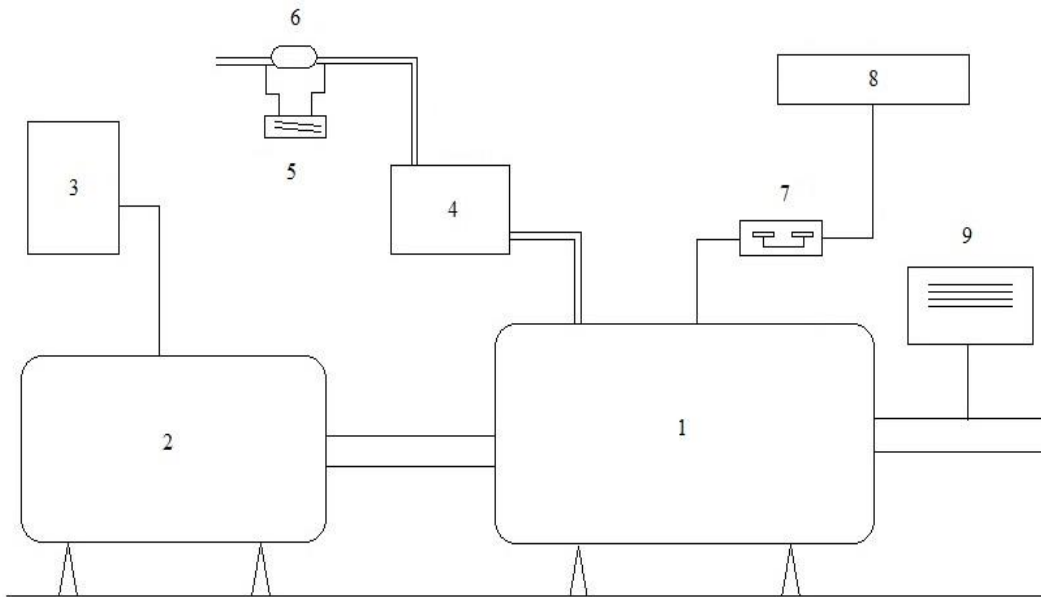
Deneyleerde yakıt olarak kullanılan dizel yakıtı, saf biyodizel yakıtı ve katkı olarak farklı oranlarda biyodizele ilave edilen MTBE yakıtlarının özellikleri Tablo 5.1'de belirtilmektedir.

Üretilen saf biyodizelle hacimsel olarak %10 MTBE katılarak MTBE10B yakıtı, hacimsel olarak %20 MTBE katılarak MTBE20B yakıtı elde edilmiştir.

5.2. Deney Düzenegi ve Kullanılan Yakıtlar

5.2.1. Deney düzenegi

Test motoruyla yapılan deneyler Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneginin genel görünüşü Şekil 5.2’de verilmektedir.



1-Dizel test motoru 2-Elektrikli dinamometre 3-Kontrol paneli 4-Hava sönümleme tankı 5-Eğik termometre
6-Orifis plaka 7-Kütleli yakıt ölçer (hassas terazi) 8-Yakıt deposu 9- Egzoz gaz analiz cihazı

Şekil 5.2. Deney düzenegi

Deney düzenegi; dizel motoru, elektrikli dinamometre, kütleli yakıtölçer, hava ölçüm düzenegi ve egzoz gaz emisyon cihazından oluşmaktadır. Bunun yanında farklı noktadaki sıcaklıkları ölçen ölçüm düzenekleri ve kontrol mekanizmaları deney sistemini oluşturan düzenekte bulunmaktadır. Dinamometre ve ölçüm mekanizmaları, deney kontrol sistemlerinin ana unsurlarıdır.

5.2.2. Test motoru

Deneylerde Super Star marka, tek silindirli, direkt püskürtmeli, doğal emişli ve su soğutmalı bir dizel motor kullanılmıştır. Tablo 5.2’de test motorunun teknik özellikleri belirtilmiştir. Şekil 5.3’de deney motorunun görüntüsü yer almaktadır. Doğru veriler elde edebilmek amacıyla, deneyler öncesinde dizel test motoru çalışma sıcaklığına ulaşmaya kadar bir süre çalıştırılmıştır. Dizel test motoru çalışma sıcaklığına ulaştığında deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.2. Test motoru teknik özellikleri

Marka ve Model	Super Star
Çalışma Prensibi	4 Zamanlı, Direkt Enjeksiyonlu, Su Soğutmalı
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı (mm)	108
Silindir Yüksekliği (mm)	100
Sıkıştırma Oranı	17/1
Maksimum Motor Gücü	16 BG (11.7 kW)
Püskürtme Avansı (°KMA)	28



Şekil 5.3. Test motoru

5.2.3. Dinamometre

Deneyleerde, elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Dinamometreye bağlantılı bir yük hücresi aracılığıyla kuvvet ölçümleri yapılmıştır. Dinamometre çıkışına bağlı olan bir devir sensörü yardımıyla motor devri tespit edilmiştir. Deneyleerde kullanılan dinamometrenin genel görünüşü şekil 5.4'de belirtilmiştir.



şekil 5.4. Elektrikli dinamometre

5.2.4. Hava debi leri

Yapılan deneyleerdeki hava tüketim miktarlarının ölçümü, 0-75 mm su sütunu olarak blntlenmiş eğik manometre ve bir orifis plakası yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Daha sağlıklı bir lme yapılabilmesi için ölçüm tertibatı ile test motoru arasına hava snleme tankı yerleştirilmiştir.

5.2.5. Yakıt tüketimi lm

Yakıt tüketimi lmleri, CAS marka, 0,1 g hassasiyetinde ölçüm yapabilen ve 3 kg kapasiteli hassas terazi kullanılarak yapılmıştır. Bir bilgisayar program kullanılarak hassas teraziden elde edilen ölçüm verileri, anlık yakıt tüketimi veya toplam yakıt tüketimini belirleyebilmek üzere bilgisayara aktarılabilir. Deneyleerde kullanılan hassas terazi şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Hassas terazi

5.2.6. Sıcaklık göstergeleri ve termokupllar

Deneyler yapılırken aynı zamanda motor soğutma suyu giriş sıcaklığı, motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı, emme havası sıcaklığı ve egzoz gazı sıcaklığı Şekil 5.6'da gösterilen sıcaklık göstergeleri yardımıyla ölçülmüştür. Egzoz gazı sıcaklığı ölçülürken 1 °C hassasiyetinde, diğer sıcaklıklar ölçülürken 0,1 °C hassasiyetinde K tipi termokupllar kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Sıcaklık göstergeleri

5.2.7. Egzoz emisyon cihazı

Test motorundan deneyler sırasında ortaya çıkan egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU Delta 1600 L marka emisyon test cihazından faydalanılmıştır. Egzoz

emisyonlarının değerleri ppm ve % olarak ölçülmüştür. Tablo 5.3’de ölçümü yapılan emisyonlar ölçüm şekli ve ölçüm aralıkları belirtilmektedir.

Tablo 5.3. Ölçümü yapılan egzoz emisyonlarının ölçüm şekli ve ölçüm aralığı

EMİSYON	ÖLÇÜM ŞEKLİ	ÖLÇÜM ARALIĞI
CO	% - hacimsel	0 - 15
CO ₂	% - hacimsel	0 - 20
NO	ppm	0 - 2000

5.3. Deneysel Yöntem

Yapılan deneyler, dizel test motoru ayarlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan, standart değerlerinde (sıkıştırma oranı, enjeksiyon basıncı, supap ayarları, püskürtme avansı gibi) gerçekleştirilmiştir. Deneylerden önce test motorunun yağı ve yağ filtresi değiştirilmiştir. Deneyler sonucunda doğru ölçümler yapabilmek amacıyla, dizel test motoru rejim sıcaklığına ulaşınca kadar bir süre çalıştırılmış, daha sonra test ve ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Test motoru tam yük değişken devir deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneylerin ölçümleri, dizel test motorunun 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 ve 2200 dev/dak’da çalıştırıldıkları motor devirlerinde gerçekleştirilmiştir.

Dizel test motorunda ilk deneyler, motorun esas değerlerinin belirlenmesi amacıyla dizel yakıtı kullanılarak yapılmıştır. Dizel yakıtının ardından saf biyodizel (soya yağı metil esteri) kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen test değerleri yardımıyla dizel yakıtı ile biyodizel yakıtı ile elde edilen motor performans ve egzoz emisyonları açısından karşılaştırılmıştır. Biyodizel yakıtının ardından önce MTBE10B sonra da MTBE20B yakıtları ile aynı şartlarda deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucu MTBE10B ve MTBE20B yakıtları ile elde edilen motor performans ve egzoz emisyon değerleri, biyodizel yakıtına göre kıyaslanmıştır. Çalışmalar tüm deney yakıtları için, dizel test motorunun tüm ölçüm yapılan devirlerinde, üçer kez tekrarlanmıştır.

5.4. Hesaplama Yöntemleri

5.4.1. Efektif tork ve efektif motor gücü

Elektrikli bir dinamometre kullanılarak motor efektif motor gücü ve efektif tork değerleri belirlenmiştir. Efektif tork ve efektif motor gücü değerleri, sırasıyla aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır;

$$Md = F \times l \quad (5.1.)$$

Md : Döndürme momenti (Nm)

F : Fren kuvveti (kgm/sn)

l : Moment kolu uzunluğu (m)

$$P_e = \frac{F \times l \times n}{9549,3} \quad (5.2.)$$

P_e : Efektif güç (kW)

n : Motor devri (1/dk)

5.4.2. Özgül yakıt tüketimi ve özgül enerji tüketimi

Test motorunun deney yakıtları ile çalıştırıldığında gerçekleşen yakıt tüketiminin belirlenmesi için hassas terazi kullanılmıştır.

Deneyler sonucu özgül yakıt tüketimi değerlerinin tespit edilmesi için aşağıdaki denklem kullanılmıştır;

$$\text{ÖYT} = \frac{3600 \times \dot{m}_y}{P_e} \quad (5.3)$$

ÖYT : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

\dot{m}_y : Yakıt tüketimi (g/s)

Deneysel sonucu özgül enerji tüketimi değerlerinin tespit edilmesi için aşağıdaki denklem kullanılmıştır;

$$\dot{O}ET = \frac{3600 \times \dot{m}_y \times Hu}{P_e} \quad (5.4)$$

$\dot{O}ET$: Özgül enerji tüketimi (kJ/kWh)

Hu : Alt ısı değeri (kJ/kg)

5.4.3. Termik (efektif) verim

Termik verim değerlerinin tespit edilmesi için aşağıdaki denklem kullanılmıştır;

$$\eta_e = \frac{10 \times P_e}{\dot{m}_y \times Hu} \quad (5.5)$$

BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ VE TARTIŞMA

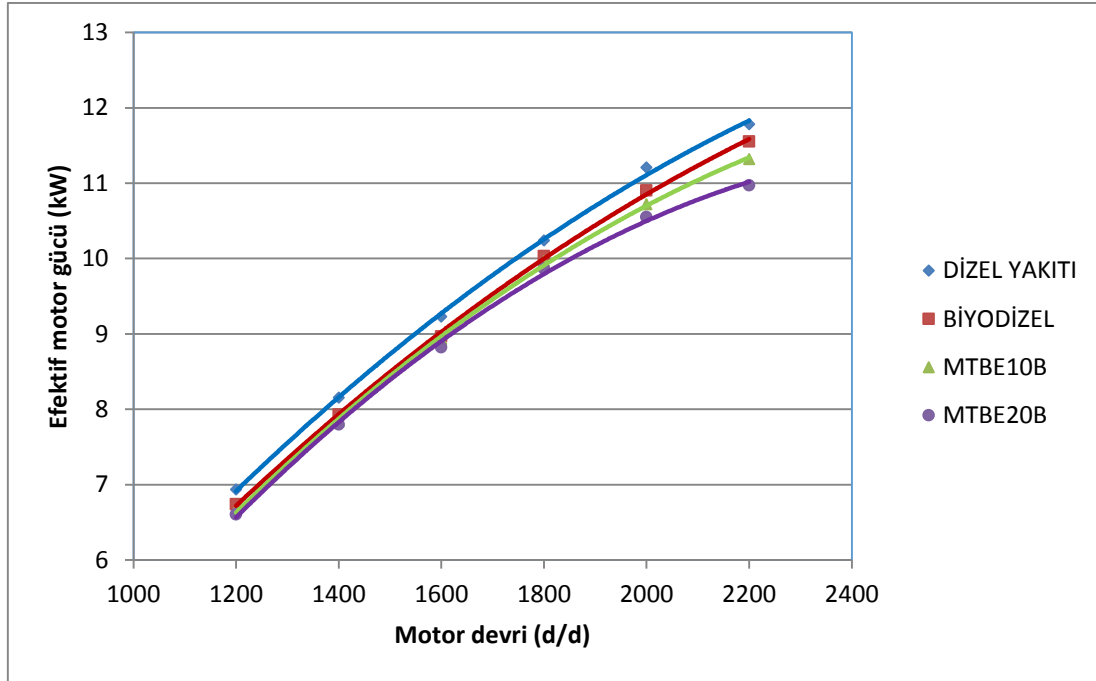
Deney yakıtı olarak dizel motorunda; dizel yakıtı, biyodizel, %10 MTBE katkılı biyodizel ve %20 MTBE katkılı biyodizel kullanımı sonucu motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyonlarında oluşan değişimlerin incelenmesiyle aşağıdaki bulgular elde edilmiştir. Motor performans ve egzoz emisyon testleri sonucu oluşan değişimler şekillerle gösterilmiştir.

6.1. Efektif Motor Gücü

Deney yakıtları ile dizel motorunda yapılan motor performans testleri sonucu oluşan efektif motor güçlerdeki değişimler Şekil 6.1'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi tüm test yakıtlarıyla motor devrine bağlı olarak, efektif motor gücü değerleri de artış eğilimi göstermekte ve 2200 dev/dak'da maksimum değerler elde edilmektedir.

En yüksek efektif motor gücü değerleri tüm motor devirlerinde dizel yakıtı kullanımı sonucunda elde edilmiştir. Dizel yakıtı kullanımı sonucunda 2200 dev/dak'da 11,78 kW efektif motor gücü değeri belirlenmiştir. Biyodizel kullanımı sonucunda dizel yakıtı kullanımına göre efektif motor gücü değerlerinde bir miktar azalma olduğu görülmektedir.

Biyodizel yakıtıyla dizel motoru 2200 dev/dak'da çalıştırıldığında efektif motor gücü değeri 11,55 kW olarak ölçülmüştür. Efektif motor gücündeki bu azalmanın en önemli nedeni olarak biyodizelin dizel yakıtına göre sahip olduğu düşük alt ısı değeri ve yüksek yoğunluğu görülmektedir. Bu azalma bütün motor test devirlerinde ortaya çıkmaktadır. Biyodizel yakıtına MTBE katkısı ile oluşturulan MTBE10B ve MTBE20B karışım yakıtların kullanımı sonucu efektif motor gücü değerleri dizel yakıtı ve biyodizel yakıtı kullanımına oranla azalma eğilimi göstermektedir.



Şekil 6.1. Motor devrine göre efektif motor gücü değerleri

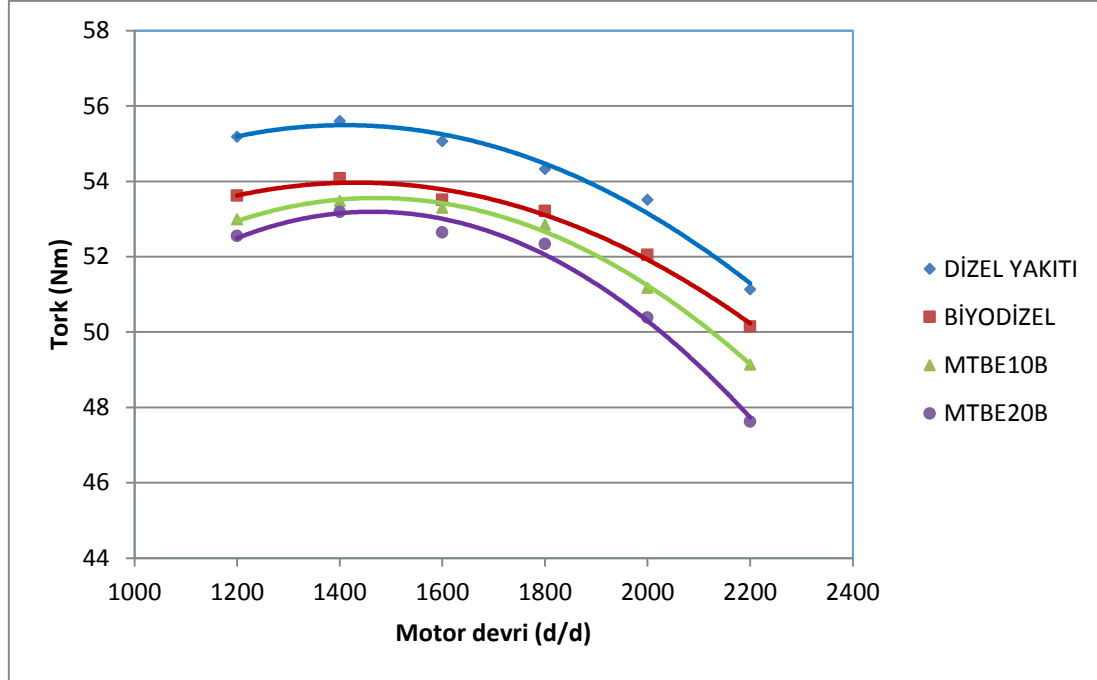
Minimum efektif motor gücü değerlerine MTBE20B yakıtı kullanıldığında karşılaşılmıştır ve bu değer 1200 dev/dak'da 6,60 kW olarak belirlenmiştir. Karışım yakıtların kullanımı sonucu efektif motor gücündeki bu düşüşlerin en önemli nedeni, saf biyodizelle viskozitesinin düşürülmesi amacıyla eklenen MTBE yakıtının, saf biyodizelden daha düşük olan alt ısıl değerinin etkisiyle karışım yakıtların, diğer test yakıtlarından daha düşük alt ısıl değerlere sahip olmalarıdır.

6.2. Efektif Tork

Hazırlanan dizel yakıtı, biyodizel, MTBE10B ve MTBE20B deney yakıtlarının dizel test motorunda yapılan deneyleri sonucu belirlenen efektif tork değerleri Şekil 6.2'de verilmektedir. Yapılan testlerde kullanılan deney yakıtlarının efektif tork değerlerinin birbirlerine benzer eğilimler oluşturduğu görülmektedir.

Tüm deney yakıtları ile belirli motor devirlerinde yapılan testlerdeki efektif tork ölçümlerinde maksimum değerlere dizel motor 1400 dev/dak'da çalıştırıldığında ulaşılmıştır. Motor devri 1400 dev/dak'yı aştığında giderek azalan volümetrik verim ve artan sürtünme kayıplarının etkileriyle efektif tork değerleri de düşme eğilimi

göstermiştir. Dizel test motoru 1400 dev/dak üzerindeki devirlerde çalıştırıldığında, her çalışma devrinde bir önceki çalışma devrine göre daha düşük efektif tork değerlerine ulaşılmıştır. En düşük efektif tork değerleri, dizel motorunun belirlenen maksimum deney devri olan 2200 dev/dak'da çalıştırıldığı şartlarda tespit edilmiştir.



Şekil 6.2. Motor devrine göre efektif tork değerleri

Maksimum efektif tork ölçümü 1400 dev/dak'da 55,60 Nm değeri ile dizel yakıtının kullanıldığı testte gerçekleşmiştir. Biyodizel yakıtı ile dizel yakıtı kullanımına göre elde edilen maksimum efektif tork değeri azalmış ve 1400 dev/dak'da 54,08 Nm olarak ölçülmüştür. MTBE10B yakıtı kullanılan deneylerde maksimum efektif tork değeri 53,47 Nm olarak belirlenmiş olup, MTBE20B yakıtı ile ise maksimum efektif tork değeri 53,19 Nm olarak tespit edilmiştir.

Minimum değerlerin ölçüldüğü 2200 dev/dak'da; test motorunda dizel yakıtı kullanımı ile 51,13 Nm, biyodizel ile 50,14 Nm, MTBE10B yakıtı ile 49,13 ve MTBE20B yakıtı ile 47,62 Nm efektif tork değerleri tespit edilmiştir.

Dizel yakıtı ile yapılan deneylerde, biyodizel yakıtına göre test motorunda daha yüksek tork değerleri elde edilmiştir. Dizel yakıtı, biyodizel yakıtına göre daha yüksek alt ısıl değere, daha düşük yoğunluğa ve daha düşük viskozite değerine sahip

olmasının etkileriyle, biyodizel yakıtının efektif tork değerlerinin, dizel yakıtı efektif tork değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Biyodizel yakıtına, viskozitesinin düşürülmesi amacıyla ilave edilen MTBE'nin alt ısıl değeri, biyodizel yakıtının alt ısıl değerinden daha düşüktür. Bu sebeple, deney amacıyla elde edilen MTBE10B ve MTBE20B yakıtları diğer tüm deney yakıtlarından daha düşük alt ısıl değerlere sahiptirler. Deney yakıtları arasında en düşük alt ısıl değere sahip olan MTBE20B yakıtı kullanıldığında, test motorunun belirlenen tüm ölçüm devirlerinde en düşük tork değerleri ölçülmüştür. MTBE20B yakıtının ardından en düşük tork değerleri MTBE10B yakıtı ile yapılan deneylerde gözlemlenmiştir.

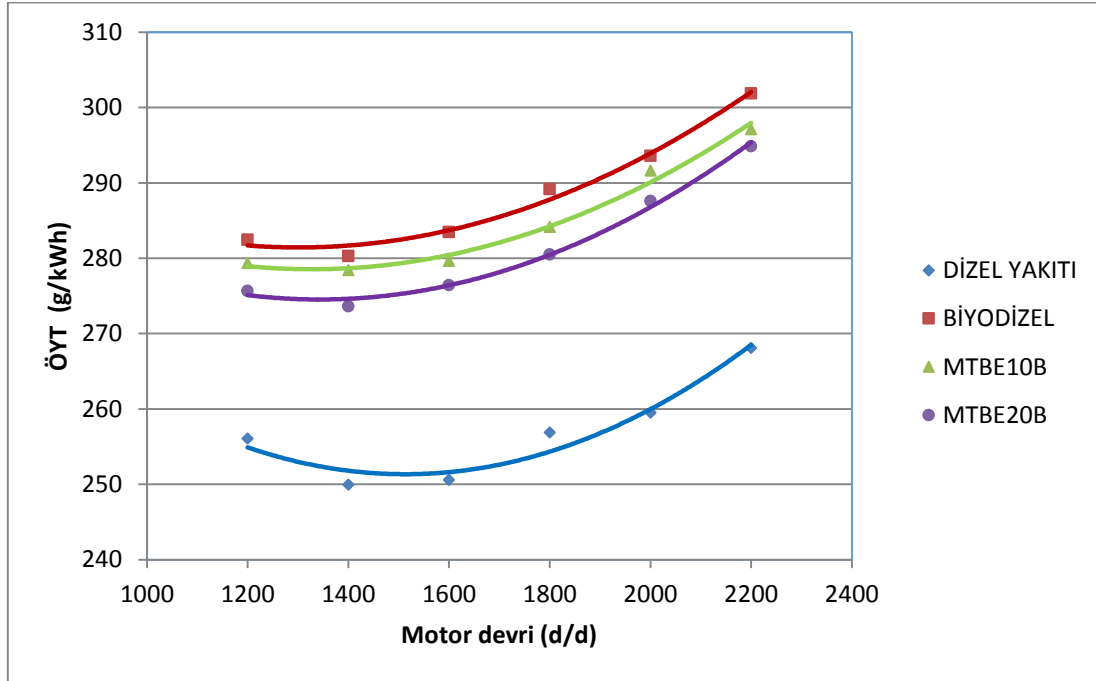
6.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Deney yakıtları dizel test motorunda farklı devirlerde kullanıldığında ortaya çıkan özgül yakıt tüketimi değişimi Şekil 6.3'de gösterilmiştir. Yapılan testler, tüm deney yakıtları için özgül yakıt tüketimi değerinin, volümetrik verimin en yüksek olduğu 1400 dev/dak'da minimuma ulaştığı, bu devir aşıldıkça özgül yakıt tüketimi değerinin de giderek yükseldiğini göstermiştir.

Deney yakıtları arasında minimum özgül yakıt tüketimi, dizel motoru 1400 dev/dak'da çalıştırıldığında 249,95 g/kWh değeri ile dizel yakıtı kullanıldığında hesaplanmıştır. Aynı motor devrinde diğer test yakıtlarıyla da minimum değere ulaşan özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla MTBE20B yakıtı için 273,66 g/kWh, MTBE10B yakıtı için 278,41 g/kWh ve biyodizel yakıtı için 280,30 g/kWh olarak hesaplanmıştır.

Test motoru devri artırıldıkça özgül yakıt tüketim değerinin de bununla orantılı olarak artış gösterdiği Şekil 6.3'den anlaşılmaktadır. Özgül yakıt tüketimindeki bu artış; motor devriyle birlikte motora birim zamanda gönderilen kütleli yakıt miktarının artışı ile ilişkilidir. Maksimum özgül yakıt tüketim değeri, dizel motorunun en yüksek ölçüm devri olan 2200 dev/dak'da biyodizel yakıtı kullanılan

testte 301,87 g/kWh olarak ortaya çıkmıştır. Bu motor devrinde dizel yakıtıyla özgül yakıt tüketimi 268,09 g/kWh olarak görülmüştür.



Şekil 6.3. Motor devrine göre özgül yakıt tüketimi değerleri

Yapılan testler boyunca biyodizel yakıtı kullanımında, dizel yakıtı kullanımına göre daha fazla özgül yakıt tüketimi değerleri ölçülmüştür. Bunun sebeplerinin, biyodizel yakıtının dizel yakıtına göre daha düşük alt ısıl değere ve yüksek olan yoğunluğa bağlı olduğu düşünülmektedir.

Biyodizel yakıtına MTBE eklenerek elde edilen deney yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinde biyodizel yakıtına göre iyileşme tespit edilmiştir. Oldukça düşük viskoziteye sahip olan MTBE, katıldığı saf biyodizel yakıtının viskozitesini düşürdüğünden, enjeksiyon işleminin daha iyi yapılmasıyla yakıt atomizasyonu iyileştiğinden, özgül yakıt sarfiyatını da düşürmüştür. MTBE20B yakıtının özgül yakıt tüketimi değerleri, MTBE10B yakıtına göre daha iyidir.

Yapılan testte deney yakıtlarının alt ısıl değerlerinin ve viskozitelerinin özgül yakıt tüketimi değerlerini etkilediği anlaşılmıştır. Tüm motor test devirlerinde alt ısıl

değeri en yüksek ve viskozitesi en düşük olan dizel yakıtının özgül yakıt tüketimi değerleri de en düşüktür.

Biyodizel yakıt kullanımı sonucu yapılan çalışmada; biyodizel yakıt kullanımı ile özgül yakıt tüketiminin arttığı ve bunun da biyodizelin oksijen içeriğinden kaynaklanan düşük alt ısı değerinin etkisiyle kaynaklandığı ifade edilmiştir [63].

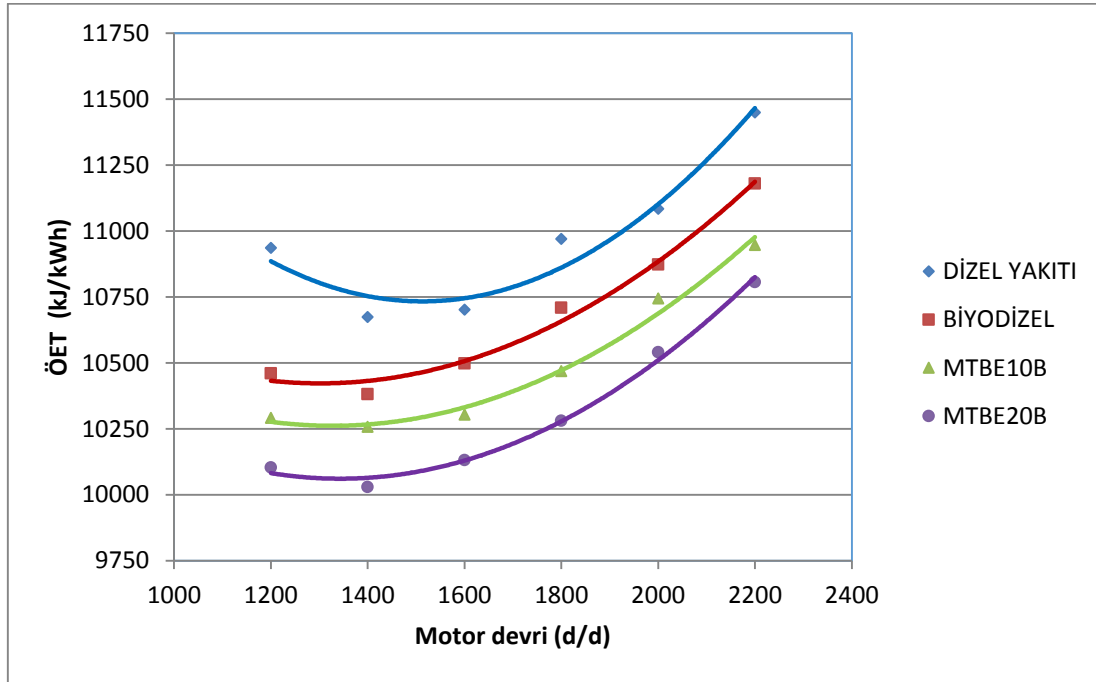
6.4. Özgül Enerji Tüketimi

Özgül enerji tüketimi, birim güç elde etmek için motora gönderilen enerjiyi ifade etmektedir. Özgül enerji tüketimi değerlerinin azalması, aynı miktarda güç elde etmek için daha az enerji kullanıldığını gösterir. Farklı ısı değer ve yoğunluktaki yakıtların karşılaştırılabilmesi için özgül enerji tüketimi, özgül yakıt tüketimine göre daha etkili bir kriterdir [69].

Dizel test motoru deney yakıtları ile farklı devirlerde çalıştırılarak özgül enerji tüketim değerleri belirlenmiş ve Şekil 6.4'de gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalarda özgül enerji tüketiminin, dizel test motorunun maksimum tork ürettiği 1400 dev/dak'da en düşük değerlere indiği görülmüştür.

Bu motor devrinde dizel yakıtı ile hesaplanan 10673 kJ/kWh değeri, test yakıtları arasındaki en yüksek değer olarak tespit edilmiştir. Biyodizel yakıtı ile aynı motor devrinde 10380 kJ/kWh özgül enerji tüketimi ölçülmüştür. MTBE20B yakıtı ile test yapıldığında, deney yakıtları arasında en düşük değer olan 10029 kJ/kWh elde edilmiştir. Aynı devirde gerçekleştirilen testte yapılan ölçümlerde MTBE10B yakıtı ile 10257 kJ/kWh değer elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere göre biyodizel yakıtının, dizel yakıtına göre tüm motor test devirlerinde daha iyi özgül enerji tüketimi değerlerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Biyodizel yakıtının oksijen içermesi ve dizel yakıtına göre daha yüksek olan setan sayısına sahip olması sebepleriyle, dizel yakıtına göre daha iyi yanma sağladığından özgül enerji tüketimi değerlerinin de daha iyi olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 6.4. Motor devirlerine göre özgül enerji tüketimi değerleri

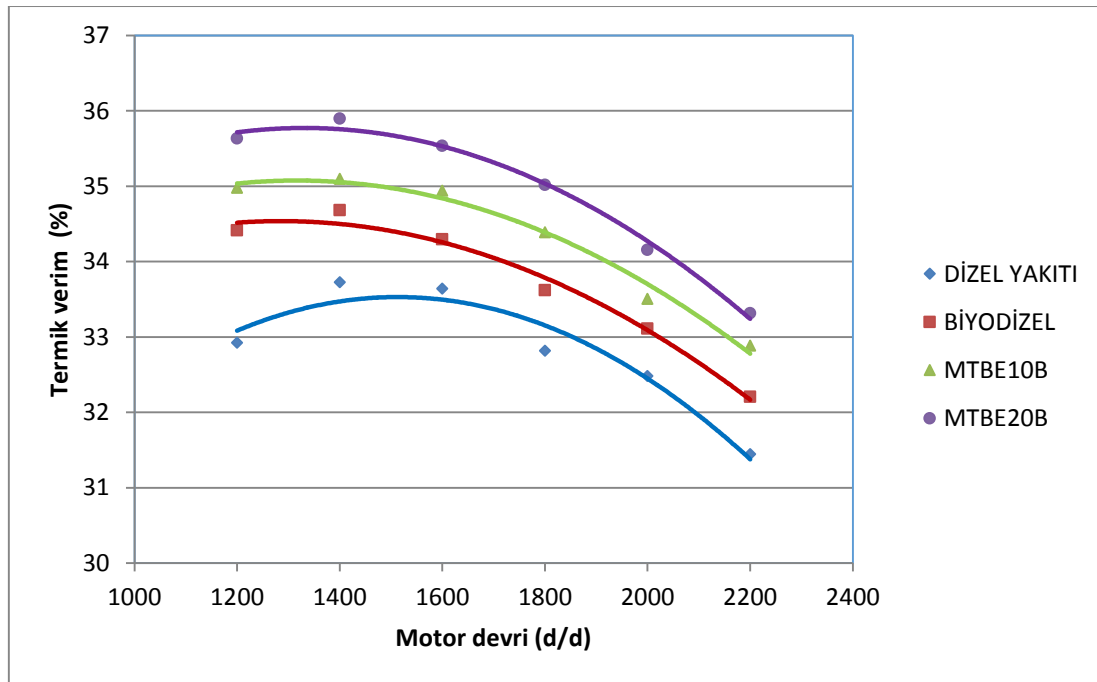
MTBE, ilave edildiği biyodizel yakıtının yüksek olan viskozitesini düşürdüğünden, elde edilen MTBE katkılı yakıtların enjeksiyonunda ve atomizasyonunda iyileşmeler sağlandığı belirlenmiştir. MTBE ilavesiyle elde edilen yakıt enjeksiyonundaki bu iyileşmelerin neticesinde daha iyi yanma sağlandığı ve bunun sonucunda özgül enerji tüketimini değerinin de düştüğü anlaşılmıştır. MTBE katkılı yakıtlardan, daha fazla oranda MTBE içeren MTBE20B yakıtının, MTBE10B yakıtına göre test yapılan tüm motor devirlerinde daha iyi özgül yakıt tüketimi değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

En yüksek özgül enerji tüketimi ise 2200 dev/dak'da dizel yakıtı ile yapılan çalışmada 11448 kJ/kWh olarak hesaplanmıştır. Bu motor devrinde en düşük özgül enerji tüketimi ise MTBE20B yakıtı kullanımı ile 10804 kJ/kWh olarak belirlenmiştir. Motor devrinin artışına paralel olarak, motorun volümetrik veriminin azalması ve kayıpların artması, özgül enerji tüketimi değerlerinin de artmasına sebep olmuştur.

6.5. Termik Verim

Deney yakıtlarının, dizel motorunun çeşitli devirlerinde kullanılmasıyla yapılan testlerden belirlenen termik verim değerleri Şekil 6.5’de gösterilmektedir.

Test motorunun 1400 dev/dak’daki çalışma şartlarında bütün test yakıt çeşitleri için en yüksek termik verim değerlerinin gerçekleştiği tespit edilmiştir. MTBE20B yakıtı ile saptanan termik verimi değeri bu devirde %35,90 olarak hesaplanmıştır. Bu değer deney yakıtları arasında en yüksek termik verim değeridir. Dizel test motoru ile 1400 dev/dak’da gerçekleştirilen testlerde yapılan ölçümlerde MTBE10B yakıtı ile %35,10 ve biyodizel yakıtı ile %34,68 termik verim değerleri belirlenmiştir. Bunun yanında dizel yakıtı kullanımı ile %33,73 olan termik verim değeri, deney yakıtları arasında elde edilen en düşük değer olarak görülmektedir.



Şekil 6.5. Motor devrine göre termik verim değerleri

Dizel test motorunun yüksek devirlerde çalıştırılması ile tüm deney yakıtları için termik verim değerlerinin azaldığı Şekil 6.5’de görülmektedir. Tüm deney yakıtları için en düşük termik verim değerleri, dizel motorunun 2200 dev/dak’da çalıştırıldığı durumda belirlenmiştir. Bu devirde dizel yakıtı kullanılarak yapılan ölçümlerde

termik verim %31,44 olarak tespit edilmiştir. Bu değer deney yakıtları arasında karşılaşılan en düşük termik verim değeridir. 2200 dev/dak'da en yüksek termik verim %33,32 ile MTBE20B yakıtı kullanıldığında tespit edilmiştir.

Yapılan testlerde, biyodizel ve MTBE katkılı karışım yakıtlarının, dizel yakıtına göre termik verimlerinin daha yüksek oldukları gözlemlenmiştir. Biyodizel yakıtının oksijen içerikli olmaları karışım oluşumunu iyileştirmekte ve yanma verimini artırmaktadır. Sonuçta bu etkiler dizel yakıtı kullanımına göre elde edilen yüksek termik verim değerleri olarak kendini göstermektedir.

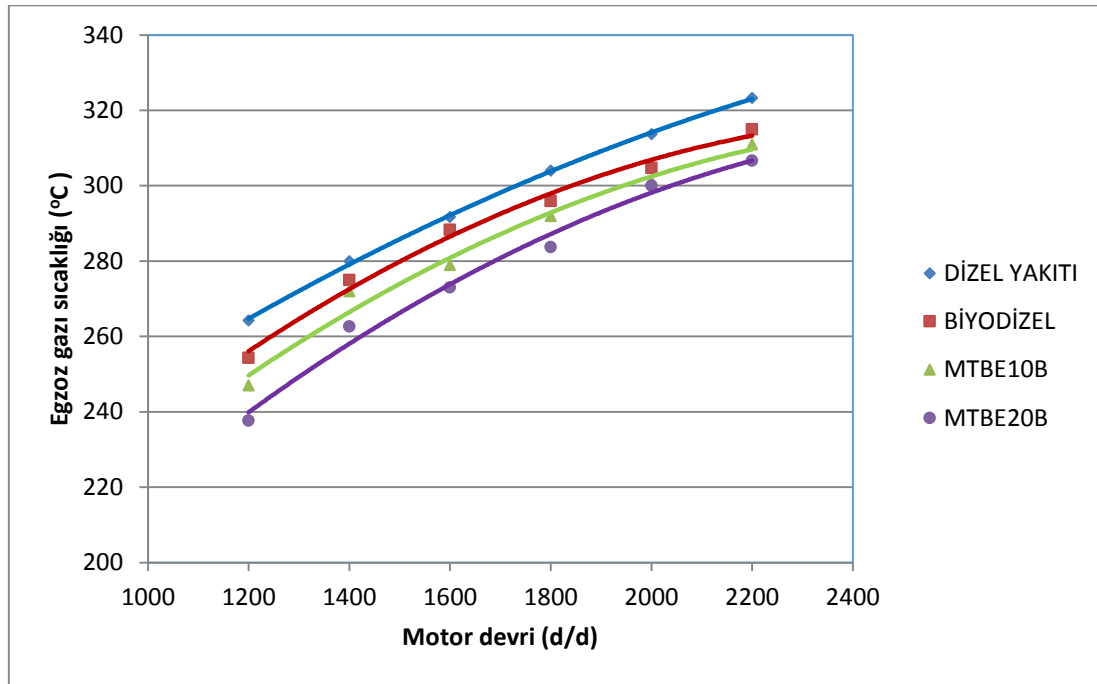
Biyodizel yakıtına yapılan MTBE katkısı biyodizelin yüksek olan viskozitesini ve yoğunluğunu azaltmakta, yakıtın atomizasyonu ve karışım oluşumunu daha da iyileştirmektedir. Bunun sonucunda biyodizel yakıtına yapılan MTBE katkısıyla termik verim değerleri dizel yakıtı ve biyodizel yakıtına göre daha iyi olmaktadır. Deney motoru ile farklı devirlerde yapılan bütün testlerde MTBE20B yakıtının MTBE10B yakıtından daha yüksek termik verimlere sahip olduğu görülmektedir.

6.6. Egzoz Gazı Sıcaklığı

Deney yakıtları kullanılarak test motoru belirli devirlerde çalıştırılmış ve egzoz gaz sıcaklıkları ölçülerek elde edilen veriler Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Tüm test yakıtları ile dizel test motorunun düşük motor devirlerine oranla, yüksek devirlerde çalışması durumunda birim zamanda daha fazla yakıt tüketilmesine bağlı olarak, egzoz gaz sıcaklığı değerlerinin de yükseldiği görülmektedir.

Egzoz gaz sıcaklıklarının en düşük değerleri, dizel test motorunun en düşük test devri olan 1200 dev/dak'da gerçekleşmiştir. Dizel motor 1200 dev/dak'da MTBE20B yakıtı ile çalıştırıldığında egzoz gazı sıcaklığı 237 °C olarak ölçülmüştür. Aynı devirde çalıştırılan dizel motorda MTBE10B yakıtı kullanıldığında 247 °C ve biyodizel yakıtı kullanıldığında 254 °C egzoz gazı sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu motor devrinde dizel yakıtı kullanıldığında egzoz gazı sıcaklığı 264 °C olarak tespit edilmiştir. Bu değer, aynı motor devrinde ölçülen en yüksek egzoz gazı sıcaklığı değeridir.

Maksimum egzoz gaz sıcaklıkları, dizel test motorunun çalıştırıldığı en yüksek devir olan 2200 dev/dak'da ölçülmüştür. Bu motor devrinde dizel yakıtı ile 323 °C olarak ölçülen egzoz gaz sıcaklığı, tüm testlerdeki en yüksek ölçüm değeridir. Aynı motor devrinde MTBE20B yakıtı kullanılarak yapılan test sonucunda egzoz gazı sıcaklığı 307 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.6. Motor devrine göre egzoz sıcaklıkları

Biyodizel yakıtının oksijen içermesi sebebiyle tutuşma gecikmesi süresinin kısılması ve yanmanın iyileşmesi sonucunda, yapılan deneylerde dizel yakıtına oranla biyodizel yakıtı kullanımında egzoz gazı sıcaklıklarının düştüğü görülmektedir. Bu düşüş test motorunun tüm ölçüm devirlerinde gerçekleşmiştir.

Biyodizel yakıtına yapılan MTBE katkısıyla azalan viskozite sonucunda yanmada görülen iyileşme, düşük egzoz sıcaklığı için önemli bir etkidir. Bunun sonucunda testlerde ölçülen MTBE katkılı biyodizel yakıtlarının egzoz gazı sıcaklıkları, biyodizel yakıtının egzoz gazı sıcaklıklarından daha düşük değerlerdedir. Düşürülen viskozitenin etkisiyle MTBE20B yakıtının egzoz gazı sıcaklığı, MTBE10B yakıtının egzoz gazı sıcaklıklarından daha da düşük değerlerde ölçülmüştür.

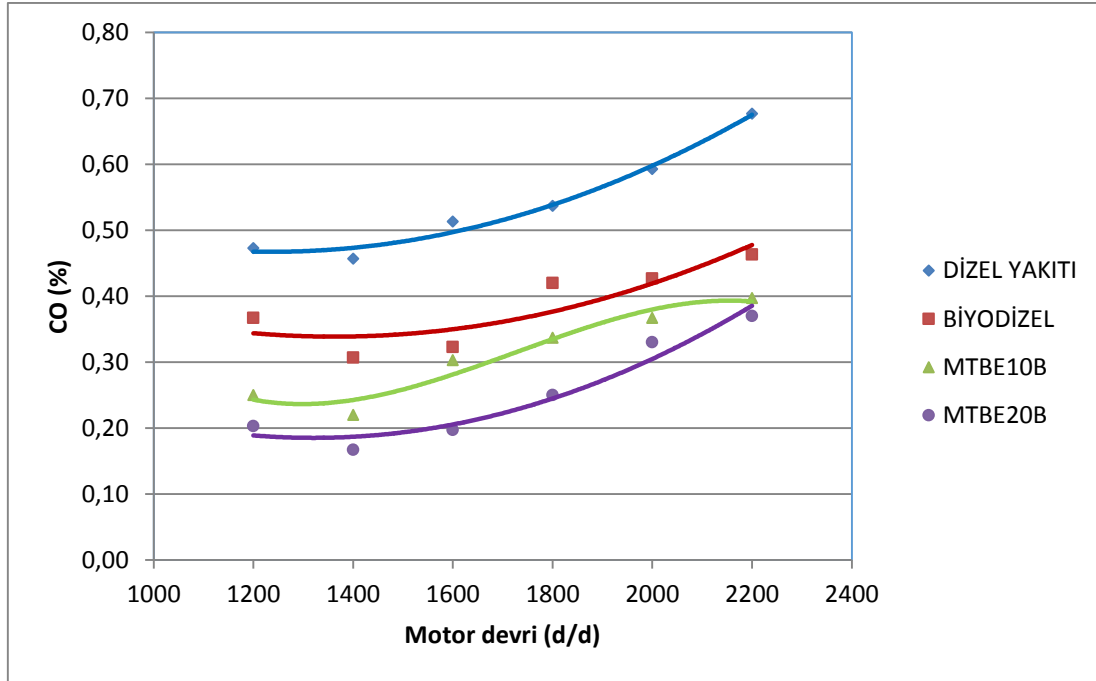
Farklı deney yakıtları ile dizel motorunda yapılan testlerden elde edilen egzoz gazı sıcaklığı ölçüm değerleri, alt ısıl değeri yüksek olan yakıtların egzoz gazı sıcaklıklarının da yüksek olduğunu, alt ısıl değeri düşük olan yakıtların egzoz gazı sıcaklıklarının da düşük olduğunu göstermektedir.

6.7. CO Emisyonları

Dizel motor farklı devirlerde biyodizel, MTBE20B, MTBE10B ve dizel yakıtı ile çalıştırılarak CO emisyonları ölçülmüş ve değerler Şekil 6.7’de gösterilmiştir. En düşük CO emisyon değerleri test yakıtları kullanımıyla, özgül yakıt tüketiminin en düşük ve özgül enerji tüketiminin en yüksek olduğu 1400 dev/dak’da gerçekleşmiştir.

Şekil incelendiğinde, en yüksek CO emisyonu değerlerinin, dizel yakıtı kullanımıyla olduğu anlaşılmaktadır. Dizel yakıtı ile en düşük CO emisyonu değeri, dizel motor 1400 dev/dak’da çalıştırıldığında %0,46 olarak ölçülmüştür. Aynı motor devrinde deney yakıtı olarak biyodizel kullanıldığında %0,31, MTB10 yakıtı kullanıldığında da %0,22 CO emisyonu değerleri ölçülmüştür. Dizel motoru bu devirde MTBE20B yakıtı ile çalıştırıldığında ise CO emisyonu %0,17 olarak saptanmıştır. Bu değer, kullanılan test yakıtları arasındaki en düşük CO emisyonu değeridir. Biyodizel yakıtının ve MTBE katkılı biyodizel yakıtlarının oksijen içerikli olmaları yanma verimini artırdığından, CO emisyonları da buna bağlı olarak azalmıştır.

Dizel motor 2200 dev/dak’da çalıştırıldığında dizel yakıtı CO emisyonlarının %0,68’e ulaştığı görülmüştür. Dizel motor aynı devirde MTBE20B yakıtı ile çalıştırıldığında CO emisyonu değeri %0,37 olarak saptanmıştır. Aynı çalışma şartlarında deney yakıtı olarak MTBE10B yakıtı kullanıldığında %0,40, biyodizel kullanıldığında ise %0,46 CO emisyonu değerleri ölçülmüştür. Yüksek motor devirlerinde volümetrik verimin düşük olması sebebiyle CO emisyonlarının da arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.7. Motor devrine göre CO emisyonu değerleri

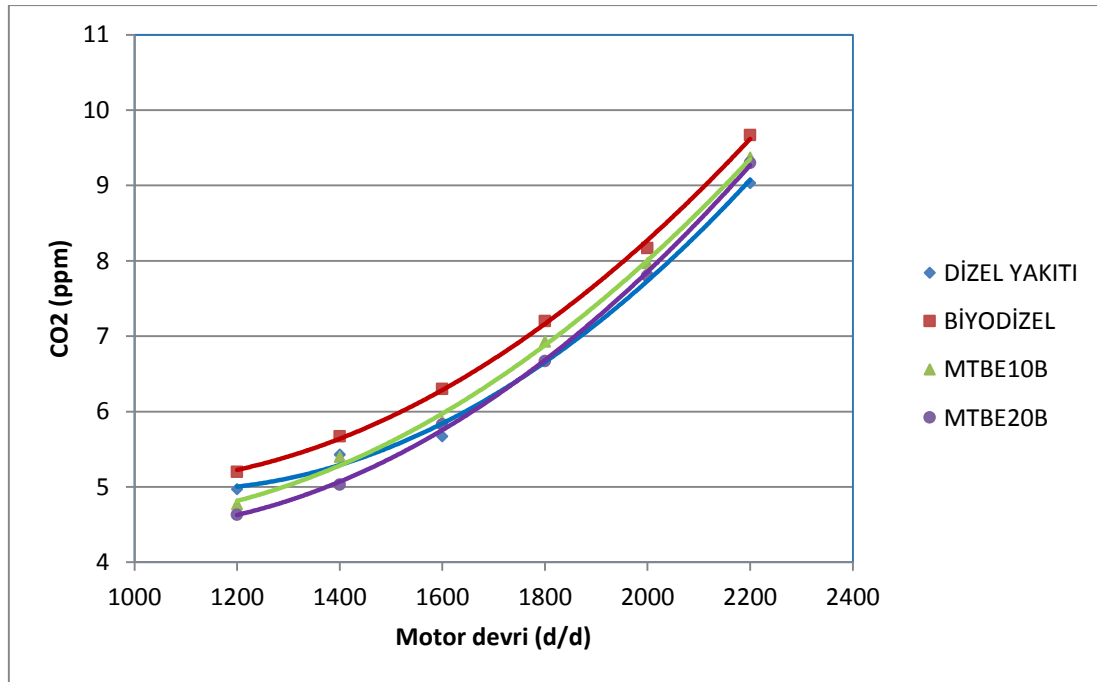
Biyodizel yakıtının oksijen içeriği sebebiyle, dizel yakıtına oranla, yanma sonunda karbon moleküllerinin daha fazla oksijene maruz kalması sonucunda, CO₂ oluşumu artar CO oluşumu ise azalır. Biyodizel yakıtı ve dizel yakıtının kullanıldığı tüm testlerde, biyodizel yakıtının oksijen içeriği sebebiyle dizel yakıtından daha düşük CO emisyonu değerleri ölçülmüştür.

Biyodizel yakıtına %10 ve %20 MTBE ilaveleri ile elde edilen MTBE10B ve MTBE20B yakıtlarında CO emisyonlarının daha da aşağı seviyelere düştükleri tespit edilmiştir. MTBE'nin biyodizel yakıtına göre daha yüksek oranda oksijen içermesi ve ilave edildiği biyodizelin viskozitesini düşürmesiyle, MTBE katkılı yakıtların daha iyi atomizasyonu sonucu yanmadaki iyileşmeler, CO miktarını da düşürmüştür. MTBE20B yakıtı, test motorunun her ölçüm devrinde MTBE10B, biyodizel yakıtı ve dizel yakıtından daha düşük CO emisyonu değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. MTBE'nin karbon/hidrojen oranının biyodizel yakıtından düşük olmasının, MTBE10B ve MTBE20B yakıtlarındaki CO emisyonlarındaki düşüşe olumlu etkileri olduğu anlaşılmıştır.

6.8. CO₂ Emisyonları

Dizel motoru farklı devirlerde biyodizel, MTBE10B, MTBE20B ve dizel yakıtı kullanılarak çalıştırılmış, saptanan CO₂ değerleri Şekil 6.8’de gösterilmiştir. Biyodizel yakıtı kullanılan testlerde diğer yakıtlara göre daha yüksek hacimde CO₂ emisyonu gözlemlenmiştir. Ancak deney yakıtları arasındaki CO₂ emisyonu değerleri arasında büyük farklar yoktur.

Minimum CO₂ emisyonu değerleri, tüm deney yakıtları için dizel motorun en düşük test devri olan 1200 dev/dak’da çalıştırıldığında ölçülmüştür. Bu motor devrindeki çalışmalarda en düşük CO₂ emisyonu, MTBE20B yakıtı kullanıldığında %4,6 olarak ölçülmüştür. Aynı motor devrinde MTBE10B yakıtı kullanıldığında %4,8, dizel yakıtı kullanıldığında %5 ve biyodizel yakıtı kullanıldığında ise %5,2 CO₂ değerleri gözlemlenmiştir.



Şekil 6.8. Motor devrine göre CO₂ emisyonu değerleri

Motor devrindeki artışa bağlı olarak deney yakıtlarının CO₂ emisyonları da artmıştır. Bununla birlikte motor devri artırıldıkça dizel yakıtının kullanıldığı testlerdeki CO₂

emisyonu değerleri, biyodizel ve MTBE katkılı biyodizel yakıtları ile yapılan testlerdeki CO₂ emisyonu değerlerinin gerisinde kalmıştır.

Yapılan testler sonucunda en yüksek CO₂ değerlerinin, motor devirinin artmasıyla beraber püskürtülen yakıt miktarının da artmasının etkisiyle, motorun en yüksek çalıştırıldığı devir olan 2200 dev/dak'da gerçekleştiği grlmştir. Bu motor devrinde, testlerdeki en yüksek CO₂ emisyonu değeri olan %9,7, biyodizel yakıtı kullanıldığında llmştir. Aynı motor devrinde MTBE10B yakıtı ve MTBE20B yakıtı ile %9,3 CO₂ değerleri gözlemlenmiştir. Dizel motor 2200 dev/dak'da dizel yakıtı ile çalıştırıldığında dizel yakıtı ile %9 CO₂ değerleri gözlemlenmiştir.

Dizel yakıtının CO₂ emisyon değerlerinin, biyodizel yakıtının CO₂ emisyon değerlerinden daha düşük olduğu yapılan testler sonucunda gözlemlenmiştir. Biyodizel yakıtının oksijen içermesi sebebiyle, yanma sonucunda açığa çıkan karbon moleküllerinin daha fazla oksijene maruz kalması sonucunda CO emisyonunda azalma, CO₂ emisyonunda ise artma olmaktadır.

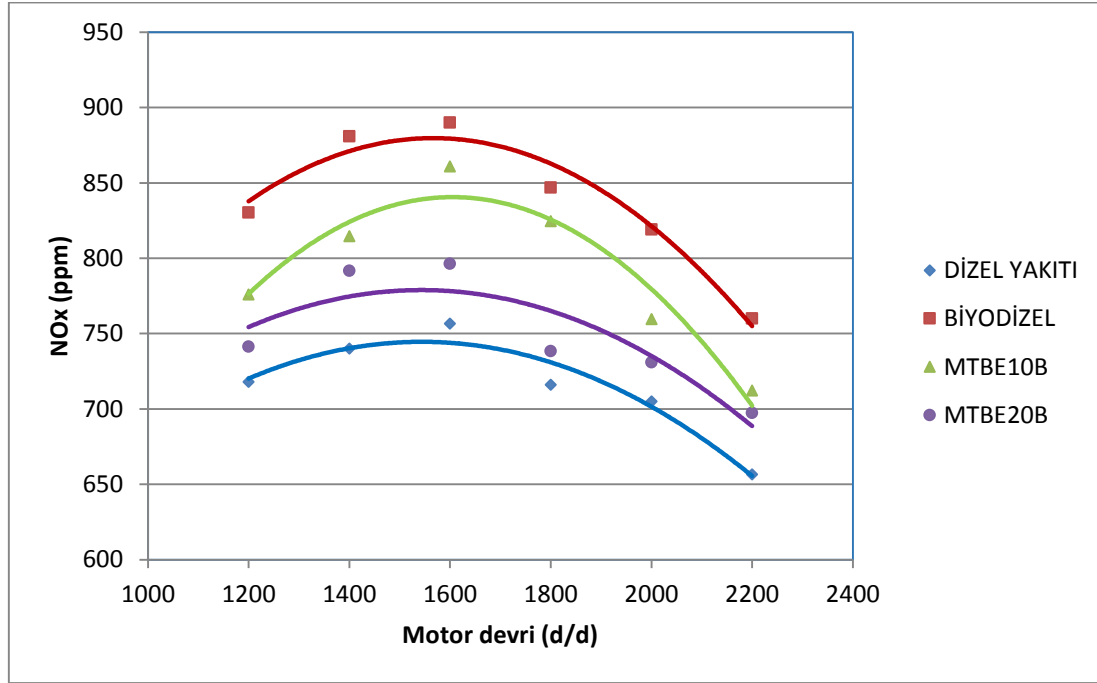
Biyodizel yakıtına katılan MTBE, biyodizelin viskozitesini önemli ölçüde iyileştirmekte, fakat alt ısıl değerini ve setan sayısını da düşürmektedir. MTBE10B ve MTBE20B yakıtlarının, biyodizele göre daha düşük olan alt ısıl değer ve setan sayılarından dolayı yanma verimi dşmş ve biyodizele göre CO₂ emisyonları da azalmıştır. MTBE'nin karbon/hidrojen oranının biyodizel yakıtına gören daha düşük olması, CO₂ emisyonlarındaki azalmanın önemli etkenlerindedir.

6.9. NO_x Emisyonları

Dizel motoru dizel yakıtı, biyodizel, MTBE20B yakıtı ve MTBE10B yakıtı kullanılarak, farklı motor devirlerinde testler yapılmış ve llen NO_x değerleri Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Biyodizel ve MTBE katkılı biyodizel yakıtlarının dizel yakıtına göre daha fazla NO_x emisyonu oluşturduğu anlaşılmaktadır.

Dizel motorunun minimum test devri olan 1200 dev/dak'da en düşük NO_x emisyonu dizel yakıtı kullanıldığında 718 ppm olarak saptanmıştır. Biyodizel yakıtının

kullanıldığı testte belirlenen 830 ppm, bu motor devrindeki en yüksek NO_x emisyonu değeridir.



Şekil 6.9. Motor devrine göre NO_x emisyonu değerleri

Tüm deney yakıtları için en yüksek NO_x emisyonu değerleri, dizel motorunun 1600 dev/dak'da çalıştırıldığı şartlarda ölçülmüştür. Bu motor devrinde deney yakıtları arasında en yüksek NO_x değeri, biyodizel yakıtı kullanıldığı testte 890 ppm olarak ölçülmüştür. MTBE20B ve MTBE10B yakıtları kullanımı ile aynı motor devrinde sırasıyla 796 ppm ve 861 ppm değerleri saptanmıştır. Emme zamanında silindire alınan havada bulunan azot ve oksijen moleküllerine, biyodizel ve MTBE katkılı biyodizel yakıtlarının içeriğinde bulunan oksijenin de katılmasıyla azot moleküllerinin, daha bol oksijene maruz kaldığından, yüksek sıcaklıklarda daha fazla oksijenle birleşerek NO_x emisyonunda artış meydana getirdiği görülmüştür. Dizel motoru 1600 dev/dak'da çalıştırıldığında, en düşük emisyon değeri ise 757 ppm ile dizel yakıtı kullanıldığı testte ölçülmüştür.

Dizel motor devri artırıldıkça NO_x emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Deney yakıtları ile yapılan testlerdeki en düşük NO_x emisyon değerleri, dizel motorun maksimum test devri olan 2200 dev/dak'da saptanmıştır. Bu motor devrinde en

düşük NO_x emisyonu değeri, dizel yakıtı kullanılarak yapılan testte 657 ppm olarak ölçülmüştür. Tüm motor devirlerinde en yüksek NO_x emisyonu değeri ölçülen biyodizel yakıtından, maksimum motor devrinde de en yüksek değer olan 760 ppm ölçülmüştür. Ayrıca deney yakıtlarının yoğunluklarının da NO_x emisyonlarını etkilediği tespit edilmiştir. Deney yakıtları arasında yoğunluğu en fazla olan biyodizelin aynı zamanda en fazla NO_x emisyonu ürettiği görülmüştür.

Biyodizel yakıtının, dizel yakıtına göre tüm deney aşamalarında daha fazla NO_x emisyonu açığa çıkardığı ölçümler sonucu anlaşılmıştır. Bu sonuçlar biyodizel yakıtının oksijen içerikli olmasından kaynaklanmaktadır. Silindir içerisine alınan havada bulunan azot molekülleri, daha fazla oksijen molekülleri bulabildiğinden, yüksek ısıda NO_x oluşumu artar.

Biyodizel yakıtına MTBE ilavesiyle elde edilen MTBE10B ve MTBE20B yakıtları için NO_x değerleri, biyodizel yakıtından düşük değerlerde ölçülmüştür. Biyodizel yakıtına göre alt ısı değeri düşük ve buharlaşma gizli ısısı yüksek olan MTBE, buharlaşma gizli ısısının yüksek olması sebebiyle yanma odası sıcaklığını düşürdüğü, alt ısı değerinin düşük olması sebebiyle de yanma sonucu ortaya çıkan sıcaklıkta bir miktar düşüş olduğu anlaşılmıştır. Düşen yanma odası ve yanma sonu sıcaklıkları neticesinde, NO_x emisyonlarında biyodizel yakıtına göre azalma olduğu düşünülmektedir. Yapılan deneylerde tüm ölçme devirlerinde MTBE20B yakıtının MTBE10B yakıtına göre daha iyi NO_x emisyonu değerlerine sahip olduğu, ancak dizel yakıtının NO_x emisyonu değerlerinin üzerinde kaldığı görülmüştür.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Dizel motorunda dizel yakıtı, biyodizel, MTBE10B ve MTBE20B yakıtları kullanılarak çeşitli motor devirlerinde testler yapılmıştır. Bu testler sonucunda motor performansındaki ve egzoz emisyonlarındaki değişiklikler ölçülerek veriler elde edilmiştir.

Yapılan testlerde biyodizel, MTBE10B ve MTBE20B yakıtları kullanıldığında, dizel yakıtına göre efektif motor gücünde ve efektif torkta azalmalar tespit edilmiştir. Biyodizel yakıtına, viskozitesinin düşürülmesi amacıyla eklenen MTBE ile elde edilen yakıtlar, biyodizelin alt ısıl değerini ve setan sayısını düşürmüştür. Yapılan testler sonucu efektif motor gücü ve efektif tork ölçümlerinde en düşük değerler MTBE20B yakıtı kullanıldığında ve sonra da MTBE10B yakıtı kullanıldığında ölçülmüştür. Deneyde kullanılan yakıtların yoğunluk değerleri, püskürtülme kalitesini ve yanma kalitesini olumsuz yönde etkilediğinden, efektif motor gücü ve efektif tork değerlerindeki farklılıkların sebeplerindedir. Dizel yakıtının yoğunluk değeri, biyodizel ve MTBE katkılı biyodizel yakıtlarının yoğunluk değerlerine göre daha düşük olduğundan, yapılan testlerde dizel motorundan gerçekleştirilen efektif motor gücü ve efektif tork ölçümlerinde en yüksek değerlere sahip olmuştur.

Dizel motoru deney yakıtları kullanılarak farklı devirlerde çalıştırılıp özgül yakıt tüketimi değerleri ölçülmüştür. Tüm deney yakıtları arasında en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri, dizel yakıtı kullanılarak yapılan testlerde ölçülmüştür. En yüksek değerler ise biyodizel yakıtı ile test motoru çalıştırıldığında belirlenmiştir. Biyodizele MTBE ilave edilerek elde edilen yakıtlarla yapılan testlerden elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri, dizel yakıtına göre yüksek olmakla beraber biyodizel yakıtından daha düşüktür. MTBE20B yakıtının özgül yakıt tüketimi değerleri MTBE10B yakıtına göre daha düşüktür. Yapılan testlerde biyodizele, MTBE ilave edilerek

viskozitesinin düşürülmesinin, özgül yakıt tüketimine de olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca deney yakıtlarının alt ısıl değerlerinin ve yoğunluklarının da özgül yakıt tüketimine etkisi olduğu anlaşılmıştır. Alt ısıl değeri en yüksek, yoğunluğu en düşük deney yakıtı olan dizel yakıtının özgül yakıt tüketim değerlerinin, diğer deney yakıtlardan daha düşük olduğu görülmüştür.

Dizel motor deney yakıtları ile farklı devirlerde çalıştırılarak özgül enerji tüketimi değerleri belirlenmiştir. Dizel motoruyla yapılan farklı devirlerdeki tüm deneylerde en düşük özgül enerji tüketimi değerleri MTBE20B yakıtı kullanıldığında, en yüksek özgül enerji tüketimi değerleri ise dizel yakıtı kullanıldığında elde edilmiştir. Oksijen içeren yakıtların özgül enerji tüketimi değerlerinin daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Biyodizel yakıtının setan sayısının dizel yakıtının setan sayısına göre daha yüksek değerde olması da özgül enerji tüketimi değerlerinin dizel yakıtına göre daha düşük değerde olmasının sebebi olarak düşünülmüştür. Biyodizel yakıtına MTBE ilave edilerek viskozitesi düşürüldüğünde, yanmanın iyileşmesi sebebiyle MTBE katkılı yakıtların özgül enerji tüketimi değerinin, saf biyodizel yakıtına göre daha düşük değerde olduğu belirlenmiştir.

Dizel motorda deney yakıtlarına ait termik verim değerlerinin tespit edilebilmesi için testler yapılmıştır. MTBE20B yakıtının diğer yakıtlardan daha yüksek termik verime sahip olduğu, dizel yakıtının ise deney yakıtları arasında en düşük termik verime sahip olduğu yapılan testler sonucunda anlaşılmıştır. MTBE10B yakıtının termik verim değerlerinin, biyodizel yakıtının termik verim değerlerinden daha iyi olduğu görülmüştür. MTBE20B, MTBE10B ve biyodizel yakıtlarının oksijen içerikli olmaları sebebiyle daha iyi yanmaları, termik verim değerlerini de olumlu yönde etkilemiştir. Biyodizel yakıtına MTBE eklenerek yüksek olan viskozitenin düşürülmesinin, yakıtların termik verimlerini de olumlu yönde etkiledikleri anlaşılmıştır.

Egzoz gazı sıcaklıkları ölçümü için dizel test motoru, deney yakıtlarıyla farklı devirlerde çalıştırılmıştır. Yapılan testlerde tüm motor devirlerinde en düşük egzoz gazı sıcaklığı MTBE20B yakıtı kullanılan çalışmalarda ölçülmüştür. En yüksek egzoz gazı sıcaklığı değeri ise dizel yakıtı ile yapılan testlerde ölçülmüştür. Yapılan

testler sonucu alt ısı değerleri yüksek olan yakıtların, egzoz gazı sıcaklığı değerlerinin de yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Biyodizel yakıtının oksijen içerikli olması nedeniyle tutuşma gecikmesinde iyileşmeler sağladığı, bunun neticesinde egzoz gazı sıcaklıklarının saf dizel yakıtına göre daha düşük olduğu anlaşılmıştır.

Dizel motorunun çeşitli devirlerdeki CO, CO₂ ve NO_x emisyonları değerleri, farklı yakıtlar kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan testlerde, biyodizel, MTBE10B ve MTBE20B yakıtlarının CO₂ emisyon değerlerinin genellikle dizel yakıtından daha fazla olduğu saptanmıştır. Biyodizel, MTBE10B ve MTBE20B yakıtlarının oksijen içermeleri sebebiyle, yanma safhasında karbon molekülleri daha fazla oksijenle birleşme imkânı bulduğundan CO₂ emisyonlarında artmalar olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında karbon moleküllerinin yeterli oksijen moleküllerini buldukça CO₂ oluşturmaları aynı zamanda, karbon moleküllerinin yeterli oksijen bulunamadığında meydana gelen ve zehirleyici özelliği olan CO emisyonlarında da ciddi azalmalar meydana getirmiştir. Biyodizel, MTBE10B ve MTBE20B yakıtlarının CO emisyonları, dizel yakıtı CO emisyonlarına göre oldukça düşük değerdedir. Biyodizel yakıtları için karbon döngüsü dengeli olduğundan CO₂ emisyonları, biyodizel üretmek için yetiştirilen bitkiler tarafından emilecektir.

Dizel motorunda deney yakıtları kullanılarak farklı motor devirlerinde NO_x emisyonu ölçümleri yapılmıştır. Yapılan testlerde biyodizel, MTBE10B ve MTBE20B yakıtları kullanıldığındaki NO_x emisyonları değerlerinin, dizel yakıtı ile ölçülen NO_x emisyonları değerlerine göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Biyodizel, MTBE10B ve MTBE20B yakıtlarının oksijen içerikli olmaları dolayısıyla azot moleküllerinin daha kolay oksitlenebilmelerinin, NO_x emisyonu değerlerindeki artışlarının en önemli sebebi olduğu belirlenmiştir. MTBE katkısının oksijen içeriğinin ve alt ısı değerinin, biyodizel yakıtının oksijen içeriğinden ve alt ısı değerinden düşük olması ve MTBE'nin yüksek olan buharlaşma entalpi değeri, MTBE katkılı yakıtlardaki NO_x değerlerinin biyodizel yakıtının NO_x değerlerine göre daha düşük olmasının gerekçeleri olarak tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] PULKRABEK, W.W., Engineering fundamentals of the internal combustion engine, Prentice Hall, USA, 5;30;157, 1997.
- [2] KEITH, O. AND COLEY, T., Automotive fuels reference book, Society of Automotive Engineers, 487, USA, 1995.
- [3] VAROL, M. VE ATIMTAY, A.T., A Study of co-combustion characteristics of biomass fuels and a lignite coal with thermo gravimetric analysis, Proceedings of The Tenth International Conference On Combustion And Energy Utilization, Muğla, Mayıs, 306-307, 2010.
- [4] <http://www.tuik.gov.tr>, Erişim Tarihi: 05.01.2013.
- [5] BEY, E. VE BÖGE, A.C., Dizel sistemlerde emisyon, enjektör memesi örneği, Mühendis ve Makine, 48(568):22-35, 2007.
- [6] BP, Statistical Review Of World Energy, Bp, , UK, June, 1-49, 2011.
- [7] BAIJU, B., NAIK, M.K. AND DAS L.M., A Comparative evaluation of compression ignition engine characteristics using methyl and ethyl esters of karanja oil, Renewable Energy, 34:1616-1621, 2009.
- [8] QI, D.H., GENG, L.M., CHEN, H., BIAN, Y.Z., LIU, J. AND REN, X.CH., Combustion and performance evaluation of a diesel engine fueled with biodiesel produced from soybean crude oil, Renewable Energy, 34:2706-2713, 2009.
- [9] BASHA, S.A., GOPAL, R.K. AND JEBEREAJ, S., A Review on biodiesel production, combustion, emissions and performance, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13: 1628-1634, 2009.
- [10] BUDAK, N., BAYINDIR, H. VE YÜCEL, H.L., Dizel motorlarda biyodizel kullanımının performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirilmesi, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM), Diyarbakır, Haziran, 123-130, 2009.
- [11] YAŞAR, B. VE EREN, Ö., Türkiye’de tarım sektöründe kullanılan petrodizelin çevresel etkileri ve biyodizel alternatifiyle karşılaştırılması, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES 2008), İstanbul, Aralık, 83-90, 2008.

- [12] NARİN, M., Dünyada ve Türkiye’de enerji tarımı, 2. Ulusal İktisat Kongresi, İzmir, Şubat, 1-18, 2008.
- [13] SEKMEN, Y. VE AKTAŞ, A., Soya yağı metil esterinin dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri, Politeknik Dergisi, 11(3):249-254, 2008.
- [14] SAHOO, P.K., DAS, L.M., BABU, M.K.G., ARORA, P., SINGH, V.P., KUMAR, N.R. AND VARYANI T.S., Comparative evaluation of performance and emission characteristics of jatropha and polanga based biodiesel as fuel in a tractor engine, Fuel, 88:1698-1707, 2009.
- [15] ÖĞÜT, H. VE OĞUZ, H., Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 35-43, 2006.
- [16] İÇİNGÜR, Y., ERAY, E.M., Değişik yakıt harmanlarının dizel motorlarda kullanılabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16(3):589-599, 2003.
- [17] ÖĞÜT, H. VE KUŞ, R., Motorlu taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı, II. Ulaşım ve Trafik Kongresi – Sergisi, 150-157, 1999.
- [18] GRAEDEL, T.E. AND ALLENBY, B.R, Industrial ecology and the automobile, Stenquist, W., Horton, M., Zucker, I., Leon, B.M.D., Shustak, M., Prentice Hall, USA., 140, 1998.
- [19] ALPTEKİN, E. VE ÇANAKÇI, M., Biyodizel ve Türkiye'deki durumu, Mühendis ve Makine, 47(561):57-60, 2006.
- [20] RAO, G.L.N., SAMPATH, S. AND RAJAGOPAL, K., Experimental studies on the combustion and emission characteristics of a diesel engine fuelled with used cooking oil methyl ester and its diesel blends, International Journal of Engineering and Applied Sciences, 4(2):64-70, 2008.
- [21] CANAVATE, J.O. AND CAMPS, M., Biofuels application of biologically derived products as fuels or additives in combustion engines, European Commission Directorate General XII. Science, Madrid, 2-4, January 1993.
- [22] ÇETİNKAYA, S., Benzin ve dizel motorların doğal gaz motoruna dönüştürülmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 81:14-1, 2004.
- [23] DELİKANLI, K., BAYHAN, M. VE JANKOWSKI, A., Hidrojenin motorlarda kullanımı ve motor gürültüsüne etkisi, Mühendis ve Makina, 49(582):17-21, 2008.
- [24] BECHTOLD, R.L., Alternative fuels guide book, SAE International, UK, 6-8, 1997.

- [25] ZHU, L., CHEUNG, C.S., ZHANG, W.G. AND HUANG, Z., Emissions characteristics of a diesel engine operating on biodiesel and biodiesel blended with ethanol and methanol, *Science of The Total Environment*, 408:914-921, 2010.
- [26] ÇELİKTEK, İ. VE ARSLAN, M.A., Dizel yakıtı, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin direkt püskürtmeli bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4):820-836, 2008.
- [27] ALTUN, Ş., GÜR, M.A., Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (3):35-42, 2005.
- [28] GANAPATHY, T., GAKKHAR, R.P. AND MURUGESAN, K., Influence of injection timing on performance, combustion and emission characteristics of jatropha biodiesel engine, *Applied Energy*, 88:4376-4386, 2011.
- [29] KNOTHE, G., DUNN R.O. AND BAGBY, M.O., Biodiesel: the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels, *Fuels and Chemicals From Biomass*, Washington, 2-15, 1997.
- [30] MAGIN, L., OCTAVIO, A. AND JOSE, R.F., Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34:198-223, 2008.
- [31] STEFAN, C., Fueling the future: policy-based comparison of alternative automotive fuel sources, *Sustainable Development Law & Policy*, 7(3):22-24, 2010.
- [32] CEVİZ, M.A., KONCUK, F., YÜKSEL, F., KÜÇÜK, Ö. VE GÖREN, A.C., Beş farklı bitkisel yağdan üretilen biyodizeller ile dizel yakıtının motor performansı ve emisyon karakteristiklerinin karşılaştırılması, *Mühendis ve Makine*, 50(588): 20-26, 2009.
- [33] <http://okulsel.net>, Erişim Tarihi: 13.12.2013.
- [34] BAYRAKÇEKEN, H., YAVUZ, H., AKSOY, F. VE BAYDIR, Ş.A., Soya yağı metil esterinin motor performans ve emisyonlarına etkisi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Mayıs, 571-574, 2009
- [35] ENWEREMADU, C.C. AND RUTTO, H.L., Combustion, emission and engine performance characteristics of used cooking oil biodiesel - a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14:2863-2873, 2010.
- [36] POULTON, M.L., *Alternative fuels for road vehicles*, WIT Press, UK., 67-79, 1994.

- [37] AKYARLI, A., ALPASLAN, N., ÇİCEK, T., DİKTAŞ, E., ELMACI, Y., KARAGÖZLÜ, C., ÖZTÜRE, N., SAYIN, R., SEZERMAN, U, SINDIR, K.O., SİPAHİ, D. VE ŞAHİN, M.O., Biyodizel yakıtın uluslararası standartlarda üretimi, Bioenerji 2004 Sempozyumu, İzmir, Ekim, 2-10, 2004.
- [38] ÜNALDI, M., TAŞYÜREK, M. VE ÇELİK, M., Biyomotorin yakıtı özelliklerine yıkama fazının etkisi, 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Sakarya, Ekim, 412-416, 2008.
- [39] MOSER, B.R., Biofuels global impact on renewable energy, Production Agriculture, and Technological Advancements, Springer Science Business Media, USA., 235-239, 2011.
- [40] BHALE, P.V., DESHPANDE, N.V. AND THOMBRE, S.B., Improving the low temperature properties of biodiesel fuel, Renewable Energy, 34:794-800, 2009.
- [41] RAJAGOPAL, K., BINDU, C., PRASAD R.B.N. AND AHMAD, A., Cloud point of biodiesel and blends, journal of chemical, Biological and Physical Sciences, 2(4):1998-2003, 2012.
- [42] RALBOVSKY, E., An Introduction to compact and automotive diesels, Delmar Publisher,USA., 44-48, 1997.
- [43] LIN, B.F., HUANG, J.H. AND HUANG, D.H., Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions, Fuel, 88:1779-1785, 2009.
- [44] TYSON, K.S., Biodiesel handling and use guidelines, National Renewable Energy Laboratory, U.S.A., 13-15, 2001.
- [45] KARAOSMANOĞLU, F., Türkiye için çevre dostu-yenilenebilir bir yakıt adayı: biyomotorin, Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, 10:50-56, 2002.
- [46] KÖKSAL, N.S. VE YAVUZ, M., Biyodizel kullanımının otomobil yakıt sistemindeki parçalara etkisinin incelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Mayıs, 1429-1434, 2009.
- [47] ÇENGELCİ, E., BAYRAKÇEKEN, H. VE AKSOY, F., Hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin dizel yakıtı ile karşılaştırılması, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(1):41-53, 2011.
- [48] ULUSOY, Y., ARSLAN, R., TEKİN, Y., SÜRMEEN, A., ŞAHİN, R. VE BOLAT, A., Atık kızartmalık yağlardan elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri, VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Bursa, Aralık, 419-426, 2010.

- [49] <http://www.eie.gov.tr/anasayfa.aspx>, Erişim Tarihi: 01.12.2013.
- [50] ULUSOY, Y. VE ALİBAŐ, K., Dizel motorlarda biodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Dergisi, 16:37-50, 2002.
- [51] AKSOY, L., Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(3):46-49, 2010.
- [52] DEMİRBAŐ, A., Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey, Energy Conversion and Management, 44:2093-2109, 2002.
- [53] <http://www.efoa.eu>, Erişim Tarihi: 15.05.2013.
- [54] SOLMAZ, S.K.A., ÜSTÜN, G.E., MORSÜNBL, T., MTBE'NİN çevresel etkileri ve giderimine yönelik arıtma teknikleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakóltesi Dergisi, 14(2):169-181, 2009.
- [55] BUNKAR, M.K., SHRIVASTAVA, N., SHRIVASTAVA, V., Experimental investigation of performance parameter of diesel engine operating on methyl tertiary butyl ether (MTBE), 2(5): 3527-3529, 2012.
- [56] HAMDAN, M.A., AL-SUBAIH, T.A., Improvement of locally produced gasoline and studying its effects on both the performance of the engine and the environment, Energy Conversion and Management, 43:1811-1820, 2002.
- [57] ROY, M.M., TSUNEMOTO, H., ISHITANI, H., Effect of MTBE and DME on odorous emissions in a DI diesel engine, JSME International Journal, 43(3):511-517, 2000.
- [58] KÜÇÜKŐAHİN, F., Dizel motorları problemleri, Güven Kitap, İstanbul, 10, 2000.
- [59] <http://www.mae.wvu.edu>, Erişim Tarihi: 04.05.2013.
- [60] <http://automobiles-hariadhikari.blogspot.com.tr>, Erişim Tarihi: 11.09.2013.
- [61] SAFGÖNÜL, B., ERGENEMAN, M., ARSLAN, H.E. VE SORUŐBAY, C., İçten yanmalı motorlar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 77-139, 1995.
- [62] BORAT, O., BALCI, M. VE SÜRMEEN, A., İçten yanmalı motorlar, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara, 260, 1992.
- [63] BALCI, M., Motorlu taşıtlarda kirletici denetimi - 4.Yanma Sempozyumu, Bursa , Temmuz, 437-447, 1995.

- [64] KESKİN, A., Dizel motor emisyon kontrol yöntemi olarak dizel partikül filtreleri ve gelişmeler, 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Sakarya, Ekim, 90-94, 2008.
- [65] CARLEY, L., Automotive emissions systems, Delmar Publishers, USA, 157-161, 1995.
- [66] KESKİN, A. VE SAĞIROĞLU, S., Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri, Mühendis ve Makina, 51(606):2-9, 2010.
- [67] ÖZ, İ.H., BORAT, O. VE SÜRMEŒ, A., İçten yanmalı motorlar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 257-259, 1995.
- [68] HUANG, J., WANG, Y., QIN, J. AND ROSKILLY, A.P., Comparative study of performance and emissions of a diesel engine using chinese pistache and jatropha biodiesel, Fuel Processing Technology, 91:1761-1767, 2010.
- [69] GODIGANUR, S., MURTHY, C.H.S. AND REDDY, R.P., 6BTA 5.9 G2-1 Cummins engine performance and emission tests using methyl ester mahua (madhuca indica) oil/diesel blends, Renewable Energy, 34:2172-2177, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Muhittin ÇITAK 14.12.1975’de Tokat’ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Tokat’ta tamamladı. 1993 yılında Tokat Teknik Lisesi, Makine Bölümünden mezun oldu. 1993 yılında başladığı Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünü 1997 yılında bitirdi. 1998 yılında Düzce Çıraklık Eğitim Merkezi’ne Otomotiv Öğretmeni olarak atandı. 2001 yılında aynı kurumda Müdür Yardımcılığı görevine getirildi. 2010 yılında Düzce Fatih Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Müdürü olarak atandı ve halen aynı görevi yürütmektedir.