

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KETENCİK YAĞI METİL ESTERİNE PENTANOL İLAVESİNİN
DİZEL MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Sabit YILANCILAR

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ

Şubat 2020

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KETENCİK YAĞI METİL ESTERİNE PENTANOL İLAVESİNİN
DİZEL MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Sabit YILANCILAR

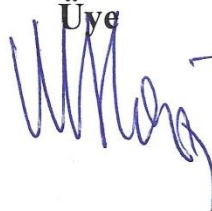
Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12/02/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Can HAŞİMOĞLU
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Murat HOŞÖZ
Üye



Doç. Dr.
Murat KARABEKTAŞ
Üye



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet Sabit YILANCILAR

07/02/2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince değerli bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, her konuda bilgi ve yardımını almaktan çekinmediğim, çalışmanın planlanmasından yazılmasına kadar geçen tüm süreçte yardımlarını esirgemeyen, aynı özenle beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada kullanılan ketencik yağının temin edilmesinde gösterdiği çabadan ötürü Altınyag Kombinaları A.Ş. Genel Müdürü Mehmet DİKKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarımda desteğini esirgemeyen sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Gökhan ERGEN'e ve motor deneylerinin gerçekleşmesinde yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN'e teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca beni teşvik eden, destekleyen, her zaman yanımda olan ve bu günlere gelmemde büyük emekleri geçen değerli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No:2019-50-01-098 [eski proje no:2018-2-7-141]) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	v
SİMGELER	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

ALTERNATİF YAKITLAR.....	7
2.1. Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar.....	7
2.2. Biyoyakıtlar	8
2.2.1. Biyohidrojen.....	9
2.2.2. Biyogaz	12
2.2.3. Biyodizel.....	14
2.2.4. Alkoller.....	15

BÖLÜM 3.

YAKIT OLARAK BİYODİZEL VE PENTANOL.....	17
3.1. Bitkisel Yağlar ve Biyodizelin Tarihsel Gelişimi	17
3.2. Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel	19
3.3. Biyodizelin Çeşitleri ve Standartları.....	22
3.4. Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretim Yöntemleri	24
3.4.1. Seyreltme yöntemi	26
3.4.2. Mikroemülsiyon yöntemi.....	26
3.4.3. Proliz yöntemi.....	26
3.4.4. Transesterifikasyon yöntemi	27
3.4.5. Süperkritik yöntem.....	30
3.5. Biyodizelin Yakıt Özellikleri.....	30

3.5.1. Yoğunluk.....	30
3.5.2. Kinematik viskozite.....	30
3.5.3. Setan sayısı.....	31
3.5.4. Isıl değer	32
3.5.5. Parlama noktası.....	32
3.5.6. İyot sayısı	32
3.5.7. Soğukta akış özelliği	33
3.5.8. Yağlayıcılık	33
3.5.9. Su ve tortu içeriği.....	33
3.6. Pentanol (Amil Alkol).....	34

BÖLÜM 4.

ALTERNATİF ENERJİ BİTKİSİ KETENCİK..... 39

4.1. Ketencik Bitkisi.....	39
4.2. Ketencik Yağı	40
4.3. Biyodizel Hammaddesi Ketencik	42
4.4. Jet Yakıtı Hammaddesi Olarak Ketencik	43

BÖLÜM 5.

MATERYAL VE METOD..... 45

5.1. Deneysel Materyaller	45
5.1.1. Test düzeneğinin şeması	45
5.1.2. Deney motoru	46
5.1.3. Dinamometre	47
5.1.4. Gaz ölçüm cihazı.....	48
5.1.5. Yakıt ölçümü	49
5.2. Deney Yakıtları	49
5.2.1. Ketencik yağından biyodizel üretilmesi	49
5.2.2. Deney yakıtları ve özellikleri	53
5.3. Deneysel Yöntem	54
5.4. Hesaplama Yöntemleri.....	54
5.4.1. Efektif tork ve efektif motor gücü.....	54
5.4.2. Özgül yakıt tüketimi ve özgül enerji tüketimi	55
5.4.3. Termik verim	56

BÖLÜM 6.

BULGULAR ve TARTIŞMA..... 57

6.1. Ketencik Yağı Metil Esteri Yakıt Özellikleri	57
6.2. Performans Değerleri	58
6.2.1. Efektif motor gücü	58
6.2.2. Efektif tork	60
6.2.3. Özgül yakıt tüketimi	62
6.2.4. Özgül enerji tüketimi	64
6.2.5. Termik verim	65
6.3. İS Emisyonları	67

BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
7.1. Sonuçlar.....	70
7.2. Öneriler	73
KAYNAKLAR	74
EKLER.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	84



KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Malzeme Test Derneği
B100	: % 100 biyodizel
B2	: %2 biyodizel + %98 dizel yakıtı
B5	: %5 biyodizel + %95 dizel yakıtı
B20	: %20 biyodizel + % 80 dizel yakıtı
B50	: %50 biyodizel + % 50 dizel yakıtı
B90P10	: %90 ketencik biyodizeli + % 10 pentanol
B80P20	: %80 ketencik biyodizeli + %20 pentanol
BP	: British Petroleum
CEN	: Avrupa standardizasyon komitesi
CNG	: Sıkıştırılmış doğalgaz
D100	: %100 Dizel yakıtı (Standart motorin)
EASAC	: Avrupa Akademileri Bilim Danışma Konseyi
EN	: Europeane Norm
HC	: Hidrokarbon
İEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
JAL	: Japon Havayoları
KOH	: Potasyum hidroksit
KYME	: Ketencik yağı metil esterleri
LNG	: Sıvılaştırılmış doğalgaz
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
MTPE	: Milyon ton petrol eşdeğeri
NaOH	: Sodyum hidroksit
NSDB	: Amerika Ulusal Soydizel Geliştirme Kuruluşu
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
ÖET	: Özgöl enerji tüketimi

ÖYT	: Özgöl yakıt tüketimi
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USAF	: Birleşik Devletler Hava Kuvvetleri
YAAE	: Yağ aside alkil esteri
YAME	: Yağ aside metil esteri



SİMGELER

CH_3OH	: Metil alkol (metanol)
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$: Etil alkol (etanol)
$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$: Bütil alkol (bütanol)
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$: Amil alkol (pentanol)
CH_4	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
F	: Kuvvet
H_2S	: Hidrojen sülfür
H_2SO_4	: Sülfirik asit
Hu	: Isıl değer
l	: Kuvvet kolu
Md	: Döndürme momenti
\dot{m}_y	: Kütleli yakıt tüketimi
N_2	: Azot
n	: Devir sayısı
η_e	: Termik verim
NO_x	: Azot oksitler
P_e	: Efektif güç

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1 : Yeni politikalar senaryosu doğrultusunda dünya birincil enerji talebinde kaynakların kullanımı (MTPE).....	3
Tablo 2.1 : Hidrojenin yakıt özellikleri	10
Tablo 2.2 : Biyogaz bileşenleri	12
Tablo 2.3 : Biyogazın özellikleri	13
Tablo 2.4 : Bazı alkollerin yakıt özellikleri	16
Tablo 3.1 : Bazı bitkisel yağların yakıt özellikleri	18
Tablo 3.2 : Biyodizel ve motorinin yakıt olarak karşılaştırılması	21
Tablo 3.3 : Avrupa Birliği EN 14214 ve Amerika ASTM D-6751 biyodizel standartları	24
Tablo 3.4 : Pentanolün yakıt özellikleri	35
Tablo 4.1 : Ketencik tohumu yağının yağ asidi kompozisyonu	41
Tablo 4.2 : Bazı yağlı tohumlu bitkilerin içerdiği ortalama yağ oranları	41
Tablo 4.3 : Ketencik yağının yakıt özellikleri (karşılaştırmalı)	43
Tablo 5.1 : Dene motorunun özellikleri	46
Tablo 5.2 : Bilsa - MOD 2210 WIN-XP model egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri	48
Tablo 5.3 : Dene ylerde kullanılan yakıtlarının özellikleri	53
Tablo 6.1 : Ketencik yağı metil esterinin yakıt özellikleri	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Farklı senaryolara göre hazırlanan dünya birincil enerji talebi	2
Şekil 1.2 : Türkiye birincil enerji arzı tahminleri.....	4
Şekil 1.3 : Karayolu taşımacılığında yakıt türlerine göre tüketim miktarları	5
Şekil 2.1 : Biyokütle kaynağından elde edilen alternatif yakıtlar	8
Şekil 3.1 : Biyodizel ve dizel yakıtları için karbondioksit çevrimi yaşam döngüsü	20
Şekil 3.2 : Dizel motorlarda bitkisel yağların kullanım yöntemleri.....	25
Şekil 3.3 : Transesterifikasyon reaksiyonu	28
Şekil 3.4 : Transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretim süreci	29
Şekil 3.5 : Pentanolün kimyasal yapısı.	35
Şekil 4.1 : Ketencik bitkisinin görünümü ve hasat sonu elde edilen tohumları.....	40
Şekil 5.1 : Deney düzeneği	46
Şekil 5.2 : Deneylerde kullanılan dizel test motoru	47
Şekil 5.3 : Elektrikli dinamometre	47
Şekil 5.4 : Duman koyuluğu (is) ölçüm cihazı.....	48
Şekil 5.5 : Yakıt ölçümünde kullanılan terazi.....	49
Şekil 5.6 : Ketencik yağından biyodizel elde edilmesi	50
Şekil 5.7 : Reaksiyon sonrası dinlenmeye bırakılan karışım	51
Şekil 5.8 : Ayırma hunisinde 12 saat dinlendirilen karışımın son hâli	51
Şekil 5.9 : Yıkama fazına alınan ham biyodizelin görünümü.....	52
Şekil 5.10 : Tüm süreç sonunda elde edilen ketencik biyodizeli	53
Şekil 6.1 : Motor gücü.....	59
Şekil 6.2 : Motor torku	61
Şekil 6.3 : Özgül yakıt tüketimi	62
Şekil 6.4 : Özgül enerji tüketimi	64
Şekil 6.5 : Termik verim	66
Şekil 6.6 : İS emisyonları.....	68
Şekil A.1 : Ketencik yağı metil esteri analiz sonuçlar	83

KETENCİK YAĞI METİL ESTERİNE PENTANOL İLAVESİNİN DİZEL MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde kullanılan enerjinin %80'i fosil kaynaklardan elde edilmekte, bu da sınırlı olan kaynakların hızlı bir şekilde tükenmesine sebep olmaktadır. Bunun yanında yaşanan çevresel sorunlar ve fiyat istikrarsızlıkları gibi nedenler alternatif enerji kaynaklarına duyulan ilgiyi arttırmıştır. Özellikle petrol ürünü olan dizel yakıtına alternatif olan biyodizel, en çok ilgi gören alternatifler arasındadır. Biyodizel yakıtı, bitkisel, hayvansal, atık kızartma yağları ve mikroalg yağları gibi çeşitli yağların esterleştirilmesi sonucu elde edilen, oksijen içerikli ve yüksek setan sayısına sahip bir biyoyakıttır. Bitkisel yağlardan üretilmesi durumunda biyodizelin yanması sonucu oluşan CO₂'nin, bitkilerin yetişmesi sürecinde kullanılan CO₂ miktarıyla dengelediği ve sera gazı oluşumuna katkısı olmadığı kabul edilmektedir.

Bu çalışmada ekonomik ve tarımsal özellikleri ile biyodizel üretiminde büyük potansiyele sahip olan ketencik bitkisi tercih edilmiştir. Ketencik bitkisi yüksek yağ içeriğine sahip, zorlu iklim şartlarına dayanıklı, gelecek vadeden bir biyodizel kaynağıdır. Bu çalışmada ketencik tohumu yağından transesterifikasyon işlemi ile biyodizel üretilmiş ve bazı yakıt özellikleri ölçülerek Avrupa Birliği (EN 14214) ve Amerika (ASTM D6751) biyodizel standartları ile karşılaştırılmıştır. Diğer aşamada ketencik yağı metil esterine farklı oranlarda yüksek karbonlu alkol (pentanol) ilavesinin dizel motor performansı ve is emisyonu oluşumu üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Yüksek karbonlu alkoller düşük karbonlu alkoller (metanol etanol, propanol) ile karşılaştırıldığında daha iyi yakıt özellikleri sergilemektedir. Alkolün yapısındaki karbon sayısının artmasına bağlı olarak setan sayısı ve ısıl değeri artmakta, kendi kendine tutuşma sıcaklığı ve vuruntu eğilimi azalmaktadır. Pentanol, sürdürülebilir metotlarla nişastalı ve linyöz selülozik biyokütle hammaddelerinden üretilebilen yenilenebilir bir alkoldür. Pentanol fosil yakıtlarla yüksek karışım özelliğine sahiptir.

Motor deneyleri, dizel (D100), biyodizel yakıtı (B100), %10 pentanol katkılı biyodizel yakıtı (B90P10) ve %20 pentanol katkılı biyodizel yakıtı (B80P20) olmak üzere dört farklı yakıt ile tam yük değişken devirde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler eşliğinde ayrıntılı olarak sunulmuştur. Biyodizel yakıtına pentanol ilavesi ile motor performansında iyileşme belirlenirken artan pentanol oranı ile birlikte performans değerlerinin düştüğü görülmüştür. Pentanolün oksijen içerikli olmasının is emisyonlarını düşürmede bir miktar etkili olduğu da belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Ketencik, Biyodizel, Pentanol.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PENTANOL ADDITION TO CAMELINA OIL METHYL ESTER ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE PARAMETERS

SUMMARY

Today, 80 percent of the energy used is obtained from fossil sources, which causes the limited resources to run out quickly. In addition, environmental problems and price instability have increased the interest in alternative energy sources. Biodiesel, to diesel fuel which is a petroleum product is one of the most popular alternatives. Biodiesel fuel is a biofuel with oxygen content and high cetane number obtained by esterification of various oils such as vegetable, animal, waste frying oils and microalgae oils. It is accepted that CO₂ produced as a result of combustion of biodiesel when produced from vegetable oils is balanced with the amount of CO₂ used in the growth of plants, and does not contribute to the formation of greenhouse gas.

In this study, camelina plant, which has great potential in biodiesel production with its economic and agricultural characteristics, was preferred. Camelina plant is a promising biodiesel source with high oil content, resistant to harsh climatic conditions. In this study, biodiesel was produced from the camelina seed oil by transesterification process, and some fuel properties were measured and compared with European Union (EN 14214) and American (ASTM D6751) biodiesel standards. At the other stage, the effect of adding high carbon alcohol (pentanol) to camelina oil methyl ester on diesel engine performance and soot emission formation was investigated.

High carbon alcohols exhibit better fuel properties compared to low carbon alcohols (methanol ethanol, propanol). Due to the increase in the number of carbon in the structure of alcohol, cetane number and heating value increases, self-ignition temperature and engine knock decreases. Pentanol is a renewable alcohol that can be produced from starchy and lignous cellulosic biomass raw materials by sustainable methods. Pentanol has high mixing properties with fossil fuels.

The engine tests were carried out with four different fuels at full load-variable speed: diesel (D100), biodiesel fuel (B100), 10% pentanol doped biodiesel (B90P10) fuel and 20% pentanol doped biodiesel fuel (B80P20). The results obtained are presented in detail with the help of graphs. With the addition of pentanol to biodiesel fuel, the engine performance was improved, and the performance values decreased with increasing pentanol ratio. Oxygen content of pentanol was also determined effective in reducing soot emissions.

Key words: Renewable Energy, Camelina Sativa, Biodiesel, Pentanol.

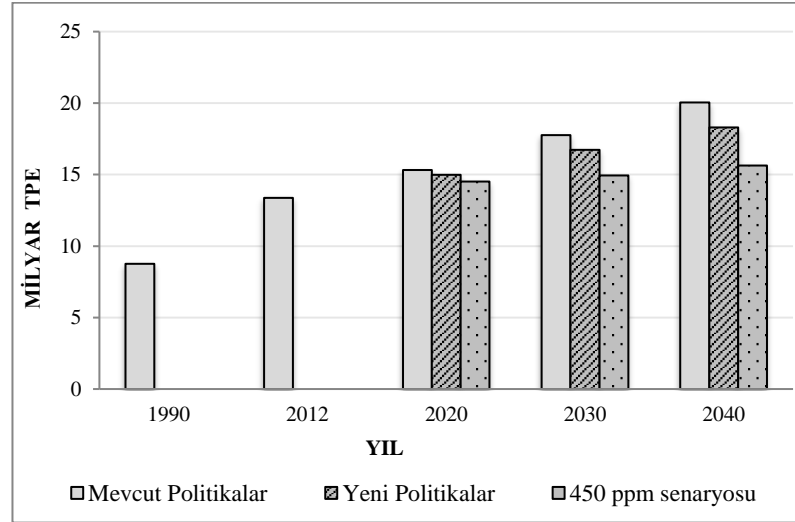
BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji, insan yaşamı için vazgeçilmez ihtiyaçların başında gelip, ülkelerin ekonomik ve sosyal açıdan kalkınmalarında büyük rol oynamaktadır. Dünya’da her geçen gün artan nüfus, sanayileşme ve şehirleşmeye paralel olarak artan üretim miktarları ve teknolojik ilerlemeler enerji kullanımını ve enerjiye olan ihtiyacı giderek arttırmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler gelişimlerini devam ettirmek ve gelişmiş ülkeler seviyesine ulaşabilmek için güçlü bir enerji artışına ihtiyaç duymaktadır. Benzer şekilde gelişmiş ülkeler de bu konumlarını korumak için enerji kullanımını artarak devam ettirmektedir [1].

Dünyada enerji ihtiyacını arttıran etkenlerin başında nüfus artışı ve gelişen yaşam standartları gelmektedir. Dünya nüfusunun 2040 yılında 9 milyara ulaşacağı düşünüldüğünde yaklaşık olarak 1,9 milyar insan için daha enerji talebi ortaya çıkmaktadır [2]. Uluslararası Enerji Ajansı (İEA) tarafından hazırlanan üç ayrı senaryo göz önüne alınarak dünya birincil enerji talebi incelenmiştir. Bu senaryolar içerisinde “mevcut enerji politikaları” 2014 yılı itibariyle mevcut koşulların korunduğu ve herhangi yeni bir enerji politikası izlenmediği takdirde oluşacak enerji talebini göstermektedir. “Yeni politikalar senaryosu” ise hâlihazırda hükümetler tarafından uygulanan politikalarla birlikte gelecek yıllar için taahhüt edilen ve taahhüt edilmesi istenen enerji politikaları ile oluşacak tabloyu içermektedir. Bu politika ana senaryo olarak kabul edilmektedir. “450 ppm senaryosu” ise uzun vadeli küresel ısınmadaki artışı 2°C ile sınırlandırmayı hedefleyen ve yenilenebilir kaynakların kullanımı ve enerji verimliliği çalışmaları ile oluşacak enerji talebini göstermektedir [3].

Şekil 1.1’de Uluslararası Enerji ajansı tarafından üç ayrı senaryo için hazırlanan dünya birincil enerji talebi görülmektedir. Bu tahminlere göre 2012 yılında 13,36 milyar ton petrol eşdeğeri (MTPE) olan dünya birincil enerji talebinin 2040 yılında;

- Mevcut politikalar senaryosuna göre %50,3'lük artışla 20 milyar MTPE,
- Yeni enerji politikaları senaryosuna göre %36,8'lik artışla 18,3 milyar MTPE,
- 450 ppm senaryosuna göre %17,3'lük artışla 15,62 milyar MTPE olması beklenmektedir.



Şekil 1.1 : Farklı senaryolara göre hazırlanan dünya birincil enerji talebi [3].

ABD ve OECD ülkelerinde ekonomik büyümenin yavaşlaması ve verimlilik çalışmalarındaki kazanımları ile enerji talebindeki artış dengeli olacaktır. Buna karşın OECD dışı ülkelerin gelişme gösteren sanayi ve kentleşmesinin yanı sıra artan nüfusuna bağlı olarak enerji talebinde büyük ölçüde artış olacağı tahmin edilmektedir. Bu ülkelerin 2040 yılındaki toplam enerji talebinin, tüm dünyadaki enerji talebinin %70'ine denk gelmesi beklenmektedir. Bu talebin %45'ini Çin ve Hindistan oluştururken, ABD ve Avrupa'nın payı %20 seviyelerinde olacaktır [4].

2012 yılında dünya birincil enerji talebinin %82'sini oluşturan fosil kaynaklı yakıtlar, (kömür, petrol, doğalgaz) yapılan senaryolara göre gelecekte de en fazla tercih edilen enerji kaynağı olmayı sürdürecektir. Tablo 1.1 incelendiğinde yeni politikalar senaryosuna göre 2040 yılında petrol talebi %13,5 artarken kömür talebi %14,6 artmaktadır. Önemli bir artış gösteren doğalgaz talebi ise %55,3 oranında artış göstermektedir. Bu da doğalgazın gelecekte fosil yakıtlar içerisinde payını arttıran tek enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Tüm bunlara rağmen yenilenebilir enerji talebi %92'lik bir artış göstererek fosil yakıtların 2040 yılındaki payını düşürmektedir.

Tablo 1.1 : Yeni politikalar senaryosu doğrultusunda dünya birincil enerji talebinde kaynakların kullanımı (MTPE) [5].

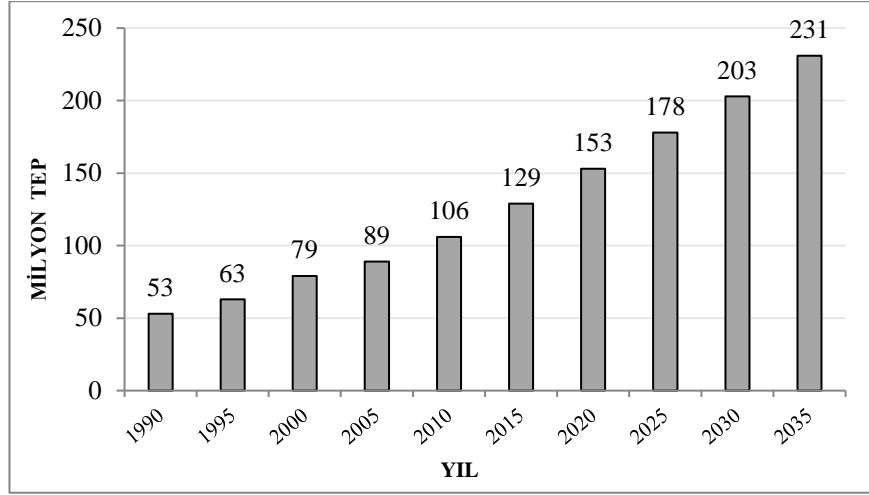
Kaynaklar	2012	2030	2040
Kömür	3,879	4,342	4,448
Petrol	4,194	4,689	4,761
Doğalgaz	2,844	3,797	4,418
Nükleer	0,642	1,047	1,210
Yenilenebilir	1,802	2,846	3,455
Toplam	13,361	16,720	18,293
Fosil yakıt payı	%82	%77	%74

2040 yılında birincil enerji talebinde fosil yakıtların toplam payı %74'e düşerken, yenilenebilir enerjinin payı %19'a yükseldiği görülmektedir. 2017 yılı itibariyle yenilenebilir enerji kaynakları yılda ortalama %9,8 artışla en yüksek artış değerine sahip enerji kaynağı olmaktadır [6].

Diğer yandan enerji talebinin artmasına paralel olarak yeryüzündeki enerji kaynakları da azalmaktadır. Dünyada kanıtlanmış petrol rezervleri toplamı 1,7 trilyon varil olup, yalnızca 51 yıllık tüketimi karşılayacak miktardadır. Doğalgaz rezervleri toplamı 187 trilyon metreküptür ve petrole benzer şekilde yaklaşık 53 yıllık kısa bir süre için yeterli olacaktır. Kömür rezervleri toplamı ise 114 yıllık tüketimi karşılama potansiyeline sahiptir [6]. Rakamlardan anlaşılacağı üzere fosil kaynakların aşırı kullanımına bağlı olarak rezervlerin yakın gelecekte tükenmesi kaçınılmazdır. Bunun yanında yaşanan çevresel sorunların (sera etkisi, küresel ısınma ve iklim değişikliği) günden güne küresel ölçekte büyük riskler teşkil etmesi, bu kaynakların dünyanın belli noktalarında toplanmış olmasının getirdiği siyasi sorunlar ve fiyat istikrarsızlıkları gibi nedenler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi hızlandırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları, araştırmaların ve altyapı çalışmalarının artırılmasıyla sağlanacak maliyet avantajları ile enerjide yüksek oranda dışa bağlı olan ülkeler açısından önemli bir çıkış noktasıdır [7,8].

British Petroleum (BP) tarafından sunulan istatistiklere bakıldığında, Türkiye'de toplam birincil enerji tüketimi son 10 yılda %52, son on beş yılda ise %95 oranında artış göstermiştir. 2018 yılında birincil enerji tüketimi 153 milyon TEP (ton eşdeğer petrol)

olan Türkiye, dünya birincil enerji tüketiminde %1,1'lik oranı ile ilk yirmi ülke arasında yer almaktadır. Bu tüketimdeki kaynakların payı %31,6 petrol, %26,5 doğalgaz, %27,5 kömür, %8,8 hidroelektrik ve %5,5 yenilenebilir enerji şeklinde olmuştur [9][10]. Toplam birincil enerji arzındaki artış değerlerine bakıldığında birçok ülkeye kıyasla olumlu durumda olan Türkiye, son on beş yıldaki artış değerleri ile Çin ve Hindistan'dan sonra gelmiştir [11].



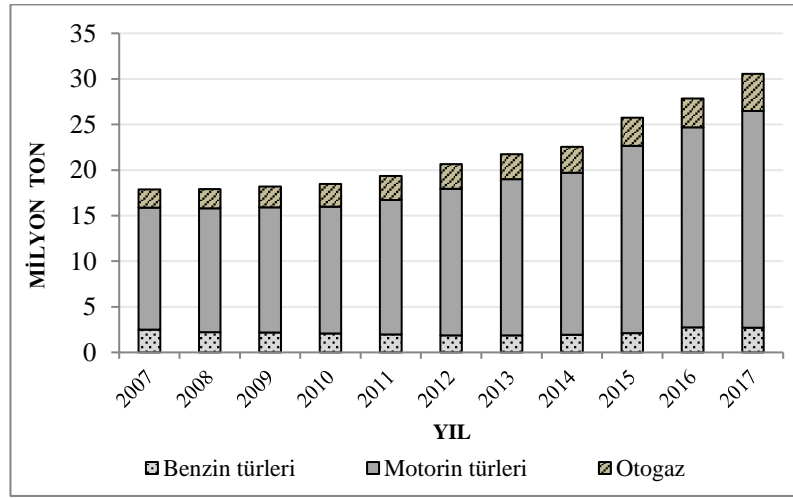
Şekil 1.2 : Türkiye birincil enerji arzı tahminleri [11].

Şekil 1.2'de Türkiye birincil enerji arzı yıllık artış tahminlerine göre oluşturulan grafik görülmektedir. Buna göre 2015-2030 yılları arasındaki on beş yılda enerji arzının 129 milyon TEP'den 203 milyon TEP'e yükselerek %57'lik bir artış göstereceği öngörülmektedir. 2035 yılında ise enerji arzı 231 milyon TEP'e ulaşarak %65 daha fazla tüketim öngörülmektedir.

Petrol ürünleri yaşamın birçok alanında yaygın olarak kullanılmakla birlikte, bu kullarımdaki en büyük pay taşımacılık sektörüne aittir. Uluslararası Enerji Ajansının (İEA) 2016 Türkiye raporuna göre petrol kaynaklarından sağlanan enerjinin %60,9'u taşımacılık sektöründe, %18,3'ü sanayi sektöründe, kalan %20,8'i de ticari, kamu ve tarım sektöründe kullanılmaktadır. Taşımacılık sektörünün payı 2004'te %40,6'dan 2014'te %60,9'a yükselirken, bu on yıllık süreçte diğer sektörlerin payları düşmüştür [12].

Türkiye akaryakıt sektöründe motorin yakıtı, benzin yakıtına kıyasla daha fazla kullanılmakta ve bu kullanım her geçen gün daha da artmaktadır. Türkiye İstatistik

Kurumu'nun (TÜİK) "Trafığe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı" raporuna göre son on yılda kullanılan dizel araç sayısı dört buçuk kat artarak benzinli araç sayısını geçmiştir [13]. Şekil 1.3'de Karayolu taşımacılığında yakıt türlerine göre tüketim miktarları verilmiştir. Grafik incelendiğinde Türkiye'de tüketilen motorin miktarının son yedi yılda ciddi bir artış sergilediği görülmektedir. 2010 yılında 13,8 milyon ton olan motorin tüketimi yedi yılda %72 oranında artarak 23,7 milyon ton olmuştur.



Şekil 1.3 : Karayolu taşımacılığında yakıt türlerine göre tüketim miktarları [14].

Türkiye'de giderek artan motorin tüketimi, toplam petrol ürünleri tüketiminin %51,2'sini oluştururken, LPG %11 ve benzin %6'lık paya sahiptir. Geride kalan on yıllık süreçte, talebe bağlı sektördeki değişiklikler nedeniyle, Türkiye'de tüketilen petrol ürünlerinin oranı da değişmiştir. En büyük değişim, toplam talebin %35,9 artmasıyla motorin payında görülmekte ve bu talep artarak akaryakıt sektöründeki pazar payını büyütmeye devam etmektedir [12].

Artan motorin ihtiyaçlarını karşılamada dışa olan bağımlılığı azaltarak sürdürülebilir enerji arzı ve ekonomik bir büyüme için kesintisiz ve yerli bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde benzinli ve dizel araçlarda tercih edilen fosil kaynaklı yakıtlara alternatif olarak biyoetanol ve biyodizel yakıtları ön plana çıkmaktadır. Biyotanol benzinli motorlarda, biyodizel ise dizel motorlarda çok büyük modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilen fosil olmayan ve yenilenebilir kaynaklı alternatif yakıtlardır [15].

Biyodizel; bitkisel, hayvansal ve artık yağlardan elde edilen ve dizel motorlarda direkt olarak kullanılabilen alternatif bir enerji kaynağıdır [16]. Biyodizelin dizel motorlarda doğrudan kullanımı veya belirli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanımı, hem çevreye verilen zararlı etkileri azaltacak, hem de sınırlı olan fosil enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak ayçiçeği, kanola (kolza), soya, yerfıstığı, pamuk ve artık kızartma yağları kullanılmakta [17], bununla birlikte farklı kaynaklar üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Biyodizel maliyetinin dizel yakıtından fazla olması, uygun maliyetli ve verimli hammadde arayışlarını gerekli kılmaktadır. Biyodizel üretimi için aranan özelliklerin başında gelen bitkisel yağ oranı tatmin edici olan ketencik bitkisi, aşırı iklim koşullarına dayanıklılığı ve minimum girdi ihtiyaçlarına sahip olması açısından büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Son zamanlarda jet yakıtı olarak kullanımı da ketenciği ayrı bir noktaya taşımaktadır [18].

Bu çalışmanın amacı; Türkiye'deki motorin ihtiyacına yönelik dizel motorlarda kullanılacak alternatif, yerli ve yenilenebilir kaynaklı bir biyoyakıt (biyodizel) elde etmek ve bu yakıtta farklı oranlarda yüksek karbonlu yenilenebilir kaynaklı bir alkol (pentanol) ilavesinin motor performansı ve is (duman koyuluğu) emisyonlarına etkisini incelemektir. Bu kapsamda ekonomik ve tarımsal özellikleri ile dikkat çeken ketencik bitkisi seçilmiş, bu bitkiden elde edilen ketencik yağından, transesterifikasyon metodu kullanılarak biyodizel üretilmiştir. Daha sonra elde edilen biyodizele %10 ve %20 oranında pentanol ilave edilerek motor performansı ve is emisyonları üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

BÖLÜM 2. ALTERNATİF YAKITLAR

2.1. Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kökenli yakıtlardan karşılanmakta ve bunun sonucunda ciddi çevre kirliliği ve iklim bozukluğu gibi problemler oluşmaktadır. Özellikle ulaşım sektöründe yoğun olarak kullanılan fosil yakıtların bu kullanımından vazgeçilmediği veya azaltılmadığı takdirde geri dönüşü olmayan çevre sorunlarına neden olması kaçınılmazdır. Bu doğrultuda günümüzde birçok alternatif yakıt üzerinde çalışmalar sürmektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde içten yanmalı motorlarda kullanılmak istenen alternatif yakıtlarda aranan özellikler şunlardır;

- Motor performansının standart yakıtlara yakın olması ya da çok düşürmemesi,
- Motor veriminin yüksek olması,
- Yanma sonucu oluşan kirlenici emisyonların düşük olması,
- Motorun yapısında önemli değişiklikler gerektirmemesi,
- Üretim ve maliyet açısından avantajlı olması [19].

İçten yanmalı motorlarda geniş kullanım alanına sahip olan alternatif yakıtlar ve elde edildiği kaynak çeşidine göre sınıflandırılması aşağıdaki gibidir;

Fosil kökenli alternatif yakıtlar

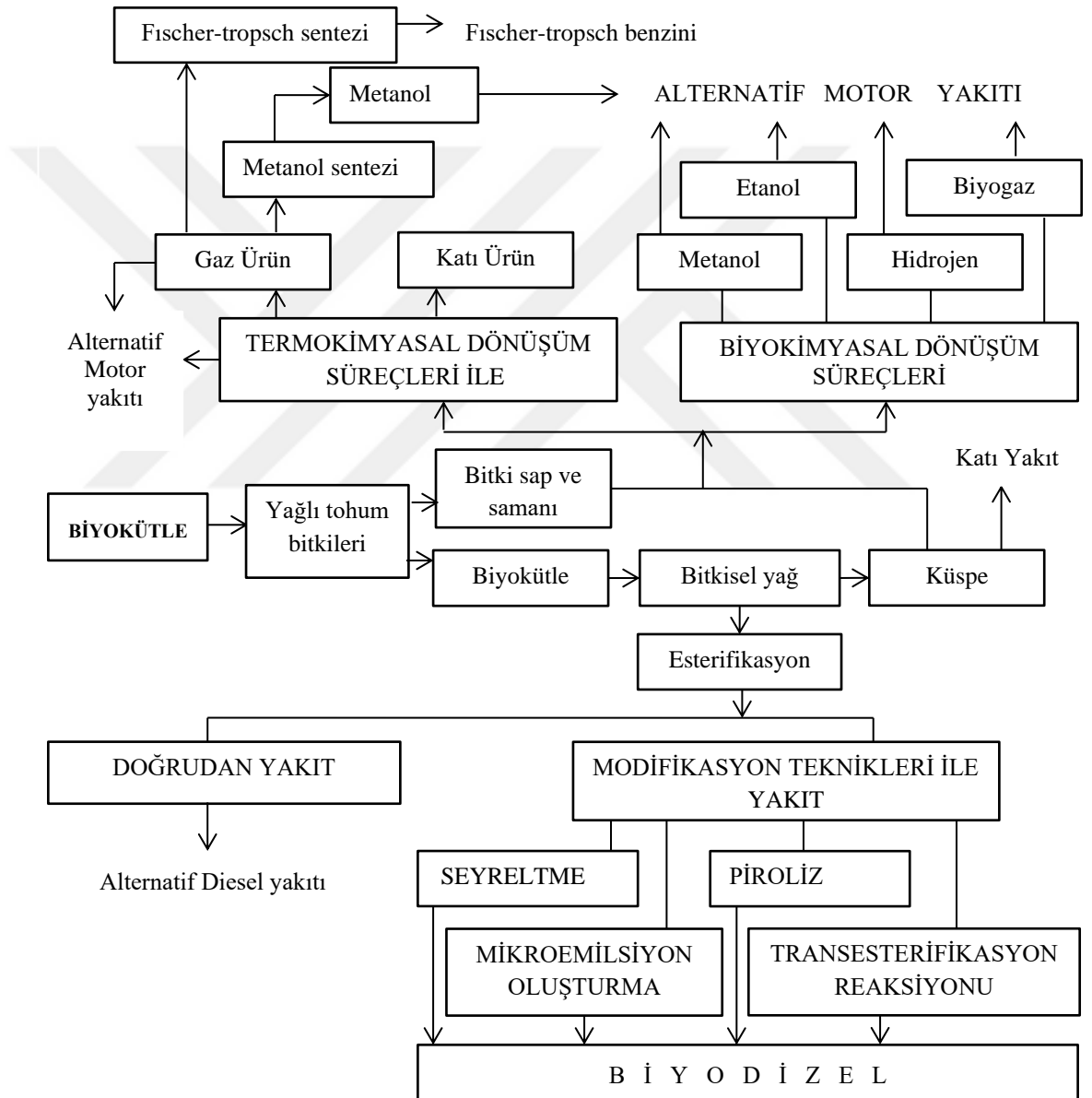
- a) Doğalgaz (sıvılaştırılmış doğalgaz [LNG] veya sıkıştırılmış doğalgaz [CNG])
- b) Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)

Biyoyakıtlar

- a) Biyohidrojen (Yenilenebilir kaynaklı hidrojen)
- b) Biyogaz ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{diğer}$)
- c) Biyodizel (yağ asidi esteri)
- d) Alkoller

2.2. Biyoyakıtlar

Her türlü yenilenebilir kaynaktan elde edilen ve içten yanmalı motorlarda alternatif olarak kullanılabilen yakıtlar bu sınıfta yer almaktadır. Şekil 2.1’de biyokütleden elde edilen alternatif motor yakıtları üretim şeması gösterilmiştir. Biyoyakıtlar, içten yanmalı motorlarda doğrudan kullanılabilen yenilenebilir, sınırsız kaynağa sahip, çevreci ürünlerdir.



Şekil 2.1 : Biyokütle kaynağından elde edilen alternatif yakıtlar [20].

2.2.1. Biyohidrojen

Suyun elektrolizi ile elde edilip, yanma reaksiyonu sonucu yeniden suya dönüşme özelliğine sahip olan hidrojen, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır [28]. Atomik sembolü “H” olan hidrojen, atom sayısı 1 ve atom ağırlığı 1.00797 olan en ufak moleküllü elementtir. Tüm canlıların bir parçası olman ve dünyanın yüzde %70 ini kaplayan suyun yapısında bulunan hidrojen, evrende en çok var olan elementtir. Bununla birlikte aşırı hafifliği nedeniyle atmosfere yükselerek orada serbest kalmaktadır. Bu nedenle yeryüzünde neredeyse hiç serbest hidrojen yoktur. Görünmez, tatsız, kokusuz ve yanıcı bir gaz olan hidrojenin tamamı diğer maddelerdeki elementlerle (çoğunlukla oksijen veya karbon) birleşiktir. Hidrojen yanma sonucu oldukça yüksek miktarda ısı açığa çıkarır ve zehirli etkisi bulunmaz. Birim kütledeki benzinle kıyaslandığında iki buçuk kat daha fazla enerji içeriğine sahip olan hidrojen, yanma sonucu ürün olarak da su buharı açığa çıkardığından, son derece çevreci bir yakıttır. Yeterince soğutulursa gaz halinde olan hidrojen sıvılaştırılabilir ve bu şekilde depolanabilir [21,22].

Hidrojeni diğer birincil enerji kaynakları ile mukayese ettiğimizde, tükenmez bir enerji kaynağı sunması, ekonomik üretime sahip olması, yenilenebilir olması, kirletici emisyonlarının en düşük olması, birincil enerji kaynaklarından bağımsız olması ve yakıt özelliklerinin ideal olması sebebiyle taşıtlar için iyi bir alternatif yakıttır [23].

Doğada serbest halde bulunmayan hidrojen çeşitli bileşiklerden birçok değişik yöntemle ayrıştırılarak elde edilebilir. Hidrojen; güneş, rüzgâr, su ve biokütle enerjisi gibi değişik yenilenebilir kaynaklardan faydalanılarak ya da fosil yakıtlara değişik teknikler uygulanarak üretilebilmektedir. Serbest hidrojen elde etmek için artık gazların saflaştırılması, buhar iyileştirme, radyoliz, fotokimyasal süreçler, termokimyasal süreçler ve elektroliz gibi değişik üretim yöntemleri kullanılmaktadır [19]. Bunlar arasında günümüzde yaygın olarak kullanılan kaynak doğalgazdır. Fakat doğalgazın fosil kökenli olması ve tükenecek bir kaynak olması, hidrojen üretiminde sınırsız kaynağa sahip olan suyun kullanılmasını ön plana çıkarmaktadır. Bu yöntem günümüzde daha pahalı olmasına rağmen, geliştirilecek teknolojiler ile birlikte maliyet avantajı sağlanması durumunda paha biçilmez bir yakıt olacağı kaçınılmazdır [24]. Tablo 2.1’de Hidrojenin yakıt özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1 : Hidrojenin yakıt özellikleri [25].

Özellikler	Hidrojen
Kimyasal Denklemi	H ₂
Molekül ağırlığı	2.016
Yoğunluk (kg/m ³)	0.0838
C/H oranı	0
Isıl değer (MJ/kg)	119.90(H _u) – 141.9(H ₀)
Stokiyometrik H/Y karışım oranı	29,53
Tutuşabilme sınırı (%)	4.0 – 75.0
Hava fazlalık katsayısı	0.15 – 4.35
Buharlaştırma ısısı (MJ/kg)	0.447
Laminer alev hızı (m/s)	2.91
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°K)	858
Difüzyon katsayısı (cm ² /s)	0.61
Kaynama noktası (°K)	20.36
Kritik Sıcaklık	94
Kritik Basınç	12,84
Kritik Yoğunluk	31,40

Hidrojen içten yanmalı motorlarda kullanılması ile fosil kökenli yakıtlara karşı birçok önemli üstünlük sağlamaktadır. Hidrojen, geleneksel yakıtlar içerisinde birim kütle referans alındığında en yüksek enerji içeriğine sahip yakıttır. Alt ısıl değeri 119,9 MJ/kg'dır. Bunun yanında yüksek kendi kendine tutuşma sıcaklığı ve alev hızı, geniş tutuşma sınırı, düşük ateşleme enerjisi gereksinimi, düşük yoğunluğun sebep olduğu yüksek difüzyon katsayısı, yüksek termik verim, yüksek oktan sayısı ve kirletici gazların azlığı gibi birçok üstün özelliği sebebiyle oldukça ilgi çekici bir alternatif yakıt konumundadır. Hidrojen saf olarak içten yanmalı motorlarda kullanılabilirle beraber farklı karışım yöntemleri ile çift yakıt olarak da kullanılabilirle [26,27].

Hidrojen, motorlarda kullanılan fosil kökenli yakıtlarla karşılaştırıldığında sıvı ve gaz fazda 10 kat daha hafif bir yapıya sahiptir. Hidrojenin bu özelliği tutuşma sınırının çok geniş aralıklarda olmasını sağlamaktadır. Hava içerisinde %4 ile %75 oranında bulunması durumunda tutuşma gerçekleşebilirle [28]. Bu durum hidrojenin çok

fakir karışımlarda ve çok zengin karışımlarda çalışabilmesine olanak sunmaktadır. Benzin yakıtı ile tutuşma sağlanabilmesi için 0.3-1.7 hava fazlalım katsayısı gerekiyken bu değer hidrojen yakıtında 0.14-4.35 gibi geniş bir aralıktadır. Bununla birlikte hidrojen hava karışımının tutuşabilmesi için gerekli olan minimum ateşleme enerjisi de diğer yakıtlar arasında en düşük değerdedir. Bu durum otto motorlarda ilk hareket kolaylığı sağlarken, yanma olayının istenilenden önce başlaması ve geri tutuşma gibi problemler oluşturmaktadır [27,25].

İçten yanmalı motorlarda hidrojenin kullanımı için 3 temel tasarım şu şekildedir;

- Hidrojen hava karışımı, değişmeyen bir oranda emme kanalına verilerek, motor gücü bu karışım miktarını değiştirmek suretiyle ayarlanmaktadır.
- İkinci yöntemde hidrojen gazı silindir içerisine yüksek basınçlı olarak enjekte edilirken hava emme manifoldundan silindir içerisine alınır ve hava/yakıt karışımı silindir içerisinde oluşturulur. Bu yöntemde güç hidrojen basıncı değiştirilerek ayarlanır.
- Üçüncü yöntemde, ikinci yönteme benzer olarak hava ve hidrojen ayrı noktalardan gelmek suretiyle silindir içerisinde karıştırılır fakat hidrojen düşük basınçla enjekte edilir. Burada güç enjekte edilen hidrojenin miktarı ile ayarlanır [28,21].

Hidrojenin motorlarda tek yakıt olarak kullanılması bir takım problemler oluşturmakta ve bu problemler motor üzerinde bazı değişiklikler yapılarak aşılabilir.

Hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanımı sonucu oluşan tek kirletici gaz, azot oksitlerdir (NO_x). Bünyesinde karbon atomu bulundurmadığından HC, CO ve CO₂ gibi kirleticileri oluşturmaz. Azot oksitler hidrojenin yanması ile daha yüksek sıcaklıklara ulaşıldığından bir miktar artmaktadır. Öte yandan geniş hava fazlalık katsayısı ile çalıştığından, silindir içinde fakir karış oluşturularak yanma sıcaklığı düşürülebilir ve NO_x emisyonları da azaltılabilir. Bu durum bir miktar güç kaybını da beraberinde getirecektir. Hidrojen yüksek yanma hızına (alev hızı) sahip olduğundan ısı kayıpları azalmakta, ideale yakın bir yanma oluşmaktadır. Bu durum termik verimi arttırmakta ve hidrojenin hızlı yanması ile is oluşmamaktadır [26].

2.2.2. Biyogaz

Biyogaz, genel olarak elektrik enerjisi jeneratörlerine güç vermek için kullanılan, bununla birlikte içten yanmalı motorlarda kullanım olasılığı nedeniyle ulaşım araçları için ana güç kaynağı olan önemli bir yakıt türüdür. Bu kullanım olasılığı, içten yanmalı motorlar için uygun olan yakıt özellikleri ile doğrulanmaktadır. Bu sebeple biyogaz, petrol yakıtlarına iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Biyokütle kaynaklı yakıt olan biyogaz, içten yanmalı motorlarda, daha iyi bir şekilde karışma kabiliyeti ve temiz yanma doğası nedeniyle kullanılabilir [38].

Biyogaz, organik içerikli her türlü maddenin (gıda endüstrisi, yağ endüstrisi, hayvansal ve zirai atıklar, organik çöpler, atık su arıtma çamuru ve çeşitli bitki silajlarının) oksijensiz ortamda, fermantasyon (çürütme) sonucu elde edilen ve içerdiği gazların konsantrasyonu elde edildiği kaynağa göre değişebilen, havadan hafif, parlak ve mavi bir alevle yanan gazlar karışımıdır. Bu karışım içerisindeki bileşenleri ağırlıklı olarak CH_4 ve CO_2 oluşturmakta, bununla birlikte az miktarda nitrojen, hidrojen ve diğer gazlar bulunmaktadır [29]. Tablo 2.2’de biyogazın içerisinde bulunan bileşenler gösterilmiştir. Biyogaz ilk elde edildiğinde içerisinde birçok kimyasal bileşen bulundurmaktadır. Bu bileşenler Tablo 2.2’de gösterildiği gibi %50-70 metan (CH_4), %30-40 karbondioksit (CO_2), %5-8 Hidrojen (H_2), %1-2 Azot (N_2), kükürt miktarına bağlı olarak hidrojen sülfür (H_2S) ve düşük miktarda su buharından oluşmaktadır. Biyogazın içeriği, üretim işleminde kullanılan ürüne göre değişiklik gösterebilmektedir.

Tablo 2.2 : Biyogaz bileşenleri [38].

Bileşen	Sembol	% İçerik
Metan	CH_4	50 -70
Karbondioksit	CO_2	30 - 40
Hidrojen	H_2	5 – 10
Nitrojen	N_2	1 – 2
Su buharı	H_2O	0.3
Hidrojen sülfür	H_2S	Çok düşük

Biyogazın kullanımı yaygın olan ülkeler, her türlü organik atıkları biyogaz üretim tesislerinde enerji kaynağına dönüştürmekte ve bu sayede hem atıklarından kurtulmakta hem de enerji elde etmektedirler. Biyogaz elde etmesi oldukça kolay bir yakıttır [30]. Tüplerde sıkıştırılmış halde depolandığı takdirde, sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve sıvılaştırılmış petrol gazına (LPG) alternatif olarak kullanılabilir.

Biyogazın sahip olduğu yakıt özellikleri içerisinde bulundurduğu farklı gazların kompozisyonu ile değişmektedir. Genel olarak %50-60 CH₄ ve %30-40 CO₂ bulunduran biyogaz için fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 2.3’de gösterildiği gibidir. Biyogazın enerji miktarını büyük oranda içerisinde bulunan karbondioksit gazı belirlemektedir. Karbondioksit gazının azalmasıyla birlikte biyogazın enerji içeriği artmaktadır.

Tablo 2.3 : Biyogazın özellikleri [31].

Özellikler	Biyogaz	Metan	Benzin	Motorin
Kimyasal formülü	%60 CH ₄ + %40 CO ₂	CH ₄	C ₈ H ₁₈	C ₁₂ H ₂₄
Yoğunluk (kg/m ³)	1.2	0.83	750	850
Alt ısı değeri (kJ/kg)	18000	57500	43000	42500
Tutuşma sınırı (%)	5 – 15	5 – 17	0.6 – 0.8	0.6 – 0.85
Tutuşma sıcaklığı (°C)	650	650	246	210
H/Y oranı	10.2	17	14.8	15.5
Oktan sayısı	130	130	92	-
Setan sayısı	-	-	-	55

Biyogazın yoğunluğu ve ısı değeri CO₂ değişiminden oldukça etkilenmektedir. Karbondioksit miktarının artması ile birlikte yoğunluk artarken ısı değeri azalmaktadır. Yakıtın kendi kendine tutuşma sınırını belirleyen tutuşma sıcaklığı motorin yakıtından yüksek olduğu için, bu yakıtın dizel motorlarda kullanılabilmesi için pilot püskürtme uygulamasına ya da dışarıdan yanma odasına enerji verilmesine ihtiyaç duyulmaktadır [31]. Bununla birlikte yüksek oktan sayısına sahip olduğundan buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımını açısından avantaj sağlamaktadır.

Biyogazın ısı değeri büyük ölçüde içerisindeki metan gazından ve bir miktar hidrojen gazından sağlanmaktadır. Verimli bir alternatif motor yakıtı olarak kullanılabilmesi için

içeriğindeki metan gazının %50 üzerinde olması gerekmektedir. Yüksek vuruntu direnci sebebiyle sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda çift yakıtlı olarak kullanılabilir. Çift yakıt uygulamasında biyogaz, emme kanalına veya silindir içerisine püskürtülerek silindir dışında veya silindir içinde biyogaz-hava karışımı sağlanabilir. Biyogaz hava karışımını tutuşturmak için dizel yakıtı sıkıştırma sonuna doğru püskürtülür. Bu uygulamada tutuşmanın başlaması için normalde püskürtülen dizel yakıtın %10-20 kadarı yeterli olmaktadır [30,32].

Biyogazın taşıtlarda daha verimli bir yakıt olarak kullanılması amacıyla saflaştırılarak (CO₂'den arındırma işlemi) içerisindeki metan oranı %96-97 seviyelerine çıkartılabilir. Bunun için çeşitli yöntemler mevcuttur. Biyogaz içerisindeki metan oranı %97 olan 1m³ yakıt yaklaşık 1 litre benzin eşdeğeridir [33].

2.2.3. Biyodizel

Dünyada artan taşıt sayısına bağlı olarak artan akaryakıt ihtiyaçlarını karşılamada dışa olan bağımlılığı azaltarak, sürdürülebilir enerji arzı ve ekonomik bir büyüme için kesintisiz ve yerli enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde benzinli ve dizel araçlarda kullanılan fosil kökenli sıvı yakıtlara alternatif olarak biyoetanol ve biyodizel yakıtları ön plana çıkmaktadır. Biyoetanoltanol, benzinli motorlarda, biyodizel ise dizel motorlarda çok büyük modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilen fosil olmayan ve yenilenebilir kaynaklı alternatif yakıtlardır [34].

Biyodizel, çeşitli biyolojik kaynaklardan elde edilen motorin eşdeğeri bir biyoyakıttır. Yenilenebilir biyolojik kaynaklardan elde edilen çeşitli ester tabanlı ve oksijenli yakıtların ortak adıdır. Teknik açıdan biyodizel; bitkisel yağlı tohumlardan, artık kızartma yağlarından veya hayvansal yağlardan türetilen yağ asitlerinin bir katalizör eşliğinde basit alkoller (metanol, etanol) ile belirli bir sıcaklıkta reaksiyona girmesi sonucu elde edilen ve dizel motor yakıtı olarak kullanılabilen mono-alkil esterleri olarak tanımlanmaktadır. Biyodizelin oksijen içerikli olması ve daha yüksek setan sayısına sahip olması, motorin yakıtından üstün tutan başlıca özellikleridir [35].

Biyodizelin dizel motorlarda doğrudan kullanımı veya belirli oranlarda motorin ile karıştırılarak kullanımı, hem çevreye verilen zararlı etkileri azaltacak hem de var olan enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlayacaktır.

Genel olarak bakıldığında biyodizel yakıtı;

- Organik yağların esterleşme işlemi ile elde edilen ve EN-14214 standartlarına uygun olan bir alkil esteridir.
- Metanol, etanol vb. alkoller ile bitkisel yağların reaksiyonu sonucu biyodizel üretilirken, yağ içerisindeki gliserin dışarı atılır.
- Çoğunlukla bitkisel yağlar kullanılır.
- Doğrudan karbondioksit salınımını azaltmaz fakat yağ bitkisinin yetişmesi sırasında tükettiği karbondioksit ile bu salınım dengelenir.
- Motorda herhangi bir modifikasyon gerektirmeden kullanılabilir. Bununla birlikte birtakım değişiklikler ile daha verimli kullanılması da sağlanabilir [29].

Biyodizel üretiminde hammadde bolluğu ve işlem kolaylığı sebebiyle çoğunluklu olarak bitkisel yağlar tercih edilmektedir. Biyodizel üretiminde soya, kanola, ayçiçeği, aspir, yerfıstığı ve artık kızartma yağları gibi çeşitli bitkisel yağlar kullanılmakta, bununla birlikte farklı kaynaklar üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Biyodizel maliyetinin dizel yakıtından fazla olması, uygun maliyetli ve verimli hammadde arayışlarını gerekli kılmaktadır.

Bölüm 3’de biyodizel konusu daha ayrıntılı olarak sunulmuştur.

2.2.4. Alkoller

Alkoller fosil yakıtlara bir takım ısıl işlemler uygulanarak veya doğalgazın distilasyonu ile üretilenlikle birlikte, biyokütle enerjisinin verimli bir dönüşümü olarak da elde edilmektedir. Biyolojik kaynaklardan elde edildiği takdirde fosil yakıtlara alternatif olarak içten yanmalı motorlarda yenilenebilir kaynaklı ve çevreci bir yakıt olarak kullanılabilir. Alkoller, tarımsal ürünler ve yenilenebilir biyolojik kaynakların fermantasyonu ile elde edilebilmektedir. Alkol üretiminde yaygın olarak pirinç, patates, arpa gibi nişastalı bitkiler ve atıkları kullanılmaktadır. Bununla birlikte üzüm ve böğürtlen gibi meyveler de alkol üretiminde kaynak olarak kullanılabilir. Bu sebeple tarım sektörü gelişmiş olan Amerika ve Brezilya gibi ülkelerde alkollerin alternatif yakıt olarak kullanımı her geçen gün artmaktadır [36].

Alkoller $C_nH_{2n+1}-OH$ genel formülü ile gösterilen, renksiz ve keskin kokuya sahip sıvı kimyasallardır. Bir bileşimin alkol olarak tanımlanabilmesi için karbon atomuna sadece bir OH grubu bağlı olmalıdır. Gıda, kozmetik, temizlik ve boya sanayi gibi çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. İçten yanmalı motorlarda saf halde veya motor yakıtı ile belirli oranlarda harmanlanarak kullanılabilir. İçten yanmalı motorlarda başta etil alkol (C_2H_5OH) olmak üzere metil alkol (CH_3OH) ve bütil alkol (C_4H_9OH) yaygın olarak kullanılan alkol yakıtlardır [37]. Tablo 2.4’de bazı alkollerin yakıt özellikleri benzin ve dizel yakıtları ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Alkoller içerisinde yüksek oranda oksijen bulundurması sebebiyle ısı değeri geleneksel sıvı yakıtlardan daha düşüktür. Fakat alkoller içerisindeki oksijenin varlığı silindir içinde yanmanın daha temiz ve verimli gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu da egzoz emisyonları yönünden olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Alkollerin oksijen içeriğinin yanı sıra düşük yoğunluk ve viskozitesi sayesinde yanma verimi iyileşmekte, daha verimli ve temiz bir yanma gerçekleşmektedir. Yanma hızının artması sıkıştırma oranının artırılmasına imkân tanımakta ve motor performansını yükseltici etkide bulunabilmektedir [36].

Tablo 2.4 : Bazı alkollerin yakıt özellikleri [36].

Özellikler	Metanol	Etanol	Bütanol
Kimyasal formül	CH_3OH	C_2H_5OH	C_4H_9OH
Mol kütlesi	32,04	46,06	74,12
Karbon/Hidrojen oranı	0,25	0,333	4,8
Yoğunluk (kg/m^3)	796	788	811
Kinematik Viskozite (mm^2/s 40°C)	0,64	1,52	2,55
Alt ısı değeri (MJ/kg)	20,11	26,9	33
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	470	425	390
Stokiyometrik H/Y karışım oranı	6,45	9	11,2
Oktan sayısı	88,6	89,7	78
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	1200	960	584
Donma noktası (°C)	-97,8	-114,3	-89,2
Kaynama noktası (°C)	64,5	78,3	117,2

BÖLÜM 3. YAKIT OLARAK BİYODİZEL VE PENTANOL

3.1. Bitkisel Yağlar ve Biyodizelin Tarihsel Gelişimi

Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılması, dizel motorunun icadına kadar dayanmaktadır. Ünlü Alman mucit Rudolph Diesel, 1893 yılında “rasyonel bir ısı motorunun teorisi ve inşası” adlı makalesini yayınladı ve aynı yıl dizel motorunu icat etti. Bu motoru 1900 yılında Paris Fuarı'nda yer fıstığı yağı ile çalıştırdı ve dizel motorunun çeşitli bitkisel yağlarla çalışabileceğini göstermiş oldu. Motor sıradan dizel yakıtı ile çalıştırılmak üzere tasarlanmasına rağmen, herhangi bir modifikasyona gerek olmadan bitkisel yağ ile çalıştırıldı. R.Diesel 1911 yılında bitkisel yağların içten yanmalı motorlarda klasik sıvı yakıtlar yerine kullanılabilir olduğunu ve bu kullanımın yaygınlaşması ile ülkelerin tarımsal anlamda da önemli gelişme gösterebileceğini ifade etmiştir. 1912’de “Şu anda bitkisel ve hayvansal yağların Dizel motorlara kullanımı önemsiz görünüyorsa da zamanla sıvı yakıtlara ve katran yağına eşit bir öneme sahip olacaktır” demiştir [35,39].

1916 yılında Buenos Aires Üniversitesi'nden Profesör R.J. Gutierrez, ilk Güney Amerika Mühendislik Kongresi’nde, “İçten Yanmalı Motorlarda Bitkisel Yağların Kullanımı” başlıklı bir bildiri yayınlamış ve bu bildiride; Arjantin’e ithal edilen ilk dizel motorunda yakıt olarak hint yağı kullandığını belirterek sonuçlarını sunmuştur [40]. 1921 yılında Kobayashi soya yağı ve Hindistancevizi yağını motor yakıtı olarak bir dizel motorunda kullanmıştır. Biyodizel üretimi üzerine yapılan ilk akademik çalışma ise Walton tarafından yapılan “Bitkisel yağların olanakları” başlıklı çalışmadır. Daha sonra yapılan çalışmalar sonucunda ilk patent başvurusu Belçika’da 422.877 nolu patent sayısı ile Chavanne’ye aittir. 1937 yılında Chavanne ilk biyodizel patentini alan araştırmacı olmuştur. Bitkisel yağlar ayrıca II. Dünya Savaşı sırasında acil yakıt olarak stratejik olarak kullanılmıştır [40,41].

İkinci dünya savaşının ardından petrol endüstrisinin aşırı gelişimi sonucu petrol kaynaklı sıvı yakıtın maliyetinin oldukça düşmesi, bitkisel yağlar üzerindeki araştırmaları sekteye uğratmıştır. Fakat 1970'li yıllarda patlak veren petrol krizlerinin etkisiyle yeniden alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmalar, bitkisel yağların dizel motorlar için alternatif yakıt olarak daha da çok önem kazanmasını sağlamıştır [42,43].

1973 yılında yaşanan şokun ardından, tekrar yaşanabilecek petrol krizlerine karşı hazırlıklı olma, yerli kaynaklardan faydalanma, döviz tasarrufu sağlama, tarım potansiyelini artırma gibi düşünceler göz önüne alınarak, bitkisel yağların ve bitkisel yağlardan türetilen biyodizelin alternatif bir motor yakıtı olarak kullanılması düşüncesi son derece önemli bir konu haline gelmiştir. Bu bağlamda A.B.D, Brezilya, Avusturya, Almanya, İtalya, İsviçre, Fransa gibi ülkelerde çok sayıda çalışma ve uygulama yapılarak bitkisel yağların acil durumlarda ve krizlerde alternatif dizel yakıtı olarak kullanılabilmesini göstermiştir [44]. Tablo 3.1’de bazı bitkisel yağların yakıt özellikleri verilmiştir. Geçmişte yapılan araştırmalar sonucunda bitkisel yağların dizel motorlarda kısa vadede alternatif yakıt olarak doğrudan ya da fosil yakıtlarla karıştırılarak kullanılabilmesini, fakat uzun süreli kullanımlarda bazı motor sorunlarına yol açabileceğini göstermektedir.

Tablo 3.1 : Bazı bitkisel yağların yakıt özellikleri [45].

Bitkisel yağlar	Viskozite (mm ² /s)	Yoğululuk (kg/l)	Isıl değer (MJ/kg)	Parlama noktası	Asit değeri (mg KOH/g)
Kanola yağı	35,1	0,91	39,7	246	2,92
Mısır yağı	34,9	0,91	39,5	277	-
Yerfıstığı yağı	22,7	0,90	39,8	271	3
Ayçiçeği yağı	32,6	0,92	39,6	274	-
Soya Yağı	32,9	0,91	39,6	254	0,2
Pamuk yağı	18,2	0,91	39,5	234	-
Palm yağı	39,6	0,92	33,5	267	0,1
Dizel yakıtı	2,9	0,86	42,64	55	-

3.2. Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel

Biyodizel kavramı ilk olarak 1992 yılında soya yağının alternatif yakıt haline getirilmesi konusundaki çalışmalar neticesinde Amerika Ulusal Soydizel Geliştirme Kuruluşu (NSDB) tarafından ifade edilmiştir [46]. Biyodizel terimi, bitkisel yağlardan veya hayvansal yağlardan türetilen uzun zincirli yağ asitlerinin mono-alkil esterlerinden oluşan, Amerika biyodizel standardı ASTM D6751'de B100 olarak, Avrupa biyodizel Standardı EN-14214'de ise yağ asidi metil esterleri (YAME) olarak adlandırılan bir dizel motor yakıtı şeklinde tanımlanmaktadır [47].

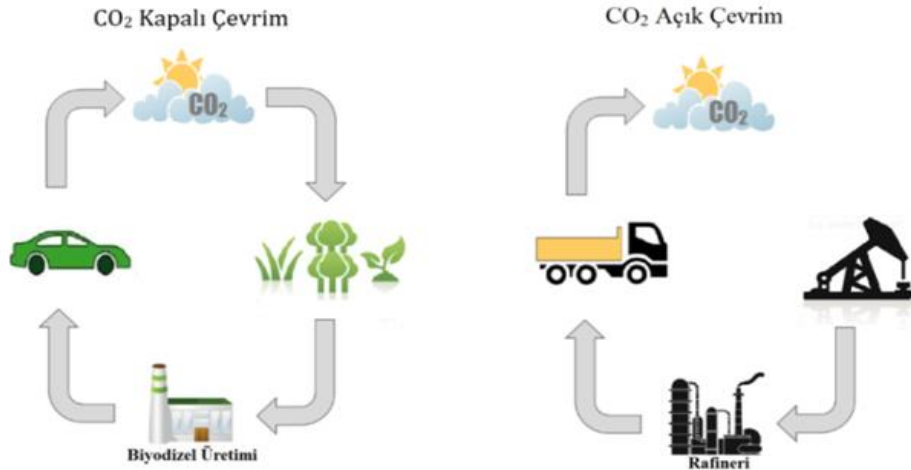
ASTM'ye göre, biyolojik kökenli farklı kaynaklardan elde edilen uzun zincir yapısına sahip yağ asitlerinin, bir katalizör varlığında alkoller ile transesterifikasyon reaksiyonuna sokulması ile üretilen mono-alkil esterleri, biyodizel olarak adlandırılır. Yağ asidi alkil esterlerinin (YAAE) üretiminde yemeklik yağlar, yemeklik olmayanlar, hayvansal yağlar, atık yağlar veya alg (yosun) yağları hammadde olarak kullanılabilir. Maliyet avantajından dolayı çoğu zaman, alkol olarak metanol, katalizör madde olarak ise soydum hidroksit (NaOH) veya potasyum hidroksit (KOH) kullanılır. Avrupa Akademileri Bilim Danışma Konseyi'ne (EASAC) göre biyodizel, hammadde cinsine göre dört kuşakta sınıflandırılmaktadır. Yemeklik yağlardan üretilen biyodizel birinci nesil, yemeklik olmayan yağlar ikinci nesil, atık yağlar üçüncü nesil ve sentetik biyoloji teknolojisini içeren yağlar dördüncü nesil olarak sınıflandırılır [48].

Biyodizel, çeşitli biyolojik kaynaklardan elde edilen dizel eşdeğeri bir yakıttır. Yenilenebilir biyolojik kaynaklardan elde edilen çeşitli ester tabanlı ve oksijenli yakıtların ortak adıdır. Teknik açıdan biyodizel; bitkisel yağlı tohumlardan, artık kızartma yağlarından veya hayvansal yağlardan türetilen yağ asitlerinin bir katalizör eşliğinde basit alkoller ile reaksiyona sokulması sonucu elde edilen ve dizel motor yakıtı olarak kullanılabilen mono-alkil esterleri olarak tanımlanmaktadır. Biyodizel üretiminde genel olarak bitkisel yağlar kullanılmaktadır. Bugüne kadar yerfıstığı, kolza, aspir, ayçiçeği, soya fasulyesi, mısır, hurma, hindistancevizi, pamuk ve keten tohumu gibi birçok bitkisel yağ kullanılmıştır [39].

Biyodizel, biyolojik kaynaklardan elde edilmesi sebebiyle, yüksek çevre kirliliği yaratan dizel yakıtına kıyasla daha çevreci bir yakıttır. Oksijen içerikli, toksik olmayan, kükürt içermeyen, biyolojik olarak parçalanabilen yenilenebilir bir yakıttır. Dizel motorlarda

önemli motor modifikasyonu olmadan, hatta hiçbir modifikasyon olmadan saf olarak veya dizel yakıtla harmanlanarak kullanılabilir [49].

Biyodizel, dizel yakıtı yerine kullanıldığında, sera gazı emisyonları büyük ölçüde azalmaktadır. Biyodizel üretme amacıyla yağ bitkilerinin tarımının yapılması, biyodizelin yanması sonucu çevreye salınan karbondioksit (CO₂) emisyonlarının geri toplanmasını sağlayacaktır (Şekil 3.1). Yağlı tohum bitkileri büyürken sapsarı, kökleri ve yapraklarını oluşturmak için havadan karbondioksit alırlar. Yağ, tohumlardan çıkarıldıktan sonra, biyodizel haline dönüştürülür. Biyodizel yakıldığında, CO₂ ve diğer emisyonlar serbest bırakılır ve atmosfere geri döner. Fakat bu salınan CO₂ havadaki net CO₂ konsantrasyonuna katkıda bulunmaz. Çünkü bir sonraki yağlı tohum ürünü büyüdükçe CO₂ tekrar kullanılacaktır. Şekil 3.1’de fosil yakıtların ve biyodizel yakıtının araçlarda kullanımı sonucu oluşan açık ve kapalı karbon döngüsü gösterilmiştir [50].



Şekil 3.1 : Biyodizel ve dizel yakıtları için karbondioksit çevrimi yaşam döngüsü.

Yaşanan çevre sorunları, yüksek enerji fiyatları, sürdürülebilir enerji arzı ve petrol kaynaklarının gün geçtikçe azalması konusundaki kaygılar, yenilenebilir ve alternatif yakıt kaynakları üzerindeki araştırmaların artmasında başlıca etken olmuştur. Biyodizel, çevre dostu olması, yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi ve dizel motorlu araçlarda herhangi bir ek sisteme ihtiyaç duyulmadan kullanılabilmesi sebebiyle tüm dünyada takdir edilmekte ve fazlaca dikkat çekmektedir. Yapısal özellikleri itibarıyla (kükürt içeriği, aromatik bileşikler, biyobozunurluk vb.) daha çevreci olan biyodizel, yüksek setan sayısı, yağlayıcı özelliği ve oksijen içeriğine sahip olması bakımından dizel

yakıttan daha üstündür. Tablo 3.2’de biyodizel ve motorin yakıtlarının sahip olduğu bazı özellikler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 3.2 : Biyodizel ve motorinin yakıt olarak karşılaştırılması [51].

Özellikler	Biyodizel	Motorin
Oksijen içeriği	%11’den fazla	Yok
Yağlayıcılık özelliği	Yüksek	Çok düşük
Biyolojik ayrışabilirlik	Kolayca ayrışabilir	Kötü
Toksik Etki	Gerçekte toksik değil	Yüksek toksik
Aromatik içeriği	Aromatik içermez	%18 - %22
Kükürt içeriği	Yok	%0.05
Parlama Noktası	300-400 °F	125 °F
Setan Sayısı	51 – 62	44 – 49
Dökülme zararı	Yok	Yüksek
Malzeme uyumu	Kauçuk hariç doğal malzemelerle az uyuşabilir	Kauçuk hariç doğal malzemelerde etkili değildir
Taşınması riski	Tehlike riski düşüktür	Tehlikelidir
Elde edildiği kaynak	Yenilenebilir	Yenilenemez
Kaynak çeşitliliği	Çok geniş	Sınırlı
Üretim işlemleri	Kimyasal reaksiyonlar	Reaksiyon + Parçalanma
Alternatif Yakıt	Evet	Hayır

Geleneksel dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında biyodizelin genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Yenilenebilir hammaddelerden elde edilmektedir.
- Çevre dostu bir yakıt olup, küresel ısınmaya katkı sağlamadığı kabul edilmektedir.
- Hayvansal, bitkisel ve artık yağlardan elde edilebilmektedir.
- Kükürt ve kanserojen madde içermez.
- Hızlı ve kolay bozunabilmektedir.

- Parlama noktasının yüksek oluşu biyodizeli güvenli bir yakıt haline getirmektedir.
- Yağlayıcılık özelliği vardır.
- Dizel motorlarında herhangi bir modifikasyona gidilmeden kullanılabilir.
- Toksik etkiye sahip değildir.
- Stratejik anlamda büyük özelliklere sahiptir.
- Aromatik bileşikler, kükürt ve ağır metaller içermez [52].

3.3. Biyodizelin Çeşitleri ve Standartları

Biyodizel, dizel motorlarda herhangi bir modifikasyona gerek duyulmaksızın ya da bazı ufak modifikasyonlarla, saf olarak veya dizel yakıtı ile belirli oranlarda harmanlanarak kullanılabilir. Literatürde saf biyodizel B100 olarak tanımlanmaktadır. “B” ifadesi biyodizel ismini, sonrasında gelen rakam ise dizel yakıtıyla yüzdelik dilim üzerinden hangi oranda karıştırıldığını ifade etmektedir. Aşağıda biyodizel ile hazırlanan bazı karışım oranları ve bu oranların içerdiği yakıt miktarları verilmiştir.

- B2: %2 biyodizel + %98 dizel yakıtı
- B5: %5 biyodizel + %95 dizel yakıtı
- B20: %20 biyodizel + % 80 dizel yakıtı
- B50: %50 biyodizel + % 50 dizel yakıtı
- B100: %100 biyodizel

Bunlar arasında B20 en popüler olanıdır ve daha yaygın kullanılır. Bunun temelinde maliyet avantajı, emisyon değerleri, soğuk hava performansı, malzeme uyumluluğu ve çözücü olarak hareket etme kabiliyeti gibi nedenler yer almaktadır [50].

Üretilen biyodizelin motorin yakıtına alternatif olabilmesi için yakıt özelliklerinin ve kalitesinin motorin yakıtına yakın olması istenmektedir. Bu isteği karşılamak ve biyodizel olarak tanımlanan yakıtların bu tanıma uygunluğunu belirlemek için bazı standartlar belirlenmiştir. Amerika’da biyodizel standardı olarak Amerikan Biyodizel Yakıt Testleri ve Malzemeleri Derneği (ASTM) tarafından D-6751, Avrupa standardizasyon komitesi (CEN) tarafından EN-14214, Hindistan Standartları Bürosu (BIS) tarafından IS-15607, Çin Halk Cumhuriyeti Ulusal Standartları tarafından GB/T-

20828 standartları gibi daha birçok standart belirlenmiştir. Bunlar arasında ASTM D-6751 ve EN-14214 standartları en yaygın kullanılan standartlardır [53]. Tablo 3.3’de Amerika ve Avrupa’da kullanılan biyodizelin yakıt standartları verilmiştir.

Türkiye’de ise Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) tarafından oluşturulan EN 14214 ve EN 14213 sayılı standartlar temel alınarak;

- Eylül 2005’de “TS EN-14213 Isıtma Yakıtları Yağ Asidi Metil Esterleri (YAME) – Gerekler ve Deney Yöntemleri”
- Haziran 2009’da “TS EN-14214 Otomotiv Yakıtları, Yağ Asidi Metil Esterleri - Dizel Motorlar İçin Özellikler ve Deney Yöntemleri” isimli standartlar kabul edilmiş ve yürürlüğe girmiştir.
- Nisan 2019 tarihinde bu iki standart bir araya getirilerek “TS EN 14214:2012+A2 Sıvı petrol ürünleri - Dizel motorlarda ve ısıtma uygulamalarında kullanım için yağ asidi metil esterleri (FAME) - Gereksinimler ve test yöntemleri” isimli standart kabul edilmiştir.

Söz konusu standartlar Avrupa Birliği standartlarından direkt olarak alındığı için bazı uyum sorunları bulunmaktadır. Örneğin EN-14214 standartları kanoya biyodizeli için hazırlanmıştır ve yakıt özelliği sunmayan iyot değerini 120 ile sınırlandırmıştır. Bu özelliğin Amerika biyodizel standartlarında olmadığı Tablo 3.3’de görülmektedir. Buda ülkemiz topraklarında yetişen ve tarım bakanlığının teşvik ettiği bazı bitkilerin biyodizel hammaddesi olmasını engellemektedir. Bu sebepten ötürü mevcut standartların Türk tarımına uygun hale getirilmesi gerekmektedir [54].

Tablo 3.3’de Amerika (ASTM D6751) ve Avrupa Birliği (EN 14214) biyodizel standartları verilmiştir. İki standart karşılaştırmalı olarak ele alındığında bazı sınır noktaların farklı olduğu görülmektedir. Örneğin ASTM’nin istemiş olduğu viskozite değeri alt ve üst sınırlar bakımından daha esnektir. EN 14214’de viskozite değeri için üst limit 5 mm²/s olarak belirlenirken, ASTM’de 6 mm²/s olarak belirlenmiştir. Bu özellik yüksek seviyede doymuş yağ asitleri içeren yağlar (hayvansal ve artık kızartma yağları gibi) için son derece önem arz etmektedir. Bununla birlikte en büyük fark parlama noktası değerinde görülmektedir.

Tablo 3.3 : Avrupa Birliği EN 14214 ve Amerika ASTM D-6751 biyodizel standartları [55].

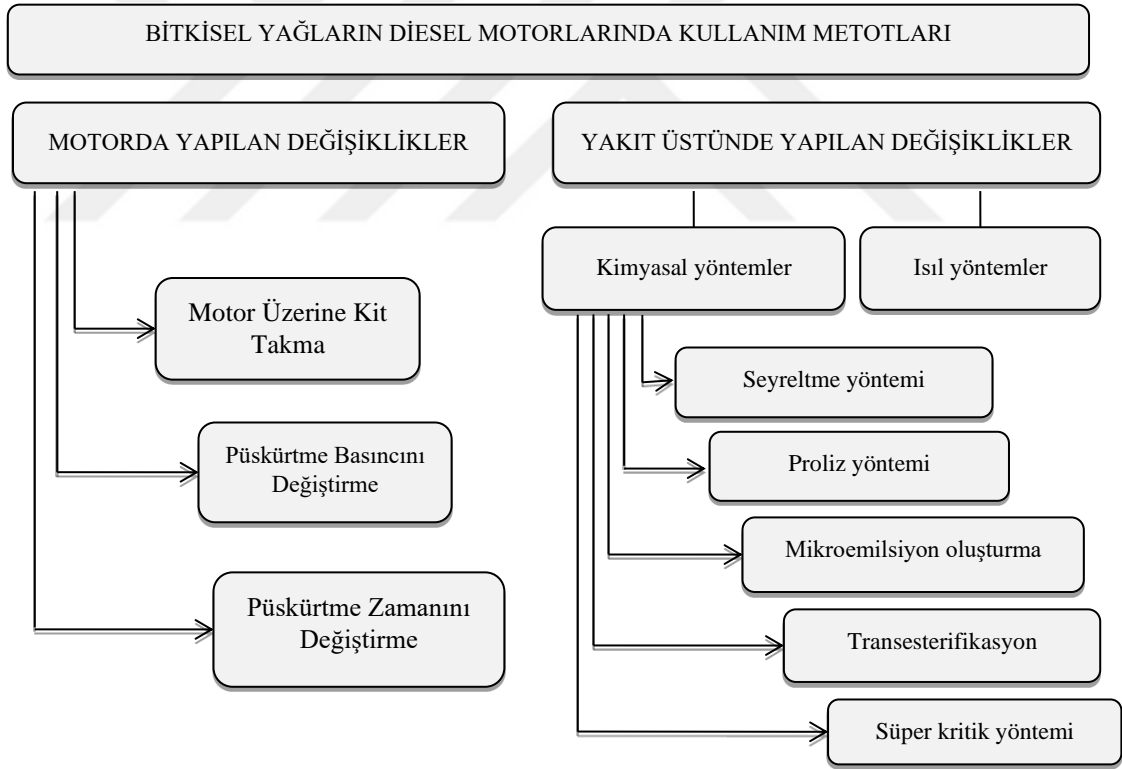
Özellikler	ASTM D6751	EN 14214
	Limit	Limit
Parlama noktası	93 °C min.	120 °C min.
Bulutlanma noktası	-15 ile -5	-
Akma noktası	-35 ile -15	-
Setan sayısı	47 min.	51 min.
Yoğunluk	880 min.	860 - 900
Kinematik viskozite	1,9 - 6	3,5 - 5
İyot sayısı	-	120 max.
Soğuk filtre tıkanma noktası	-8	-
Karbon kalıntısı	0,050 max.	0,30 max.
Sülfür	0,0015 max.	10,0 max.
Kayganlık	0,001 max.	-
Sülfütlenmiş kül içeriği	0,020 max.	0,02 max.
Su ve tortu	0,50 max. (%)	500 max. (mg/kg)
Serbest gliserin	0,020 max.	0,020 max.
Toplam gliserin	0,240 max.	0,25 max.
Toplam kirlenme	24max.	24 max.
Bakır şerit korozyonu	Sınıf 3 max.	Sınıf 1
Kaynama noktası	100 – 615	-

3.4. Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretim Yöntemleri

Bitkisel yağların içerdiği enerji miktarı (ısılı değer) fosil kökenli motorin yakıtı ile yaklaşık olarak aynı seviyelerdedir. Bu da bitkisel yağlara dizel motorlarda kullanım imkânı sağlamaktadır. Fakat bitkisel yağların uzun süreli olarak dizel motorlarında kullanımı bir takım motor problemine sebep olmaktadır. Özellikle motorin yakıtına kıyasla çok yüksek viskozite değerine sahip olması, yakıtın silindir içine püskürtülmesini ve atomizasyonunu olumsuz etkileyerek tam yanmanın kötüleşmesine

hatta gerçekleşmemesine neden olmaktadır. Bunun yanında enjektörlerde, piston segmanlarında ve motor yağında bazı olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bu problemler yakıt olarak bitkisel yağ kullanılan motorun verimini düşürmekte, bakım masraflarını artırmakta ve motorun kullanım ömrünü azaltmaktadır [42,51].

Enjektörleri olumsuz etkileyen ve yakıtın atomize olmasını kötüleştiren yüksek viskozite değeri, bitkisel yağların mevcut şekli ile dizel yakıt sisteminde kullanımını sınırlamaktadır. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için ya dizel motorda bazı değişiklikler yapılmalı ya da bitkisel yağların daha iyi yakıt özelliklerine sahip olması sağlanmalıdır. Yakıt özelliklerini iyileştirme adına yapılan çalışmalar daha çok yüksek viskozite değerinin düşürülmesine yönelik olmaktadır. Bu iyileştirmeler; seyreltme, piroliz, transesterifikasyon, mikroemülsiyon oluşturma ve süper kritik yöntemlerdir. Şekil 3.2’de bu yöntemler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Dizel motorlarda bitkisel yağların kullanım yöntemleri [56].

3.4.1. Seyreltme yöntemi

Seyreltme yöntemi, yüksek olan viskozite değerinin düşürülmesi için bitkisel yağlar ile motorin yakıtının belirli oranlarda karıştırılarak ya da bitkisel yağlara belirli oranlarda organik bileşikler ilave edilerek bitkisel yağın seyreltilmesi işlemidir. Viskozitenin düşük değerlere ulaşması için bitkisel yağ oranının da düşük olması gerekmektedir. Aynı zamanda oluşturulan yakıtın standart yakıt özelliklerinin bozulmaması için de yağ oranının düşük tutulması gerekmektedir. Maliyet ve performans parametreleri bakımından en iyi karışım oranı ortalama %10-20 oranında bitkisel yağ kullanımı ile sağlanmaktadır. Bu yöntemde en fazla tercih edilen bitkisel yağlar, soya, kolza, ayçiçeği, aspir ve yer fıstığı yağlarıdır [56,57].

3.4.2. Mikroemülsiyon yöntemi

Mikroemülsiyon oluşturma metodu bitkisel yağların viskozite değerini düşürmede kullanılan metotlardan biridir. Bu yöntemde amaç, yüksek viskoziteye sahip bitkisel yağların kısa zincirli alkoller ile (metanol, etanol, bütanol gibi) mikroemülsiyon oluşturması neticesinde viskozite değerinin düşürülmesi ve yakıtın püskürme özelliğinin iyileştirilmesidir. Termodinamik olarak kararlı ve birbiri içerisinde karışmayan iki sıvıyla bir veya daha fazla etkin maddenin bir araya gelmesi ile oluşan çok küçük tanecik çapına sahip (1-150nm) olan ve kendiliğinden oluşan sistemlerdir. Bu yakıtlar, içerisinde bulundurduğu alkollerin etkisi ile düşük setan sayısı ve ısıl değere sahip olmaktadır [54].

3.4.3. Proliz yöntemi

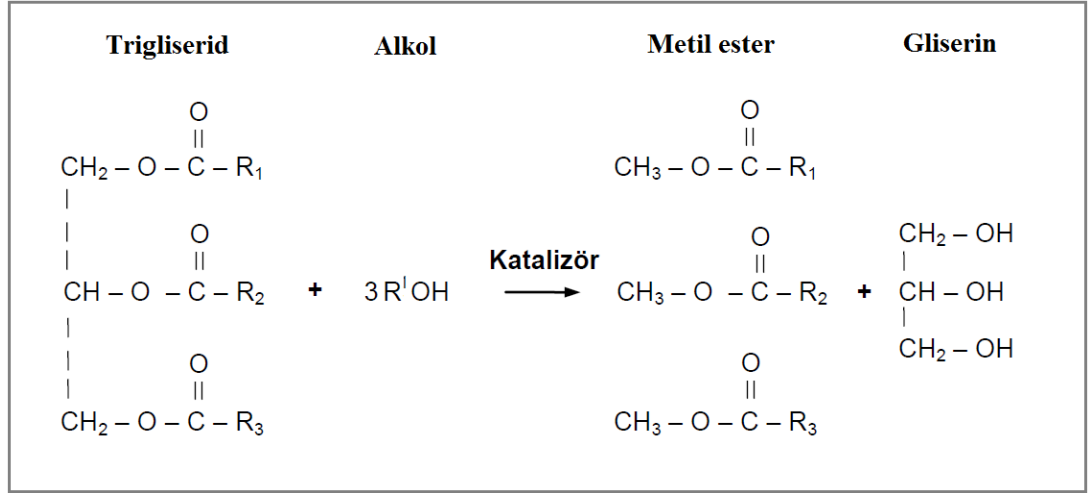
Piroliz veya kreaking olarak bilinen metot, yağ moleküllerinin yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak kimyasal bağlarının (C-C, C-H) parçalanması ve daha küçük moleküller oluşturması işlemidir. Bu yöntem sayesinde viskozite değeri önemli ölçüde düşürülmektedir. Piroliz, oksijensiz ortamda organik maddelere ısıl işlem uygulanması şeklinde de tanımlanabilir. Bu yöntem iki farklı şekilde yapılabilir. Bunlardan ilki bitkisel yağların kapalı bir kap içerisinde ısı etkisi ile parçalanması, ikincisi ise ASTM distilasyonu metodu ile ısıl parçalama işleminin uygulanmasıdır.

Proliz yöntemi kimyasal açıdan pek çok etkene bağlı olarak farklı reaksiyon çeşitleri ve ürünleri ortaya çıkarabilmesi bakımından zor bir işlemdir. Bunun yanında elde edilen ürün, içerisindeki oksijeni alındığı için fosil yakıtların kimyasına benzer bir yapı oluşturmaktadır. Bu da oksijen içerikli yakıtların çevreye sağladığı avantajlı durumu ortadan kaldırmış olur [57,58].

3.4.4. Transesterifikasyon yöntemi

Bitkisel yağların motorin yakıtına alternatif olarak kullanılabilmesi için yağlara uygulanan en önemli kimyasal yöntemdir. Transesterifikasyon yöntemi temel olarak bitkisel yağlar içerisinde bulunan gliserin ve yağ asitlerinin basit bir alkol ve katalizör yardımı ile yağ içerisinden uzaklaştırılması ve bu sayede viskozite değerinin düşürülmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Yağ moleküllerinin yaklaşık %20'si gliserinlerden oluşmakta ve bu gliserin yağın kalın ve yapışkan bir yapıya sahip olmasını sağlamaktadır. Transesterifikasyon yöntemi ile yağ içerisindeki bu gliserin ayrıştırılarak yağın daha ince bir yapıya sahip olması, düşük viskozite değerine ulaşması ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına yaklaşması sağlanır [59].

Transesterifikasyon reaksiyonu, yağların (bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, artık yağlar) metanol ve etanol gibi düşük karbonlu alkoller ile bir katalizör (bazik, asidik katalizör ya da enzim) kullanımı ile düşük sıcaklıklarda reaksiyona sokulması sonucu ürün olarak gliserin ve yağ asidi esteri oluşturan bir esterleştirme işlemidir. Şekil 3.3'de Transesterifikasyon reaksiyonu ile yağ asidi alkil esteri oluşumu gösterilmiştir. Bu yöntemde reaksiyonu hızlandırmak ve reaksiyon verimini arttırmak için alkali katalizörler (KOH, NaOH, karbonatlar), asidik katalizörler (H_2SO_4) ve enzimler gibi çeşitli katalizörler kullanılabilir. Alkali katalizörler asidik katalizörlere kıyasla reaksiyon hızını yaklaşık 4000 kat arttırdığı ve yüksek dönüşüm verimine (%98) sahip olduğu için çok daha yaygın kullanıma sahiptir [60,58].



Şekil 3.3 : Transesterifikasyon reaksiyonu [60].

Transesterifikasyon reaksiyonunda birçok alkol kullanılabilirle birlikte yaygın olarak metil alkol ve etil alkol tercih edilmektedir. Etanolün tarımsal kaynaklardan elde edilmesi, yenilenebilir ve daha çevreci olması bakımından metanole kıyasla daha çok tercih edilmesi gerekmektedir. Fakat metanolün ucuz olması, trigliseritlerle daha kolay reaksiyona girmesi, polar ve kısa zincirli yapıya sahip olması metanolü bir adım daha öne çıkarmakta ve yaygın kullanılmasını sağlamaktadır. Bitkisel yağların metanol eşliğinde reaksiyona sokulması ile elde edilen biyodizel için “metil ester” ifadesi, etanol kullanılarak üretilen biyodizel için ise “etil ester” ifadesi kullanılır. Herhangi bir alkolün kullanımı durumunda ise “alkil ester” ifadesi kullanılmaktadır [60,55].

Transesterifikasyon yöntemi ile alkali (baz) katalizör eşliğinde biyodizel üretiminin işlem basamakları şu şekildedir:

1. Alkol ve katalizörün karıştırılması: Kapalı bir sistem içerisinde katalizör olarak KOH veya NaOH belirlenen alkol içerisinde bir karıştırıcı yardımıyla karıştırılarak çözündürülür. Bu çözelti, alkol olarak metanol kullanımı ile metoksit, etanol kullanımı ile etoksit çözeltisi olarak isimlendirilir.

2. Reaksiyon: Oluşturulan çözelti reaktör tankı içerisinde bulunan bitkisel yağla ilave edilir ve buharlaşma kayıplarını önlemek için sistemin dış ortamla teması kesilir. Reaksiyonun daha hızlı sonuçlanması için karışım belirli bir sıcaklıkta karıştırılır. Bu işlemin süresi 1-8 saat arasında değişmektedir.

3. Ayırma: Reaksiyon tamamlandıktan sonra meydana gelen iki ürün biyodizel (yağ asidi esteri) ve gliserindir. Her iki ürün de reaksiyonda kullanılan alkolü içerisinde

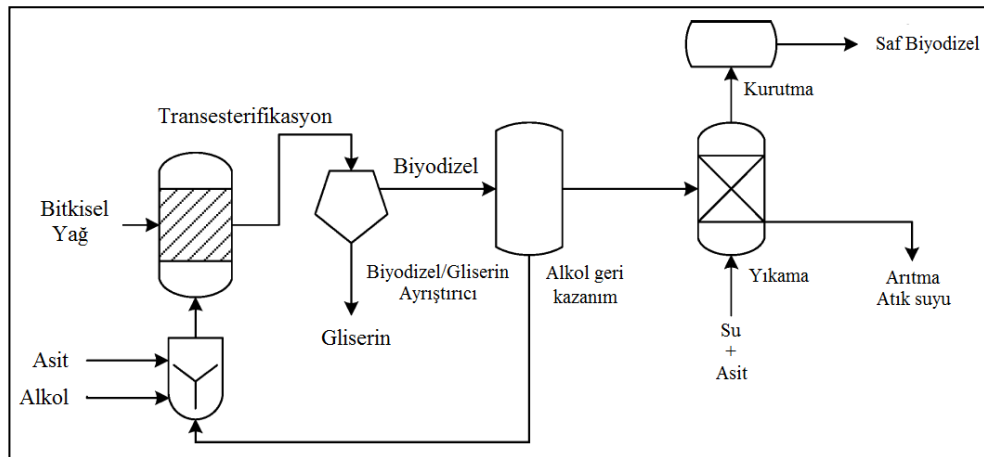
bulundurur. Bu iki ürün arasındaki yüksek yoğunluk farkı sebebiyle birbirinden net bir şekilde ayrılır. Yüksek yoğunluğa sahip olan gliserin yer çekimi etkisi ile dibe çökerken biyodizel üstte kalır. Dibe çöken gliserin sistemden uzaklaştırılarak ham biyodizel elde edilir.

4. Alkolün uzaklaştırılması ve geri kazanımı: Biyodizel ve gliserin birbirinden tamamen ayrıldıktan sonra elde edilen ürünler içerisinde bulunan fazla alkolün uzaklaştırılması ve geri kazanılması için flaş buharlaştırma ya da distilasyon metodu uygulanır. Bu sayede ürünlerin nötralize edilmesi ve ayrılan alkolün tekrar kullanılması sağlanmış olur.

5. Yıkama: Reaksiyon sonrası elde edilen ham biyodizel, içerisinde kalan kullanılmamış katalizör, serbest gliserin ve artık alkolün tamamen uzaklaştırılması ve daha saf bir biyodizel elde edilmesi için belirli bir miktarda saf su ile yıkanır. Bu aşamada bazı durumlarda saf su, sabun ve biyodizel olmak üzere 3 faz oluşmaktadır. Yıkama işleminin ardından karışım dinlenmeye bırakılır. Dinlenme sonunda biyodizel karışımdan ayrılır.

6. Kurutma: Yıkama sonrasında biyodizel içerisinde kalan saf suyun biyodizelden uzaklaştırılması için uygulanan yöntemdir. Açık bir sistem içerisinde alınan biyodizel, suyun buharlaşabileceği bir sıcaklıkta karıştırılarak içerisindeki su uzaklaştırılır [58,61].

Şekil 3.4'de Transesterifikasyon yöntemi kullanılarak biyodizel üretim süreci gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretim süreci [61].

3.4.5. Süperkritik yöntem

Süperkritik yöntem, transesterifikasyon yöntemi ile benzer bir yöntem olmakla birlikte katalizör kullanılmaması ve kısa bir sürede gerçekleştirilmesi en önemli farklılığıdır. Transesterifikasyon metodunda katalizör kullanımının sağladığı reaksiyonu hızlandırma etkisi, bu yöntemde yüksek sıcaklık uygulaması ile sağlanmaktadır. Bitkisel yağlar 240 saniyelik kısa bir sürede 350°C gibi yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak reaksiyon gerçekleştirilir. Bu işlemde kullanılan alkolün kritik basınç ve sıcaklık değerleri önemli parametrelerdir [54].

3.5. Biyodizelin Yakıt Özellikleri

3.5.1. Yoğunluk

Yoğunluk, uygun yanmayı sağlamak için enjeksiyon sistemleri tarafından enjekte edilen yakıt miktarının belirlenmesinde kullanılan temel yakıt karakteristiklerinden biridir. Biyodizel yakıtların yoğunluğu, kullanılan hammaddeye, biyodizel dönüşüm yöntemine ve bu yöntemin ne derece iyi gerçekleştirildiği gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Biyodizel içerisindeki gliserin yeterince ayrıştırılmazsa yüksek yoğunluk değeri ile karşılaşmak mümkündür.

Yakıt yoğunluğu enjektör nozulunun tasarımında kritik bir rol oynar ve motorun çalışmasını doğrudan etkiler. Dahası, motorun ısı verimini etkileyen yakıt atomizasyonu yoğunluk değerinden doğrudan etkilenmektedir. Biyodizel yakıtların yoğunluğu, yaygın kullanımının önündeki en kritik engellerden birisidir. Üretildiği hammaddeye ve uygulanan üretim prosesine göre değişmekle birlikte biyodizel yakıtının yoğunluğu genel olarak 860 kg/m³ ile 900 kg/m³ arasında değişmektedir. Bu değer motorin yakıtından yaklaşık %5-7 oranında daha fazladır [62].

3.5.2. Kinematik viskozite

Sıvı yakıtların viskozitesi, moleküller arası çekim kuvveti ve sürtünmeler nedeniyle, bileşik tabakalarının hareket eğilimine karşı direnç gösterme özelliğidir (akışkanlığın tersidir). Kinematik viskozite değerinin belirlenmesinde kullanılan yöntem, test sıvısının sabit sıcaklıkta (genellikle 40°C) dikey bir boru içerisinde yer çekimi

etkisinde hareket etmesi ile boru üzerindeki belirli bir mesafeyi katlettiği sürenin hesaplanması şeklindedir. Bu kritik bir özelliktir çünkü yakıt enjeksiyonunun davranışını etkiler. Biyodizelin viskozite değeri motorin yakıtından yaklaşık 1,5-3 kat daha fazladır ve 40°C sıcaklık altında 3,5-6 mm²/s aralığında değişmektedir. Hidrokarbonların yapısındaki zincir uzunluğu arttıkça viskozite değeri de artmakta fakat çift bağ sayısı arttıkça viskozite değeri azalmaktadır. Üretilen biyodizelin yüksek viskozite değerine sahip olması transesterifikasyon reaksiyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştirilemediğini ifade etmektedir [63].

Genel olarak, daha yüksek viskozite, daha zayıf yakıt atomizasyonuna yol açar. Yüksek viskozite, daha büyük damlacık boyutlarına, daha zayıf buharlaşmaya, daha dar enjeksiyon püskürtme açısına ve yakıt spreyinin silindir içinde daha fazla girmesine neden olabilir. Bu, genel olarak daha kötü yanmalara, daha yüksek emisyonlara ve artan yağ seyreltmesine yol açabilir. Buna ek olarak çok yüksek viskozite, yanma odası birikintilerinin artmasına ve gerekli yakıt pompalama enerjisinin artmasına, ayrıca daha yüksek mekanik çaba nedeniyle pompanın ve enjektör elemanlarının daha fazla aşınmasına yol açabilir [64].

3.5.3. Setan sayısı

Setan sayısı, ateşleme gecikme süresini doğrudan etkileyen biyodizelin en önemli özelliklerinden biridir. Ateşleme gecikmesi, yanma odasına yakıt enjeksiyonu ile ateşleme başlangıcı arasındaki süredir. Daha yüksek setan sayısı, yakıtın yanma odasına enjekte edildikten kısa bir süre sonra otomatik olarak tutuşabilme kabiliyetini artırır. Düşük setan sayısı ise motorda vuruntu, egzoz emisyonlarında artış ve eksik yanma nedeniyle motorda aşırı tortular oluşması gibi olumsuzluklara neden olur. Biyodizelin setan sayısının zincir uzunluğu ve yağ asitlerinin doyma derecesi ile orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Oksijen içeriği nedeniyle biyodizel, yüksek yanma verimi ile sonuçlanan yüksek setan sayısına sahiptir. Sakthivela ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada heterotrofik mikroalg biyodizelinin 75 setan sayısı ile maksimum değere sahip olduğu, artık yemeklik yağ biyodizelinin ise 41 setan sayısı ile minimum değere sahip olduğu belirtilmiştir [62].

3.5.4. Isıl değer

Yakıtın ısıl değeri veya başka bir ifadeyle kalorifik değeri, birim miktarda yakıtın yakılması sonucu ortaya çıkan enerji miktarını göstermektedir. Isıl değer bitkisel yağların doymuşluk seviyesinden büyük ölçüde etkilenir. Sabit doymuşluk seviyesi için, yağ asidi karbon zinciri uzunluğu arttıkça ısıl değer yükselir.

İçten yanmalı bir motor için ısıl değerin daha yüksek olması yakıt için önemli bir avantajdır. Dizel yakıt, biyodizel yakıtla karşılaştırıldığında daha yüksek bir ısıl değere sahiptir. Biyodizel yakıtın oksijen içeriği yüksektir ve bu yüzden motorin yakıtı ile karşılaştırıldığında daha az miktarda (yaklaşık %10) enerjiye sahiptir. Bu nedenle biyodizel-motorin karışımlarında biyodizel miktarındaki artış, enerji miktarında bir azalmaya neden olmaktadır. Kalorifik değer ASTM D-6751 ve EN 14214 standartlarında belirtilmese de, EN 14213'te (ısıtma amaçlı biyodizel) minimum 35MJ/kg olarak belirlenmiştir [48].

3.5.5. Parlama noktası

Biyodizel yakıtının motorin yakıtına göre başlıca üstün özelliklerinden biri yüksek parlama noktasına sahip olmasıdır. Genel olarak ham bitkisel yağlar zayıf uçuculuğundan dolayı metil esterlerinden daha yüksek bir parlama noktası değerine sahiptir. Parlama noktası, uçucu yakıtın buharlarının bir tutuşurma kaynağına maruz kaldığında tutuşmaya başladığı en düşük sıcaklık değeri olarak tanımlanabilir. Motorin yakıtı için yaklaşık 50-65 C° olan parlama noktası, biyodizel için ortalama 150 °C'den daha yüksek değere sahiptir. Bu da biyodizelin, petro dizel ile karşılaştırıldığında depoda ve taşıma sırasında daha iyi güvenlik özelliklerine sahip olduğunu gösterir. ASTM D6751 standartlarında biyodizel yakıtları için en düşük parlama noktası değeri 120 °C olarak belirtilmiştir [65].

3.5.6. İyot sayısı

İyot değeri veya iyot sayısı, oksidasyon kararlılığını değerlendirmek üzere biyodizel kalite standartlarında verilmiştir. İyot değeri, biyodizel numunesinde ölçülen toplam yağ asitlerinin doymamışlık ölçütüdür. İyot değeri yüksek olan biyodizel, hava ile temas ettiğinde daha kolay oksidasyona uğrar. İyot değeri, biyodizel üretiminde kullanılan

besleme stoklarının doğasına ve ester bileşimine bağlıdır. Avrupa ve Japonya'da 120, Güney Afrika'da 140, Brezilya'da sınırsız ve ABD, Avustralya ve Hindistan kalite standardına dâhil edilmemiştir (ayçiçeği ve soya gibi hammaddeler hariç). Yüksek İyot sayısına sahip biyodizeller, enjektör memeleri, piston segmanları ve oluklarında polimerleşme ve birikme eğilimi gösterir [64].

3.5.7. Soğukta akış özelliği

Biyodizel, motorin yakıtına kıyasla daha yüksek akma noktası değerine sahiptir. Yani soğuk akış karakteristiği motorin yakıtına göre daha düşüktür. Soğuk filtre tıkanma noktası, bir yakıtın soğukta akış yeteneğini değerlendirmek için kullanılan önemli bir ölçüttür. Yakıtın standart bir filtreden tıkanmadan geçebileceği minimum sıcaklıktır. Yakıtların soğuk akış özelliği bulutlanma noktası değerinden net bir şekilde anlaşılabilir. Tüm yakıtlar için soğuk filtre tıkanma noktası daima bulutlanma noktasından düşüktür [62].

3.5.8. Yağlayıcılık

Motor parçalarının sürtünmeden dolayı oluşan aşınmaları azaltmak ve yakıt pompası gibi bazı motor elemanlarının sağlıklı çalışabilmesi için yağlama işlemine ihtiyaç vardır. Motora haricen eklenen yağ dışında yakıtın da bir miktar yağlama özelliğinin olması istenir. Bu özellikle silindir yüzeyinin aşınması ve yakıt pompalarının erken aşınmasını önlemek için oldukça önemlidir. Fosil yakıtlarda yağlayıcılık özelliği kükürt miktarına bağlıdır. Fakat kükürtün zararlı etkilerinden dolayı son zamanlarda kısıtlanması yakıtların yağlayıcılık özelliğini düşürmektedir. Biyodizel yakıtları ise doğrudan biyolojik yağlardan elde edilmesi sebebiyle fosil yakıtlardan üstündür [66].

3.5.9. Su ve tortu içeriği

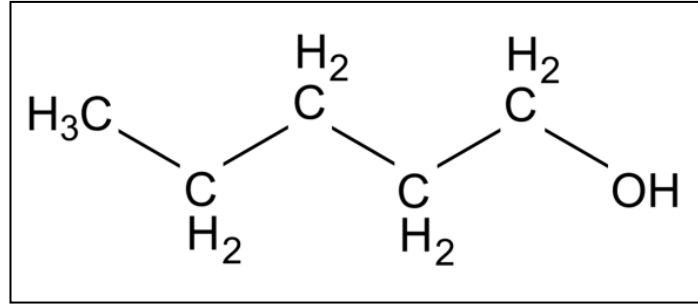
Biyodizel yakıtının saflığı, biyodizel yakıtının içerdiği su ve tortu miktarı ile belirlenir. Su biyodizelde çözülmüş veya asılı damlacıklar şeklinde bulunabilir. Biyodizelin sahip olduğu ısı değer yakıtta suyun bulunmasıyla azalır ve yakıttaki su varlığı, motorun bir kısmının da aşınmasına sebep olur. Biyodizel yakıtta bulunan tortu, yakıt hatlarında tıkanma gibi sorun yaratabilecek kir parçacıklarına sahip olabilir. Yüksek miktarda su, biyodizelde bulunan yağ asitlerinin hidroliz reaksiyonunu artırır [48].

3.6. Pentanol (Amil Alkol)

Günümüzde fosil kaynaklardan türetilen yakıtların motorlu taşıtlarda yaygın olarak kullanımı sonucunda meydana gelen zararlı gazların insan sağlığı ve içinde bulunduğumuz çevre üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler, gün geçtikçe daha tehlikeli boyutlara ulaşmaktadır. Son yıllarda oluşan bu olumsuz etkileri azaltmak adına devletler ve bazı kuruluşlar tarafından birtakım adımlar atılmaktadır. Avrupa ülkeleri, Amerika ve bazı Uzakdoğu ülkelerinde fosil yakıtların zararlı etkilerini azaltmak amacıyla biyoyakıtlar üzerinde çalışmalar yapılmakta ve devletler tarafından bu yakıtların fosil yakıtlara alternatif ya da katkı maddesi şeklinde kullanılması zorunlu hale getirilmektedir.

Fosil kaynaklı yakıtların zararlı etkilerini azaltmada oksijen içerikli yakıtlar kullanımı oldukça etkili sonuçlar vermektedir. Bu kapsamda oksijen içerikli yakıtlar üzerinde yoğun çalışmalar sürdürülmekte ve gün geçtikçe yeni bulgular ortaya çıkmaktadır. Alkoller oksijen içerikli yakıtlar arasında dizel ve benzin yakıtlarına katkı maddesi olarak kullanılabilmeyle beraber özellikle buji ateşlemeli motorlarda doğrudan kullanılabilir. Günümüzde metanol ve etanol gibi düşük karbonlu alkoller daha yaygın olarak kullanılmakta fakat bu alkollerin bazı olumsuz özellikleri nedeniyle farklı oksijen içerikli yakıtlar üzerindeki çalışmalar devam etmektedir.

Pentanol, beş karbon atomlu, düz zincirli, saf halde toksik etkisi olmayan organik bir alkoldür. $C_5H_{11}OH$ kapalı formülüyle ifade edilir. Şekil 3.5’de pentanolün kimyasal yapısı gösterilmiştir. Pentanol karakteristik güçlü bir kokuya ve keskin bir tada sahiptir. Kısa zincirli alkollerin üretiminin aksine, daha karmaşık üretim prosesi olmakla birlikte üretimi için daha az enerji gerektirmektedir. Pentanol, şekerli, nişastalı ve linyöz selülozik biyokütle hammaddelerinden, tasarlanmış mikroorganizmaların doğal mikrobiyal fermentasyonu ve glikozdan biyosentez yöntemiyle üretilen yenilenebilir bir biyoyakıttır. Pentanol, motorların kirletici emisyonlarını ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma konusunda dizel motorlarda kullanım için umut verici bir alternatif olma yolunda giderek daha fazla dikkat çekmektedir [67].



Şekil 3.5 : Pentanolün kimyasal yapısı.

Yüksek karbonlu alkoller, düşük karbonlu alkoller (metanol etanol, propanol) ile karşılaştırıldığında daha iyi yakıt özellikleri sergilemektedir. Tablo 3.4’de Pentanolün yakıt özellikleri diğer alkollerle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Alkolün yapısındaki karbon sayısının artmasına bağlı olarak setan sayısı ve ısıl değeri artmakta, kendi kendine tutuşma sıcaklığı, gizli buharlaşma ısısı ve vuruntu eğilimi azalmaktadır. Pentanol, enerji krizini ve çevresel sorunları azaltmaya katkı sağlayabilecek yeni nesil biyoyakıtlardan biridir [68,69].

Tablo 3.4 : Pentanolün yakıt özellikleri [70].

Özellikler	Metanol	Etanol	Bütanol	Pentanol
Molekül formülü	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₄ H ₉ OH	C ₅ H ₁₁ OH
Setan sayısı	2	11	<15	20
Alt ısıl değer (M/kg)	20.08	26.83	33.80	35.05
Gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)	1162.64	918.42	626	308.05
Viskozite (mm ² /s)	0.58	1.13	2.69	2.89
Oksijen (%)	49.93	34.73	21.62	18.15
C/H oranı	2.98	4.0	4.8	4.96
Yoğunluk (kg/m ³)	791.3	789.4	810	814.8
Parlama noktası (°C)	11	14	28	49
Kaynama noktası (°C)	65	79	117.7	138
Kendi kendine tutuşma noktası (°C)	385	363	343	300

Pentanol karışımları, saf dizel veya biyodizel yakıtlarıyla karşılaştırıldığında genellikle daha düşük viskoziteye, daha yüksek oksijen içeriğine ve daha iyi ateşleme kalitesine

sahiptir. Bu da daha iyi yakıt atomizasyonu ve yanma elde edilmesine yardımcı olur. Pentanol karışımları düşük karbonlu alkollerden daha iyi karışım stabilitesine sahiptir ve faz ayrımı göstermezler.

Biyodizel üretimi için genellikle metanol tercih edilmektedir. Fakat metanolün üretimi genellikle fosil kaynaklara dayanmaktadır. Buna karşın yenilenebilir kaynaklardan elde edilen pentanol, esterleştirme reaksiyonunda rahatlıkla kullanılabilir ve metanole göre daha yüksek yağ çözünürlüğü nedeniyle tercih edilebilir. Pentanol, düşük karbonlu alkollere göre daha az nem tutma özelliğine sahiptir. Ayrıca metanol, etanol ve bütanolden daha yüksek ısı değer, daha yüksek setan sayısı, daha yüksek parlama noktası ve düşük kendi kendine ateşleme noktasına sahiptir [71,72].

Butanol ve pentanol, enerji krizini hafifletebilen ve dizel motorlarında geleneksel olan kanserojen partikül madde ve is emisyonlarını azaltabilen en çekici biyoyakıtlardandır. Yakın geçmişte yapılan araştırmalar, modern fermantasyon süreçlerinde kazanılan verimle birlikte, yüksek karbonlu alkollerin kullanımında dikkate değer miktarda çalışma yapıldığını göstermektedir [71].

Pentanolün içten yanmalı motorlarda kullanımıyla ilgili yapılan bazı çalışmalar şunlardır:

Li ve arkadaşları 2015’de dizel ve biyodizel yakıtlarına farklı oranlarda pentanol ilavesinin, tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda, pentanolün yanma ve emisyon oluşumu üzerindeki etkilerini araştırmıştır. 1600 dev/dak’da farklı motor yüklerinde gerçekleştirilen deneylerde, pentanol karışımları kullanılarak daha yüksek maksimum ısı yayılma oranı ve daha kısa yanma sonucunda elde edilen termik verimin daha fazla olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında pentanol ilavesiyle is emisyonlarında belirgin bir düşüş sağlandığı ve NOx emisyonlarının da düşük ve orta yüklerde saf dizel yakıt kullanımına oranla daha düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, oksijenli yakıt karışımlarının kullanımı ile düşük motor yükündeki dizel-pentanol karışımları haricinde CO₂ ve HC emisyonlarını azaltabileceği de vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda pentanolün dizel motorları için uygun bir biyoyakıt olduğu ifade edilmiştir [73].

Ashok ve arkadaşları (2019) tarafından biyodizele n-pentanol ilavesinin motor performans, emisyon ve yanma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Beş farklı pentanol karışımı (%10 ile %50 arası) ile tek silindirli dizel motorunda yapılan deneylerde

biyodizele pentanol ilavesinin %30'a kadar termal verimi arttırdığı, yükselen pentanol oranının ise termal verimi düşürdüğü belirlenmiştir. Özgül enerji tüketiminin dizel yakıtından fazla olduğu, biyodizele oranla ise düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Biyodizel ve n-pentanol karışımlarının dizel yakıtına kıyasla HC ve CO₂ emisyonlarında azalma gösterdiği belirtilmektedir [74].

Campos-Fernández ve arkadaşları (2012), butanol/dizel ve pentanol/dizel yakıt karışımlarının (%10-30 arası butanol ve %10-30 arası pentanol) direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda kısa süreli performans sonuçlarını karşılaştırmıştır. Deneyle sonuçunda, motorda saf dizel yakıtı yerine alkol karışımları kullanıldığında motor gücünde hafif bir düşüş olmakla birlikte fren termal verimliliğinde artış olduğunu belirtmişlerdir. Bütanol ve pentanol yakıt karışımlarının kullanımı ile motor performansında problem olmadığı ve istatistiksel analizlerde önemli bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda alkol yakıtların dizel motorlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilceği fakat uzun süreli mukavemet testlerinin yapılmasında fayda olduğu vurgulanmıştır [69].

Rajasekar V. (2016) tarafından yapılan çalışmada doğrudan enjeksiyonlu sıkıştırma ile ateşlemeli bir motor, butanol/biyodizel yakıtı ve pentanol/biyodizel yakıt karışımları kullanılarak çalıştırılmış ve motor performans testleri, saf motorin yakıt kullanımı ile karşılaştırılmıştır. Bütanol ve pentanolün moleküler yapısında oksijen bulundurması, düşük ısı değere rağmen motorin ve biyodizel yakıtlarından daha iyi yanma özellikleri gösterdiğini ve termik verimi arttırdığını belirtmiştir. Benzer şekilde özgül enerji tüketimi de bütanol ve pentanol kullanıldığında düşmüştür. Yakıtlar arasında pentanol karışimli yakıtın kullanımı ile en yüksek termik verim ve en düşük özgül enerji tüketimi belirlenmiştir. Diğer yandan Alkollerin kullanımı ile NO_x ve duman koyuluğunda azalma olduğu bildirilmiştir. Bütanol ve pentanolün kullanımı ile sağlanan performans artışı, bu alkollerin düşük karbon içerikli alkollere kıyasla daha üstün yakıt özellikleri ile açıklanmaktadır. Bununla birlikte dizel motorunda pentanol ve bütanol özellikleri ile uyum sağlayacak şekilde bazı değişiklikler yapılırsa daha iyi motor performansı sağlanacağı vurgulanmıştır [75].

Radheshyam ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada pentanol ilavesinin motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkisini, herhangi bir motor değişikliği

yapılmadan deneysel olarak araştırılmıştır. Hacim bazında %5, %10, %20, %30 ve %40 pentanol içeren yakıt karışımları araştırılmış, bununla birlikte %10 ve %20 oranında EGR'nin etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda %5 pentanol ilavesinin %60 yük haricinde diğer yüklerde silindir içi basıncı arttırdığı, fakat artan pentanol oranı ile birlikte azalma olduğu belirlenmiştir. Yine %5 pentanol ilavesi ile yüksek yüklerde termal verimin arttığı, özgül yakıt tüketiminin düştüğü belirlenmiştir. Fakat artan pentanol oranı ile birlikte tam tersi değerler elde edilmiştir. Ortalama egzoz sıcaklığı yüksek yüklerde neredeyse tüm pentanol karışımları için artmıştır. Aynı zamanda tüm yakıt karışımları için HC ve CO emisyonları artan pentanol oranıyla birlikte artmıştır. HC ve CO emisyonlarındaki artış, düşük yükte pentanolün soğutma etkisi nedeniyle olduğu belirtilmiş, artan motor yüküyle birlikte emisyonların azaldığı belirtilmiştir. Karışımlara pentanol ilavesi ile NO_x emisyonlarında ise azaltılma olduğu belirtilmiştir [76].

BÖLÜM 4. ALTERNATİF ENERJİ BİTKİSİ KETENCİK

4.1. Ketencik Bitkisi

Ketencik (*Camelina sativa* L.), Brassicaceae (hardal) familyasında bulunan altı *Camelina* cinsinden ekonomik değere sahip tek türdür. “Yalancı keten”, “Sibiryaya yağlı tohumu” gibi farklı isimlerle de bilinmektedir. Orta Asya ve Kuzey Avrupa ketenciğın doğal yetişme alanları arasında gösterilmektedir [77]. 20. Yüzyılın ortalarına kadar Fransa, İsveç, Hollanda, Belçika, Polonya, ve Sovyetler Birliğı gibi ülkelerde ekonomik olarak yetiştirilmiştir [78]. Ketenciğın biyodizel, jet yakıtı, biyo-bazlı ürünler, yem ve gıda üretimi için yararlı özelliklere sahip olması ve dünyanın geniş alanlarına adaptasyonu, bu eski mahsulle ilgiyi arttırmıştır [79].

Günümüzde yüksek yağ içeriğı nedeniyle artan bir ilgi kazanmıştır. Ketencik şu anda ABD’de ticari olarak biyodizel üretiminde kaynak olarak kullanılan bir yağlı tohum bitkisidir [80]. Türkiye’de ise ketencik bitkisinin tarımı orta ve büyük ölçekte yapılmamakta, sadece sınırlı alanlarda araştırma ve geliştirme amacıyla deneme ekimleri yapılmaktadır.

Ketencik bitki boyu genellikle 65 ila 110 cm arasında olmaktadır. Fidanları yeşil gövdeli düz veya dallanmış yapıya sahip olan ketencik, olgunlaştıkça odunsu hale gelir. Çok küçük ve kendi kendine tozlaşmaya meyilli sarı yapraklara sahiptir. Yapraklar ok şekilli, sivri uçlu, 5-8 cm uzunluğunda, düz ve dalgalı olmayan kenarlara sahiptir. Genellikle tohum kapsülleri 5- ila 14 mm uzunluğunda, armut şeklinde, hafifçe düzleştirilmiş ve olgunlaştığında altın-kahverengi arasında bir renktedir. Tohumları gelişimi sırasında yetiştirme koşullarına bağılı olarak çok küçüktür ve 1000 tohum ağırlığı 0.8g ile 1,8g arasında değişmektedir [79]. Şekil 4.1’de ketencik bitkisinin genel yapısı ve hasat sonrası elde edilen tohumları gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Ketencik bitkisinin görünümü ve hasat sonu elde edilen tohumları [79,80].

Ketencik bitkisi kurak arazilerde ekilebilmekle birlikte, toprağın sağlığını iyileştirmek için nadas yıllarında buğday, yulaf ve arpa gibi mahsullerin verimini etkilemeden bir rotasyon mahsulü olarak kullanılabilir [80]. Ketenciğin yarı kurak bölgelerdeki nadasa bırakılan topraklarda yetiştirme potansiyeli yüksek olduğundan, ülkemizdeki yaklaşık 3,7 milyon hektar nadas alanını değerlendirmede önemli bir yağ bitkisi olabilir [81,82].

4.2. Ketencik Yağı

Ketencik yağı, kolza ve yarfıstığı yağından daha az, soya fasulyesi, ayçiçeği, pamuk ve ketenden daha yüksek oranda tekli doymamış yağ asidi bulundurur. Çoklu doymamış yağ asitleri bakımından soya fasulyesi ve ayçiçeği ile benzer oranlara sahip olmakla birlikte kolza, pamuk ve yarfıstığından daha fazla, keten yağından ise daha az içeriğe sahiptir. Ketencik yağı içerdiği yağ asitleri derişimi bakımından ayçiçeği ve soyaya benzemektedir fakat bu bitkilerin yağından daha fazla omega-3 bulundurmaktadır. Tablo 4.1’de ketencik tohumu yağının ihtiva ettiği yağ asidi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1 : Ketencik tohumu yağının yağ asidi kompozisyonu [83].

Yağ asitleri	Ortalama yağ asidi (%)
Palmitik asit (C16:0)	5 – 8
Stearik asit (C18:0)	2 – 3
Oleik asit(C18:1)	13 – 21
Linoleik Asit (C18:2)	15 – 20
Linolenik Asit (C18:3)	30 – 40
Ekosenoik Asit (C20:1)	13 - 20
Erusik Asit (C22:1)	3 - 4

Ketencik tohumunun diğer yağ bitkileriyle karşılaştırıldığında yüksek oranda yağ içeriğine sahiptir. Tablo 4.2’de ketencik tohumunun yağ oranı diğer yağ bitkileri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yazlık türlerin tohumları % 42, kışlık türlerin tohumları ise yaklaşık % 45 oranında yağ içermektedir [78]. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü’nün raporunda arslanbey ketencik türünün ortalama yağ oranının %42,2 olduğu belirtilmektedir [84]. Yüksek adaptasyon yeteneği sayesinde farklı bölge ve iklim şartlarında yetiştirilebilmekte ve bu nedenle yağ oranında farklılıklar görülebilmektedir. Bunun yanı sıra kışlık ve yazlık olarak yetiştirilmesi de yağ oranındaki farklılığın önemli unsurlarındandır [85].

Tablo 4.2 : Bazı yağlı tohumlu bitkilerin içerdiği ortalama yağ oranları [86].

Bitkisel yağlar	Yağ içeriği (%)	Yağ verimi (Lyağ/ha/yıl)	Arazi kullanımı (m ² /yıl/L biyodizel)
Ketencik yağı	42	915	10
Mısır Yağı	44	172	56
Ayçiçek yağı	40	1070	9
Soya fasulyesi yağı	18	636	15
Kanola yağı	41	974	10
Jatropha yağı	28	741	13
Hint bitkisi yağı	48	1307	8
Palm yağı	36	5366	2

Yüksek yağ içeriğine sahip olmasının yanı sıra ketenciğin yetiştirme süresinin kısa olması, hastalık ve zararlı etkenlere dayanıklı olması, yabancı otlara karşı daha az seçici olması, gübre ve ilaçlama ihtiyacının az olması [87] gibi minimum girdi gereksinimleri nedeniyle üretilebilecek en ekonomik yağ bitkisidir [88].

Ketenciğin yağı alındıktan sonra arda kalan küspesinde %45 protein, %13 lif, %10 yağ, %5 mineral madde ile az miktarda vitamin ve diğer bileşenler bulunmaktadır. İçerdiği aminoasitlerin kompozisyonu bakımından özellikle kanatlı ve kümes hayvanlarını beslemede uygundur [77].

4.3. Biyodizel Hammaddesi Ketencik

Ketencik geleneksel mahsullerle karşılaştırıldığında, kolza, kanola, soya fasulyesi ve ayçiçeğinden daha az gübre ve pestisite (zirai ilaç) ihtiyaç duymakta, verimsiz topraklarda ve yarı kurak bölgelerde yetiştirilebilmektedir. Ketencik yetiştirme sürecinde az suya ihtiyaç duyar ve gıda mahsulleriyle rekabet etmez. Tohumlarının +1, +2 °C de çimlenebilmesi ve fidelerinin diğer yağ bitkilerinin yetiştirilemediği -2 ila -10 °C gibi düşük sıcaklıklara dayanabilmesi ketencik bitkisine geniş ekim alanları sunmaktadır [83]. Bu gibi nedenler ketenciğe son günlerde duyulan ilgiyi arttırmıştır [80].

Yağlı tohumlu bitkiler gıda maddesi olmanın yanı sıra biyodizel hammaddesi olması sebebiyle dünyada ve Türkiye’de stratejik bir öneme sahiptir [89]. Ülkemizde bitkisel yağ ihtiyacı ayçiçeği, zeytin, soya, aspir, kanola, susam ve yerfıstığı gibi bitkilerden karşılanmakta fakat yeterli olmamaktadır. Buna biyodizel elde etmek için ihtiyaç duyulan yağ talebi de eklendiğinde, yağ açığımız giderek artmaktadır. Son zamanlarda gündeme gelen ketencik, ülkemizin yağ ve enerji açığını azaltmada önemli rol oynayabilecek bitkilerden biridir. Birçok kültür bitkisinin yetiştirilemediği kuru ve zayıf toprak yapısına sahip bölgelerde, yüksek rakımlarda kolaylıkla yetiştirilebilmektedir.

Ketencik gelecek vadede sürdürülebilir bir alternatif enerji ürünüdür. Yerli biyoyakıt üretimini önemli ölçüde artırma potansiyeli sağlayabilecek birçok uygun tarımsal ve ekonomik özelliğe sahiptir. Özellikle yüksek tohum yağı içeriği ve hektar başına yüksek yağ verimi olan ketencik, mevcut teknolojiler kullanılarak biyodizel (yağ asidi metil esterleri) gibi yüksek kalitede yenilenebilir yakıtlara verimli bir şekilde işlenip, yenilenebilir dizel ve jet yakıtı olarak kullanılabilir [90].

Yukarıda sayılan özellikler ketencik yağını biyodizel üretimi için hammadde teşkil etme konusunda üst sıralara taşımaktadır. Tablo 4.3’de ketencik yağının bazı yakıt özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.3 : Ketencik yağının yakıt özellikleri (karşılaştırmalı) [91,92].

Özellikler	Ketencik yağı	Ayçiçek yağı	Soya yağı	Motorin
Yoğunluk 15°C (kg/m ³)	918	916,1	913,8	838
Viskozite 40°C (mm ² /s)	24	33,9	32,6	2,92
Parlama noktası (°C)	>220	274	256	102
Alt ısı değeri (MJ/kg)	38	39,5	39,5	42,3
Su içeriği (mg/kg)	710	-	-	43,8
Asit değeri (mg KOH/g)	1,39	-	-	-

Bu özelliklere bakıldığında ketencik yağı ısı değeri dizel yakıtından az olduğu, yoğunluk değeri ise bir miktar fazla olduğu görülmektedir. Buna karşın parlama noktasının ve özellikle kinematik viskozite değerlerinin standart dizel yakıtından fazla olduğu görülmektedir. Ketencik yağının mevcut şekli ile dizel yakıt sisteminde kullanılması birtakım sakıncalar doğurabilir. Özellikle yüksek viskozite değeri enjektörleri olumsuz etkileyen ve püskürtülen yakıtın atomize olmasını kötüleştiren bir etkiye sahiptir. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için farklı yöntemler kullanılmakla birlikte en bilinen ve yaygın olanı transesterifikasyon yöntemidir.

4.4. Jet Yakıtı Hammaddesi Olarak Ketencik

Diğer bir konu olan ketencik yağından jet yakıtı üretilmesi dünya havayolu şirketlerinin ilgisini çekmeye devam etmekte ve önemli firmalar bu alanda uygulamaya yönelik adımlar atmaktadırlar.

ABD Hava Kuvvetleri (USAF), uçaklarında kerosen kullanımını önemli miktarda düşürmek ve petrolde dışa olan bağımlılığını azaltmak için biyoyakıtlar üzerinde çalışmış ve birtakım denemelerde bulunmuştur. 2011 yılında USAF’a ait bir F-22 Raptor uçağı, deposunda % 50 kerosen ve % 50 ketencik yağından elde edilen bir yakıt karışımı ile başarılı bir uçuş gerçekleştirmiştir. Bu uçuşta ketencik biyoyakıt karışımı

kullanan F-22, art yakıcılarını devreye sokmaksızın 12000 metre yükseklikte ses duvarını aşarak 1.5 Mach'lık süpersonik hıza ulaşmayı ve bu hızda kalmayı başarmıştır [90,87].

Japon havayolları (JAL) 2009 tarihinde Tokyo'daki Haneda Havaalanı'nda ketencik yağından üretilen bir biyoyakıt ile deneme uçuşu gerçekleştirmiştir. Hızlı ivmelenmeler ve yavaşlamalar ile motorun kapatılması ve yeniden çalıştırılmasını içeren normal ve normal olmayan uçuş operasyonlarında bir Boeing 747 motorunun performansı kontrol edilmiştir. Bir buçuk saatlik test uçuşunda % 50 biyoyakıt ve % 50 geleneksel jet yakıtı (kerosen) karışımı kullanıldı. Bu biyoyakıtın içeriği ise %84 ketencik, %16 jatropha ve %1 den az alg yağı şeklinde olmuştur [93,94].



BÖLÜM 5. MATERYAL VE METOD

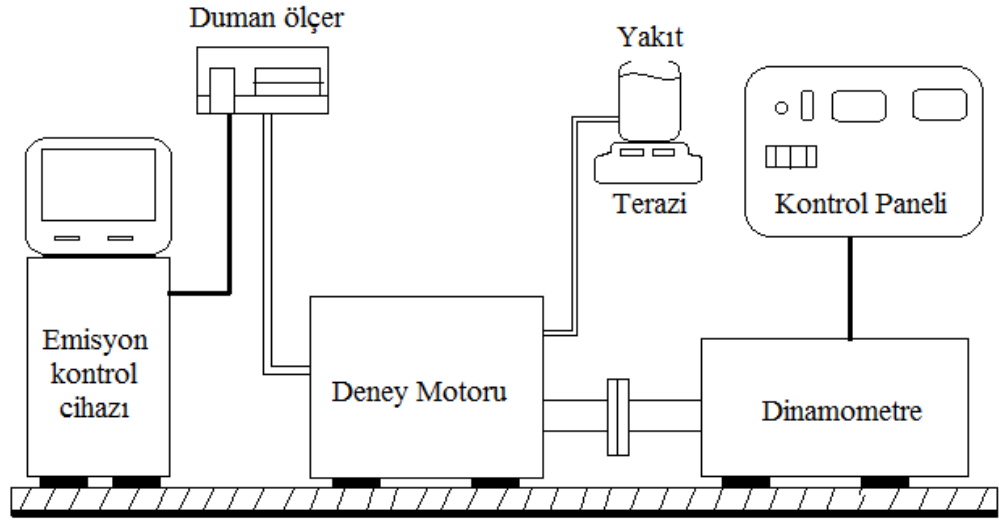
Bu çalışmada; ketencik yağından biyodizel üretilmesi ve üretilen ketencik yağı biyodizeline belirli oranlarda (%10, %20) pentanol ilavesinin motor performansı ve is emisyonları üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla ilk etapta ketencik yağından transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel elde edilmiştir. Biyodizel elde edilmesi önce için iki farklı katalizör (sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit) kullanımı ile ön deneme yapılmış ve bu deneme sonucunda sodyum hidroksit kullanılmasına karar verilmiştir. Diğer aşamada elde edilen biyodizel yakıtı ve biyodizele pentanol ilavesi ile hazırlanan yakıt karışımlarının motor performans testlerine geçilmiştir. Referans oluşturması için ilk olarak dizel yakıtıyla testler yapılmış, daha sonra sırasıyla ketencik biyodizeli, %10 pentanol ilaveli biyodizel ve %20 pentanol ilaveli biyodizel ile testler gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan ketencik yağı, Altınyag Kombinaları A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Tam rafine ketencik yağından biyodizel üretimi Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir.

5.1. Deneysel Materyaller

5.1.1. Test düzeneğinin şeması

Test motoru ile gerçekleştirilen deneyler Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır. Deney düzeneği genel itibarıyla hava soğutmalı dizel motoru, elektrikli dinamometre, kütleli yakıt ölçüm cihazı, gaz analiz cihazı, kontrol paneli ve bunları besleyen güç ünitelerinden oluşmaktadır. Deney düzeneğinin genel görünüşü Şekil 5.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.1 : Deney düzeneği.

5.1.2. Deney motoru

Deneyleerde Antor marka tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı ve doğal emişli bir dizel motor kullanılmıştır. Kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Şekil 5.2’de deney motorunun görüntüsü yer almaktadır.

Tablo 5.1 : Deney motorunun özellikleri.

Marka	Antor
Motor tipi	DI, Dizel
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	86
Kurs	68
Sıkıştırma oranı	18:1
Strok hacmi (cm ³)	395
Maksimum motor devri (dev/dk)	3600
Maksimum motor gücü (BG)	8,5 (3000 dev/dak’da)
Yanma odası şekli	Meksika şapkası
Enjektör delik sayısı ve çapı	4x0,24
Enjektör uç açısı (°)	160
Enjektör basıncı (MPa)	20



Şekil 5.2 : Deneyleerde kullanılan dizel test motoru.

5.1.3. Dinamometre

Deneyleerde Kemsan marka 10 kW güce sahip elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre ile bağlantılı bir yük hücresi vasıtasıyla dizel motordan elde edilen çıkış gücü ölçümleri yapılmıştır. Deneyleerde kullanılan elektrikli dinamometrenin genel görünümü Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3 : Elektrikli dinamometre.

5.1.4. Gaz ölçüm cihazı

Yapılan deneylerde egzoz emisyon değerlerinin ölçümü için, Bilsa - MOD 2210 WIN-XP model gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Şekil 5.4'de gaz analiz cihazının genel görünümü ve Tablo 5.2'de bu cihaza ait teknik özellikler verilmiştir.



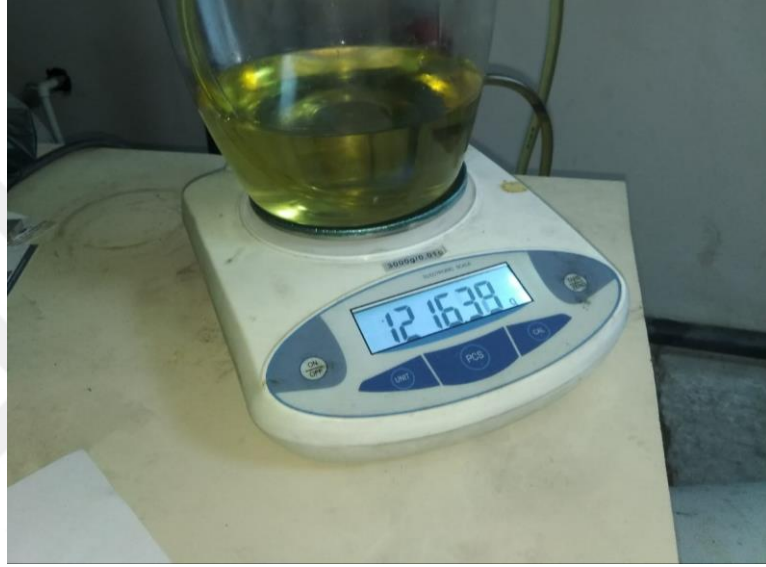
Şekil 5.4 : Duman koyuluğu (is) ölçüm cihazı.

Tablo 5.2 : Bilsa - MOD 2210 WIN-XP model egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri.

Parametreler	Ölçme aralığı	Doğruluk
HC (PPM)	0 - 1000	1 PPM
CO	0 - 10	%0,001
CO ₂	0 - 20	%0,001
O ₂	0 - 25	%0,01
CO Corr	0 - 10	%0,001
NO _x	0 - 5000	1 PPM
AFR	0 - 5,000	-
Lambda	0 - 5,000	0,001
Opasite	0 - 100	%0,1
K (karartma katsayısı)	0 - 9,99	0,01 m ⁻¹

5.1.5. Yakıt ölçümü

Motorun yakıt tüketimi ölçümleri Analytical Electronic Balance marka, maksimum 3 kg yakıt ölçüm kapasitesine sahip, 0,01g hassasiyetinde genel kullanım amaçlı bir terazi kullanılarak yapılmıştır. Yakıt ölçümü elektronik bir kronometre yardımı ile belirlenen süre içerisinde eksilen yakıt miktarının hesaplanması şeklinde yapılmıştır. Deneylede kullanılan hassas terazi Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



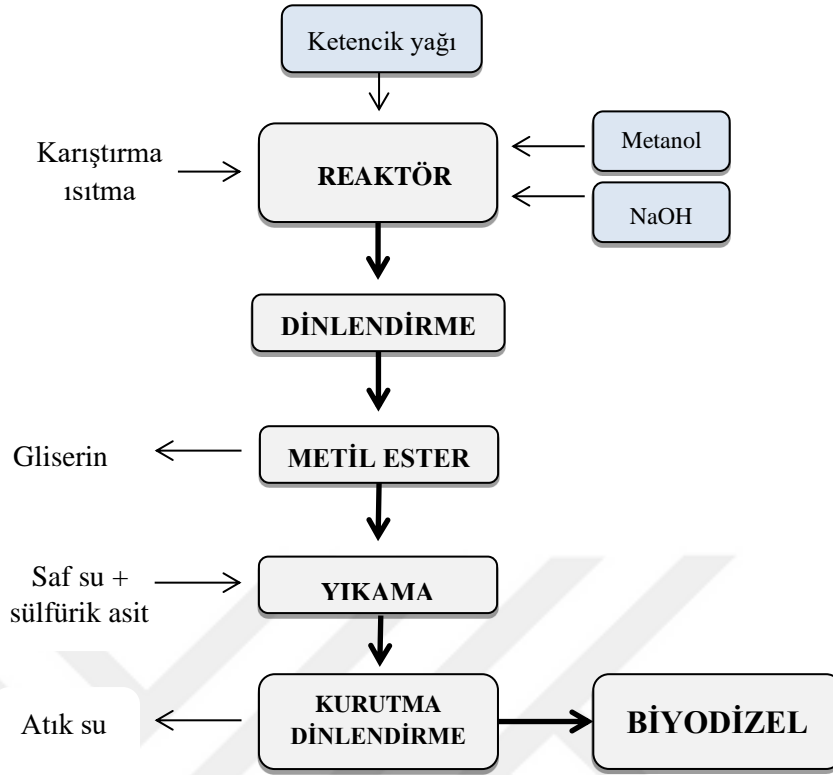
Şekil 5.5 : Yakıt ölçümünde kullanılan terazi.

5.2. Deney Yakıtları

5.2.1 Ketencik yağından biyodizel üretilmesi

Günümüzde biyodizel üretimi için, işlem kolaylığı ve maliyet avantajı bakımından bitkisel yağlar daha çok tercih edilmektedir. Bu nedenle bitkisel yağlar ve bunların hammaddesi olan yağlı tohumlu bitkiler tüm dünyada bir kat daha önem kazanmıştır. Biyodizel üretiminde yaygın kullanılan başlıca ürünler ayçiçeği, kanola, soya, aspir vb. olmakla birlikte çeşitli hammaddeler üzerinde araştırmalar devam etmektedir.

Bu çalışmada biyodizel üretimi için yerel üretici bir firmadan tedarik edilen tam rafine ketencik yağı kullanılmıştır. Şekil 5.6’da ketencik yağından biyodizel elde edilmesi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.6 : Ketencik yağından biyodizel elde edilmesi.

Bu çalışmada işlem kolaylığı, maliyet avantajı ve üretim verimi gibi üstünlükleri sebebiyle transesterifikasyon metodu tercih edilmiştir.

Biyodizel elde etmek için 10 litre rafine yağ için hacimsel olarak yağın %20'si kadar metanol (CH_3OH) ve katalizör madde olarak 35 gram sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. İlk olarak 10 litre ketencik yağı reaktör tankına konulmuş ve bir mixer yardımıyla 800 dev/dak'da karıştırılarak sıcaklığı aşamalı olarak $60\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ulaşmaya kadar ısıtılmıştır. Bu esnada ayrı bir kaptaki metil alkol içerisinde sodyum hidroksit çözülürken metoksit çözeltisi hazırlanmıştır.

Daha sonra hazırlanan metoksit çözeltisi $60\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılan ketencik yağı içerisine ilave edilerek aynı sıcaklık ve devirde 1 saat karıştırılarak reaksiyon gerçekleştirilmiştir. 1 saat sonunda elde edilen karışım ayrı bir kabına alınarak 24 saat dinlenmeye bırakılmıştır. Şekil 5.7'de dinlenmeye bırakılan karışım görülmektedir.



Şekil 5.7 : Reaksiyon sonrası dinlenmeye bırakılan karışım.

Dinlendirme işlemi sonunda karışım içindeki gliserin dibе çökmüş ve üstte kalan metil ester 5mm çapında bir hortum ile vakum etkisi oluşturularak karışımından ayrılmıştır. Ayırma işleminin hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için faz ayrışımının olduğu çizgiye kadar inilmemiş, gliserinin üzerinde bir miktar metil ester bırakılmıştır. Kalan metil esteri gliserinden ayırabilmek için karışım ayırma hunisine alınmış ve 12 saat beklemenin ardından dibе çöken gliserin metil esterden uzaklaştırılmıştır. Şekil 5.8’de ayırma hunisine alınan karışımın 12 saat sonundaki faz ayrışması görülmektedir.



Şekil 5.8 : Ayırma hunisinde 12 saat dinlendirilen karışımın son hâli.

Daha sonra elde edilen ham biyodizel yıkama fazına alınmıştır. Yıkama fazında metil estere 1:1 oranında saf su ilave edilmiştir. Yıkamanın daha iyi gerçekleşebilmesi için karışım içine bir hava motoru yardımıyla hava üfleme işlemi uygulanmış ve bu esnada karışımın pH değeri kontrol edilmiştir. Bazık olan karışımın pH değerini 7 olacak şekilde ayarlamak için bir miktar sülfürik asit (H₂SO₄) ilave edilmiştir. Şekil 5.9’da yıkama sürecine alınan biyodizel-saf su karışımı görülmektedir. Hava üfleme uygulaması ile 12 saat süren yıkama işleminin ardından karışım 12-15 saat arası dinlenmeye bırakılmıştır.



Şekil 5.9 : Yıkama fazına alınan ham biyodizelin görünümü.

Dinlendirme sonunda metil ester-saf su karışımının net çizgilerle bölünmüş üç faza ayrıldığı görülmüştür. En üstte biyodizel ortada bir miktar sabun ve en altta saf su elde edilmiştir. Biyodizel karışımdan ayrılarak ayrı bir hazneye alınmış ve kurutma işlemine geçilmiştir. Kurutma işleminde biyodizel 1 saat boyunca 100 °C sıcaklık ve 600 dev/dak’da karıştırılarak yapısında kalan suyun buharlaşması ve saf biyodizelin elde edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen biyodizel soğutmaya bırakılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Şekil 5.10’da kurutma işlemi sonunda elde edilen saf biyodizel numunesi görülmektedir



Şekil 5.10 : Tüm süreç sonunda elde edilen ketencik biyodizeli.

5.2.2. Deney yakıtları ve özellikleri

Gerçekleştirilen testlerde kullanılan yakıtlar ve karışım oranları aşağıdaki gibidir:

- D100: % 100 Dizel yakıtı (Standart motorin)
- B100: % 100 Ketencik Biyodizeli
- B90P10: %90 Ketencik Biyodizeli + % 10 Pentanol
- B80P20: % 80 Ketencik Biyodizeli + % 20 Pentanol

Kullanılan bu yakıtların yakıt özellikleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3 : Deneylerde kullanılan yakıtlarının özellikleri.

Özellik	D100	B100	B90P10	B80P20
Yoğunluk 15°C (kg/m ³)	838	892,1	884,37	876,64
Kinematik viskozite 40°C (mm ² /s)	2,92	4,933	4,728	4,518
Alt ısı değeri (MJ/kg)	43	38,65	38,25	37,85
Parlama noktası (°C)	102	169,5	157,45	145,4

5.3. Deneysel Yöntem

Performans değerleri, test motorunun karakteristik ayarlarında (püskürtme avansı, sıkıştırma oranı, supap ayarları, enjeksiyon basıncı gibi) herhangi bir değişikliğe gidilmeden, standart değerlerinde yapılmıştır. Deneylere başlamadan önce test motorunun yağı, güç bağlantıları ve diğer donanımlar kontrol edilmiştir. Yapılan deneylerde ölçümlerin doğru bir şekilde alınabilmesi için, test motoru kararlı çalışma sıcaklığına ulaşınca kadar bir müddet çalıştırılmış, ardından test ve ölçüm aşamasına geçilmiştir. Motor performans ve egzoz emisyon (is) değerlerini belirlemek için dizel test motoru, maksimum yükte değişken devir testlerine tâbi tutulmuştur. Motor tam gaz konumunda çalışırken elektrikli dinamometre ile yükleme yapılarak devir sayısı kademeli olarak azaltılmıştır. Deneylerin ölçümleri gaz keleşi tamamen açık ve sabit konumdayken, test motorunun 1800, 2200, 2400, 2700 ve 3000 dev/dak'da çalıştırıldıkları beş farklı motor devrinde gerçekleştirilmiştir.

Dizel test motorunda ilk etapta referans değerlerinin belirlenmesi için D100 yakıtı kullanılarak ölçümler yapılmıştır. D100 yakıtının ardından B100 yakıtı kullanılarak deneyler yapılmıştır. Daha sonra sırasıyla B100 yakıtına pentanol ilavesi ile oluşturulan B90P10 ve B80P20 yakıtları ile testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler motor performansı ve is emisyonları açısından karşılaştırılarak grafikler eşliğinde ayrıntılı olarak yorumlanmıştır.

5.4. Hesaplama Yöntemleri

5.4.1. Efektif tork ve efektif motor gücü

Efektif motor gücü ve efektif tork değerleri elektrikli bir dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Efektif tork ve efektif motor gücü hesaplamaları, aşağıdaki denklemler kullanılarak yapılmıştır.

Dinamometre vasıtasıyla elde edilen değerler kullanılarak, efektif tork değeri denklem 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_d = F \times l \quad (5.1)$$

M_d : Döndürme momenti (Nm)

F : Fren kuvveti (N)

l : Moment kolu uzunluğu (m)

Efektif motor gücü değeri denklem 5.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_e = \frac{2 \times \pi \times F \times l \times n}{60000} \quad (5.2)$$

P_e : Efektif güç (kW)

n : Motor devri (dev/dak)

5.4.2. Özgül yakıt tüketimi ve özgül enerji tüketimi

Dizel test motoru ile yapılan deneylerde kullanılan yakıtların tüketim miktarının belirlenmesi elektronik kronometre ve hassas terazi kullanılarak yapılmıştır.

Elde edilen veriler doğrultusunda özgül yakıt tüketimi değeri denklem 5.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_y \times 1000}{P_e} \quad (5.3)$$

ÖYT: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

\dot{m}_y : Yakıt tüketimi (kg/h)

Elde edilen veriler neticesinde özgül enerji tüketimi değeri denklem 5.4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{ÖET} = \frac{\dot{m}_y \times Hu}{P_e} \quad (5.4)$$

ÖET: Özgül enerji tüketimi (kJ/kWh)

Hu : Alt ısı değer (kJ/kg)

5.4.3. Termik verim

Termik verim değeri denklem 5.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_e = \frac{P_e \times 3600}{\dot{m}_y \times Hu} \quad (5.5)$$

η_e : Termik verim

BÖLÜM 6. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışma teknik olarak iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada ketencik yağından biyodizel (ketencik yağı metil esteri) üretilmiş ve üretilen biyodizelin bazı yakıt özellikleri (yoğunluk, kinematik viskozite, alt ısı değer, parlama noktası) belirlenerek Avrupa ve Amerika biyodizel standartları ile karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada ise elde edilen biyodizel ve biyodizele belirli oranlarda yüksek karbonlu alkol (pentanol) ilavesinin sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda performans ve is emisyonlarına etkisi araştırılmıştır.

6.1. Ketencik Yağı Metil Esteri Yakıt Özellikleri

Tam rafine ketencik tohumu yağından metil esterleştirme yöntemiyle üretilen ketencik yağı metil esterinin (KYME) yoğunluk, viskozite, alt ısı değer ve parlama noktası değerlerinin tayini Tübitak Marmara Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Elde edilen değerler Tablo 6.1'de gösterildiği gibidir.

Tablo 6.1 : Ketencik yağı metil esterinin yakıt özellikleri.

Özellikler	Analiz metodu	KYME
Yoğunluk 15°C (kg/m ³)	TS EN ISO 12185	892,1
Kinematik viskozite 40°C (mm ² /s)	TS 1451 EN ISO 3104	4,933
Alt ısı değeri (MJ/kg)	ASTM D 240	38,65
Parlama noktası (°C)	TS EN ISO 2719	169,5

Yoğunluk biyodizel için önemli bir parametredir. Yüksek yoğunluk değeri biyodizel içerisindeki gliserinin yeterince ayrıştırılmadığının bir göstergesidir. Yoğunluk EN

14214 standartlarına göre 15°C de 860-900 kg/m³ değerleri arasında olmalıdır. Tablo 6.1'de görüleceği üzere ketencik yağı metil esterinin yoğunluk değeri 892,1 kg/m³ olarak belirlenmiş ve bu değer EN 14214 sınırları içerisinde olduğu görülmüştür.

Viskozite değeri püskürtülen yakıtın atomize olma seviyesini ve enjektör ömrünü belirleyici bir unsurdur. Daha önce ketencik yağı için yaklaşık 24 mm²/s olan viskozite değeri esterleştirme işlemi sonunda yaklaşık 5 kat düşerek 4,933 mm²/s değerini almıştır. Bu değer EN 14214 için istenen 40 °C'de; 3,5–5,0 mm²/s ve ASTM D 6751 için istenen 40 °C'de 1,9–6,0 mm²/s standart değerlerini karşılamaktadır.

Parlama noktası ise yakıtın taşınması ve depolanması için referans kabul edilmektedir. Parlama noktası EN 14214 standardına göre en az 101°C, ASTM D 6751 standardına göre ise en az 130 °C olmalıdır. Ketencik biyodizeli için ölçülen değer 169,5 °C'dir.

Isıl değer ya da diğer adıyla kalorifik değer, birim miktarda yakıtın yakılması sonucu ortaya çıkan enerji miktarını göstermektedir. Isıl değer ASTM D-6751 ve EN 14214 standartlarında belirtilmese de, EN 14213'te (ısıtma amaçlı biyodizel) minimum 35 MJ/kg olarak belirtilmiştir. Ketencik metil esterinin alt ısıl değeri Tablo 6.1'de görüldüğü üzere 38,65 MJ/kg'dır.

6.2. Performans Değerleri

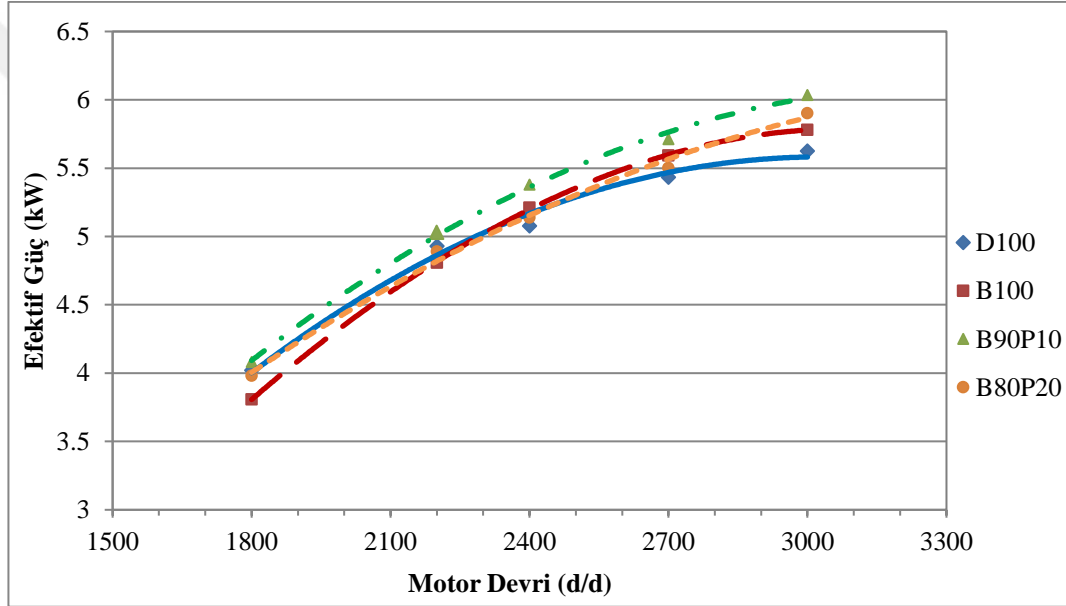
Motor deneyleri dizel (D100) yakıtı referans olmak üzere, ketencik biyodizeli (B100), %10 pentanol katkılı biyodizel yakıtı (B90P10) ve %20 pentanol katkılı biyodizel yakıtı (B80P20) olmak üzere dört farklı yakıt ile gerçekleştirilmiştir. Bu yakıtların kullanımı ile elde edilen performans ve is emisyonu değişimleri aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

6.2.1. Efektif motor gücü

Motordan elde edilen güç ve moment (tork) değerleri, yakıt/hava karışım kalitesine, püskürtülen yakıtın atomizasyon özelliklerine, tutuşma gecikmesine, ısı yayılım oranına, kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal karakteristikleri gibi değişkenlere bağlıdır [95]. Dört farklı deney yakıtı kullanılarak dizel motorda yapılan performans deneyleri sonucu elde edilen efektif motor gücü değişimleri Şekil 6.1'de gösterildiği

gibidir. Şekilde görüldüğü üzere tüm deney yakıtlarının kullanımı sonucu motor devrinin artmasıyla birlikte efektif motor gücü de artmaktadır.

Tüm test yakıtları ile 3000 dev/dak'da maksimum güç elde edilmiştir. Bu devirde biyodizel (B100) kullanımı ile elde edilen güç 5,78 kW, dizel (D100) yakıtı ile elde edilen güç 5,62 kW olarak hesaplanmıştır. B100 yakıtı kullanımı sonucunda maksimum devirde %2,76 daha fazla güç elde edildiği görülmektedir. Ortalama değerler bakımından ise iki yakıt arasında belirgin bir fark olmadığı, dizel yakıtı ile kıyaslandığında biyodizel kullanımı sonucu düşük motor devirlerinde az güç elde edilirken, yüksek devirlerde bir miktar fazla güç elde edildiği görülmüştür.



Şekil 6.1 : Motor gücü.

Ketencik biyodizeli, dizel yakıtına kıyasla daha düşük ısı değere sahip olmasına rağmen, biyodizelin daha yüksek olan yoğunluğu sebebiyle birim zamanda püskürtülen yakıt miktarının fazla olması, güç değerinde bir miktar artışa sebep olduğu öngörülmektedir. B100 yakıtının daha yüksek setan sayısına sahip olması ve içerdiği oksijen miktarı nedeni ile yüksek devirlerde silindir içinde daha iyi yanma sağlayarak da bir miktar güç artışı elde edildiği düşünülmektedir. Ayrıca motorun yüksek devirlerde çalışması ile biyodizelin yüksek olan viskozite değerinde, artan sıcaklığın etkisiyle bir miktar iyileşme olduğu, bu nedenle karışım oluşumu ve yanmanın yüksek devirlerde daha iyi gerçekleştiği de düşünülebilir.

Gerçekleştirilen testlerde B90P10 ve B80P20 yakıtlarının kullanımı ile 3000 dev/dak'da hesaplanan efektif güç değerleri sırasıyla 6,03 kW ve 5,90 kW olmuştur. Bu yakıtların kullanımı ile elde edilen ortalama efektif güç değerleri ise sırasıyla 5,24 kW ve 5,08 kW olarak belirlenmiştir. B100 yakıtına %10 pentanol ilavesi ile oluşturulan B90P10 yakıtı ile tüm motor devirlerinde güç artışı kaydedilmiştir. Bu yakıtın kullanımı ile ortalama güç artışı yaklaşık %4.11 olarak hesaplanmıştır. B100 yakıtına %20 pentanol ilavesi ile hazırlanan B80P20 yakıtında ise B90P10 yakıtına oranla daha az güç elde edilmiştir. B100 ile karşılaştırıldığında ise ciddi bir fark olmadığı görülmüştür.

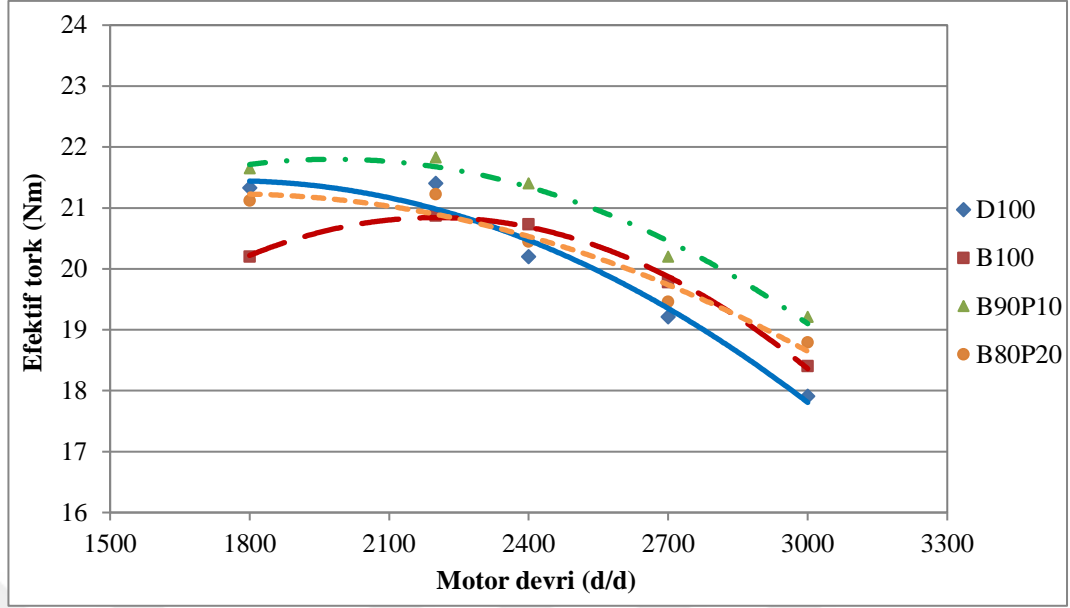
B100 yakıtına pentanol ilavesinin oluşturduğu bu etki; karışımın azalmış olan viskozitesi sebebiyle daha iyi püskürtme özellikleri göstererek yakıtın daha iyi atomize olması ve karışımın oksijen miktarının artması sonucu yanmanın daha verimli gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Daha önce yapılan bir çalışmada biyodizele pentanol ilavesinin daha iyi yanma özellikleri göstererek silindir içinde elde edilen maksimum basıncı (tepe basıncını) arttırdığı belirlenmiştir [96].

B100 yakıtına %20 pentanol ilavesi ile B90P10 yakıtına göre motor gücünde bir miktar azalma olduğu görülmektedir. Pentanolün oksijen içeriğinin ve düşük viskozitesinin pozitif katkısı, daha düşük ısıl değer ve setan sayısının yarattığı olumsuz etkilerle dengelenmektedir. Bu etkiler bir miktar güç düşüşü olarak ortaya çıkmaktadır.

6.2.2. Efektif tork

Deney yakıtlarının kullanımı ile farklı devirlerde elde edilen efektif tork değişimleri Şekil 6.2'de verildiği gibidir.

Deney yakıtlarının kullanımı ile belirli devir aralıklarında yapılan testlerde en yüksek efektif tork değerine 2200 dev/dak'da ulaşılmıştır. Motor devri 2200 dev/dak'nın üstüne çıkıldıkça devir sayısının artmasıyla orantılı olarak sürtünme kayıplarının artması ve volümetrik verimin düşmesi sonucu efektif tork değerinin de giderek azalan bir eğri izlediği belirlenmiştir. Minimum efektif tork değeri ise deney motorunun en yüksek test devri olan 3000 dev/dak da elde edilmiştir.



Şekil 6.2 : Motor torku.

D100 ve B100 yakıtlarının kullanımı ile elde edilen ortalama efektif tork değerleri her iki yakıt için de birbirine yakın değerde bulunmuştur. En yüksek efektif tork değerlerinin elde edildiği 2200 dev/dak'da D100 ve B100 yakıtları için elde edilen tork değerleri sırasıyla 21,40 Nm ve 20,87 Nm'dir. Bu noktada dizel yakıtı ile elde edilen efektif tork değeri daha fazla olmakla birlikte, yüksek devirlerde biyodizel ile elde edilen efektif tork değeri bir miktar daha fazla olmaktadır.

Artan motor devriyle birlikte volümetrik verimin düşmesi, silindir içindeki yakıtın yeteri kadar oksijen bulamayıp yanma veriminin düşmesine neden olmaktadır. Buna karşın biyodizelin oksijen içerikli bir yakıt olması, yüksek devirlerde volümetrik verimin bir miktar artmasına ve bu sayede tork artışı elde edilmesine katkı sağlamıştır. Bunun yanında yüksek devirlerde ulaşılan yüksek sıcaklıkların, yakıtın fiziksel özellikleri üzerinde olumlu etki gösterdiği ve daha iyi karışım oluşumu sağlandığı düşünülmektedir.

Biyodizele pentanol ilavesi ile tork değerinde artış gözlemlenmiştir. B90P10 yakıtı kullanımı ile tüm devirlerde tork artışı yaşanırken, B80P20 yakıtı kullanımı ile belirli devir aralığında (2400-2700) düşüş gözlemlenmiştir. Maksimum torkun elde edildiği 2200 dev/dak'da belirlenen tork değerleri B90P10 yakıtı için 21,82 Nm, B80P20 yakıtı için 21,22 Nm'dir. B90P10 ve B80P20 yakıtlarının kullanımı ile elde edilen ortalama tork değerleri sırasıyla 20,85 Nm ve 20,2 Nm olarak hesaplanmıştır. Bu değerler B100

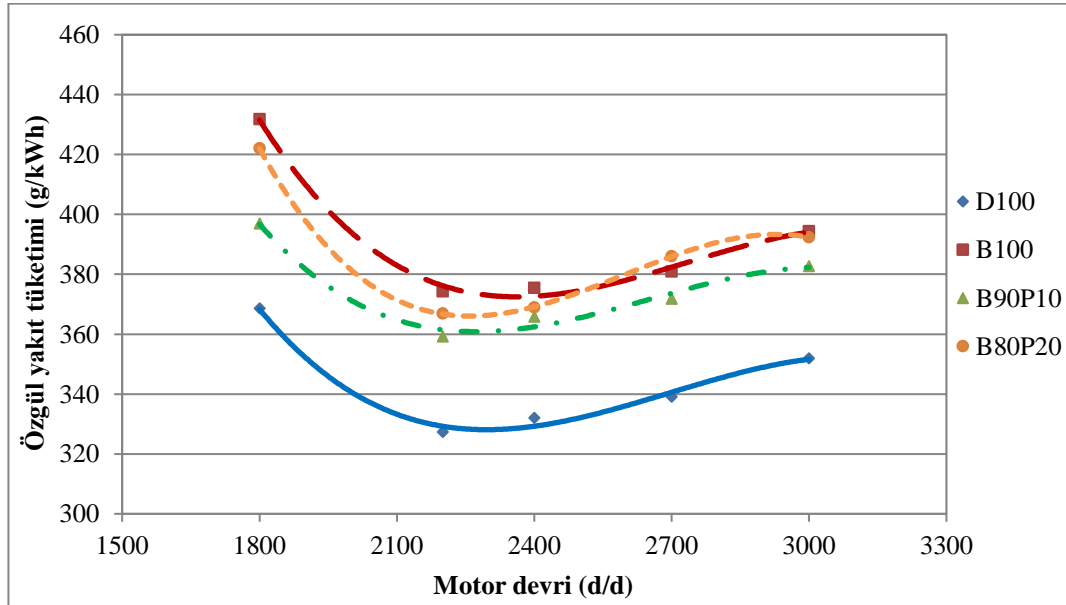
yakıtı ile karşılaştırıldığında B90P10 yakıtı kullanımı ile yaklaşık %4,3 ve B80P20 yakıtı kullanımı ile yaklaşık %1,05 tork artışı elde edilmiştir.

Pentanol ilavesi, biyodizelin yoğunluk, viskozite ve uçuculuk gibi fiziksel özelliklerinde iyileşmeye sebep olduğundan, yakıtın daha iyi karışım oluşturmasını ve bunun neticesinde daha iyi yanmasını sağlamaktadır. Bu etkiler güç ve tork artışı olarak kendini göstermektedir. Diğer yandan pentanol oranındaki artışın, ısıl değer ve setan sayısı üzerindeki olumsuz etkisi, elde edilen efektif tork değerini düşürmektedir.

6.2.3. Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi (ÖYT), birim güç elde etmek için kütleli olarak ne kadar yakıt tüketildiğini gösteren önemli bir parametredir. Bu bakımdan düşük ÖYT her zaman istenen bir özelliktir. ÖYT'ni etkileyen temel faktör kullanılan yakıtın ısıl değeri olmakla birlikte viskozite ve yoğunluk değerleri de oldukça etkilidir. Dizel motorlarında kullanılan yakıtın enerji içeriği (ısıl değeri) düştükçe aynı miktarda güç elde etmek için yanma odasına daha fazla yakıt gönderilmesi gerekmektedir [97].

Gerçekleştirilen motor deneylerinde dizel, biyodizel ve biyodizele farklı oranlarda pentanol ilavesi ile elde edilen yakıtların kullanımı sonucunda hesaplanan özgül yakıt tüketimi değişimleri Şekil 6.3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.3 : Özgül yakıt tüketimi.

Tüm test yakıtları ile volümetrik verimin en yüksek olduğu 2200 dev/dak'da en düşük ÖYT değerleri elde edilmiştir. Bu devir aşıldıkça motora gönderilen yakıt miktarının artmasıyla birlikte ÖYT'nin de artış gösterdiği belirlenmiştir.

Deney yakıtları içerisinde en düşük özgül yakıt tüketimi, D100 yakıtı kullanıldığında ölçülmekte ve bunun, D100 yakıtının yüksek enerji içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Test motoru ile yapılan ölçümlerde D100 yakıtı kullanımı ile elde edilen ortalama ÖYT yaklaşık 343,81 g/kWh olarak hesaplanmıştır. Diğer deney yakıtlarının kullanılmasıyla elde edilen ortalama ÖYT değerleri ise B100 yakıtı için 391,35 g/kWh, B90P10 yakıtı için 375,31 g/kWh ve B80P20 yakıtı için 387,24 g/kWh olarak hesaplanmıştır.

Dizel motorlarda, yakıtın sahip olduğu özgül ağırlık, viskozite ve ısıl değerinin yanı sıra yakıt enjeksiyon sistemi ve motorun çalışma devri de özgül yakıt tüketimini etkileyen faktörlerdir [98]. Biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketimlerinde biyodizelin düşük ısıl değere sahip olmasının yanı sıra yoğunluk ve viskozitesinin fazla olması nedeniyle tüm devirlerde artış gözlenmiştir. D100 ile karşılaştırıldığında tüm devirler ortalamasında yaklaşık %13,8'lik artış olduğu belirlenmiştir.

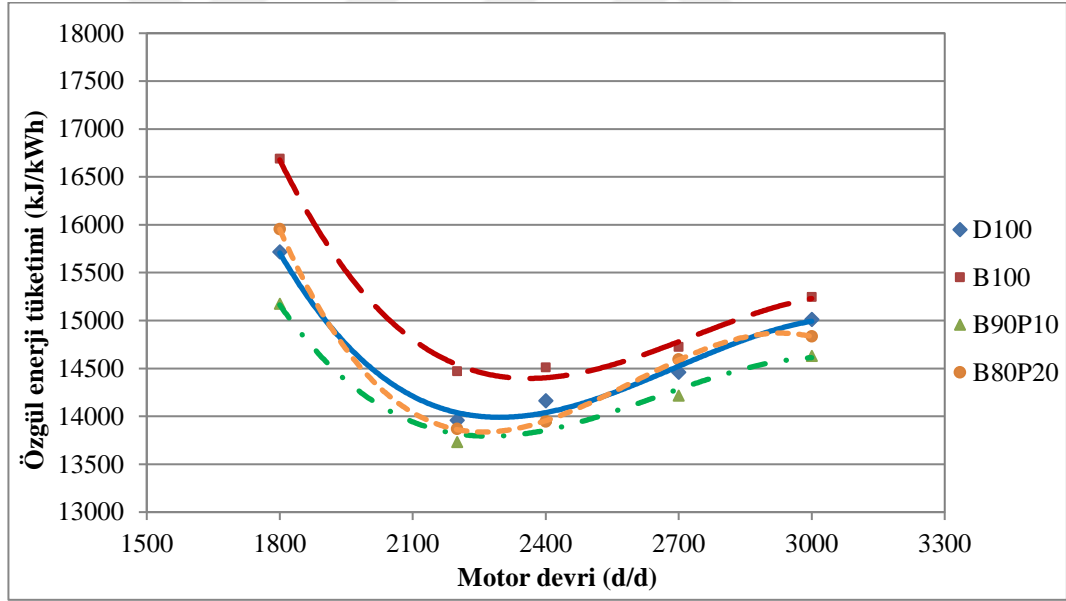
Biyodizele pentanol ilave edilerek hazırlanan yakıt karışımlarının kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde iyileşme tespit edilmiştir. Ortalama özgül yakıt tüketimi değerleri bakımından B100 ile karşılaştırıldığında, B90P10 yakıtı kullanımı ile yaklaşık %4,2 iyileşme elde edilirken, B80P20 yakıtı kullanımı ile yaklaşık %1,06'lık bir iyileşme elde edilmiştir.

Pentanol içeren yakıt karışımlarının kullanımı ile ÖYT'de elde edilen bu iyileşme, yanma işlemindeki gelişmeye bağlanabilir. Yanma olayındaki gelişme, ilave oksijen moleküllerinin varlığı, daha düşük viskozite ve daha düşük karışım yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Öte yandan B80P20 yakıtı kullanımında, karışımdaki alkol oranının artması ile özgül yakıt tüketiminin arttığı belirlenmiştir. B100 yakıtına %20 pentanol ilavesi ile ısıl değer ve setan sayısındaki azalma, B90P10 karışımında yanmayı iyileştiren faktörler karşısında ağır basmaktadır.

6.2.4. Özgül enerji tüketimi

Özgül enerji tüketimi (ÖET), bir saatte birim çıkış gücü elde etmek için motora verilmesi gereken enerjiyi ifade etmektedir. ÖET değerindeki azalma, eşit miktarda güç elde edebilmek için daha az enerji tüketilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Özgül yakıt tüketiminden farklı olarak kullanılan yakıtın ısıl değeriyle yakından ilişkilidir. Bu bakımdan özellikle birbirinden farklı ısıl değere sahip yakıtların mukayese edilmesinde özgül yakıt tüketiminden daha etkili bir değişkendir [99].

Dört farklı deney yakıtı kullanılarak dizel motorda yapılan performans deneyleri sonucu elde edilen özgül enerji tüketimi değişimleri Şekil 6.4'de gösterildiği gibidir. Gerçekleştirilen deneylerde hesaplanan en düşük ÖET değerleri test motorunun 2200 dev/dak'da çalışması ile elde edilmiştir. En yüksek ÖET değeri ise efektif gücün en düşük, özgül yakıt tüketiminin en yüksek olduğu 1800 dev/dak'da elde edilmiştir.



Şekil 6.4 : Özgül enerji tüketimi.

Gerçekleştirilen deneyler neticesinde tüm değerler ortalamasına bakıldığında en yüksek özgül enerji tüketimi B100 yakıtı kullanımı sonucu 15126 kJ/kWh olarak hesaplanmıştır. D100 yakıtı ile hesaplanan ortalama ÖET değeri ise 14660 kJ/kWh'dir. B90P10 yakıtı ile yapılan testlerde elde edilen ortalama 14346 kJ/kWh değeri, tüm yakıtlar arasında en düşük ÖET değeridir. Diğer yandan B80P20 yakıtı ile elde edilen ortalama ÖET değeri ise 14637 kJ/kWh olarak belirlenmiştir.

Elde edilen veriler neticesinde tüm değerler ortalamasına bakıldığında, B100 yakıtı, tüm yakıtlar arasında en yüksek özgül enerji tüketimine sahip olan yakıttır. B100 yakıtı kullanımı ile D100'e oranla yaklaşık %3,1 daha fazla enerji tüketilmiştir. B100 yakıtının yüksek özgül yakıt tüketimi bu sonucun temel nedeni olarak görülmektedir. Bununla birlikte yüksek devirlerde (2700-3000 dev/dak) B100 yakıtının özgül enerji tüketimi, D100 yakıtına yaklaşmakta ve düşük devirlerde fazla olan fark, bu devirlerde bir miktar kapanmaktadır.

Yüksek devirlerde sağlanan bu iyileşme, yüksek sıcaklıkların yakıtın fiziksel özelliklerini olumlu etkilemesi ve yakıtının oksijen içermesi sebebiyle birim güç elde etmek için harcanan enerji miktarının bir miktar azaldığı şeklinde yorumlanabilir.

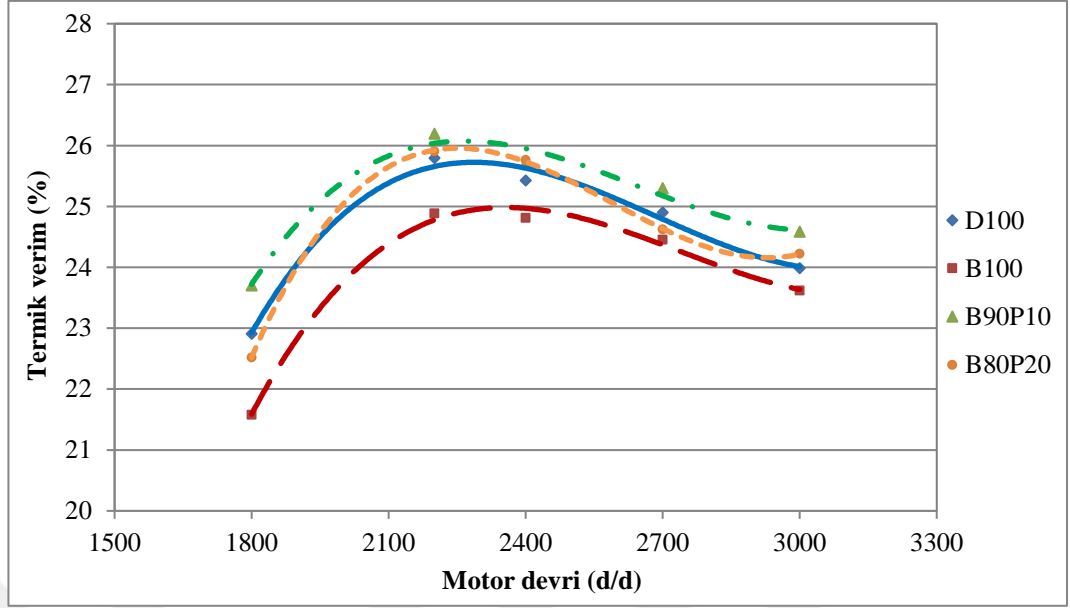
B100 yakıtına pentanol ilavesi ile ÖET değerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Tüm değerler ortalamasına bakıldığında B90P10 yakıtı kullanımı ile B100 yakıtına kıyasla yaklaşık %5,4 iyileşme elde edilirken, B80P20 yakıtı kullanımı ile yaklaşık %3,3 iyileşme olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu iyileşme pentanol ilavesinin yanma verimini arttırarak ÖET'ni düşürdüğünü göstermektedir.

6.2.5. Termik verim

Dört farklı deney yakıtı kullanılarak dizel motorda yapılan performans deneyleri sonucu elde edilen termik verim değişimleri Şekil 6.5'de gösterildiği gibidir.

Test motorunun 2200 dev/dak'da çalışma koşullarında tüm deney yakıtları için hesaplanan termik verim değerlerinin en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. 2200 dev/dak'dan sonra devir sayısı arttıkça termik verim düşmektedir. Artan devir sayısı ile birlikte volümetrik verimin azalması ve sürtünme kayıplarının artması, bu düşüşün temel nedenidir.

Tüm değerler ortalamasına bakıldığında B90P10 yakıtının kullanımıyla elde edilen %25,09'luk verim değeri tüm deney yakıtları içerisinde en yüksek termik verim değeri olarak belirlenmiştir. Diğer yandan B80P20 yakıtı için ortalama termik verim değeri %24,60 hesaplanırken, B100 ve D100 yakıtları için sırasıyla %23,86 ve %24,60 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.5 : Termik verim.

Grafik genel olarak incelendiğinde D100 yakıtının termik verimi B100'den daha fazladır. İki yakıt arasında düşük ve orta devirlerde daha belirgin bir fark varken, yüksek devirlerde bu farkın bir miktar kapandığı belirlenmiştir. Yüksek devirlerde volümetrik verimin düşmesi sonucu yanma olayı kötüleşmekte ve termik verim düşmektedir. Buna karşın B100 yakıtının sahip olduğu oksijen molekülleri sayesinde volümetrik verimde artış sağlandığı ve bu sayede yanma olayının daha iyi gerçekleşmesi ile termik verimin bir miktar iyileştiği düşünülmektedir.

Yoğunluk, viskozite, uçuculuk ve yüzey gerilimi gibi fiziksel özellikler, yanma olayını etkileyen önemli parametrelerdir. Yakıtın yüzey gerilimi ve viskozitesi atomizasyon derecesini belirlerken, yakıtın uçuculuğu ise buharlaşma ve yakıtın hava ile karışmasını belirler. Alkollerin daha yüksek uçuculuğa sahip olması karışım oluşumunu hızlandırmaktadır. Bu da doğrudan olarak yakıtın verimli yanması ile ilişkilidir [100].

Biyodizel pentanol ilavesi ile tüm test devirlerinde termik verimin arttığı belirlenmiştir. Termik verimde elde edilen bu gelişme, pentanol içinde bulunan ve silindir içindeki mevcut yakıtın tamamen yanmasını destekleyen ilave oksijen moleküllerinin varlığına bağlanabilir. Pentanol ilavesinin sağladığı ekstra oksijen artışı ve düşük viskozite (daha ince damlacıklar ile gelişmiş yakıt atomizasyonu) yanma işlemini iyileştirmiştir. Pentanol karışımlarında -OH grubunun bulunuyor olması, yüksek sıcaklıkta yanma

sırasında C-C bağıını zayıflatır ve daha hızlı yanma ile sonuçlanır. Bu da termik verimin artmasına neden olur [96].

Diğer yandan artan pentanol oranı ile termik verimde azalma belirlenmiştir. Pentanol ilavesinin sağladığı olumlu etkilere rağmen, yüksek alkol ilavesi ile azalan ısı değerinin ve setan sayısının yarattığı olumsuz etki daha ağır basmakta ve bu durum termik verimin bir miktar düşmesine sebep olmaktadır.

Gerçekleştirilen deneylerde tüm test yakıtları ile 1800 dev/dak'da en düşük termik verim değerleri elde edilmiştir. Motorun en düşük test devri olan 1800 dev/dak'da çalışması esnasında ısı kayıplarının fazla olması ve döngüsel hava hareketlerinin yavaş kalması sonucu karışım oluşumunu kötüleştirmekte ve bu etkiler termik verimin düşmesine sebep olmaktadır.

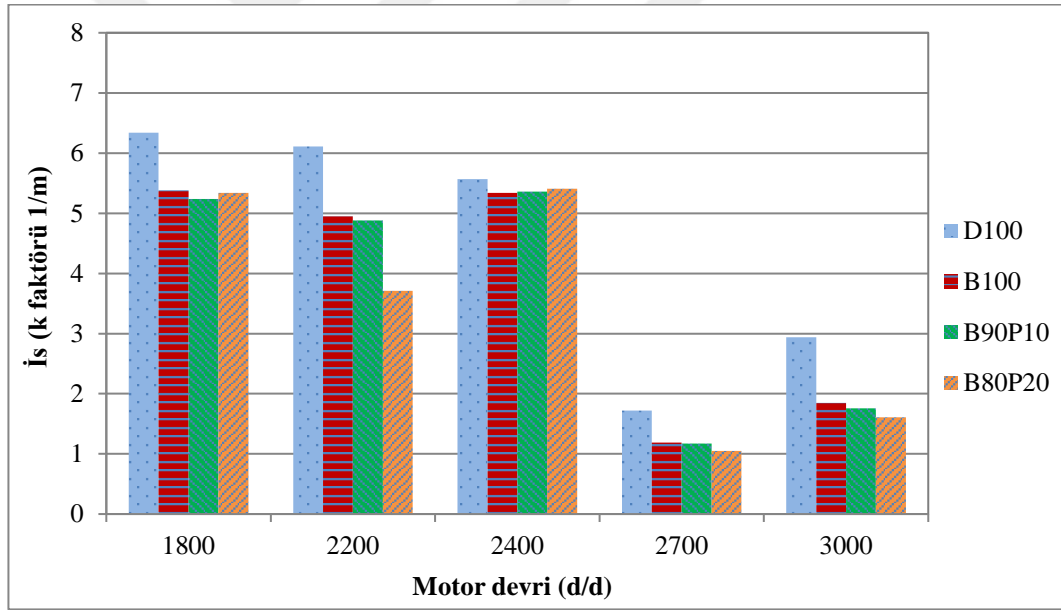
6.3. Isı Emisyonları

Dizel motorlarında is (duman koyuluğu) oluşumu silindir içinde gerçekleşen kimyasal yanma reaksiyonuyla doğrudan ilişkilidir. Motorda daha verimli yanmanın sağlanabilmesi için, yanma odasında yakıtın tam yanmasını sağlayacak miktarda hava ve yeterli süre olması gerekmektedir. Yanma olayını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunlar arasında is oluşumunu en fazla etkileyen faktörler, yakıt ve havanın karışımını destekleyen hava hareketleri, yakıt/hava oranı, sıcaklık ve oksijen miktarıdır. Düşük yüklerde difüzyon yanma olayının daha kötü gerçekleşmesi (hava hareketleri, türbülans) ve sıcaklığın düşük olması, yüksek yüklerde ise yetersiz reaksiyon süresi sebebiyle yanma kötüleşmekte ve duman yoğunluğu artmaktadır. Bununla birlikte püskürtme zamanlaması ve tutuşma gecikmesi de is emisyonu oluşumu üzerinde etkili parametrelerdir [101].

Dizel motorlarda is emisyonları hidrokarbonların (HC) eksik yanması sonucu oluşur. Bu eksik yanma, hidrokarbonlar içerisindeki hidrojen moleküllerinin oksijen ile daha kolay tepkimeye girerek ortamdaki oksijeni azaltması, kalan karbon moleküllerinin ise yeteri kadar oksijen bulamaması ve oksitlenemeyerek (duman şeklinde) egzoz gazı ile dışarı atılması anlamına gelmektedir. Biyodizel yakıtının oksijen içerikli olması, is oluşumu bakımından onu dizel yakıtına göre daha üstün kılmaktadır. Fazladan oksijen, yanma

reaksiyonu sırasında daha fazla karbon molekülünün oksitlenmesini ve bu sayede is oluşumunun azalmasını destekler [102].

Şekil 6.6'da D100, B100, B90P10 ve B80P20 yakıtları için ölçülen is emisyonu değerleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde D100 yakıtı ile en fazla is emisyonu ölçülmüştür. Dizel yakıtı içerdiği aromatik bileşikler ve kükürt sebebiyle is ve partikül madde oluşumunu arttırmaktadır. Dizel yakıtı içerisindeki aromatiklerin yüzdesi arttıkça is emisyonları da bununla orantılı olarak artmaktadır [102]. Biyodizelin ise aromatikler içermemesi ve ihmal edilecek düzeyde sülfür bulundurması is emisyonlarında önemli azalmalar meydana getirmektedir. Bununla birlikte oksijen içeriğine sahip olması, yukarıda açıklanan sebepler doğrultusunda is emisyonlarını önemli ölçüde düşürmektedir. D100 yakıtı ile karşılaştırıldığında B100 kullanımı ile is emisyonlarında ortalama %21,2 oranında düşüş olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.6 : Is emisyonları.

B100'e pentanol ilavesi ile is emisyonlarında bir miktar azalma olmuştur. B90P10 ve B80P20 yakıtlarıyla elde edilen azalma sırasıyla %1,69 ve %9,28 olmuştur. Bu azalmanın pentanol ilavesinin karışıma sağladığı fazladan oksijen içeriğinden kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca pentanolün daha yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olması, silindir içerisine daha fazla oksijen alınmasını sağlayarak is emisyonlarının azalmasında bir miktar etkili olduğu da düşünülebilir.

Genel olarak bakıldığında 1800-2400 dev/dak arasında yüksek duman koyuluğu görölmekte, daha yüksek devirlerde duman koyuluğu düşmektedir. Düşük motor devirlerinde silindir içindeki hava hareketlerinin kısmen yavaş olması, is emisyonlarının bu değerlerde çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Yüksek devirlerde hava hareketlerinin artmasına bağlı olarak daha iyi yakıt karışımı sağlanmakta ve is emisyonları düşmektedir.



BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Enerji, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler açısından son derece önemli bir kavramdır. Günümüzde bir ülkenin tükettiği enerji miktarı o ülkenin refah ve gelişmişlik seviyesini göstermede en belirleyici unsurlardan biridir. Hızlı bir gelişim sürecinde olan Türkiye, gelişmeye devam ettikçe enerji ihtiyacı da katlanarak artmaktadır. Özellikle ulaşım sektörü incelendiğinde, kara ulaşımında artan dizel taşıt sayısı ve kullanımına bağlı olarak motorin tüketiminin de ciddi oranda arttığı görülmektedir. Artan bu talebi karşılamada büyük oranda dışa bağımlı olan Türkiye için, yeni ve yerli enerji kaynakları oluşturmak son derece önemlidir. Bu kaynaklar arasında biyodizel, özellikle taşımacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan dizel yakıtına alternatif olması sebebiyle oldukça dikkat çekmektedir. Günümüzde biyodizel fiyatlarının geleneksel dizel yakıtından fazla oluşu, uygun maliyetli ve verimli hammadde arayışlarını gerekli kılmaktadır.

Ketencik bitkisi biyodizel üretimi için birçok uygun tarımsal özelliğe sahiptir. Bunlardan en önemlisi diğer yağ bitkilerinin birçoğunun yetiştirilemediği toprak ve iklim şartlarında yetiştirilebilmesidir. Bunun yanı sıra yüksek yağ içeriğine sahip olan ketenciğin hasat süresinin kısa olması, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklı olması, gübreleme ve ilaçlama ihtiyacının az olması üretim maliyetini oldukça düşürmektedir. Geçtiğimiz yıllarda hava yolu şirketleri tarafından jet yakıtı olarak kullanımının başarılı sonuçlar vermesi de ketenciği ayrı bir noktaya taşımıştır.

Tüm bunlar değerlendirildiğinde ketencik bitkisi daha düşük maliyetli ve yerli biyoyakıt üretimini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip umut verici bir hammadde kaynağı olarak belirlenmiştir. Biyodizel kullanımını ilerleyen yıllarda arttırmayı hedefleyen ülkemiz için daha uygun maliyetli hammadde temin edilmesi tüm milletimizin çıkarına olacaktır.

Ketencik yağının üstün özellikleri dikkate alınarak biyodizel üretim sürecine geçilmiştir. Ketencik yağından biyodizel üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve analiz sonucu elde edilen değerler oldukça tatmin edici bulunmuştur. Bulunan değerlerin Avrupa biyodizel standardı EN 14214 ve Amerika standardı ASTM D 5741 limitleri içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Diğer aşamada ketencik tohumu yağından elde edilen biyodizel (B100) ve biyodizel yakıtına farklı oranlarda yüksek karbonlu alkol (pentanol) ilavesinin beş farklı motor devrinde performans ve is emisyonu değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

1. Yapılan testlerde B100 yakıtının kullanımı ile D100 yakıtına kıyasla düşük devirlerde daha az efektif motor gücü ve torku elde edilirken yüksek devirlerde bir miktar fazla efektif güç ve tork elde edildiği belirlenmiştir. En yüksek efektif motor gücü maksimum motor devri olan 3000 dev/dak'da elde edilirken, en yüksek efektif tork değeri ise volümetrik verimin en yüksek olduğu 2200 dev/dak'da elde edilmiştir. B100 yakıtı kullanımı ile yüksek devirlerde yüksek sıcaklıkların etkisiyle daha iyi karışım oluşumu ve yanma gerçekleştiği belirlenmiştir.
2. B100 yakıtına %10 pentanol ilavesi ile hazırlanan B90P10 yakıtı ile tüm devirlerde daha fazla güç ve tork değerine ulaşılmıştır. Oluşan bu etki pentanol ilavesinin sağladığı fazladan oksijen içeriğiyle birlikte, düşük viskozite ve yoğunluk sayesinde silindir içerisinde yakıtın daha iyi atomize olarak yanma verimini arttırdığı şeklinde yorumlanmıştır. Bunun yanı sıra alkol oranının artması ile ısı değer ve setan sayısındaki düşüşün, alkol ilavesinin oluşturduğu olumlu etkiler üzerinde ağır basarak yanma sonu elde edilen efektif güç ve tork değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir.
3. Dizel motorunda hazırlanan test yakıtlarının beş farklı motor devrinde özgül yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir. Deneyle sonucunda 2200 dev/dak'da en düşük özgül yakıt tüketimi değeri hesaplanmıştır. Test yakıtları içerisinde D100 yakıtı kullanımı ile en düşük özgül yakıt tüketimi değerine ulaşılmıştır. Ortalama özgül yakıt tüketimi bakımından B100 yakıtı D100 yakıtı ile karşılaştırıldığında, birim güç elde etmek için %13,8 daha fazla yakıt harcamıştır. B100 yakıtı tüm yakıtlar arasında en fazla özgül yakıt tüketimine sahip yakıt olmuştur.

4. B90P10 yakıtı kullanımı ile yapılan deneylerde özgül yakıt tüketiminin D100 yakıtından daha fazla olmakla birlikte B100 yakıtından daha düşük olduğu görülmüştür. B80P20 yakıtının özgül yakıt tüketimi B90P10 yakıtından daha yüksektir. Bu bulgular neticesinde B100 yakıtına %10 pentanol ilavesi ile özgül yakıt tüketiminde bir iyileşme olduğu belirlenmiştir. Pentanol oranı %20 ye çıkarıldığında ise özgül yakıt tüketiminin arttığı belirlenmiştir.
5. Dizel motorunda hazırlanan test yakıtlarının farklı motor devirlerinde özgül enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ortalama özgül enerji tüketiminin D100 yakıtı kullanımıyla daha az olduğu, buna karşın yüksek devirlerde (2700-3000 dev/dak) B100 yakıtı kullanımıyla daha yakın özgül enerji tüketimine ulaşıldığı belirlenmiştir. B100 yakıtı D100'e kıyasla düşük devirlerde kötü yanma özelliği sergilerken, yüksek devirlerde yanma veriminin yükseldiği belirlenmiştir.
6. B90P10 yakıtı kullanımı ile en düşük özgül enerji tüketimi değeri elde edilmiştir. Oksijen içerikli ve düşük viskoziteli yakıtların özgül enerji tüketiminde olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir. Buna karşın karışımın oksijen oranını arttırmak suretiyle daha fazla pentanol ilavesinin, diğer parametreler (ısıl değer, setan sayısı) üzerinde olumsuz etki gösterdiği ve özgül enerji tüketimini arttırdığı belirlenmiştir.
7. Dizel motorunda hazırlanan test yakıtlarının farklı motor devirlerinde termik verim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek termik verim değeri test motorunun 2200 dev/dak da çalıştığı durumda tespit edilmiştir. B100 ile karşılaştırıldığında D100 yakıtı kullanımı ile tüm devirlerde daha fazla termik verim elde edilmiştir. İki yakıt arasında düşük ve orta devirlerde daha belirgin bir fark varken, yüksek devirlerde bu farkın kapandığı ve B100 yakıtı ile elde edilen termik verimin D100'e yaklaştığı belirlenmiştir.
8. B100 yakıtına pentanol ilavesi ile tüm devirlerde daha fazla termik verim elde edilmiştir. Pentanol ilavesinin B100 yakıtının yoğunluk, viskozite ve uçuculuk gibi fiziksel özelliklerinde iyileşmeye sebep olduğu ve yakıtın karışım oluşturma özelliğini arttırdığı belirlenmiştir. Bunun yanında oksijen içeriğinin de yanma verimini arttırdığı belirlenmiştir. Pentanol oranındaki artış ile ısıl değer ve setan

sayısındaki azalmanın, olumlu etkiler karşısında ağır bastığı ve yanma verimini düşürdüğü belirlenmiştir.

9. Son aşamada D100, B100, B90P10 ve B80P20 yakıtlarının yanma sonucu oluşturduğu is emisyonu (duman koyuluğu) değerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. İs emisyonlarının yüksek devirlerde ciddi oranda düştüğü belirlenmiştir. Yüksek devirlerde silindir içi hava hareketlerinin yüksek oluşu daha iyi karışım oluşumunu desteklediği ve is emisyonlarında düşüşe neden olduğu görülmüştür. D100 ile karşılaştırıldığında oksijen içerikli olan B100 ve pentanol ilaveli karışımların duman koyuluğunda azalma olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte pentanolün daha yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olması, silindir içerisine daha fazla oksijen alınmasını sağlayarak is emisyonlarının azaltmada bir miktar etkili olduğu belirlenmiştir.

7.2. Öneriler

Yapılan çalışmalar doğrultusunda aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır.

1. Ketencik bitkisinin farklı genotipleri üzerinde ıslahat çalışmaları yapılarak Türkiye koşullarında daha verimli yetiştirilmesi ve ürün alınması sağlanabilir.
2. Ketencik yağından biyodizel üretimi konusunda sınırlı çalışma mevcuttur ve biyodizel üretimi açısından çalışmalar arttırılmalıdır.
3. Pentanolün üretim maliyeti oldukça yüksektir. Yakıt katkısı olarak kullanılabilmesi için daha düşük maliyetli üretim prosesleri üzerinde çalışmalar yapılmalıdır.
4. Biyodizele pentanol ilavesinin motor donanımları (yakıt deposu, enjeksiyon sistemi, yakıt iletim hatları) üzerinde olumsuz etkilerinin varlığı araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Adaçay, F.R. (2014). Türkiye İçin Enerji ve Kalkınmada Perspektifler. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6 (2), 87-103.
- [2] T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı. (2016). 2017 Bütçe Sunumu.
- [3] International Energy Agency (İEA). (2014). World Energy Outlook 2014.
- [4] ExxonMobil. (2018). The Outlook for Energy: A View to 2040.
- [5] Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. (2014). 2014 Yılı Sektör Raporu.
- [6] T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı. (2017). Dünya ve Türkiye Enerji Ve Tabii Kaynaklar Görünümü.
- [7] Fidan, M.S. ve Alkan, E. (2014). Bitkisel Hammaddelerden Elde Edilen Biyodizelin Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (2), 144-160.
- [8] Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4 (2), 33-54.
- [9] BP Statistical Review of World Energy. (2019). 68th edition, page 8.
- [10] BP Statistical Review of World Energy. (2014). Page 40.
- [11] Koçak, Ç. (2018). Enerji Sektöründe Talep Tahminleri Ve Türkiye Genel Enerji Değerlerinin İrdelenmesi. *TMMOB oda raporu*, MMO/691, 11-32.
- [12] International Energy Agency (İEA). (2016). Energy Policies of IEA Countries: Turkey, 2016 Review.
- [13] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), <<http://www.osd.org.tr/bilgi-bankasi/tuik/>>, erişim tarihi 10.2.2019.
- [14] Otomotiv Sanayii Derneği, <<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-tipine-gore-nihai-enerji-tuketimi-i-85796>>, erişim tarihi 18.3.2019.
- [15] Alptekin, E. ve Çanakcı, M. (2011). Hayvansal Kökenli Yağlardan Biyodizel Üretimi. *VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, KAYSERİ
- [16] Behçet, R. ve Çakmak, A. (2011). Farklı Hammaddelerden Üretilen biyodizel Yakıtların Motor Performans Ve Emisyonlarının karşılaştırılması. *18. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi*, Zonguldak.

- [17] Budak, N., Bayındır, H. ve Yücel H.L. (2009). Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Performans Ve Egzoz Emisyonları Açısından Değerlendirilmesi. *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır.
- [18] Yılmaz, G., Kınay, A. ve Ayışığı, S. (2014). Ketencik (*Camelina Sativa*) Bitkisinin Tanıtımı Ve Yetiştiriciliği. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, Samsun
- [19] Akyaz, S. (2007). *Benzin - tersiyer bütül alkol ve benzin – naftalin karışımlarının buji ateşlemeli motorun performansına ve eksoz emisyonlarına etkisinin deneysel incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [20] Ölçüm, T. (2006). *Biyodizel teknolojisi*. (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Batmaz, İ. (2007). Buji ateşlemeli motorlarda yakıtta hidrojen ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi dergisi*. 22 (1), 137-147
- [22] Simon, M. J., Brady, S., Lowell, D. ve Quant, M. (2007). *Guidelines for use of hydrogen fuel in commercial vehicles final report* (Raport no: FMCSA-RRT-07-020). U.S. Development of Transportation.
- [23] Haşımoğlu, C., Ciniviz, M. ve Uçar, G. (2016). Günümüzde içten yanmalı motorlarda hidrojen yakıtının kullanılması. *Selçuk teknik online dergisi*, 1 (1-2000).
- [24] Oral, E. ve Çelik, V. (n. d.). Hidrojen yakıtlı motor teknolojisi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 46 (540).
- [25] Ayhan, V. (2006). *Metanol-benzin karışımlarının MgO-ZrO₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi*. (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [26] Karagöz, Y. (2012). *İçten yanmalı motorlarda hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanılması*. (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Veziroğlu T. N. ve Barbir, F. (1998). Hydrogen Energy Technologies. United Nations Industrial Development Organization. A-1400 Vienne, Austria.
- [28] Kahraman, N., Akansu, S. O. ve Albayrak, B. (n. d.) İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak hidrojen kullanılması. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 48 (569)
- [29] Horuz, A., Korkmaz, A. ve Akınoğlu, G. (2015). Biyoyakıt bitkileri ve teknolojisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3 (2), 69 - 81
- [30] Eyidoğan, M. (2008). Biyogazın saflaştırılması ve motorlu taşıt yakıtı olarak kullanımı. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 49 (584).

- [31] Yılmaz, İ.T. (2015). *Düşük ısı kayıplı bir dizel motorda çift yakıt (biyogaz-dizel) kullanımının performans ve emisyonlara etkisi*. (Doktora tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] Yavuz ,M. (2019). *Biyogaz yakıtlı dizel motorda pilot yakıt miktarının emisyonlar üzerine etkisi*. (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Yılmaz, İ.T. ve Gümüş, M. (2017). Biyogaz-dizel çift yakıtlı dizel motor üzerine bir araştırma. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (3), 919-927.
- [34] Alptekin, E. ve Çanakcı, M. (2011). Hayvansal kökenli yağlardan biyodizel üretimi. *VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Kayseri.
- [35] Hassan, M.J. ve Kalam, M.A. (2013). An overview of biofuel as a renewable energy source: development and challenges. *Procedia Engineering*, 56, 39 – 53
- [36] Özer, S. (2014). Alkollerin içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19 (1).
- [37] Atmanlı, A. (2013). *Dizel motorunda dizel yakıtı - alkol – bitkisel yağ karışımları kullanımının motor karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi*. (Doktora tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [37] Nigam, P. S. ve Singh, A. (2011). Production of liquid biofuels from renewable resources-Review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37 (1), 52-68.
- [38] Ray, N.H.S., Mohanty, M.K. ve Mohanty, R.C. (2013). Biogas as Alternate Fuel in Diesel Engines: A Literature Review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9 (1), 23-28.
- [39] Narin, M. (2008). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Tarımı. 2. *Ulusal İktisat Kongresi, 20-22 şubat*, İzmir.
- [40] Shurtleff, W. ve Aoyagi, A. (2017). History of biodiesel (1900-2017). Soyinfo Center, Lafayette, CA 94549-0234, USA.
- [41] Aktaş, A. ve Özer, S. (2014). Ham Pirina Yağının Biyodizel Potansiyelinin Araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (1), 132-139.
- [42] Alptekin, E. ve Çanakcı, M. (2006). Biyodizel ve Türkiye'deki durumu. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 47 (561).
- [43] Sabancı, A., Atal, M. ve Yaşar, A. (2006). Türkiye’de biyodizel kullanım ve olanakları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2 (1), 33-39.
- [44] Işığigür, A. (1992). *Türkiye kökenli aspir tohum yağlarının transesterifikasyonu ve dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilmesi* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [45] Singh, P., Singh, R.I. ve Kundu, K. (2010). Combustion of Biodiesel from Vegetable Oil in Engines—A Review. National Conference on Futuristic Trends in Mechanical Engineering, 29-30 October, GNDEC Ludhiana. <https://www.researchgate.net/publication/267394968>
- [46] Çelikten, İ. ve Arslan, M.A. (2008). Dizel yakıtı, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin direkt püskürtmeli bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (4), 829-836.
- [47] Knothe, G. (2010). Biodiesel and renewable diesel: A comparison. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36, 364–373.
- [48] Singha, D., Sharma, D., Sonia, S.L., Sharma, S. ve Kumarib, D. (2019). Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review. *Fuel*, 253, 60–71
- [49] Roy, M.M., Wang, W. ve Alawi, M. (2014). Performance and emissions of a diesel engine fueled by biodiesel–diesel, biodiesel–diesel-additive and kerosene–biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, 84, 164–173.
- [50] Alleman, T.L. ve McCormick R.L. (2016). Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition). U.S. Development of Energy, DOE/GO-102016-4875,
- [51] Oğuz, H. ve Öğüt, H. (2001). Tarım traktörlerinde bitkisel kökenli yağ ve yakıt kullanımı. *Selçuk teknik Online Dergisi*, 2 (2).
- [52] Budak, N., Bayındır, H. ve Yücel, H.L. (2009). Dizel motorlarda biyodizel kullanımının performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirilmesi. *V. Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu*, Diyarbakır.
- [53] APEC. (2009). Establishment of the Guidelines for the Development of Biodiesel Standards in the APEC Region. Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Thailand.
- [54] Alpgiray, B. (2006). *Kanola yağının dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [55] Tomas, D., Lakshmanan, P. ve Songstad, D. (2009). *Biofuels; Global Impact on Renewable Energy, Production Agriculture, and Technological Advancements*. Springer Science and Business Media.
- [56] Eliçin, A.K. (2011). *Biyodizel yakıtla çalıştırılan küçük güçlü bir dizel motorun performans ve emisyonuna giriş hava basıncı etkisinin deneysel olarak araştırılması*. (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [57] Hacıkadiroğlu, H. (2007). *Bitkisel yağ esterleri – motorin karışımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi*. (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [58] Yüce, İ. (2008). *Alternatif yakıt olarak biyodizelin türkiye'deki ve almanya'daki durumu ile taşıtlarda kullanımının incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [59] Mutlu, E. (2010). *Dizel yakıtı, kanola yağı ve fındık yağı metil esterlerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkilerinin deneysel incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [60] Aksoy, L. (2010). Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 2 (3), 45-52.
- [61] Daud, N.M., Abdullah, S.R.S., Hasan, H.A. ve Yaakob, Z. (2015). Production of biodiesel and its wastewater treatment technologies: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 94, 487–508.
- [62] Sakthivela, R., Rameshb, K., Purnachandran, R. ve Shameera, P.M. (2018). A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2970–2992.
- [63] Knothe G. (2005). Dependence of Biodiesel Fuel properties on The structure of Fatty Acid Alkyl Esters, *Fuel Processing Technology*, 86, 1059-1070
- [64] Barabás, I. ve Todoruț I.A. (2011). Biodiesel Quality, Standards and Properties. Biodiesel- Quality, Emissions and By-Products, Dr. Gisela Montero (e.d) <<https://www.intechopen.com/books/biodiesel-quality-emissions-and-by-products/biodiesel-quality-standards-and-properties>>, erişim tarihi 10.04.2019.
- [65] Akarlı, A., Alpaslan, N., Çiçek, T., Diktaş, E., Elmacı, Y., Karagözlü, C., Öztüre, N., Sayın, R., Sezerman, U., Sındır, K.O., Sipahi, D. ve Şahin, O. (2004). Biyodizel yakıtın uluslararası standartlarda üretimi. *Bioenerji Sempozyumu*, İzmir.
- [66] NREL. (2009). Biodiesel Handling and Use Guide (Fourth Edition). U.S. Department of Energy. NREL/TP-540-43672.
- [67] Kumar, B.R. ve Saravanan, S. (2016). Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 84–115.
- [68] Yılmaz, N. ve Atmanlı, A. (2017). Experimental evaluation of a diesel engine running on the blends of diesel and pentanol as a next generation higher alcohol. *Fuel*, 210, 75–82.
- [69] Fernández, J.C., Arnal, J.M., Gómez, J. ve Dorado, M.P. (2012). A comparison of performance of higher alcohols/diesel fuel blends in a diesel engine. *Applied Energy*, 95, 267–275.
- [70] Kumar, B.R. ve Savaranan S. (2016). Effects of iso-butanol/diesel and n-pentanol/diesel blends on performance and emissions of a DI diesel engine under premixed LTC (low temperature combustion) mode. *Fuel*, 170, 49–59.

- [71] Vinod B.M, Madhu M.K. ve Amba P.R.G. (2017). Butanol and pentanol: The promising biofuels for CI engines – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1068–1088.
- [72] Cann, A.F. ve Liao J.C. (2010). Pentanol isomer synthesis in engineered microorganisms. *Appl Microbiol Biotechnol*, 85, 893–899.
- [73] Li, L., Wang, J., Wang, Z. ve Xiao, J. (2015). Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel/biodiesel/pentanol fuel blends. *Fuel*, 156, 211-218.
- [74] Ashok, B., Jeevanantham, A.K., Nanthagopal, K., Saravanan, B., Kumar M.S., Johny, A., Mohan, A., Kaisan, M.U. ve Abubakar, S. (2019). An experimental analysis on the effect of n-pentanol- Calophyllum Inophyllum Biodiesel binary blends in CI engine characteristics. *Energy*, 173, 290-305.
- [75] Rajasekar, V. (2016). Experimental investigations to study the effect of butanol and pentanol addition in a jatropha oil methyl ester fuelled compression ignition engine. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9 (1).
- [76] Radheshyam, Santhosh, K. ve Kumar G.N. (2019). Effect of 1-pentanol addition and EGR on the combustion, performance and emission characteristic of a CRDI diesel engine. *Renewable Energy*, 145, 925-936.
- [77] Kurt, O. ve Seyis, F. (2008). Alternatif Yağ Bitkisi: Ketencik [*Camelina sativa* (L.) Crantz]. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23 (2), 116-120.
- [78] Zubr, J. (1997). Oil-seed crop; *Camelina sativa*. *Industrial Crops and Products*, 6 (2), 113-119.
- [79] Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J. ve Cermak, S. (2016). *Camelina* uses, genetics, genomics, production, and management. *Industrial Crops and Products*, 94, 690–710.
- [80] Bamerni, F. (2018). *Plant-based (CamelinaSativa) biodiesel manufacturing using the technology of Instant Controlled pressure Drop (DIC) : process performance and biofuel quality.*(Master These). Chemical and Process Engineering. Université de La Rochelle. France.
- [81] Koç, N., Önder, M., ve Öğüt, H. (2012). Jet Yakıtı Hammaddesi *Camelina sativa* (L.) Crantz Ketencik. *Konya Ticaret Borsası Dergisi*, 42, 18-22.
- [82] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), <http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001>, erişim tarihi 18.3.2019.
- [83] Akk, E. ve Ilumäe, E. (2005). Possibilities of growing *Camelina sativa* in ecological cultivation. Estonian Research Institute of Agriculture <https://www.researchgate.net/publication/268411025_Possibilities_of_growing_Camelina_sativa_in_ecological_cultivation>, erişim tarihi 18.02.2019.
- [84] T.C. Gıda, Tarım Ve Hayvancılık Bakanlığı Tohumluk Tescil Ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü. (2017). *Ketencik tescil raporu*. Ankara.

- [85] Katar, D., Arslan, Y. ve Subaşı, İ. (2012). Ankara Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarının Ketencik (*Camelina Sativa* (L.) Crantz) Bitkisinin Yağ Oranı ve Bileşimi Üzerine Olan Etkisinin Belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (3), 84-90.
- [86] Rajvanshi, S. ve Sharma, M.P. (2012). Microalgae: A Potential Source of Biodiesel. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 2, 49-59. <http://dx.doi.org/10.4236/jsbs.2012.23008>
- [87] Önder, M. (2013). Kop Bölgesinde Tarımı Yapılabilecek Yeni Bir Yağ Bitkisi Ketencik [*Camelina Sativa* (L.) Crantz]. *Ulusal Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*, Konya
- [88] Pilgeram, A.L., Sands, D.C., Boss, D., Dale, N., Wichman, D., Lamb, P., Lu, C., Barrows, R., Kirkpatrick, M., Thompson, B. ve Johnson, D.L. (2007). *Camelina sativa*, a Montana omega-3 and fuel crop. Issues in new crops and new uses. Janick, J. and Whipkey, A. eds. ASHS Press, Alexandria, pp. 129-131.
- [89] Göre, M. ve Kurt, O. (2017). Farklı Ketencik [*Camelina sativa* (L.) Crantz.] Genotiplerinin Ham Yağ Oranları ve Yağ Asitleri Kompozisyonlarının Belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 201-205.
- [90] Moser, B.R. (2010). *Camelina* (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: Golden opportunity or false hope?. *Lipid Technology*, 22, 270-273.
- [91] Özçelik, A.E., Aydoğan, H. ve Acaroğlu, M. (2015). Determining the performance, emission and combustion properties of camelina biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, 96, 47-57.
- [92] Balo, F., Kurtbaş, İ. ve Yücel, H.L. (2006). Bitkisel Yağların Dizel Yakıt Özellikleri. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*. Elazığ.
- [93] Bassam, N. E. (2010). *Hand Of Bioenergy Crops; A Complete Reference To Species, Developmenet And Applications*. Earthscon, London Washington DC, 18.
- [94] Japon Airlines, “JAL Flight Brings Aviation One Step Closer to Using Biofuel”, <<http://press.jal.co.jp/en/release/200901/003159.html>>, erişim tarihi 21.9.2019.
- [95] Çelik, M. (2015). *Biyodizel yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi*. (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [96] Sathiyamoorthia, R. ve Sankaranarayanan, G. (2017). The effects of using ethanol as additive on the combustion and emissions of a direct injection diesel engine fuelled with neat lemongrass oil-diesel fuel blend. *Renewable Energy*, 101, 747-756.
- [97] Özsezen, A.N., Çanakçı, M., Türkcan, A. ve Sayın, C. (2009), Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters. *Fuel*, 88 (4), 629-636.


- [98] Yoon, S.K., Kim, M.S., Kim H.J. ve Choi, N.J. (2014). Effects of Canola Oil Biodiesel Fuel Blends on Combustion, Performance, and Emissions Reduction in a Common Rail Diesel Engine. *Energies*, 7, 8132-8149
- [99] Karakuş, N. (2000). *Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi*. (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,
- [100] Altun, Ş. (2009). *Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması*. (Doktora tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [101] Şen, S. (2012) *Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [102] Özsezen A.N. ve Çanakcı M. (2009). Biyodizel ve Karışımlarının Kullanıldığı bir Dizel Motorda Performans ve Emisyon Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (2), 173-180.

EKLER

EK A: Analiz sonuçları

EK A



Rapor no : 35487319-125.05-968-6267																										
Talep eden : Mehmet Sabit Yıllancılar																										
Talep edenin adresi :																										
Örnek : Biyodizel	Son kullanım tarihi : -																									
Örnek sayısı : 1 adet	Enstitü örnek kayıt no : 18/451/1																									
Örneğin getiriliş şekli : Müşteri Tarafından	Kabul tarihi ve saati : 06/11/2018 – 16:30																									
Kabul anındaki durumu : Mühürsüz ve Şartlı	Analiz tarihi : 07/11/2018																									
Şahit numune bilgileri :	<input type="checkbox"/> Müşteriye iade	<input type="checkbox"/> Şahit numune mevcut	<input checked="" type="checkbox"/> Şahit numune alınmamıştır																							
<p>Mehmet Sabit Yıllancılar tarafından, gönderilen numuneye ait analiz sonucu aşağıda verilmektedir.</p>																										
<table border="1"><thead><tr><th>ANALİZ</th><th>BİRİM</th><th>ANALİZ SONUCU</th><th>ANALİZ METODU</th></tr></thead><tbody><tr><td>Yoğunluk 15°C</td><td>kg/m³</td><td>892,1</td><td>TS EN ISO 12185</td></tr><tr><td>Kinematik Viskozite 40°C</td><td>mm²/s</td><td>4,933</td><td>TS 1451 EN ISO 3104</td></tr><tr><td>Üst Isıl Değer Tayini</td><td rowspan="2">Mj/kg</td><td>39,78</td><td>ASTM D 240</td></tr><tr><td>Alt Isıl Değer</td><td>38,65</td><td>ASTM D 240 (hesap ile)</td></tr><tr><td>Parlama Noktası</td><td>°C</td><td>169,5</td><td>TS EN ISO 2719</td></tr></tbody></table>				ANALİZ	BİRİM	ANALİZ SONUCU	ANALİZ METODU	Yoğunluk 15°C	kg/m ³	892,1	TS EN ISO 12185	Kinematik Viskozite 40°C	mm ² /s	4,933	TS 1451 EN ISO 3104	Üst Isıl Değer Tayini	Mj/kg	39,78	ASTM D 240	Alt Isıl Değer	38,65	ASTM D 240 (hesap ile)	Parlama Noktası	°C	169,5	TS EN ISO 2719
ANALİZ	BİRİM	ANALİZ SONUCU	ANALİZ METODU																							
Yoğunluk 15°C	kg/m ³	892,1	TS EN ISO 12185																							
Kinematik Viskozite 40°C	mm ² /s	4,933	TS 1451 EN ISO 3104																							
Üst Isıl Değer Tayini	Mj/kg	39,78	ASTM D 240																							
Alt Isıl Değer		38,65	ASTM D 240 (hesap ile)																							
Parlama Noktası	°C	169,5	TS EN ISO 2719																							
Açıklamalar:																										
Sorumlu İmza																										
																										
53398																										
Bu rapor ve sonuçları talepte bulunan kuruluş ve müşterilerince ticaret ve reklam amaçları ile kullanılamaz. Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. Rapor (*) işaretli analizler akredite edilmiştir. İmzasız analiz raporları geçersizdir.																										
Bu rapor 2 sayfa olup, 2 asıl (1 asıl müşteriye, 1 asıl Enstitü arşivine) olarak hazırlanmıştır.			Sayfa 2/2																							

P.K.21, 41470 GEBZE – KOCAELİ
T 0 262 677 20 00 F 0 262 641 23 09
http://www.tubitak.gov.tr

Şekil A.1 : Ketencik yağı metil esteri analiz sonuçları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Sabit Yılandılar
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.03.1992 / İSTANBUL
E-posta : msy.sabitt@gmail.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016 yılında, Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölümünden onur belgesi ile mezun oldum.
- Mercedes-Benz Koluman Motorlu Araçlar A.Ş’de 2 ay Satış&Teknik Destek,
- Rcs Rözmaş Çelik San. Tic A.Ş 'de 2 ay Ar-Ge ve Tasarım mühendisi,
- Bosal Metal İşleme Sanayi A.Ş’de 4 ay Üretim Mühendisi olarak staj eğitimlerimi tamamlamış bulunmaktayım.
- 2017 yılında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi’nde Otomotiv Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladım ve hâlâ devam etmekteyim.