

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT BİLİM DALI**

**ÜZÜM VE VIŞNE ÇEKİRDEĞİ YAĞLARINDAN ELDE EDİLEN
METİL ESTERLERİN MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Burak ESENLIOĞULLARI

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Recep Onur UZUN**



MANİSA-2021

Burak
ESENLIOĞULLARI

**ÜZÜM VE VIŞNE ÇEKİRDEĞİ YAĞLARINDAN ELDE EDİLEN METİL
ESTERLERİN MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

2021

TEZ ONAYI

Burak ESENLIOĞULLARI tarafından hazırlanan "**Üzüm ve Vişne Çekirdeği Yağlarından Elde Edilen Metil Esterlerin Motor Performans ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisinin İncelenmesi**" adlı tez çalışması 22/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Recep Onur UZUN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ali YURDDAŞ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Uğur ÇAVDAR
İzmir Demokrasi Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Burak ESENLIOĞULLARI



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLolar DİZİNİ	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
2. ALTERNATİF YAKITLAR ve BİYODİZEL	8
2.1. Alternatif Yakıt Türleri ve Özellikleri	8
2.1.1. Hidrojen	8
2.1.2. Piller ve Yakıt Hücreleri	17
2.1.3. Biyo-Alkoller	22
2.1.4. Biyodizeller	28
2.2. Biyodizel Hammadde Kaynakları	29
2.2.1. Birinci Jenerasyon Kaynaklar	30
2.2.2. İkinci Jenerasyon Kaynaklar	30
2.2.3. Üçüncü Jenerasyon Kaynaklar	31
2.3. Biyodizelin Çevresel Etkileri	32
2.4. Biyodizelin Özellikleri	33
2.4.1. Biyodizelin Yakıt Olarak Teknik Özellikleri	33
2.4.2. Biyodizelin Fiziksel Özellikleri	34
2.4.3. Biyodizelin Kimyasal Özellikleri	39
2.5. Biyodizel Üretim Yöntemleri.....	40
2.5.1. Piroliz Yöntemi	41
2.5.2. Mikroemülsiyon Yöntemi	42
2.5.3. Seyreltme Yöntemi	42
2.5.4. Transesterifikasyon Yöntemi	43
2.5.5. Süper Kritik Yöntem	46
2.6. Biyodizel Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları	48
2.7. Dünyada Biyodizel.....	51
2.8. Türkiye’de Biyodizel	52
3. İÇTEN YANMALI MOTORLAR.....	54
3.1. Benzinli Motorlar	54

3.2. Dizel Motorlar	56
3.2.1. Dizel Motorlarda Yanma.....	58
3.2.2. Dizel Motorlarda Yanma Olayının Evreleri.....	60
3.2.3 Dizel Motorlarda Egzoz Emisyonlarının Oluşumu.....	62
3.2.4. Dizel Motorda Emisyonu Etkileyen Parametreler	66
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	71
4.1. Transesterifikasyon Yöntemi ile Biyodizel Üretimi	71
4.2. Kullanılan Yakıtlar	73
4.3. Kullanılan Motor	74
4.4. Biyodizel Karakterizasyonu	74
4.4.1. Yoğunluk Tayini	74
4.4.2. Viskozite Tayini	74
4.4.3. Parlama Noktası Tayini.....	75
4.4.4. Isıl Değer Tayini	75
4.5. Motor Performans Analizi.....	75
4.6. Egzoz Emisyonu Analizi.....	77
5. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA	79
5.1. Vişne ve Üzüm Çekirdeği Yağı Metil Esterleri ile Hazırlanan Yakıt Karışımlarına Ait Bazı Tespit Edilen Fiziksel Özellikler	79
5.2. Motor Performans Karakterizasyonu	80
5.2.1. Vişne Çekirdeği Yağı Metil Esteri ile Hazırlanan Yakıt Karışımları ve Motorin Yakıtına Ait Motor Performans Verileri.....	80
5.2.2. Üzüm Çekirdeği Yağı Metil Esteri ile Hazırlanan Yakıt Karışımları ve Motorin Yakıtına Ait Motor Performans Verileri.....	87
5.3. Egzoz Emisyon Karakterizasyonu	92
5.3.1 Vişne Çekirdeği Yağı Metil Esteri ile Hazırlanan Yakıt Karışımları ve Motorin Yakıtına Ait Egzoz Emisyonları	92
5.3.2 Üzüm Çekirdeği Yağı Metil Esteri ile Hazırlanan Yakıt Karışımları ve Motorin Yakıtına Ait Egzoz Emisyonları	98
6. SONUÇLAR	104
KAYNAKLAR	106
ÖZGEÇMİŞ	113

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BMEP	Fren ortalama etkili basınç (Brake Mean Effective Pressure)
C₂H₅OH	Etanol
CFPP	Soğuk filtre tepe noktası (Cold Filter Plugging Point)
CH₃OH	Metanol
CH₄	Metan
CO	Karbonmonoksit
CO₂	Karbondioksit
CP	Bulut noktası (Cloud Point)
EGR	Egzoz gazlarını tekrar sirküle etme (Exhaust Gas Recirculation)
H₂	Hidrojen
H₂O	Su
H₂SO₄	Sülfürik Asit
HC	Hidrokarbon
HCl	Hidroklorik Asit
KOH	Potasyum Hidroksit
N₂	Azot
N₂O	Nitröz Oksit
NaOH	Sodyum Hidroksit
NO	Azotoksit
NO_x	Azot Oksitler
O₂	Oksijen
PP	Akma noktası (Pour Point)
SC	Süperkritik akışkan (Supercritical Fluid)
TC	Kritik sıcaklık (Critical Temperature)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. (a) Metanol, (b) Etanol ve (c) n-Bütanol molekül yapısı.....	23
Şekil 2.2. Biyokütleden bütanol elde edilme prosesi.....	24
Şekil 2.3. Metanol üretim prosesi.....	26
Şekil 2.4. Etanol üretim prosesi.....	28
Şekil 2.5. Biyodizel üretim mekanizmasının şemasal olarak gösterimi.....	40
Şekil 2.6. Transesterifikasyon tekniğinin kimyasal adımları.....	44
Şekil 2.7. Biyodizel üretiminde işlem adımları.....	46
Şekil 2.8. Süper kritik olayının grafiği.....	47
Şekil 2.9. Süper kritik tekniği ile biyodizel üretimi.....	47
Şekil 3.1. Benzinli motorun dıştan görünüşü.....	54
Şekil 3.2. Dört zamanlı benzin motoru çevrimleri.....	55
Şekil 3.3. Dört zamanlı dizel motorda strok çevrimleri.....	56
Şekil 3.4. Bir dizel motordan elde edilen ideal p-V diyagramı.....	58
Şekil 3.5. Yakıt püskürtülme esnasında oluşan demetin emisyon oluşum kısımları .	59
Şekil 3.6. Yakıt püskürtülme esnasında oluşan demetin emisyon oluşum kısımları .	59
Şekil 3.7. Dizel yakıtı uyumlu bir motora ait basınç-krank açısı diyagramı ile püskürtme stratejisi diyagramı.....	60
Şekil 3.8. CO salınımının BMEP'a göre değişimi.....	63
Şekil 3.9. HC salınımlarının hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişim grafiği .	64
Şekil 3.10. HC salınımlarının motor yüküne göre değişim grafiği.....	64
Şekil 4.1. Manyetik ısıtıcıya konulmuş potasyum metoksit ve yağ karışımı.....	72
Şekil 4.2. Ayırma hunisinde beliren fazlar.....	72
Şekil 4.3. Yıkama işlemi sonrasında elde edilen biyodizel.....	73
Şekil 4.4. Motor rejim sıcaklığının zamana bağlı grafiği.....	76
Şekil 4.5. Dinamometre motor test paneli.....	76
Şekil 5.1. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı tork grafiği.....	81
Şekil 5.2. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı güç grafiği.....	83
Şekil 5.3. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı özgül yakıt sarfiyatı grafiği.....	85
Şekil 5.4. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı egzoz gazı çıkış sıcaklığı grafiği.....	86
Şekil 5.5. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı tork grafiği.....	87
Şekil 5.6. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı güç grafiği.....	89

Şekil 5.7. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı özgül yakıt sarfiyatı grafiği	90
Şekil 5.8. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı egzoz gazı çıkış sıcaklığı grafiği	91
Şekil 5.9. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO emisyonu grafiği	93
Şekil 5.10. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı HC emisyonu grafiği	94
Şekil 5.11. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO ₂ emisyonu grafiği.....	95
Şekil 5.12. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı O ₂ emisyonu grafiği.....	96
Şekil 5.13. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı NO _x emisyonu grafiği	97
Şekil 5.14. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait duman koyuluğu grafiği	98
Şekil 5.15. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO emisyonu grafiği	99
Şekil 5.16. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı HC emisyonu grafiği	100
Şekil 5.17. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO ₂ emisyonu grafiği.....	101
Şekil 5.18. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı O ₂ emisyonu grafiği.....	102
Şekil 5.19. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı NO _x emisyonu grafiği	102
Şekil 5.20. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait duman koyuluğu grafiği	103

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Biyodizel üretiminde kullanılabilen bitkiler	30
Tablo 2.2. Algler ve ısııl değerleri	32
Tablo 2.3. Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri.....	34
Tablo 4.1. Yakıt formlarının indisleri ve hacimce karışım yüzdeleri	73
Tablo 4.2. Deneyde kullanılan dizel motorunun teknik özellikleri.....	74
Tablo 4.3. Egzoz emisyon cihazına ait teknik özellikler	77
Tablo 5.1. Üzüm ve vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımlarının tespit edilen fiziksel özellikleri.....	80
Tablo 5.2. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait tork verileri.....	82
Tablo 5.3. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait güç verileri.....	83
Tablo 5.4. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait özgül yakıt sarfiyatı verileri	85
Tablo 5.5. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait egzoz gazı çıkış sıcaklığı verileri	86
Tablo 5.6. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait tork verileri.....	88
Tablo 5.7. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait güç verileri.....	89
Tablo 5.8. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait özgül yakıt sarfiyatı verileri	91
Tablo 5.9. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait egzoz gazı çıkış sıcaklığı verileri	92

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, beni titizlikle yönlendiren, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, birlikte çalıőmaktan büyük onur duyduğum çok değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Recep Onur UZUN' a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, hep yanımda olan aileme ve bu çalışma boyunca destekleriyle yanımda olan kıymetli dostlarıma yürekten teşekkür ederim.

Burak ESENLIOĞULLARI
Manisa, 2021



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜZÜM VE VIŞNE ÇEKİRDEĞİ YAĞLARINDAN ELDE EDİLEN METİL ESTERLERİN MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Burak ESENLIOĞULLARI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Recep Onur UZUN

Enerji, insanların her alanda faydalandıkları çok önemli ve vazgeçilmez bir unsurdur. Günümüzde kullanılan en önemli enerji kaynaklarının başında fosil kaynaklı yakıtlar gelmektedir. Fosil kaynaklı yakıtların zamanla tükeniyor olması, zararlı emisyonlarının atmosfere salınıp küresel ısınmayı arttırması, gün geçtikçe fiyatlarının artması gibi nedenler alternatif enerji arayışlarını kaçınılmaz kılmıştır. Bu çalışmada, vişne ve üzüm çekirdeği yağlarından transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen biyodizellerin belirli oranlarda (%5, %10, %15, %20) motorin yakıtı ile karıştırılarak farklı yakıt formları (VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15}, VSN_{B20}, UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15}, UZM_{B20}) oluşturulmuştur. Hazırlanan yakıt formlarının tek silindirli, hava soğutmalı, doğrudan enjeksiyonlu bir dizel motora ait performans ve egzoz emisyon karakteristiklerine etkisi incelenmiştir.

Maksimum tork ve maksimum güç elde edilen motor hızlarında biyoyakıt karışımların sağladığı verilerin motorine göre azaldığı, tüm yakıt türleri için düşük devirlerde özgül yakıt sarfiyatlarının nispeten yükseldiği, 2500 dev/dk motor hızında minimum özgül yakıt sarfiyatı verilerinin sağlandığı, yüksek motor devirlerinde ise özgül yakıt sarfiyatı verilerinin tekrar artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, tüm yakıt formları için motor hızı artışıyla beraber egzoz gazı çıkış sıcaklıklarının da arttığı görülmüştür.

Tüm yakıt formları için motor hızı artışıyla birlikte CO ile O₂ emisyon değerlerinin azaldığı, CO₂ emisyonu verilerinin arttığı, biyoyakıt karışımlara ait CO ve CO₂ emisyonu verilerin motorine göre daha düşük sağlandığı, düşük motor devirlerinde tüm yakıt türlerinde HC emisyon verilerinin diğer devirlere göre yüksek olduğu, maksimum torkun elde edildiği 2000 dev/dk motor hızına kadar NO_x emisyonlarının yükseldiği, bu hızdan sonra emisyonların azaldığı, bunun yanı sıra biyoyakıt karışımlara ait duman koyuluğu değerlerinin motorin yakıtına göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Egzoz Emisyon, Motor Performans, Alternatif Yakıt.

2021, 127 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF METHYL ESTERS FROM GRAPE AND CHERRY KERNEL OILS ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSION CHARACTERISTICS

Burak ESENLIOĞULLARI

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Recep Onur UZUN

Energy is a very important and indispensable element that people benefit from in every field. Fossil-sourced fuels are among the most important energy resources used today. The reasons such as the depletion of fossil fuels over time, the harmful emissions damaging the atmosphere and increasing global warming, and the increase in prices day by day, made the search for alternative energy inevitable. In this study, biofuels were obtained from sour cherry and grape seed oils by the transesterification method, the biofuels obtained were mixed with diesel fuel in certain proportions (5%, 10%, 15%, 20%) and biofuel mixtures (VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15}, VSN_{B20}, UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15}, UZM_{B20}) have been provided. Fuel forms prepared; the effects on performance and exhaust emission characteristics of a single cylinder, air cooled, direct injection diesel engine have been investigated.

The data provided by biofuel mixtures at maximum torque and maximum power and engine speeds decreased compared to diesel fuel, specific fuel consumption increased at low revs for all fuel types, and a minimum specific fuel consumption value was obtained at 2500 rpm. Specific fuel consumption data increased again after 2500 rpm engine speed. In addition, it has been observed that as engine speed increases for all fuel types, exhaust gas outlet temperatures also increase.

For all fuel forms, as the engine speed increases, CO and O₂ emission values decrease, CO₂ emission data increase, CO and CO₂ emission data of biofuel mixtures decrease compared to diesel fuel. HC emissions are high at low engine speeds. NO_x emissions increased up to engine speed at which maximum torque was achieved, then decreased. It has been determined that the smoke density values of biofuel mixtures are lower than diesel fuel.

Keywords: Biodiesel, Exhaust Emission, Engine Performance, Alternative Fuel.

2021, 127 pages

1. GİRİŞ

Günümüzde, artan nüfus ile birlikte enerjiye talep artmış, bu durum enerji kaynaklarının azalmasına ve giderek büyüyen bir krize dönüşmeye başlamıştır. Ortaya çıkan bu kriz, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi gerekliliğini meydana getirmiştir. Özellikle günümüzde en çok kullanılan enerji çeşitlerinin başında fosil kaynaklı yakıtlar gelmektedir ve bu yakıtların rezervleri günden güne erimektedir. Ayrıca fosil yakıtlar yandığında, çevreye zarar verici emisyonları sağladığı bilinmektedir. Buna rağmen fosil yakıtlı kaynakların kullanımı oldukça yaygındır. Petrol kökenli yakıtların günden güne fiyatlarındaki artış, kaynaklarının azalması ve çevre kirliliği nedeni ile bu yakıt türünün kullanımına bazı kısıtlamalar getirilmiştir. Bu sebeple son zamanlarda özellikle dizel motorlarda yenilenebilir enerji türlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Ülkelerin çoğunda konvansiyonel enerji rezervlerinin yerini sürdürülebilir enerji rezervleri almaktadır [1]. Bu olumsuzluklar, bilim adamlarını alternatif yakıt arayışlarına itmiş ve bu sayede bilim adamları biyokütleden önemli miktarda alternatif yakıt elde edilebileceğini keşfetmişlerdir. Biyokütleden meydana getirilen en önemli yakıt türü ise özellikle dizel motorlarda kullanılabilen biyodizel yakıttır. Bilim adamları bu sebeple dizel motorlarda bitkisel yağların kullanımını üzerine birçok çalışmalar yapmışlardır [2, 3]. Günümüzde bu çalışmalar birçok bilim adamı tarafından da sürdürülmektedir.

Biyodizel yakıtı, bitkilerden ve onların tohumlarından elde edilen yağlardan, hayvansal kökenli yağlardan veya atık yağlardan elde edilebilir. Biyodizeller, yapılarında oksijen bulunmaları, yandıklarında emisyon oranlarının daha az olması, sülfür oranlarının yapılarında daha az olması ve setan sayılarının fazla olması gibi nedenlerden dolayı ilgi çekici bir alternatif yakıt türüdür. Biyodizel yakıtlarının parlama noktası fazla olduğundan güvenlik açısından daha az risk teşkil ederler. Tüm bu olumlu yönlerine karşın biyodizellerin motorin yakıtına göre uçuculuk özelliğinin düşük olması, viskozitesinin fazla olması dezavantajlarıdır. Viskozitenin fazla olması püskürtme işleminde kötüleşmeye, karbon birikmesine, yağlamanın kötüleşmesine neden olmaktadır. Uçuculuk özelliğinin az olması nedeniyle de tutuşma gecikmesi süresi uzar, başlangıç hareketinde zorluklar görülür ve alev sönmesi gibi olaylar

yaşanır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla en yaygın biçimde transesterifikasyon tekniği kullanılır [4].

Bu çalışmada; üzüm ve vişne çekirdeği yağlarından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilmiş biyodizellerin belirli oranlarda motorin ile karıştırılarak hazırlanan farklı formdaki yakıtların tek silindirli, hava soğutmalı bir dizel motora ait performans ve egzoz emisyon karakteristiklerine etkisi incelenmiştir.

Birinci bölümde; konunun önemi ve çalışmanın amacı ile birlikte gerçekleştirilen literatür araştırması ele alınmıştır.

İkinci bölümde; alternatif yakıtlar ve biyodizel ile ilgili teorik hususlar derlenmiştir.

Üçüncü bölümde; içten yanmalı motorlar ve yanma olayı ile emisyonları etkileyen parametrelerden bir bütün olarak bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde; deneysel çalışmanın amacı ve önemi ile çalışmada kullanılan yakıtlar, motor ve uygulanan yöntemler belirlenmiştir.

Beşinci bölümde; deneysel çalışmada elde edilen bulgular ve bunlar üzerindeki tartışmalar belirlenmiştir.

Altıncı ve son bölümde; bu çalışma ile birlikte elde edilen sonuçlar maddeler halinde belirtilerek konu ile ilgili önerilerden bahsedilmiştir.

Literatür Araştırması

Bitkisel yağlar başta olmak üzere, hayvansal yağlardan ve atık yağlarından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizeller elde edilmiş, elde edilen biyodizellerin alternatif yakıt olarak dizel motorlarda kullanımını inceleyen birçok çalışma yapılmış, araştırmacılar tarafından birçok çalışmada biyodizellerin, dizel motorlarda kullanımlarının motor performansları ve motor emisyon değerleri tespit edilip değerlendirilmiştir. Buna göre;

Alpgiray ve Gürhan, yapmış olduğu çalışmada, kanola yağını yakıt olarak tek silindire sahip bir dizel motorda kullanmış, kullandığı yakıtın performans açısından motora ne gibi etkileri olduğunu belirlemeyi ve emisyon olarak ne gibi etkileri olduğunu tespit etmeyi amaçlamıştır. Çalışmalarda 5,5 kW güce sahip, dizel yakıt ile çalışan ve 4 zamanlı bir motor kullanmıştır. İlk kısımda hacimsel olarak sırasıyla %20, %40, %60, %80 oranlarında kanola yağı dizel yakıt ile karıştırmıştır. Bu işlemden sonra motor performanslarına ve emisyonlarını belirlemek için deneyler yapmıştır. İkinci kısımda, transesterifikasyon yöntemi kullanıp, kanola yağı metil esteri üretmiş daha sonra elde ettiği yakıtı kullanarak emisyon ve motor testleri yapmıştır. Testlerde devir sayıları kademelerine göre yakıt tüketimi, dönme momentumu ve emisyon değerlerini tespit etmiştir. Dizel motorda kanola yağı kullanıldığında momentumda ve güçte bir miktar azalma oluştuğunu, kanola yağı metil esteri ile birlikte momentum ve güçte ham kanola yağına nazaran artış olduğunu, dizel yakıt performansına yaklaşıldığı tespit etmiştir. Transesterifikasyon yönteminin uygulandıktan sonra kanola yağı viskozitesinde ve özgül ağırlıklarında düşüş olduğunu tespit etmiştir. Bu sebeple de kanola yağı metil esteri, dizel yakıtına benzer özellik göstermiştir. Dizel yakıtına nazaran kanola yağı kullanarak yaptığı testlerde duman koyuluğunun daha fazla olduğunu görmüştür. Kanola Yağı asidi metil esterinin kullanıldığında ise seyreltme yöntemi ile elde edilen yakıtlara göre bu değerlerin düştüğünü tespit etmiştir [5].

Abdulvahitoğlu ve Tüccar, yapmış olduğu çalışmada, karpuz çekirdeğinden biyodizel elde etmiş (KÇB), motorin yakıtına alternatif olarak dizel motorda kullanmış ve uygunluğunu araştırmıştır. KÇB ile birlikte KÇB20 (hacimsel olarak %80 dizel ile %20 KÇB) karışımlarının yakıt özelliklerini fiziksel olarak değerlendirmiştir. Viskozite, yoğunluk, setan sayısı, parlama noktası ile birlikte akma noktasını tespit edip, değerlendirmeleri buna göre yapmıştır. Yakıt değerlerinin fiziksel olarak belirlenmesinde Kyoto Electronics DA130, Zeltex ZX440, Tanaka MPC-102, IKA-Werke C2000, Saybolt Üniversal Viskozimetre ve Tanaka Automated ekipmanlarını kullanmıştır. İlave olarak, test edilmek üzere hazırladığı yakıtların, emisyon değerlerini tayin etmiştir. Yapılan testleri dört silindirli ve dört zamanlı dizel motor kullanarak gerçekleştirmiştir. Deneyde kullanılan motoru 0-1700 Nm tork sınırında hidrolik özellikte dinamometreye bağlamıştır. Deneylerde KÇB kullanıldığında motorun torkunda ve fren gücünde bir miktar azalma görülürken, emisyon

değerlerinde ise iyileşme olduğu görmüştür. Deneyin sonucunda alternatif yakıt olarak karpuz çekirdeği kullanımını önermiştir [6].

Aydın ve ark., yapmış olduğu çalışmada, biyodizel alternatif yakıtını atık yağlardan elde edip, meydana getirdiği bu yakıtın motor testlerinde performans ve emisyon değerlerini incelemiştir. Deneylerde tek silindire sahip, direk püskürtmeli ve dört zamanlı özelliğe sahip dizel yakıtıyla çalışan motor kullanmıştır. Deney sonuçlarına göre, biyodizel kullanımında dizele göre fren özgül yakıtı harcaması olarak %3 oranında artış görülürken, fren özgül enerji harcamasında %5 azalma görmüştür. Bunun yanında biyodizelin dizele göre NO_x emisyonunda %17, CO emisyonunda %33 ve is emisyonunda %31 oranlarında düşüş tespit ederken, biyodizelin dizele göre HC salınımında ise %24 seviyelerinde bir artış tespit etmiştir [7].

Eryılmaz, yapmış olduğu çalışmada yabani hardal tohumu kullanarak yağ elde etmiş, bu yağı transesterifikasyon tekniği ile biyodizele dönüştürmeyi, daha sonrada bu biyodizeli bir motorda test edip performans ve emisyon verilerini elde edip kullanılabilirliğini açığa çıkarmak istemiştir. Yakıt olarak B100 (%100 biyodizel) , B20 (%20 hardal yağı metil esteri + %80 motorin) ve B2 (%2 hardal yağı metil esteri + %98 motorin) kullanmıştır. Meydana getirdiği yakıtların (B100, B20 ve B2) fiziksel özellikleri, kimyasal özellikleri ve yakıt özelliklerini tespit etmiştir. Deneylerde direkt püskürtmeli, 3 silindire sahip ve dört zamanlı bir dizel motor kullanmıştır. Test sonuçlarına göre tüm yakıtlarda en yüksek moment B100, B20 ve B2 yakıtları dizel motorda test edildiği zaman, motorinle karşılaştırıldığında, tüm yakıtlarda en yüksek momentumun 1200 dev/dk olduğu noktada olduğu, en yüksek gücün ise 2500 dev/dk noktasında olduğunu görmüştür. Motorin ile kıyaslandığında B100'de momentum olarak %2.32 artış görülürken güçte %5.61 artış görmüştür. B20'de motorine nazaran momentumda %0.83 artma tespit ederken, güçte %2.65 artma tespit etmiştir. B2 de kayda değer bir değişim görmemiştir. Maksimum güç devrinde B100 kullanımında, motorine göre özgül yakıt harcamasında %2.86 yükseliş tespit ederken, sırasıyla B20 yakıtında %1.81 oranında ve B2 yakıtında %2.82 oranında düşüş tespit etmiştir. Duman yoğunluğu seviyelerinde ise tüm yakıtlarda karışım oranı arttıkça motorine göre azalma meydana geldiğini tespit etmiştir [8].

Akbaş ve ark., yapmış olduğu çalışmada, fındık yağından bir alternatif yakıt elde etmiş, bu yakıtın kullanılabilir olduğunu gözlemlemiştir. Deney motoru tek silindirli, direk püskürtmeli, dört zamanlı ve hava soğutmalı bir motordur. Motor dizel yakıtıyla çalışmaktadır. Çalışmada ham fındık yağını bu dizel motorda kullanmıştır. Ham fındık yağının viskozitesi yüksek olduğundan ham fındık yağını %75-%50-%25 oranlarında motorine katmıştır. Bu sayede seyreltilme işlemini gerçekleştirmiştir. Yaptığı deneylerden elde edilen sonuçlarda motorinle karışım yaptığı ham fındık yağı biyodizeli, motorine göre motorun gücünde ve motorun momentinde düşüş tespit etmiştir. Bunun yanında karışım yakıtlarında özgül yakıt harcanmasını daha fazla olarak tespit etmiştir [9].

Behçet ve ark., yapmış olduğu çalışmada, motor yakıtlarına alternatif olarak atık yağlardan yakıt elde etmiş, bunların kullanılabilir olup olmadığını değerlendirmiştir. Viskozite problemini azaltmak için yağa esterleştirme tekniğini uygulamıştır. Biyodizel yakıtını, atık olan yağlardan elde etmiş ve belirli oranlarda karıştırıp motorda denemiştir. Karıştırma oranı %25 biyodizel ve %75 dizel olan yakıtı B25, %50 biyodizel ve %50 dizel olan yakıtı B50 ve %80 biyodizel ve %20 dizel olan yakıtı B80 kısaltmalarını vermiştir. Testlerde dizel motor kullanmıştır. Dizel motorun markasını Rainbow-186 olarak belirtmiştir. Yakıt karışımlarını kullanarak motor performanslarına ve egzoz emisyonlarını gözlemlemiştir. Çıkan sonuçlar benzer çalışmalara yakın çıkmıştır. Motor torku ve gücü dizele göre biraz daha az değerler tespit etmiştir. Yakıt karışımlarının yakıt tüketimlerini dizele göre daha fazla değerlerde tespit etmiştir. Emisyon ölçümlerinde NO_x ve O₂ değerlerini biyodizel karışımlarında dizele göre daha yüksek değerlerde tespit etmiştir. Diğer emisyon türlerinden CO, HC ve CO₂ biyodizel yakıtlarında dizele göre daha düşük değerlerde tespit etmiştir. Buradan yola çıkarak biyodizel ile sağlanan yakıtların çevreye daha az zarar verdiklerini belirtmiştir [10].

Uyumaz ve ark., yapmış olduğu çalışmada, atık zeytinyağından biyodizel elde etmiş, bu biyodizeli normal dizel ile karıştırıp, direk enjeksiyonlu ve tek adet silindire sahip bir dizel motorda denemiştir. Denemeler sonucunda motor performans sonuçları ve egzoz emisyonları sonuçlarını elde edip bu sonuçları karşılaştırmıştır. Testlerden elde ettiği verilere göre motor devri arttıkça ısı dağılımıyla birlikte silindir basıncının da arttığını gözlemlemiştir. Maksimum torku 2200 rpm değerinde gördüğünü tespit

etmiştir. Motor testlerinde biyodizel yakıt karışımlarının ısı değerlerinin düşük olduğunu da tespit etmiştir. Isıl verimin en yüksek olduğu değerlerin B10 yakıtı kullandığında %7.1 oranında ve B20 yakıt karışımı kullandığında ise %11.7 oranlarında azalmıştır. Karışım yakıtlarında biyodizel miktarları arttıkça NO_x değerinin arttığını, CO ve duman koyuluğu değerlerinin de azaldığını tespit etmiştir [11].

Akdere, gerçekleştirdiği çalışmada, soya yağından biyodizel elde edip, turbo şarj özellikli, dört silindire sahip, dört zamanlı ve direk püskürtmeli bir dizel motorda kullanıp deneysel veriler elde etmiştir. Elde ettiği veriler doğrultusunda dizel yakıtına göre genel olarak motor gücünde ve torkunda %2 oranında düşüş gözlemlenmiştir. Özgül yakıt tüketiminde ise %13.04 oranında bir artış görülmüştür. Duman koyuluğunda ise yaklaşık %50 oran değerlerinde bir düşüş görülmüştür. Daha püskürtme avansı öne alınarak tekrar deneyler yapılmıştır. Bu işlem uygulandıktan sonra motorun gücünde ve motorun torkunda azalma görülürken duman koyuluğu ile birlikte özgül yakıt tüketiminde artış görülmüştür [12].

Şahin, yapmış olduğu çalışmada, keten tohumlarının yağından biyodizel elde etmiş, motorin ile bu yağları belirli oranlarda karıştırmış (%2, %5, %20, %50), yakıt karışımları elde etmiştir. Daha sonra bu yakıt karışımlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini tespit etmiştir. Ayrıca yakıt karışımlarının motor performanslarını test etmiştir. Bu testler sonucunda motorin yakıtı kullandığında motor torkunu en fazla 1000 dev/dk noktasında 59,6 Nm olarak tespit etmiştir. B100 yakıtında ise en fazla tork değerini 53,8 Nm ile 1200 dev/dk noktasında tespit etmiştir. Motorin yakıtında en fazla gücü 2100 dev/dk noktasında 10,96 kW olarak tespit etmiştir. B100 yakıtında ise en fazla güç değerine 2000 dev/dk noktasında ulaşmış, bu değeri 10,23 kW olarak tespit etmiştir. Motorin yakıtında en düşük özgül yakıt tüketimini 1000 dev/dk noktasında 231,36 g/kWh olarak tespit ederken, B100 yakıtı en az özgül yakıt tüketimini 1200 dev/dk noktasında 296,73 g/kWh olarak tespit etmiştir [13].

Özsezen ve ark., yapmış olduğu çalışmada, endirekt püskürtmeli, dört silindirli ve doğal emişli bir dizel motorda, ayçiçekten elde edilen ham yağı 75 °C'de kullanmıştır. Yaptığı testlerde motorun emisyon değerleri ve motor performanslarını incelemiştir. Petrol kökenli dizel yakıtını, yapmış olduğu çalışmada referans almıştır.

Deney sonuçlarına göre ham ayçiçek yağının döndürme momentinde normal dizel yakıtına göre ortalama %1.36 azalma, dizel yakıtın efektif gücüne göre de %1.35 azalma gözlemlenmiştir. Özgül yakıt tüketimlerini karşılaştırdığında dizele göre ham ayçiçek yağı kullandığında % 4.98 oranında artış tespit etmiştir. Emisyon deneyleri verilerini inceleyip, ham ayçiçek yağını dizel motorda kullandığında, HC emisyonunda ortalama %33.66, CO₂ emisyonunda ortalama %2.05 ve duman koyuluğunda ortalama %4.52 azalma tespit etmiştir. CO emisyonunda ise ortalama %1.77 artış tespit etmiştir. Deneyler sonucunda kısa süreli kullanımlarda ham ayçiçek yağının motor performans ve emisyonuna olumsuz bir etki oluşturmadığı kanısına varmıştır [14].



2. ALTERNATİF YAKITLAR ve BİYODİZEL

2.1. Alternatif Yakıt Türleri ve Özellikleri

2.1.1. Hidrojen

Dünya nüfusunun giderek artması ve dünya ekonomisinin sürekli değişen bir potansiyeli olması sebebiyle enerji talebi git gide artış göstermektedir. Günümüzde özellikle kullanılan enerji ihtiyaç rezervlerini fosil yakacaklar, kömür, LNG, hidrolik enerji ve nükleer enerji olarak gösterebiliriz. Günümüzde, sanayileşmede ve günlük yaşamda konutlarda ihtiyaç duyulan ısı enerjisinin üretimi, vasıtalarda kullanılan motorların çalışmasında, aydınlatma ve haberleşme sektörü için enerjiye gereksinim duyulmaktadır. İnsanların enerji ihtiyaçları ise genel olarak, uygarlık seviyesi, yaşam olanakları, sahip olunan teknolojinin gelişmişliği, iklim koşulları vb. ile ilişkili olarak değişmektedir. Hidrojen gelecekte bu gereksinimleri karşılamada etkin kullanıma sahip enerji sektörlerinden biri olmaktadır. Hidrojen; sudan elde edilerek, kullanıldıktan sonra tekrar suya dönüşüm özelliği ile yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bunun sebebi hidrojenin hava ile tutuşması sonucunda oluşan tepkime ürünü su buharıdır ve su buharı tekrar hidrojen üretiminde kullanılabilir. Böylece dünyadaki doğal su kaynaklarını kullanarak elektroliz gibi yöntemler ile üretilen hidrojenin tutuşması sonucu bu kaynakları oluşturacak su tekrar üretilmektedir [15].

Hidrojen yakıt kaynaklarının kullanılmalardaki bir diğer üstünlük de havanın kirlenmesine sebep olan etki seviyesinin çok düşük olmasıdır. Hidrojenin hava ile tepkimeye girip yanması neticesinde, hidrokarbon yakıtlarda gözlenen SO (Kükürt Oksit), CO (Karbon Monoksit) benzeri gazlar ile birlikte yanmamış hidrokarbonlar açığa çıkmamaktadır. Bu sayede yanma ürünlerinin meydana getirdiği asit yağmuru, sera etkisi, fotokimyasal sis benzeri durumlar hidrojenin yakıt adına değerlendirilmesinde mevzu bahis değildir. Hidrojen yanması neticesinde meydana gelen NO (Azot Oksit) bileşenlerinin seviyesi ise, sıcaklık düzeylerindeki yükseliş sebebiyle, diğer ısı açığa çıkaran kaynaklarla karşılaştırıldığında daha etkili olduğu görülmektedir. Hidrojenin üretilmesi, depolanması benzeri giderlerinin bugün hala düşük olmaması hidrojenin genel olarak kullanılamamasının sebeplerinden biridir. Genel olarak hidrojenden yararlanılmaya geçilmesi ve üretim seviyesinin artması ile giderlerde de doğal olarak düşüş olması beklenmektedir [16].

Hidrojenin en büyük özelliği hem sıvı hem de gaz olarak değerlendirilebilmesidir. Gaz formundaki hidrojen, ortak hacimdeki havadan takribi olarak 14 kere daha hafiftir. İçten yanmalı motorlarda değerlendirilen yakıtlarla mukayese edildiğinde ise, sıvı formdaki hidrojenin sıvı formdaki hidrokarbon yakıtlara göre takribi 10 kez daha hafif, gaz formu halindeki hidrojene bakıldığında ise metan, doğal gaz gibi gaz formundaki yakıtlara göre 10 kez daha hafiftir [17].

Hidrojenin motorlarda yakıt adına kullanılmasında üstünlük sağlayacak en önemli niteliklerinden bir diğeri tutuşma limitlerinin çok kapsamlı yakıt karışım seviyelerine uzanmasıdır. Hidrojen, havada %4 ile %75 seviyeleri aralığında mevcut olduğunda tutuşma olabilmektedir. Hava ve benzinin oluşturduğu karışımlarda, havanın fazlalık kat değerinin 0,3-1,7 olduğu seviyelerde tutuşma olabilmekte iken, hava ile hidrojenin oluşturduğu karışımlar için bu değerler 0,14-4,35 seviyelerine ulaşmaktadır. Hava ile hidrojenin oluşturduğu karışımları, gaz yakıtlarla göre değerlendirildiğinde daha kapsamlı tutuşma değerlerine sahiptir. Örnek vermek gerekirse; Hava ile metanın oluşturduğu karışımların yanabilmesi için hava fazlalık kat değerinin 0,6-1,9 aralığında mevcut olması gerekmektedir. Hidrojenin alt ısıl ölçüsü de diğer motor yakıtlarından daha fazladır (benzin için 43,4 kJ/g, hidrojen için 119,93 kJ/g) fakat hacimsel olarak değerlendirildiğinde hidrojenin alt ısıl ölçüsü diğer yakıtlarla kıyaslandığında daha azdır (metanol için 15,9 Mj/litre, metan için 20,8 Mj/litre, benzin için 31,9 Mj/litre, hidrojen için 8,41 Mj/litre). Benzine göre, hidrojenin adyabatik alev sıcaklığı ise benzer seviyelerdedir (benzin 2470 K, Hidrojen 2318 K, Metan 2148 K) [18].

2.1.1.1. Hidrojen Üretimi

Hidrojen suni bir yakıt olmakla beraber, üretim rezervleri son derece bol ve çeşitlilik göstermektedir. Bunlardan bazılarını kömür, hava, su ve doğalgaz olarak sayabiliriz fakat belirtilen bu rezervlerden doğalgaz ve kömür fosil yakıtlardan olmakla beraber, kaynakları sınırlıdır. Fosil yakıt kaynaklarının zamanla azalması, hidrojen üretimini sağlamada büyük kaynaklara olanak sağlayan suyu daha etkin kullanılır duruma getirmektedir. Çok çeşitli birincil enerji kümesi kaynakları ile meydana getirilen hidrojen, bugünlerde sentetik gübreden, bitkisel yağlara, oradan roket yakıtlarına varıncaya kadar pek çok alanda kullanılmakta ve bu yüzden yeryüzünde her sene yaklaşık 650 milyar metreküp hidrojenin üretimi

sağlanmaktadır. Hidrojen üretiminde eski zamanlardan beri uygulanan bir yöntem, H₂O bileşiğindeki suyun içerisinde bulunan hidrojeni elektroliz yöntemiyle ayırmaktır. Burada hidrojeni üretmek için yöntemler tanımlanırken, birincil enerji kaynaklarının kullanılabilirliğini de belirtmek gerekmektedir. Bu bağlamda fosil yakıtlarında desteğiyle hidrojen meydana gelebildiği gibi, rüzgâr, güneş, biyokütle, dalga ve jeotermal enerji benzeri birincil enerji rezervlerinin yardımları ve aşağıda belirtilen yolların herhangi biri ile oluşturulabilir [19].

2.1.1.1.1. Hidrojenin Fosil Yakıtlardan Üretimi

Bugünlerde sanayide değerlendirilen hidrojen fazla miktarlarda, doğal gaz, petrol ürünleri veya kömür gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. En fazla uygulanan yöntemler, doğal gaza uygulanan katalitik buhar ıslahı, petrole uygulanan lokal oksidasyon, buhar demir uygulaması ve kömüre uygulanan gazlaştırma işlemi şeklindedir. Bunlardan farklı olarak, temel hedefi hidrojen üretimi olmakla birlikte çeşitli sanayi ürünlerinin üretimi esnasında, yan ürün adına hidrojen meydana getiren yöntemler içinde, klor-alkaliden açığa çıkarılan karışık klor, petrolün ham olarak rafineri edilip hafif gazların meydana getirilmesi, kömür kullanarak kok fırınlarında kok meydana getirilmesi ve margarin üretiminde kimyevi hidrojenerasyon yöntemleri belirtilebilir [19, 20].

2.1.1.1.2. Hidrojenin Elektroliz Yöntemi ile Üretimi

Doğru akım işlemi kullanılarak suyun, hidrojen ve oksijenlerine ayrıştırılması yöntemine elektroliz adı verilmektedir. Elektroliz Hidrojeni meydana getirmek için en basit işlem olarak uygulanmaktadır. Burada önemli olan, bir elektroliz hücresi içinde yaygın olarak düzlemsel bir metal elementinden ya da karbon elementinden plakalar olan, iki elektrot ve bu elektrotların da içine konulduğu adına elektrolit denilen iletken sıvıdır. Elektrotlara doğru akım kaynağı bağlandığı zaman iletken olan sıvı içinde akımın akışı pozitif olan elektrottan negatif olan elektroda doğru olacaktır. Bunun sonucunda da elektrolit içerisinde bulunan su, katottan açığa çıkan hidrojen elementine ve anottan açığa çıkan oksijen elementine ayrışacaktır. Burada suyun ayrışmasından dolayı su iletkenliğini kaybedecektir. Suyun içerisine iletkenliği artırmak için çoğunlukla potasyum hidro-oksit benzeri madde ilave edilir [19].

Normal basınç ve sıcaklık ortamında, suyun elektroliz edilebilmesi için, 1,23 volt ideal olarak yetmektedir. Gerçek akım oranı ile hidrojen üretim hızı bağlantılı olduğundan, yüksek akım yoğunlukları, ekonomik sebeplerle tercih edilmektedir. Bu sebeple suyun ayrıştırılması işleminde gerekli hücre başına kullanılan gerilim 2 volt civarındadır. Kuramsal olarak, her metreküp oksijen başına yeterli gelen enerji 2.8 kW-saattir, belirtilen bu nedenlerle pratikte harcanan elektrik enerjisi bir metreküp hidrojeni açığa çıkarabilmek için 3,9-4,6 kW-saat olarak değişkenlik göstermektedir. Elektroliz yönteminin verimi buna göre %70 dolaylarında olmaktadır fakat günümüzde teknolojinin de gelişimiyle verim %90 dolaylarına geliştirilmiştir.

2.1.1.1.3. Hidrojenin Isıl Kimyasal Yöntem ile Üretimi

Fosil yakıtlardan veya nükleer yakıtlardan üretilen birincil enerjilerin elektroliz yöntemi ile hidrojene çevrilmesinin verimi, ilk evrelerde bu yakıtlardan üretilecek elektrik enerjisinin verimiyle bağlantılıdır. Elektrik üretim verimi, çağdaştırılmış fosil yakıt enerji tesisleri için %38 ve nükleer santraller için %32 civarındadır. Elektroliz hücresinin %80 civarı verimde çalıştığı farz edildiğinde, elektroliz yöntemiyle fosil yakacaklardan hidrojen üretiminde toplam verim %25-30 civarlarında görülmektedir [20].

Mevcut verimin üzerinde bir verim elde edebilmek için suyun ayrıştırılması işleminde elektriği meydana getirme esnasında açığa çıkan ısı enerjisi kullanılır. Bu ayrıştırma işlemini gerçekleştirmek için en aşağı 2500 °C ısıya ihtiyaç bulunmaktadır. Burada, termo-kimyasal işlem yerine birkaç aşamadan oluşan ön yöntemler ileri için düşünülmektedir. Bu konularda çeşitli çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar sonucu gerekli sıcaklık 950 °C civarlarına indirilmiş, toplam verim %50 seviyelerinde bulunmuştur [19].

2.1.1.2. Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanılması

Günümüzde yakıtlar çok önemli alanlarda kullanılmakta ve fazlasıyla önem arz etmektedir. Hidrojeni kullanım alanı olarak diğer yakıtlarla karşılaştırdığımızda birçok yakıttan üstündür. Örneğin pratiklik açısından kömür gibi yakıtları otomobil, uçak gibi araçlarda kullanmak uygun değildir. Hidrojeni ise birçok alanda kullanabiliriz. Örnek vermek gerekirse hidrojeni, doğal gaz yerine evlerimizde

ısıtmada kullanabiliriz fakat hidrojenin yoğunluğu doğal gazı göre daha azdır. Bu nedenle sistemdeki yakıcıya miktar olarak daha fazla hidrojen gelmelidir. Bu sistemlerde oksijen ve hidrojen doğrudan birleştirilerek yakılır. Bunun sonucunda atık mamul suyu oluşur. Ayrıca alev çok fazla sıcaklıklara çıktığından azot oksit meydana gelebilmektedir. Azot oksit oluşmadan ve emniyetli bir biçimde katalitik yüzeylerde yakma alevsiz olduğundan kullanılabilir.

Hidrojen yakıtı son yıllarda araç üreten şirketlerin ilgisini bir hayli çekmiştir. Bunun sebebi hidrojenin traktör, otomobil, kamyon gibi içten yanmalı motor kullanan tüm araçlarda kullanılabilmesi, çevre dostu yakıtlardan olması ve petrol rezervlerinin sınırlı olmasıdır. Hidrojenin, mazot ya da benzin gibi yakıtlar yerine kullanılabilmesi için motor yakma mekanizmalarında değişikliğe gidilmelidir. Motor mekanizmalarında yapılan değişikliklerden 3 Temel mekanizma değişikliği aşağıda verilmiştir. Birinci mekanizmada, bir valf yardımıyla hidrojen-hava karışım oranı ayarlanır. Bu doğal olarak motor gücünü ayarlamaya da yardımcı olmaktadır. Bu sistemde hidrojen-hava karışımı, sabit bir değerde silindirlere bulunan giriş manifolduna aktarılır. Bu mekanizmada, yüksek hızlara çıkıldığında çalışmanın doğru olabilmesi için karışıma su buharı eklenmesi gerekebilir [19].

İkinci mekanizmada, silindirlere basınçla beraber hidrojen gazı aktarılır. Hidrojen ve havadan oluşan patlayıcı özellikteki karışım silindirlerin içinde meydana gelmektedir. Bunun nedeni, Havanın bir diğer giriş manifoldu vasıtası yardımıyla bağımsızca silindirlere gelmesidir. Bu mekanizma, birinci gösterilen mekanizmaya göre daha güvenlidir. Motorun gücü hidrojen gaz basıncı ayarlanarak değiştirilebilmektedir. Bu basınç 14 atmosfer ile 70 atmosfer aralığında değişmektedir. Üçüncü mekanizmada da ikinci mekanizma da olduğu gibi hidrojen-hava karışımı silindirlere bağımsız şekilde verilir. İkinci mekanizmada hidrojen yüksek basınçta tutulmaktaydı. Üçüncü yöntemde ise basın normal veya ortadır. Hidrojen miktarı ayarlanarak motor gücü değiştirilir. Silindirlere giren hava değeri değişmez. Bu şekilde bir ayarlama, hidrojen-hava karışım miktarının patlama özelliği çok geniş bir aralıkta olabildiğinden kolaylıkla yapılabilir [19].

Benzinli motorlara nazaran hidrojen yakıtı kullanılan motorların artışı daha fazladır. İncelediğimizde hidrojen yakıtının kullanıldığı motorların veriminin fazla

olması bu artılardan birisidir. Bu artılardan muhtemelen en önemlisi kullanılmayan mamul olarak yalnızca su buharı açığa çıkmasıdır. Petrol ürünleri silindirleri yağlamada önemli rol üstlenir. Bu petrol ürünleri sebebiyle çok aşağı değerlerde karbon monoksit ile hidrokarbon da açığa çıkabilir. Bunun yanında sıcaklığın fazla değerlere çıkmasından dolayı açığa çıkan azot oksitler kullanılmayan ürünler içinde yer alabilir fakat hidrojen yakıtından çıkan yarar sağlamayan gazlar petrol kökenli yakıtlardan çıkan zararlı gazlara nazaran çok düşük seviyelerdedir. Bu sebeple çevre dostu yakıt olarak görülebilir. Silindire tekrardan atık su buharından bir parçası verilerek yanma sıcaklığı düşürülebilir. Bu sayede, azot oksit değerlerini azaltmak mümkün olacaktır. Bütünüyle farklı bir yöntem olarak, araçlarda içten yanmalı motorları kullanmak yerine, yakıt olarak pillerle elektrik sağlayıp, elektrik motorları yardımıyla motora hareket verilebilir. Bunun gibi araçlarda çevreye verilen zararlı atıklar olmayacağından dolayı sıfır salımlı araçlar olarak adlandırılabilir. Hidrojenin emniyetli bir şekilde saklanması, motor içten yanmalı ya da yakıt pili olsa dahi en temel sorundur. Bu husus da tecrübe edilen çalışmalarda, 3 farklı teknik geliştirilmiş ve bu tekniklerinde ayrı ayrı üstün yönleri bulunmaktadır. İlk teknik, hidrojenin basınçlı olarak, çelikten imal edilmiş tüplere konulup aktarılmasıdır. Günümüze kadar ilerletilen çalışmalarla, hidrojen yakıt ile çalıştırılan taşıtlarda kullanılan teknik olmayı başarmıştır. Görülen problemlerden en büyüğü ağırlık olarak çelik tüplerin mevcut ağırlıkları olmuştur. Benzin ile çalışan bir aracın yaklaşık ortalamasına bakıldığında 65 litre (47 kg) benzin depolamaktadır, bu değerler de enerji olarak hemen hemen 17 kg hidrojene eşdeğer gelmektedir. İkinci teknik, ağırlık problemini çözmek için hidrojenin sıvı formda biriktirilmesidir. Ancak sıvı formda hidrojeni depolamak maliyet problemlerine sebebiyet verecektir. Başka bir problem ise gaz formuna dönüşen hidrojenin, kayıplara ve ikmal problemlerine yol açmasıdır. Hidrojeni stoklamak için cazip seçeneklerden biri de metal hidritlerdir fakat metal hidritlerin de kendi ağırlıkları mühim bir problem olarak ön plana çıkmaktadır [21].

Maksimum hidrojen stoklaması ve maliyet yönünden en uygun olan üç metal hidritten, Magnezyum-Nikeldir. Bu artılarına rağmen ağırlık olarak araca 500 kg gibi bir ilave ağırlık getirmektedir. Bir başka problem de hidrojen gazını istenen basınçta edinebilmek için, metal hidritin 250 °C'ye ısıtılması gerekliliğidir. Bu gereklilik araç kullanılırken egzoz çıkışından edinilen sıcak gazla karşılanabilmektedir; ancak araç motorunun soğukken çalıştırılması problem oluşturmaktadır. Tüm bu problemlere

rağmen, hidrojenin bilhassa, traktör, kamyon ve otobüs gibi ağır vasıtalarda tercih edilmesi günden güne çoğalmakta ve hızla ilerleyen teknoloji ile problemler giderek aşılmaktadır. Hidrojen yakıtı tercihinin yayılımına sebep olan bir diğer etmen de petrolün kısıtlı ömrü ve fazlalaşan çevre kirliliğidir.

2.1.1.2.1. Yakıt Olarak İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojen Kullanılması

İçten yanmalı motorlar birçok araştırmaya konu olmuş ve hidrojenin yakıt olması araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Ancak, yapılan bu araştırmalarda benzin ile uyumlu çalışma yeteneğine sahip motorlar kullanılmıştır. Bu motorlar hidrojene uyumlu bir şekilde çalıştırılması için değişiklikler yapılmıştır. Hidrojeni bu motorlarda kullanabilmek için birçok inceleme yapılmıştır. İlk araştırmalardan elde edilen neticeler aşağıda verilmiştir. Buna göre; benzin motorları, birtakım küçük farklılıklarla hidrojen ile çalışabilir hale getirilebilirler. Benzin motorunun termal verimi yakındır. Stokiyometrik çalışma koşullarında hidrojen motorlarında çok fazla NO oluşur. NO oluşumunun azaltılabilmesi için silindirlere iletilen karışım zayıflatılmalıdır. Benzin yakıtı kullanılan motorlar hidrojen yakıtı kullanılan motorlara modifiye edildiğinde, hava ortamında %20 efor kaybı oluşur. Bunun sebebi stokiyometrik hidrojendir. Emme yönlendirme kanalındaki (manifold) alev tepmesi karbüratörlü motorlarda ciddi bir sorundur [22].

Hidrojen yakıtı kullanılan motorların bu olumsuz yönleri, benzin yakıtı kullanılan motorlar ile yarışabilme olanağını düşürmektedir fakat bu zamana kadar gerçekleştirilen çalışmalar ile bu sorunlar çözümlenmiş, hidrojenin hava kirliliğinin hafifletilmesi ve motor verimine olan etkileri görülmüştür. Hidrojenin neden olduğu efor kaybının düşürülmesinin çözümü de hidrojenin basınç değeri fazla olan motorların tercih edilmesidir. Ek olarak güç sağlayabilmek için aşırı doldurma da kullanılabilir. Basınç değerinin yükseltilmesi ve fakir karışım ile hidrojen yakıtı kullanılan motorun termal veriminde, benzin yakıtının kullanıldığı motora göre %25 bir yükseliş kazanılabilir. Alev tepmesinin kayda değer miktarda azaltmak fakir karışım ile mümkün olur [19].

Hidrojen motorlarının başka bir avantajı da akaryakıt motorlarında karşılaşılan yeterince buharlaşmama, buhar tıkaçı ve serin yüzeylerde yoğuşma gibi problemler

hidrojen yakıtı kullanılan motorlarda görülmemektedir. Hidrojen yakıtı kullanılan motorlar 20,13 K (253 °C)'de ilk çalışmaya geçerken bile problem oluşturmaz [22].

Benzin motorunda termal verim iyileştirmesi için, hidrojen desteği ile yanmamış hidrokarbon yayılımını düşürülür [23]. Hidrojen desteği eklenen Otto motorlarında bujinin yerine yerleştirilmiş ön yanma odası bulunmaktadır. Burada buji ve hidrojen enjektörü bulunur. Asıl yakıt ise (etanol, benzin, propan vs.) emme portlarından püskürtülerek silindirlere iletilir. Hidrojen desteği ile asıl yanma odasında yakılan hidrokarbon etkili yakıtların oldukça fakir karışım değerlerinde yakılır. Böylece termal verim yükseltilerek, azot oksit ciddi oranda emisyonları azaltılır [24].

Hidrojenin hava ile yakılmasının neticesinde, yakıtta karbon olmaması sebebi ile yanma sonucunda çıkan ürünlerde CO, CO₂ ve HC'lar bulunmayacak, yalnızca motorun yağlanma yağının da yanmasından kaynaklı oluşan HC'lar egzoz gazları ile mevcut olacaktır. Ayrıca çok üst seviye yanma sıcaklıkları sebebiyle kimyasal reaksiyon sonucu azot oksitler oluşacaktır [25].

Hidrojenin yanma sonucu çıkan ürünü su buharıdır. Kısıtlı maksimum sıcaklıklardaki NO emisyonları göz ardı edilebilir. Gerçekten hidrojenle çalışan içten yanmalı bir motor, günümüz taşıt motorlarından çok daha düşük NO emisyonuna sebep olmaktadır [22].

2.1.1.2.2 İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojen Kullanımının Ortaya Çıkardığı İşletim Problemleri

Hidrojeni yakıt olarak kullanan motorlarda yanma evresinde açığa çıkan başlıca problemlerden birisi geri tutuşma bir diğeri de erken ateşlemedir. Yanma işleminin gerçekleşeceği odaya aktarılan yakıt ve havadan meydana gelen karışımın silindire giriş yapmadan önce yanmaya başlaması sebebiyle alevin motorda bulunan emme manifoldu içinde alevin yönelimi geriye doğru ilerlerse bu olaya geri tutuşma olayı denilmektedir. Bu olayın başlıca zararları sistemin emme elemanlarında tahribatlara sebep olması ve güvenlik problemleridir. Yakıt hava karışımının yakma odasına gönderilip, bu karışımın bujilerde ateşleme olmadan önce ısınmış odaklar tarafından alevlendirilip, yanmayı planlanandan önce gerçekleştirmesine erken tutuşma adı verilir. Hidrojenin tutuşabilme sıcaklığının düşük seviyelerde olması bu

iki problemi meydana çıkarmaktadır. Bu durum meydana gelmesi için hava fazlalık kat sayısının (π) 2 ve 3 değerleri arasında olması gerekmektedir. Yakıt olarak problemsiz bir biçimde hidrojeni kullanabilmek için bu istenmeyen durumları ortadan kaldırmak gereklidir [19].

Hidrojenin alevlenebilmesi için benzine göre daha az seviyelerde iyonlaşma enerjisine ihtiyaç duyulur. Daha az seviyelerde iyonlaşma enerjisine ihtiyaç duyulması Geri tutuşmaya neden olur. Bu sebeple hidrojeni yakıtı kullanılan motorlarda buji yardımıyla ateşleme sisteminde oluşturulan kıvılcımdan sonra kalacak olan artık enerjinin niceliği daha fazla olur. Bujide kıvılcım meydana gelmesinin sebebi mekanizmadaki kullanılmayan enerjidir. Bu durum silindirdeki basıncın atmosferin basıncına yaklaşmasıyla meydana gelir. Kıvılcımın meydana geldiği yer çevrimlere göre değişiklik gösterir. Bujide kıvılcımın meydana gelmesi emme anında olsaydı birtakım faktörlerle beraber geri tutuşmaya neden olur. Artık enerjinin meydana gelmesi birtakım sıkıntılara sebep olduğundan önlemek için ateşleme sisteminde değişiklikler yapılması gerekmektedir [20].

Fazla yükleme yapıldığında, sıcak noktalar yakıt karışımının planlanandan önce ateşlenmesine sebep olur. Zengin olmayan yakıt karışımlarında hız olarak yanmanın aşağı seviyelerde olmasıyla yanma süresi artar. Sıcak parçacıklar motor yağından gelmektedir ve buda yanma olayını planlanandan önce başlatabilmektedir. Bu sebeple yanmanın gerçekleştirildiği oda da sıcaklığı düşürmek gerekir. Yanma odası sıcaklığını düşürmek için karışımı belirli bir oranda zenginliğini düşürme, egzoz gazlarını tekrar sirküle etme (EGR), yanmanın gerçekleştiği odaya su püskürtmesi yapılması, sıvı hidrojeni kullanarak giriş havasının soğutulması, subap bindirmesi işlem süresinin kısaltılması gibi teknikler uygulanabilir. Yakıt karışımına EGR'nin uygulanması veya hidrojeni azaltarak fakirleştirilmesi, çevrimler arası farklılıkları çoğaltacak, motorun düzenli çalışması engellenecektir. EGR uygulaması yapıldığında etkin basınç düşecektir. Hidrojeni yakıt olarak kullanan motorlarda 0,8 oranında hava ile yakıt karışımı kullanılırsa egzoz gazlarındaki NO değeri maksimum olur. Bu oluşumun değeri, saf oksijeni hidrojene katarak azaltılabilir. Bu husus araç ağırlığında artışa ve sistem karmaşasına sebebiyet verecektir. Bu probleme çare olacak tekniklerden biri; suyun elektrolizini araç üstünde gerçekleştirerek, meydana gelen hidrojen ve oksijenin sıkıştırılıp saklanarak depo edilmesidir [23].

Hidrojen-hava yakıt karışımının kullanıldığı motorlarda gücün azalmasına sebebiyet veren, yanma sıcaklığının su buharının etkisiyle azalmasıdır. Bunu gerçekleştirmek için yoğuşturucudan geçirilen su buharı tekrardan su deposuna geri döndürülür. Yanma hızı ve vuruntunun meydana gelmesini kontrol etmek için, yanma odasında kalan su buharı değeri ayarlanabilir [26].

2.1.2. Piller ve Yakıt Hücreleri

Devamlı yükselen enerji gereksinimine cevap verebilmek için en verimli ve en düşük maliyetli çıkış yollarını ararken, içinde bulunduğumuz dönemin ve geleceğimizin enerji kaynağının hidrojen olacağı görüşü günden güne artmaktadır. Günümüz şartlarında, hidrojen, kullanılabilir diğer yakıtlara oranla 3 kat daha masraflı olduğundan; daha sık görülen bir enerji kaynağı olması hidrojenin elde edilmesinde maliyeti düşürecek teknolojik ilerlemeye bağlıdır. Ayrıca farklı bir olabilecek alternatif de ihtiyaç fazlası olarak üretilen elektrik enerjisinin dönüşümü sağlanarak hidrojen olarak stoklanmasıdır. Bu şekilde stoklanan enerjinin daha sık kullanılabilmesi, örneğin toplu taşıma araçlarının yakıt pili ile çalışma otomotiv teknolojilerinin ilerlemesi ile yakından ilgilidir. Çevre politikası ve enerjideki gayretler neticesinde yakıt pilleri ulaşımda ileri bir konuma gelmektedir. Araçlarda, uçaklarda, minibüslerde, kamyonlarda ve spor amaçlı taşıtlarda kullanılan enerjinin %97'si hâlâ petrol türevi kaynaklardan oluşmaktadır. Yakıt verimini çevre koşulları ve çevrimin durumu gibi değişkenler etkilemektedir. Hidrojen kaynaklı araçların ticarileştirilmesindeki rekabet, Japonya, Çin Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya gibi uluslararası ciddi bir çekişme ortamını oluşturmuştur [27]. Otomobil üreticileri, insan taşımacılığında kullanılan araçlar için çekiş gücü oluşturacak doğrudan hidrojen, polimer elektrolit yakıt pili sistemlerini geliştirmektedir [28]. Farklı şekillerde uygulanan mekanizmalardaki durgunluk gereksinimlerinin dikkate alınması, yakıt pili tasarımlarının hayata geçirilmesinde önemli bir role sahiptir. Hareketli bileşenler, yavaşlama, hızlanma ve tamamlayıcı parçaların mekanik ataletleri mekanizmaya uygun olarak tepki vermelidir. Karakteristik bir insan taşımada kullanılan aracın (1850 kg) 0 km/s'dan 85 km/s hıza ulaşabilmesi için 500 kJ veya 500 kW'lık enerjiye gereksinimi vardır [29]. Devamsız hareket durumunda akım, gerilim ve güç farklılıklarını kavrayabilmek, yakıt pillerinin kontrolü, tasarımı ve optimum olarak çalışması için gereklidir. Bunlar ev ve otomotiv uygulamaları için öneme sahiptir. Devamsız çalışma; fevri güç ihtiyacının olduğu durumun ya da hızlanması/

yavaşlaması koşullarının bir neticesi olarak önümüze çıkabilir [30]. Çeşitli sanayi uygulamalarında, taşımacılıkta ve ev teknolojilerinde polimer elektrolit yakıt pilleri yadsınamaz öneme sahiptir. Bu uygulamaların yaygınlaştırılması ile çevreye minimum zararın verilmesi ve ekonominin ilerlemesi amaçlanmaktadır [31]. Karakteristik bir yakıt pilinin güç yoğunluğu 200 Wh/l'tir. Bu değer, akülerin güç yoğunluğunun yaklaşık 10 katı kadardır. Bu nedenle örneğin, elektrikli araçlarda veya aciliyet durumu için 500kW'lık bir güç kaynağı yerine kullanılabilirler. Yakıt pilleri çevreye zararsız, yüksek performanslı bir enerji kaynağı olup gelecekte daha fazla kullanılma potansiyeli olan bir yakıt türüdür fakat ileride yaygınlaşmasını engelleyecek olan sebeplerin başında sistemin kurulma aşamasında harcanacak masrafların fazla olmasıdır. Yakıt piliyle çalışan taşıtları üreten firmalarda önemli atılımlar gerçekleştirilmiş ve birçok iyileştirmeler yapılmıştır. Örnek vermek gerekirse; General Motors firmasının 100 KW'lık güce sahip PEM yakıt hücresini "Precept" isimli aracında kullanmış ve yapılan testlerde araç 800 km yol mesafesi gidebilmiş, 9 saniye gibi kısa bir sürede 100 km/h hızına ulaşmıştır. Ford firması "P2000" ve "FORD FOCUS FCV", Nissan "Xterra FCV" araçlarını geliştirmişlerdir. 2002 senesinde Daimler-Chrysler ise yakıt pili otobüsünü üretmiştir. 300 km menzilli bu otobüs saatte 80km hız yapabilmektedir. Gelecekte pazar beklentisi olan; aralarında Ford, Daimler-Chrysler, Hyundai, PSA/Renault/Nissan, Honda, BMW, FIAT, Toyota, GM/Mitsubishi gibi öncü firma ve konsorsiyum farklı çalışmalar gerçekleştirmektedir [32].

Bir yakıt hücresi kimyasal enerjiyi dönüştürerek elektrik enerjisi elde eder. Bu olayı gerçekleştirirken elektro-kimyasal bir olay gerçekleşir. Sistem, dışarıdan devamlı yakıt ile desteklendiğinde elektrik üretimi devamlılığı sağlanmaktadır. Böyle sistemlere konvansiyonel güç üretimi denilmektedir. Burada yakıt hücresinin görevi, yakıt olarak hidrojen ile oksitleyici olarak havadan oluşan kimyasal enerjiyi, direkt olarak elektrik ve ısı biçiminde kullanmaktır. Yakıt hücresinin kullanıldığı araçlarda yakıt hidrojen olacağından, bu yakıt ya direkt olarak araca verilmektedir ya da hidrojen taşıyıcısı vasıtasıyla verilir. Araca hidrojeni doğrudan verme seçeneğini kullanmak istersek metal hidrit gibi ısıya maruz kaldığında hidrojeni salan yollarla depolama işlemi yapılır. Metanol de bir diğer seçenek olarak depolamada kullanılabilir. Metanol araç üzerinde işleme tabi tutularak hidrojen açığa çıkartılır. Bu işlemi yaparken katalizör yardımıyla metanol buhar ile reaksiyona girerek hidrojen ile karbondioksit

gaz karışımı üretir. Sistemi karmaşık bir yapıya yakıt işlemcisi getirmesine karşın, Metanol yardımı ile sıvı yakıt olarak hidrojeni taşınma ve depolanma işlemleri kolaydır. Yakıt harcanan bütçe-performans karşılaştırması, yakıtla gidilen menzil, tekrardan yakıt doldurulması, yakıt hücresi kullanılan araçların en önemli niteliklerindendir [32].

Elektrikli araçlarda bataryayı şarj edebilmek için yaklaşık 3 ya da 4 saatlik bir zaman dilimi gerekirken. Yakıt hücreli araçlarda bu süre birkaç dakika olmaktadır. Yakıt hücreli araçlarda kullanılan yakıt türüne bağlı olarak gidilen mesafede değişmektedir. Hidrojeni taşıyıp depolamak için metanol kullanıldığında gidilebilecek menzil benzinli araçlarla benzerlik göstermektedir. Depolu yakıt olarak hidrojen kullanıldığında enerji yoğunluğu daha az olacağından gidilecek mesafe daha az olacaktır. Günümüz çağında direnci yüksek fakat ağırlığı az olan depolar imal edilerek ve bu depolarda yüksek basınç ortamı sağlanarak aracın gideceği menzil kabul edilir seviyelere getirilebilir [32].

Yöntem olarak farklı metotlar kullanılarak depolama işlemleri uygulanabilir. Bu yöntemleri hidrojeni basınçlı ortamda gaz olarak depolamak, sıvı olarak depolamak, metal hidrit olarak depolanması olarak gösterebiliriz. Basınçlı gaz olarak hidrojeni depolamak bu yöntemler içerisinde en ekonomik olanıdır fakat taşıt ebatlarına bağlı olarak basınçlı depolarının belirli ebatlarda yapılma zorunluluğu sebebiyle ağırlıkça hidrojenin yeterli miktarda depolanamaması ve yoğunlukça hidrojen enerjisinin az olması başlıca sıkıntılardır. Emniyet açısından basıncı depolarda depo içerisinde hidrojenin az deponun boş kısmının fazla olması, küçük ebatlardaki taşıtlarda problem olmaktadır. Bu sebeple gidilecek menzil de kısılmaktadır. Hidrojeni sıvı formda depolamak en çok roketlerde, uzay araçlarında kullanılmaktadır. Bunun sebebi, taşıtlarda kullanılan yakıtlar içerisinde hidrojen, kaynama noktası yoğunluğu en düşük yakıt ve itme kuvveti en fazla olanıdır. Az miktarlarda hidrojenin depolanmasında en çok tercih edilen yöntem metal hidrit şeklinde depolamadır. Bu depolamada hidrit metallerle veya bu metallerin alaşımları kullanılarak kimyasal bileşim oluşturulur ve depolama işlemi gerçekleştirilir. Metal hidritlerin hafif kütleli olması tercih sebeplerindendir. Hidrojen, hidritlere ısı aktarıldığında serbestlik göstermektedir. Hidrit meydana getiren metaller, aynı bir süngerin suyu hapsedmesi gibi hidrojeni hapseder. Gaz formundaki hidrojen katı

formdaki metallerin kafes biçimindeki içyapılarına işleyerek, kristal kafes yapısının birçok bölgelerine bağlanır. İdeal şartlar sağlandığında, teorik olarak Carnot çevriminin termodinamik yönden türetilmiş, ısı makinesine ısının bütünü verildiğinde, bu ısının hepsinin mekanik enerjiye çevrilmediğini, bir miktar ısının dışarıya atıldığını göstermektedir. İçten yanmalı motorlar incelendiğinde, sıcaklığı fazla olan bir kaynaktan alınan ısının bir kısmı mekanik enerjiye çevrilirken bir kısmı da ısı alıcı üzerinden dışarıya atılır. Daha fazla verim için ısı alıcı ile kaynak arasındaki sıcaklık değeri farkı artmalıdır. Bu fark ne kadar artarsa o kadar verim artar. T olarak belirtilen sıcaklık cinsi Kelvin cinsinden derecedir. Yakıt pilleri kimyasal enerjiyi alıp doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu sebeple bu işlem adımı ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren bir işlem adımı değildir. Düşük olan sıcaklıklarda çalışıldığı zaman, yakıt pillerinin verimliliğine oranla Carnot sınırları aşılabılır. Yakıt pillerinin çevrim düzeneği elektrokimyasaldır. Bu çevrim düzeneklerinin verimi içten yanmalı motorlara göre 3 kata kadar daha çok verim meydana getirir. Yakıt pillerinde temel ürünler su, ısı, enerji olarak da elektriktir. Yakıt pillerinde hidrojen yakıt için kullanıldığında dışarı çıkan ürün sadece sudur. Hidrojen, yakıt pilin anot kısmından girerek, elektron ve protonlarına platinden olan katalizörde ayrılır [33].

Hidrojen iyonları katot kısmında elektron ve oksijenle birleşerek suyu oluşturmadan önce seçici bir engel olan membrandan geçirilir. Anottan katot kısmına geçen elektronlar seçici engelden geçemeyenlerdir [33].

Elektrik üretimi, bir hücre vasıtasıyla gerçekleşmiş olur. Gerilim olarak bir yakıt hücresinin değeri 0,7 Volt değerlerine yakındır. Bu gerilim değeri örnek vermek gerekirse bir lamba için çok düşük bir değerdir Hücreler seri olarak birbirlerine bağlandığında, bu 0,7 Volt değeri seri bağlantı sayısı ile doğru orantılı artacaktır. Genel amaç olarak; aküler, yakıt pilleri, içten yanmalı motorlar, bir enerji formunu başka bir enerjiye dönüştürürler. Yakıtın dış atmosferdeki oksijen ile yakılıp, yüksek sıcaklık derecesinde gerçekleşen patlamalardan dolayı içten yanmalı motorların çalışması oldukça gürültülü olmaktadır. Güç üretim mekanizmasında yakıttan sağlanan kimyasal enerjinin, ısı enerji formuna çevrilip mekanik hareket enerjisi elde edilmesi içten yanmalı motorların basit prensibidir. Elektrokimyasal enerji formunu doğrudan elektrik enerjisi formuna çeviren aygıtlar aküler ve yakıt pilleri olarak adlandırılırlar. Bu aygıtların verimleri daha fazladır. İçten yanmalı motorlarda, enerji

formu dönüşümü Carnot çevrimiyle sınırlı olduğundan verimleri daha düşük olmaktadır. Günümüzde elektrikli araçların sadece akülerle çalıştığı görüşü hâkimdir. Aslında bu araçlar aküyle çalışabildiği gibi yakıt pilleriyle de çalışırlar. Aküler ve yakıt pillerinde, yüksek verimle enerji dönüşümü sağlanır ve hareketli parçaların olmayışı sayesinde bakım masrafları oldukça azdır. Genel olarak depolama elemanı olan aküler, tekrar tekrar şarj edilerek elektrikli araçlarda değerlendirilir. Yakıt pili kullanılan elektrikli araçlarda, sistemde kullanılacak hava dış atmosferden elde edilirken, yakıt ise harici olmak kaydıyla aracın tankında depolanır. Bu sistemlerde elektrokimyasal cihazın yakıt pilimi yoksa akümü olacağı uygulama durumuna göre değişir. Geniş çaptaki kullanımlarda yakıt pillerinin avantajı akülere nazaran daha fazladır. Yakıt pillerinin, daha az alan kaplaması, daha ömürlü olması, ağırlıkça daha hafif olması, yakıt beslemesinin daha hızlı olması bu avantajlardandır. Güç elektroniği devresi yakıt pilleri ile elektrik motorunun arasındadır. Doğru akım ile çalışan motorlarda gerilim miktarının yükseltilmesi DC/DC çeviriciyle sağlanır. DC/AC çevirici ise alternatif akım kullanan motorlarda kullanılır. Batarya depolama sistemi ve mikroişlemci sinyal işlemcisi, kontrol ve rejeneratif frenleme için gereklidir [34]. Yakıt pillerini üç başlıca kategori altında değerlendirmek mümkündür. Yakıt pillerinin çalışma sıcaklığı, yakıt pillerinde kullanılan elektrolit çeşidi, yakıt pillerinde değerlendirilen hidrojenin elde edilmesine göre bu kategorileri açıklayabiliriz. Buna göre yakıt pilleri çalışma sıcaklığına göre dört gruptur [35].

- 25 °C ile 100 °C arasında düşük çalışma sıcaklığında çalışan yakıt pilleri
- 100 °C ile 500 °C arasında orta çalışma sıcaklığında çalışan yakıt pilleri
- 500 °C ile 1000 °C arasında yüksek çalışma sıcaklığında çalışan yakıt pilleri
- 1000 °C üzeri çok yüksek çalışma sıcaklığında çalışan yakıt pilleri

Yakıt pilleri kullanılan elektrolitlere göre üç gruptur [35];

- Sıvı elektrolitler
- Erimiş elektrolitler
- Katı elektrolitler

Yakıt pilleri, kullanılan hidrojenin elde ediliş içimine göre iki gruptur [35];

- Direkt sağlanan hidrojeni kullanan yakıt pilleri
- Dolaylı olarak hidrojen sağlanan yakıt pilleri

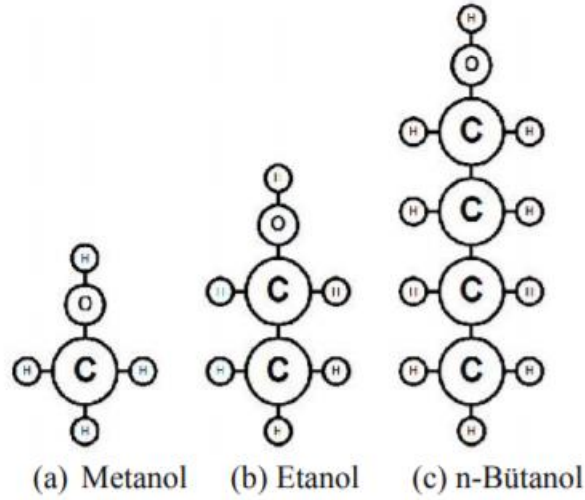
2.1.3. Biyo-Alkoller

Alkol, hidroksilin (-OH) hidrokarbon içerisindeki hidrojen elementinin en az biri yerine geçmesiyle oluşur. Alkol genel olarak R-OH olarak ya da $C_nH_{2n+1}-OH$ olarak gösterilir. Alkolün oluşabilmesi için, yalnızca bir karbon atomuna sadece bir hidroksil bağlanması gerekmektedir. Alkoller, temizleme ürünü olarak, yakıt olarak, ilaçların yapımı gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar. Alkoller biyokimyasal teknikler kullanılarak biyokütlelerden meydana getirilir. Alkollerin fosil yakıtlara seçenek olarak değerlendirilmesinin sebebi, yanma karakteristiklerinin temiz olması ve yenilenebilir olmasıdır [36].

Karbon atomu sayısı alkollerin fiziksel özelliklerini belirlemede önemlidir. Karbon atomları sayısı 1'den 4'e kadar renksizdir, akışkandır ve su ile karışabilir özelliktedirler. Karbon atomunun sayısı 5'ten 11'e kadar sıvı yağlarla benzer kıvamda özellik gösterirler. Karbon sayısı 12'den itibaren ise yani yüksek karbon atomlularında katı özelliktedirler ve parafine benzerdirler. Koku özellikleri ve tat özellikleri yoktur. Her bir CH_2 bileşiğinin çoğalmasıyla doğru orantılı olarak alkollerin ortalama kaynama sıcaklıkları 18-20 °C artar. Alkoller, molekülleri arasında bağ olarak hidrojen bağı bulundurduğundan, aynı miktarda karbon atomu içeren hidrokarbonlarla kıyaslandığında kaynama noktaları daha yüksektir [37].

Alkoller bir veya birden çok oksijen atomu içerdiklerinden dolayı yanma ısısını düşürürler [38]. Etanol formülü C_2H_5OH iken metanol CH_3OH olarak gösterilir. Etanol, metanole göre içten yanmalı motorlarda alkol olarak daha fazla tercih edilir. Son zamanlarda etanol ve metanolün yerine daha çok n-bütanol (C_4H_9OH) kullanımı içten yanmalı motorlarda daha çok tercih edilmektedir. Bunun nedeni ise, bütanolün daha üstün yakıt özelliklerine sahip olmasıdır [39]. Metanol petrol kökenli üretilir. Etanol ve bütanol ise biyokütlelerden fermente edilerek üretilmektedir. Bu sebeple de

etanol ve n-bütanol yenilenebilir alkol çeşitlerindendirler [40]. Şekil 2.1’de metanol, etanol ve n-bütanolün molekül yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. (a) Metanol, (b) Etanol ve (c) n-Bütanol molekül yapısı [40].

2.1.3.1. Bütanol

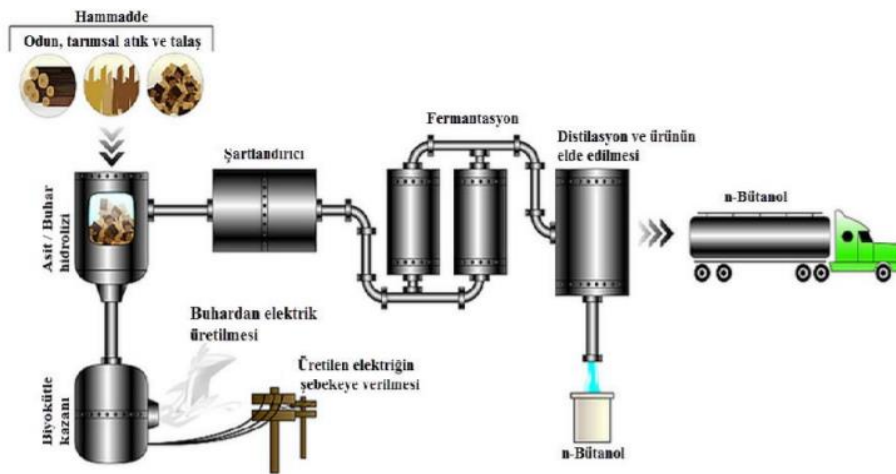
Petrolden elde edilen n-Bütanol, petrobütanol adını alırken biyokütleden elde edilen n-Bütanol, biyobütanol adını almaktadır. Kimyasal özellik olarak ikisi de aynıdır [41]. ABE prosesesi kısaca aseton, bütanol ve etanolden oluşan prosestir. Bu proses 20. Yüzyıla girerken uygulamaya alınmıştır fakat 20. Yüzyıl ortalarında petrokimyasal yöntemlerle maliyet olarak daha ucuza bütanol üretilmeye başlanmıştır. Dolayısıyla ABE prosesesi uygulamaları kesinti yaşamıştır. Günümüzde ise petrol kökenli yakıtlara alternatif yakıtlar aranmaya başlanmış ve ABE prosesesi tekrar gündeme gelerek değerlendirilmeye alınmıştır [42].

Hidroliz yoluyla biyokütle, glikoza dönüştürülür ve ABE prosesesi ile 3-6-1 değerinde oranla anaerobik olarak, yüzde 55 ila yüzde 74 arasında bir bütanol elde edilir. Bu işlemlere genel olarak clostridial sp. denilmektedir. Clostridium çubuk şeklindeki bakterilerdir. Bu bakterilerin çoğu hareketli, fermantatif, abligat anaerob, fermantatif endospor üreten bakterilerdir. Bu bakterilerin görevi karbonhidratları ayrıştırmaktır. Karbonhidratları parçalayıp, izopropanol, butirik asit, aseton, bütanol, etil alkol oluştururlar [43].

Şeker pancarı gibi ürünlerden elde edilen şeker, patates gibi ürünlerden elde edilen nişasta, selülozik biyokütle adı verilen tarımsal atıklar, etanol üretiminde olduğu gibi bütanol üretiminde de değerlendirilirler. Clostridiumların en önemli avantajlarından biri etanol üretiminde kullanılan mikroorganizmaların parçalayamadığı lignoselülozik gibi tarımsal atıkları parçalayıp karbon kaynağı olarak kullanabilmesidir. Günümüzde gliserin, su yosunları, biyodizel, sentetik gazlardan elde edilmektedir. Bütanol bu gliserinden üretilmektedir [44].

Günümüzde yapılan çalışmalarda biyodizel üretimden meydana gelen atık gliserin, saflaştırılmadan atık olarak bütanol üretiminde kullanılmaktadır. Bu teknik bütanol ve biyoyakıt olarak biyodizel üretiminde kullanılmaktadır [45]. Gıda sektöründe kullanılmayan atık ürünlerden bütanol elde edilmesi maliyet açısından da önemli yararlar sağlamaktadır. Etanol üretilirken proses aşamalarından fermantasyon ile distilasyon kısımlarında çok fazla değişiklik yapılmadan bütanol elde etmek de mümkündür [45].

Bütanol günümüz endüstrisinde otomobil boyalarında, plastik endüstrisinde, aside dayanımlı vernik üretimi gibi alanlarda, fren sıvıları üretiminde, boya inceltici olarak, ilaç sektöründe, ekstrakte olarak vitamin ve hormon üretimi gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Son dönemlerde bütanolün yeni çıkan bir özelliği de içten yanmalı motorlarda yakıt olarak çeşitli oranlarda katılarak veya direk katılarak kullanılmasıdır. Gıda dışı kullanılan biyokütleden bütanol eldesi Şekil 2.2’de gösterilmektedir [46].



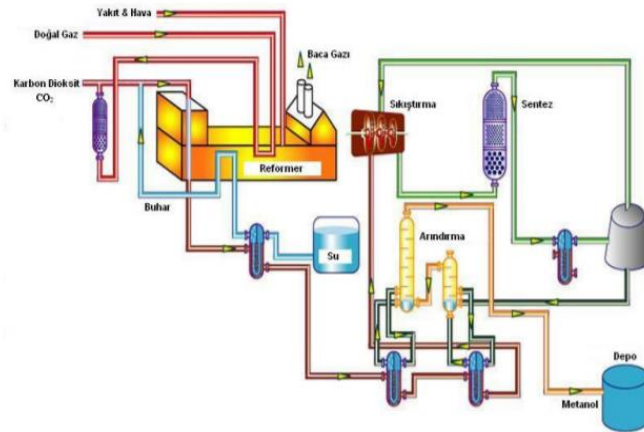
Şekil 2.2. Biyokütleden bütanol elde edilme prosesi [46].

Günümüzde ABD ve Brezilya bütanol üretiminde başı çekmektedir. Bu ülkelerin yanı sıra Rusya, İngiltere, Çin gibi ülkelerde de üretimi yapılmaktadır [46]. Biyoyakıt üretmekte BP ve DuPontt çok önemli olan iki büyük şirkettir. Bu iki büyük şirket 2006 senesinde biyobütanol üretmek için ortaklık kurmuşlardır. Bu iki büyük şirketin kurduğu ortaklık ile beraber, İngiltere’de bulunan British Sugar fabrikası modifiye edilmiş ve yılda 30 bin ton bütanol üretme hedefi konulmuştur. İki şirketin 2008 senesinde yaptıkları çalışmalarda, yüzde 10'dan fazla bütanolün benzinle karıştırılabileceği görülmüş ve bu karışımın araç performansını değiştirmedeği gözlemlenmiştir. Günümüzde sürdürülebilir enerji problemi çözümünde biyoetanol üretimi önemli bir rol oynamaya adaydır [47].

2.1.3.2. Metanol

Metanol elde edilmesinde kaynak olarak kömür, zirai atıklar, linyit kömürü, evsel veya endüstriyel atıklar gösterilebilir. Benzin veya motorin kullanılan motorlarda, yakıt dağıtım mekanizmalarında çok mühim değişiklikler yapmadan metanol kullanılabilir. Metanol ayrıca, sentez gazı adı da verilen $CO+H_2$ gaz karışımından yüksek basınç ortamında da meydana getirilebilir. Günümüz şartların en çok metanol üretimi doğalgazdan yapılmaktadır. Metanol ile ilgili olan problem güvenilirliğidir. Bu problemlerden biri metanolün yanıcı bir madde olması ve yakıcılığıdır. Önemli problemlerden bir tanesi de görünmez alev ile yanması özelliğidir. Bu bir kısım insanlar için güvenlik problemi olarak görülmesine rağmen bir kısım insanlar için ise avantaj olarak görülmektedir. Örnek vermek gerekirse araba yarışlarında metanolün yakıt olarak değerlendirilmesi görünmez alev sebebiyle daha güvenli olduğu söylenmektedir. Bunun nedeni ise olası bir kazada yanan araçta kalan sürücü, görünmez alev sayesinde daha rahat görülecek ve kurtarma çalışmaları daha rahat yapılabilecektir. Bunun dışında zıt görüş ise; yanan araçta yanan alev görülemeyeceğinden güvenlik açısından daha da problem teşkil edecektir. Metanol açıkta olduğunda rahat bir biçimde su ile kolayca karışabilme özelliğindedir. Bu şekilde metanol atmosfer sayesinde metanol ve sudan oluşan bir karışım ortaya çıkarabilir. Meydana gelen karışım korozyona sebebiyet verme özelliğindedir. Korozyon problemini çözebilmek için paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Sızdırmazlık malzemeleri seçilirken dikkat edilmelidir. Çünkü metanol iyi çözücü özellik göstermektedir. Sızdırmazlık malzemelerinden plastik, kauçuk gibi ürünler kullanmak daha mantıklıdır [48].

Düşük basınçta metanol üretmek için sentez işlem adımını gerçekleştirmek gerekmektedir. Metanol üretiminde, oksijen eldesi için su kullanılırken, hidrojen elde etmek için ise doğalgaz kullanılmaktadır. Metanolü üretmek için gerekli adımlar Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Doğalgaz ve su hammaddeleri kullanılarak kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucunda ham metanol elde edilir, ham olan metanole rafine edilme işlemi uygulanıp %99 civarı bir saflık oranı elde edilir. Ana hammaddelerden doğalgaz ile su işleme girmeden önce arındırma işleminin yapılması gerekmektedir. Doğalgaz içeriğinde düşük oranlarda sülfür bileşiği bulunmaktadır. Bu sülfürizasyonun azaltılması önemlidir. Arındırma işlemi yapıldığında sistemi çalıştıran ekipmanlar zarar görür. Ayrıca, ısıl verimde aşağı seviyelere çekilir. Metan gazını (CH_4); karbondioksit (CO_2), su (H_2O), hidrojen (H_2), ve karbon monoksit (CO) çeviren işlem adımının adına reformasyon denilmektedir. Metanol bileşik karışımı oluşturmada verim oranını artırmak için CO_2 , besleyici gaz buharına ilave edilir. Bu olaya reformasyon yanması adı verilmektedir. Reaktörde ayrıştırma prosesi olmadan önce arındırılmamış %68 oranında metanol ile %31 oranında su karışımı meydana gelir. Reformasyondan kaynaklanan fazla ısı alınır ve metanol sentez reaktörüne aktarılmadan önce sıkıştırılır. Su oluşumunun sebebi bu olaydır. Reaksiyona girmeyen inert gazlar, reaksiyon çevrimi boyunca %5 oran değerlerinde meydana gelir. Bu gazların, tekrar sisteme kazandırılması için sentez reaktörüne aktarılmaktadır. Bu işlem adımları gerçekleştirdikten sonra metanolü arındırma işlem adımına geçilir. Arındırma işleminde; birbirinden farklı iki safhada %68 oranında metanol damıtılarak, saflık oranı %99 civarlarına ulaşmaktadır. Deniz aşırı ülke pazarlarına tankerler yoluyla iletilirken, daha yakın menzilli pazarlara aktarım borular veya variller vasıtasıyla olmaktadır [49].



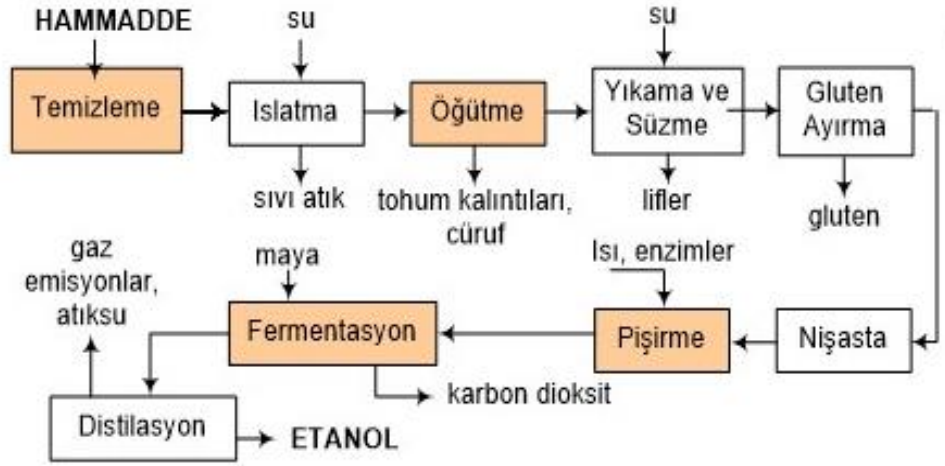
Şekil 2.3. Metanol üretim prosesi [49].

2.1.3.3. Etanol

Biyoeanolü meydana getiren asıl hammadde nişastadır. Başlıca mısır, soğan, patates, arpa, şeker pancarı gibi nişasta veya direk şeker içeren bitkilerden elde edilir. Bu ürünlerden, içinde nişasta barındıranları önce glikoza çevrilip daha sonra fermantasyona işlemine tabi tutulurlar. İçinde şeker barındıranlar ise direkt olarak fermantasyon işlemine alınırlar. Özellik olarak biyoeanol berrak, renksiz ve kendine has bir kokuya sahiptir. Etanol, benzinle kıyaslandığında yüksek oktana sahiptir. Biyoeanol 78,5 °C'de kaynayıp, -114,1 °C'de donar [50].

Biyoeanol üretiminde eğer ki hammadde ürünün yapısında nişasta varsa bu nişasta önce şeker haline çevrilir. Daha sonra bu şekere fermantasyon işlemi uygulanır ve hammadde ürününün biyoeanol halini alması sağlanır. Biyoeanol, yer altındaki ve yer üstündeki suları ve çevreyi kirletmez. Bunun sebebi biyoeanolü oluşturan hammaddelerin organik olup, doğada hızla çözünebilmesidir. Fermantasyon sırasında suda çözülmüş halde bulunan etanol yakıtını kullanabilmek için su ile etanolü ayırtmak gereklidir. Basit damıtma tekniği en eski tekniklerdendir. Bu teknikte, saflık oranı %95-96 civarlarında kalmaktadır. Bunun nedeni su ile etanolden oluşan karışımın sıvı ve gaz hallerinde meydana getirdikleri bileşimlerinin aynı olması yani azeotrop olmasıdır. Damıtma işlemi devam ettirilerek saflık oranı en fazla %96 oranına ulaşmaktadır [51].

Hammaddeden nişastanın elde edilmesi etanolü meydana getirmek için yapılan ilk işlemdir. Daha sonra elde edilen nişastaya sıvılaştırma sakarifikasyon uygulamaları yapılır. Sakarifikasyon nişastadan, glikozu hidroliz yöntemiyle elde edilme uygulamasıdır. Glikoz hammaddeden doğrudan elde ediliyorsa araya girecek olan rafine etme işlemi, sıvılaştırma işlemi ve sakarifikasyon işlemlerine gerek kalmaz. Hammaddeden glikozu elde ettikten sonra hammaddeye uygulanacak teknikler birinci olarak fermantasyon, ikinci olarak distilasyon, üçüncü olarak dehidrasyon işlemleridir. Denaturasyon işlemi de isteğe veya duruma göre değerlendirilir. Karbondioksit gazı fermantasyon işlemi uygulamaya alındığında meydana gelmektedir. Etanolün saflığı en az %95-%99.9 oranları arasında olduğunda benzin ile karıştırılabilir. Sıvılaştırma işlemlerinden en çok kullanılanları elementer elek ve fiziksel absorblama yöntemleridir [52].



Şekil 2.4. Etanol üretim prosesi [52].

Biyoeanol üretiminde hammaddeden nişasta elde edilmesi; nişasta kaynağının değirmende öğütülüp, enzim yardımıyla elementer yapıya ayrılmasıyla sağlanır. Bu aşama hazırlık aşamasıdır. Bu şekilde nişasta açığa çıkarılarak biyoeanol üretiminin verimi artırılır. Elde edilen nişasta bir başka enzim yardımıyla glikoz haline çevrilir. Bu aşamalardan sonra fermantasyon işlemine geçilir. Bu aşamada hazırlanan karışımdaki şeker elementlerine maya ilave edilerek şeker elementleri, biyoeanol elementlerine dönüştürülür. Bu işlemi gerçekleştirmek için 60 ile 80 saat arası gibi bir zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu arada gerekli koşullar yüksek verimde bir maya meydana getirmek için kontrolden geçirilir. Genel olarak karışımdan, fermantasyon işlemi sonunda %10 ila %12 aralığında biyoeanol açığa çıkmaktadır. Fermantasyon süresince de meydana gelen karbondioksit karışımdan ayrılır. Damıtmanın bir diğer ismi de aslında distilasyondur. Distilasyon işlemi fermantasyon tekniğinden sonra uygulanıp, elde edilecek biyoeanol karışımdan ayrılır. Ayırma kulelerindeki sıvı ısıtılarak damıtılır böylece %95-%96 oranlarındaki karışımdan fermente edilip, damıtılıp, ayrılmış olur. Son olarak da elek teknolojisi kullanılıp, biyoeanol ayrılır ve saflık oranı %99-%99.50 seviyelerine yükseltilmiş olur [53].

2.1.4. Biyodizeller

Biyodizel, metil ya da etil alkol ile bir aracı yardımıyla kimyasal reaksiyona sokulur ve bu reaksiyon sonucu oluşur. Biyodizel; yağlı tohumlardan, atık yağlardan ve bütün biyolojik yağlardan elde edilme özelliğindedir. Yağlı tohumlara örnek olarak kanola, soya fasulyesi, yer fıstığı, palmiye gibi bitkiler gösterilebilir. Kullanılan metil

veya etil alkoller kısa zincir özelliği göstermektedir. Biyodizel günümüzde önemli ve çevre dostu yakıtlardandır. Dizel yakıt olarak kullanılabilen biyodizel, yağ asidi metil esterlerinin, alkol olarak metanol ya da etanol ile kimyasal reaksiyona sokulmasıyla elde edilen bir yakıttır. Motorlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda yanma olayının tam anlamıyla gerçekleşmemesinden dolayı, bitkisel yağların doğrudan motorlarda kullanılması uygun değildir. Doğrudan kullanıldığında birçok problem meydana gelmesi muhtemeldir. Bitkisel yağların polimerizasyonu ile yağlama işleminde oluşacak arızalar, enjektörlerin meme uçlarında karbon birikmesiyle tıkanmaya sebep olması, motor tortusunun fazla miktarlarda olması, yağlama işleminde kullanılan yağın seyrelip yağlama özelliğini yitirmesi bu problemlere örnek gösterilebilir. Bununla birlikte soğuk ortamlarda aracın ilk çalışmasında çıkan problemler, düşük ateşleme kalitesi, düşük ısıl verimlilik benzeri parça değişimine neden olan problemler dizel yakıtı kullanılan araçlarda, doğrudan bitkisel yağların kullanılmaması gerektiğini göstermektedir. Tüm bu problemler nedeniyle doğrudan bitkisel yağlar kullanılmayıp, kimyasal değişime uğratılıp, ondan sonra kullanılmaktadır. Bitkisel yağlar birçok işleme uğrayıp, kimyasal reaksiyonlara sokulup, bu reaksiyonlar sonucunda biyodizel adı verilen esterleştirilmiş, dizel motorlarda oluşabilecek problemleri oldukça azaltan, alternatif yakıt meydana getirilmiş olunur [54].

2.2. Biyodizel Hammadde Kaynakları

Biyodizelin hammadde kaynakları başlıca bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, atık yağlar, bakteri ve alglerdir. Bitkisel yağlar ticari olarak diğerlerinden daha fazla öneme sahiptir, bu yüzden de diğerlerinden daha çok tercih edilenidir. Bitkisel yağlardan en çok biyodizel üretilenleri ise soya yağı, palm yağı, ayçiçek yağı ve kanola yağını gösterebiliriz. Bu yağların en çok kullanılma sebebi tekli doymamış yağ asidi içeriğine sahip olmalarıdır. Hayvansal yağlar, bitkisel yağlarla kıyaslandığında daha çok doymuş yağ asidine sahiptir. Bu sebeple de oda sıcaklığında katı formdadırlar. Hayvansal yağlar bu özelliklerinden dolayı doğrudan yakıt olarak kullanılmazlar. Günümüze kadar birçok biyodizel araştırmasında çok sayıda kaynak kullanılmış ve bu kaynaklar birinci jenerasyon kaynağı, ikinci jenerasyon kaynağı ve üçüncü jenerasyon kaynağı olmak üzere üç kategoriye ayrılmışlardır [55].

2.2.1. Birinci Jenerasyon Kaynaklar

Bu kategoride biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel ve hayvansal yağlar, gıda amaçlıda kullanılabilirler. Çağımızda bilinen 4000 adetten fazla sıklıkla yağ çıkartılabilen bitki türü bulunmaktadır. Mahsuller, yetiştirme uygulamalarına göre farklılık gösterirler. Tablo 2.1’de biyodizel üretiminde değerlendirilen birtakım bitkilerin yağ oranları gösterilmiştir [56].

Tablo 2.1. Biyodizel üretiminde kullanılabilen bitkiler [56].

Yağ Bitkisinin Adı	Kg yağ/ha	Yağ İçeriği (%)
Mısır	145	5-6
Palm	189	50
Pamuk	273	20
Fındık	405	65-75
Aspir	655	25-37
Kolza	1000	33-40
Ayçiçeği	800	35-40
Keten	402	38
Susam	585	50
Soya	375	17-26

2.2.2. İkinci Jenerasyon Kaynaklar

Bu kategoride gıda yönünden olarak uygunluğu tükenmiş atık olarak değerlendirilen kızartma yağlarını gösterebiliriz. Bu yağlar, çevre kirliliğini engellediği için ve bu yağların bulunması kolay olduğu için tercih edilmektedirler. Restoranlarda yemek yapımında kullanılan ve kullanım özelliğini yitiren yağlar, yine evlerde yemek yapımından sonra kullanıma uygun olmayan yağlar, yağ fabrikalarından elde edilen kullanıma uygun olmayan yağlar, bu kategorideki yağların hammaddesi olarak örnek gösterilebilir. Bu yağlar, yüksek sıcaklıklarda işlem görüp oksidasyona uğramış ve yeniden kullanılması insan sağlığını olumsuz etkileyen yağlardır. Isı gören bu yağların viskozitesinde artış, köpürme oluşumu, duman oluşum noktasının azalması ve renginin koyulaşması, karbonil bileşiklerinin oluşumu, molekül ağırlığı fazla olan maddelerin oluşumu görülmektedir. Isı gören bu yağların sağlık açısından uygunluğu polar maddeleri tayin edebilen cihazlarla sağlanmaktadır.

Gündelik yaşamda, evlerde kızartma yağı olarak kullanılan yağların en fazla iki defa kullanılması gerekmektedir. Birinci kullanımdan sonra yağ bekletilmemelidir. Eğer yağ birinci kullanımdan sonra bekletilirse bu esnada polimerizasyon sürdüğü için tekrar kullanılması sağlıklı olmayacaktır. Kızartma yağı olarak kullanılan yağlar %25 polar madde ve oligomer madde sınır değerini aştığında, kanserojen etki meydana gelmektedir. Kızartma yağları, ekotoksik özellik gösterip, çevreye atık olarak bilinçsizce bırakıldığında, doğaya zarar vermektedirler. Bu yüzden kızartma yağı kontrolü hem sağlık hem de çevre açısından önemlidir [56].

2.2.3. Üçüncü Jenerasyon Kaynaklar

Bu kategoride kaynak olarak algler kullanılmaktadır. Algler, fotosentez yapabilme yeteneğine sahip organizmalardır. Bu organizmalar tatlı sularda, tuzlu sularda, kar ve buzların bulunduğu soğuk ortamlarda, çöl kumları gibi sıcak ortamlarda, yer altı gibi pek çok yerde oluşabilmektedirler. Tek hücreli olanları olduğu gibi büyük boyutlarda alglerde mevcuttur. Algler diğer bitkilerle beraber bir yaşam sürerler. Çıplak gözle görülemeyen tek hücreye sahip algler 0,5 mikrometre çaplarında olmaktadır. Boyut olarak küçük olsalar da yerküremizde sayıları oldukça fazladır. Okyanuslarda, denizlerde canlı organizmanın yüzde 90 gibi büyük bir kısmını oluşturmaktadırlar. Planktonlarla beraber, bir yılda 130 milyon ton civarı organik karbon oluşturarak yerküremizdeki besin zincirinin birinci basamağını meydana getirirler. Algler doğal ortam şartlarında bir yılda her hektar için 2 ton civarı verim verirler. Modern tekniklerle alglerin verimi oldukça yüksek seviyelere çekilebilmektedir. Avrupa Birliği Enerji Komisyonunca, alp yetiştirmek için açık havuz sistemleri ile chemostat adı verilen sistemler desteklenmektedir. Algler üretilme aşamasında, açık ortamda kültür işlemine alınmadan önce birtakım problemler meydana gelmektedir. Bu problemleri; üretimi artırmak için ortama CO₂ vermek, karıştırma uygulaması, kontaminasyon, resirkülasyonun sağlanması, gaz kontrolünün sıklıkla yapılması, hasat için yapılan harcamalar olarak sıralayabiliriz. Tüm bu olumsuz olarak görülen etkenlere rağmen üretim için sıkıntılar aşıldığında hektar başına verim 70 ton civarında olmaktadır. Bir diğer olumsuzlukta ışık mevcudiyeti azlığıdır. Işığın az olması verimi doğrudan olumsuz etkilemektedir. Alglerin verimliliğinde, sağlanan ışığın yoğunluğu ile ışınım şiddeti önemli faktörlerdir. Alglerin türüne göre ve büyüme şartlarına bağlı olarak ışığa olan doygunluk seviyesi değişim gösterir. Alglerin ısı değerleri Tablo 2.2'de verilmiştir [57].

Tablo 2.2. Alglar ve ısıl değerleri [57].

Alg Türü	Isıl Değer (Mj/Kg)
Plankton Algleri	19,23-20,48
Deniz Yosunu	18,39-18,88
Kara Yosunu	15,88-17,56

2.3. Biyodizelin Çevresel Etkileri

Petrolün gündük yaşantımızda kullanılması için fosil yakıtlar birtakım işlemlerden geçirilir. Petrolün kullanılmasıyla beraber çevreye verilen zararlı emisyonlar birçok probleme neden olmaktadır ve çevreye verilen emisyon oranları oldukça fazladır. Biyodizelin hammaddesi genel olarak bitkisel kaynaklı olduğundan, bitki hammaddesinin büyümesi, sıkılıp yağının çıkarılması ve biyodizel eldesinde geçirdiği süreçler incelendiğinde çevreye verilen emisyon oranları petrole göre oldukça az olmaktadır. Bitkilerin fotosentez yapmasını göz önünde bulundurarak, biyodizelin çevreci bir yakıt olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz. Günlük yaşantımızda çeşitli araçlarda kullandığımız motorlarda petrol kökenli yakıt yerine biyodizelin kullanımıyla emisyon oranlarının oldukça düştüğü ve çevreye zarar vermekten uzak olduğu görülmüştür. Motorlardan gerçekleşen yanma olayı sonucu ortaya çıkan egzoz emisyonlarından CO₂ yerkürenin ısınmasına sebebiyet verir. Bunun yanı sıra, yine yanma sonucu çevreye salınan NO_x, CO ve SO_x gazları sera etkisi yaparak insanlığın sağlığı açısından kötü durumlara yol açmaktadır [58].

Bitkiler atmosferdeki karbondioksiti kullandığından karbon çevrimine hız verir. Bu sebeple bitkiler, dolayısıyla biyodizel de zararlı CO₂ gazını azaltmada önemlidir. Biyodizelin sera etkisini azaltıcı etkisi vardır. Yakıt olarak biyodizel kullanıldığında CO, SO_x emisyonlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, HC ve partikül maddelerin salınımında azalma görülmüştür. Biyodizel yakıtının kükürt bileşenleri oldukça azdır. Yanma olayı sonucu meydana gelen kükürt dioksit, su buharı ile atmosferde bileşik meydana getirerek asit yağmurlarına sebep olmaktadır [59].

Günümüzde petrolün çevreye verdiği zararlardan birisi de suyu kirletip, içindeki canlılara da zarar vermesidir. Biyodizel ise sudaki canlılara zarar vermeyen

bir yakıt türüdür. Bir litre ham petrolün yaklaşık 1 milyon litre suyu kirletip, zehirlenmektedir. Biyodizel, su içerisinde yaklaşık bir ayda %95 oranlarında çözünebilirken, bu oran petrolde %40 oranlarında kalmaktadır. Bu sebeple, ABD başta olmak üzere birçok ülkede su üzerinde kullanılan tekne gibi araçlarda saf biyodizel kullanımı zorunluluk haline getirilip, buna uymayanlara ağır ceza yaptırım uygulamaları getirilmiştir [60].

2.4. Biyodizelin Özellikleri

2.4.1. Biyodizelin Yakıt Olarak Teknik Özellikleri

Biyodizelin tutuşma sıcaklığı, dizel ile kıyaslandığında daha yüksektir. Biyodizel 110 °C üzerinde tutuşma noktasına sahiptir. Bu özelliğinden dolayı da biyodizel taşınmasında, depolanmasında, kullanımında daha güvenli bir durum ortaya koymaktadır. Biyodizel istenilen oranda dizel yakıtı ile tam olarak karıştırılabilmektedir. Bu özellik sayesinde petrol kökenli dizel yakıtının kalitesi artmaktadır. Bu kalite artışlarına örnek olarak; biyodizelin setan sayısı fazla olduğundan motor vuruntusunda azalma meydana gelmesi, atmosfere verilen zararlı emisyon gazların oranlarının düşmesi, motor verimini azaltıp güç düşmesine sebep olan birikintileri çözmesi ve motorda pistonların yağlayıcılığının artması gösterilebilir. Biyodizel yakıtı, gündelik yaşamda araçlarda kullanılan dizel motorlarda değişiklik yapılmadan veya çok az bir değişiklik yapılarak rahatlıkla kullanılabilir. Biyodizelin, doğal kauçuğu aşındırma özelliği bulunmaktadır. 1996 yılından önce doğal kauçuktan yapılan motorların hortumları ve contalarında aşınmalar gözlenmiştir fakat bu problem %20 oranı ve altındaki biyodizel oranları ile dizel yakıtının karışımından elde edilen yakıtlarda gözlenmez. Biyodizelin aşındırıcı özelliğinden dolayı yakıtı depoların boru veya depo duvarlarında kalan tortular çözüneceğinden filtreler tıkanabilir. Bu yüzden filtre temizliği bakımı önemli olmaktadır. Tablo 2.3'de dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt nitelikleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Tablo 2.3'deki değerler incelendiğinde iki yakıt özelliklerinin çok fazla farklılık göstermediği görülür [61].

Tablo 2.3. Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri [61].

Yakıt Özellikleri	Biyodizel	Dizel
Kapalı Formül	$C_{19}H_{35,2}O_2$	$C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$
Molekül Ağırlığı (g/mol)	296	120-320
Kütleli Alt Isıl Değer (Mj/Kg)	37,1	42,7
Hacimsel Alt Isıl Değer (Mj/L)	32,6	35,5
Özgül Ağırlık (Kg/L)	0,87-0,88	0,82-0,86
Kinematik Viskozite (mm²/s)	4,3	2,5-3,5
Tutuşma Noktası (°C)	>100	>55
Kükürt İçeriği (% kütleli)	<0,01	<0,05
Tutuşma Katsayısı (setan Sayısı)	>55	49-55
Kül (% kütleli)	<0,01	<0,01
Su Miktarı (mg/kg)	<300	<200

2.4.2. Biyodizelin Fiziksel Özellikleri

2.4.2.1. Yoğunluk

Biyodizel ile dizelin 15 °C'deki yoğunlukları incelendiğinde; biyodizelin 860–900 kg/m³ yoğunluğa sahip olduğu, dizelin ise 820–845 kg/m³ yoğunluğa sahip olduğu, dolayısıyla biyodizel yoğunluğunun daha fazla olduğu görülmüştür. Yoğunluk, yanma ısısını ve tüketilen yakıt oranını etkileyen en önemli faktördür [62]. Hidrokarbon zincirinin uzaması yoğunluğu artırırken, çift bağ yapısının artması yakıt yoğunluğunu düşürür. Biyodizelin yoğunluğunun fazla olmasının sebeplerinden içeriğinde bulunan gliserinin, biyodizel yakıtından ayrıştırılmamasıdır. Biyodizel yakıtı %5 ile %7 oranları arasında dizel yakıtına göre daha fazla yoğunluk gösterir. Yakıt yoğunluğundaki artış, motordaki güç verimi kaybına sebebiyet vermektedir [62].

2.4.2.2. Parlama Noktası

Isıtılan yakıtın üzerinde yakıt buharının toplanmasıyla, havanın en düşük tutuşabildiği sıcaklığa parlama noktası denilmektedir. Parlama noktası motor performansına etki eden önemli unsurlardan biridir ve biyodizel için oldukça elverişlidir. Parlama noktasının alçalması veya yükselmesi yanma karakteristiklerini etkileyen bir durum değildir. Risk açısından değerlendirmek gerekirse, parlama noktası referans alınması gereken önemli noktalardan biridir. Parlama noktasının yüksek bir değerde olması yakıtın depolanması ve taşınmasında daha güvenli bir ortam oluşturmaktadır. Dizel yakıt için parlama noktası 74 °C iken, biyodizel yakıtı için bu değer 220 °C olmakta ve biyodizelin daha güvenli bir yakıt olduğu görülmektedir. Günümüzde, parlama noktasının belirleyen standart DIN EN 22719 standardıdır [62].

2.4.2.3. Setan Sayısı

Dizel motorlarda kullanılan yakıtın tutuşmasının ne kadar nitelikli olduğunu belirten setan sayısıdır. Uzun zincirli oluşuma sahip olan doymuş hidrokarbonlar daha yüksek setan sayısına sahiptirler. Dizel motorlarda kullanılan yakıtlarda kendi başına tutuşma sıcaklığı arttıkça meydana gelecek olan vuruntu da artmaktadır. Setan sayısı, hidrokarbon uzunluğu artışı ile doğru orantılıdır. Hidrokarbon yapılarında çift bağ sayısı arttıkça setan sayısı ters orantılı olarak azalmaktadır. Oksidasyon neticesinde meydana gelen peroksitler setan sayısını artırır. Motorda kullanılan yakıtların setan sayısı azaldıkça tutuşma süresi artmaktadır. Kullanılan yakıt uygun zamanda tutuşmaz ise dizel motorlarda, motor parçalarında hasar meydana gelmekle birlikte motor vuruntusu da artmaktadır. Biyodizeli meydana getirmek için kullanılan hammaddeler içinde bulunan yağ asitleri ayırıcı özelliindedir. Bu özellik yakıtın setan sayısını etkilemektedir. Setan sayısının arttırmak için biyodizel ile birlikte motorin karıştırılabilir. HC ve CO salınımları, setan miktarı, kararlılık olayı, yanma olayı, sürdürülebilirlik olayı, motor performansını etkileyen faktörler arasında yer alır. Biyodizel yakıtı motorinden daha yüksek setan sayısına sahip olduğundan dolayı yanma daha verimli olmaktadır. Setan sayısının fazla olması maliyetin artışına sebep olmaktadır. İçten yanmalı motorlarda setan sayısı 40-48 aralığında tutulması maliyet açısından önemlidir. Yakıtta kullanılan hammadde setan sayısında değişime sebep olmakla beraber, genelde 46 ile 60 arasında değişir [62].

2.4.2.4. Isıl Değer

Bir yakıt yanarken meydana getirdiği enerji miktarı ısı değerini verir. Hidrokarbonlardaki zincir uzunluğu fazlaştıkça ısı değerinde de doğru orantılı yükselme görülmektedir. Hidrojen sayısının azalması bizlere doymamışlığın artmasını göstermektedir. Hidrojen sayısı azaldıkça, doymamışlık artarken ısı değeri düşer. Oksijen miktarındaki artış ise bizlere biyodizelin ısı değerinin düşmesini gösterir [62].

2.4.2.5. Soğukta Akış Özelliği

Biyodizel yakıtı soğuk ortamlarda kullanmak sorun teşkil edebilir. Bunun sebebi akma noktasının motorine göre daha yüksek seviyede olmasındandır. Doymuş hidrokarbonların bulut noktası (CP), soğuk filtre tapan noktası (CFPP), akma noktası (PP) değerleri yüksek seviyelerdedir. Doymuş hidrokarbonların miktarı hayvansal yağlarda ve kızartmada kullanılan yağlarda adet olarak daha çoktur. Soğuk akış niteliğinin yakıtlarda kötü olması, motorlarda bulunan yakıt besleme mekanizmalarındaki parçalarda hasar oluşturur. Ayrıca motorun ilk harekete başlamasında da problemler açığa çıkabilir [62].

2.4.2.6. Yağlayıcılık

Motorun enjektör, yakıt pompası, piston segmanları gibi bölümlerinde aşınma problemleri, yağlama yapıları aşılabilmektedir. Hammaddesi petrol olan yakıtların içeriğinde kükürt bulunmaktadır. İçeriğinde bulunan kükürt oranıyla ilgili birçok çalışmalar yapılmış ve halen yapılmaktadır. Yakıt olarak dizeli ele aldığımız zaman yağlama özelliğini geliştirmek için kükürt oranı düşürülmüş, bu sayede içeriğe de yağlayıcılığı artıran katkı maddeleri ilave edilebilmiştir. Yakıt içeriğine katkı maddelerinin ilave edilmesi yakıt besleme mekanizmasında kalıntıların meydana gelmesine sebebiyet verebilir. Biyodizel yakıtını motorin ile kıyasladığımızda yağlayıcılık özelliği daha üstün gelmektedir. Bu durum motorun kullanım süresinin uzamasına katkı sağlar. Biyodizel yakıtına arıtma işlemi yapılmadığı takdirde yağlama özelliğinin daha iyi olduğu görülmüştür. Arıtma işlemi yapılmadığı zaman biyodizel içeriğinde monoglisericid, diglisericid, triglisericid bileşiklerinden az miktarlarda görülmektedir [62].

2.4.2.7. Toksik Etkisi

Biyodizel yakıtında toksik yani zehirleyicilik özelliği bulunmaz. Örnek vermek gerekirse insan vücudu için kg başına 1,75 gr hayati tehlike iken, biyodizel için bu rakam kg başına 17,4 gr olmaktadır. Görüleceği üzere biyodizel tuz ile kıyaslandığında bile 10 kat daha az zararlıdır. Yine bilim insanlarının yaptığı araştırmalara göre insan cildi incelendiğinde sabun çözeltisiyle karşılaştırıldığında biyodizel %4 daha az toksik etkisi gösterir. Biyodizelin zehirleyici özelliği bulunmamasına rağmen dizel yakıtlar için alınan önlemlerden olan havalandırma mekanizması ve göz koruyucu önlemler biyodizel içinde alınmalıdır [62].

2.4.2.8. Biyobozunabilirlik

Biyodizeli meydana getiren C16 ve C18 metil esterleri doğada rahatlık ve çabuk bir biçimde ayrışıp, parçalanırlar. Olumsuz yönleri 1 litrede 10000 mg oranından sonra görülmeye başlar. Biyodizel doğada çok rahat bir şekilde bozunabilir. Biyodizel 28 günlük süreçte yaklaşık %95 oranında bozunurken, dizel yakıt 17 günlük bir süreçte %40 bozunabilme yeteneğindedir [63].

2.4.2.9. Oksidasyon Kararlılığı

Depolama yönünden önemli faktörlerden biri de Oksidasyon kararlılığıdır. Biyodizel yakıtının depolanma süresini yine biyodizeldeki oksidasyon ürünleri etki etmektedir. Oksidasyon ürünleri bunun yanında yakıt mekanizmasında, tank ve filtreleme sistemlerinde tortulaşmaya neden olurlar. Yağın kimyasal örgüsü oksidasyona etki etmektedir. Örnek vermek gerekirse soya yağı yüksek derecelerde doymunluk özelliği göstermez, bu özellik yağı oksitleyebilir. Biyodizelin oksidasyon kararlılığının yüksek olması, biyodizelin tüketim ömrünün de fazla olması demektir. Bu da biyodizel kalitesinin artması demektir. Değişken faktörlerden olan ışık faktörü, hava faktörü, sıcaklık faktörü, metal katalistler, antioksidanların meydana gelmesi Oksidasyon kararlılığına etki eder [64].

2.4.2.10. Karbon Artığı

DIN EN ISO 10370 standartları tekniği ile bir yüzeyde ve oksijen olmayan koşullarda yakıtın yanmasıyla beraber, yüzeyde yanmamış karbonları belirleyerek test edilebilir. Bu işlemler yapılırken yakıt enjektöründe veya yanma ortamında karbon

yıgını gözlenebilir. Biyodizel ile yapılan testlerde sıfıra yakın oranlarda, en fazla yakıt kütlelerinin %0.4'ü oranında görülmüştür [63].

2.4.2.11. İyot Sayısı

Yağlardaki doygunluğu gösteren, bir kriter olan iyot sayısı, yağın türüne göre değişme özelliği göstermektedir. Biyodizel bünyesindeki çift bağ adedine göre de iyot sayısı değişim göstermektedir. Doymamışlık derecesi de yine iyot sayısına bağlı olarak değişir diyebiliriz. Doymamışlık göstermeyen yakıtın depo edilmesinde kararlılık problemleri ve tortu birikmesi problemleri gözlenir. Yanma odasında çıkabilecek fiziksel hasarlar, motorda kullanılan yağların akışkanlığının azalması, yakıt püskürtme mekanizmalarında tıkanıklık oluşumu gibi problemler iyot sayısının fazla olmasından kaynaklanır [64].

2.4.2.12. Kinematik Viskozite

Viskozite, sıvıların akma olayına gösterdiği dayanma özelliğidir. Kinematik viskozite; sıvının, işaretlenen bir borudan, sıcaklığın değişmediği bir ortamda, düşey yönde dökülüp, sıvının önceden işaretlenen kısmından istenilen zamanda geçmesinin hesaplanmasıyla belirlenmektedir. Araçlarda kullanılan motorlarda yakıt mekanizmalarının kullanıcının istediği ortam şartlarında çalışabilmesi, motordaki tutuşma gecikmesi, yanma olaylarının süreçleri, kullanılan yakıttan ortaya çıkan ısı verimliliğinin ve yakıt atomizasyonunun tesiri önemlidir. Viskozite olarak biyodizel, dizelden daha fazla viskoziteye sahiptir. Yakıtların viskoziteleri yakıtı besleyen mekanizmalar için büyük önem taşımaktadır. Yakıtın sahip olduğu atomizasyon yakıtın yanma kalitesine etkisi oldukça fazladır. Yanma performansının azalması, atomizasyonun kötü olması, yakıt püskürtücülerinde tıkanıklık, piston segmanlarında karbon birikmesi gibi problemler yüksek viskoziteden kaynaklanmaktadır [64]. Yakıtın viskozitesinin yüksek olması pompalama basıncının da artırılmasını gerektirecek, basıncın artırılması da yakıtın püskürtülme mekanizmasının çalışmasını düşürecektir. 40 °C sıcaklık için biyodizel viskozitesi saniye başına 3,5-6 mm²'dir. Biyodizel viskozitesinin artıran sebeplerden birisi hidrokarbon zincir uzunluğu artışı, viskoziteyi düşüren sebeplerden biri de çift bağ sayısının artışıdır. Yakıtın saf olmayışı ve oksidasyon neticeleri viskoziteyi artıran diğer etkenlerdendir. Viskoziteyi etkileyen faktörlerden birisi de sıcaklıktır. Transesterifikasyon işlemi başarısız olmuşsa bunun

en büyük belirtisi viskozitenin yüksek olmasıdır. Viskozite test yöntemi olarak, DIN EN ISO 3104 test yöntemi kullanılmaktadır. Viskozite fazlalığındaki problemleri aşmak için genelde iki farklı teknik kullanılmaktadır. Bunlardan biri motorun yakıtta uyum sağlayacak şekilde ayarlanması, diğeri ise yakıtın viskozitesinin motora uyumlu olarak düşürüp o şekilde kullanılmasıdır [64].

2.4.2.13. Kükürt İçeriği

Kükürt miktarı faydalı bir faktör değildir. Bunun sebebi partikül oluşumunu artırması ve korozyonu artırmasıdır. Motor soğuk olduğunda kükürt miktarı motor parçalarında korozyona yol açar. Kükürt miktarını etkileyen faktörlerden birisi de motorun hızıdır. Motorinde bulunan kükürt değeri EN 590 standardına göre 350 ppm olarak belirlenmiştir [63].

2.4.2.14. Su İçeriği

Biyodizelin içerisinde su damlacıkları çözülmüş ya da damlacıklar olarak asılı bir durumda bulunabilir. Yakıt püskürtme mekanizmalarında parçaların aşınmasına neden olan sudur. Bu sebeple biyodizel içerisinde suyun bulunması uygun değildir. Su ayrıca içinde mikrobiyolojik olaylar gerçekleştireceğinden dolayı biyodizel de asitlenme gibi, çamurlanma gibi problemlere neden olmaktadır [64].

2.4.3. Biyodizelin Kimyasal Özellikleri

Dizel ve biyodizel karşılaştırıldığında en önemli fark içeriklerinde buldukları oksijen miktarlarıdır. Yağ esterlerinin alkil zincirleri uzunluğu ve doymamışlık faktörü kimyasal yapıyı etkilemektedir. Biyodizel içerik olarak %10 ila %12 aralığında oksijen içermektedir ve bu oranlar emisyonu düşürmektedir. Biyodizel yakıtta temelde kükürt bulunmaz. Kükürt bileşenleri asit yağmurlarına yol açmaktadır. Kükürt miktarı motorine göre biyodizel yakıtta daha düşük seviyelerdedir. Kükürdün, kükürt okside çevrimi egzoz borusu ucunda gerçekleşir ve kükürt oksit sülfürik aside dönüşür. Sülfürik asit kirlenici bir bileşendir. Yakıtların yapısındaki aromatikler ise NO_x emisyonunu artıran ve partikül emisyonunu artıran unsurlardandır. Motorin yaklaşık hacminin %20 ve %40'ı aralığında aromatik bileşik içermektedir. Motorine nazaran biyodizelde aromatik bileşik gözlemlenmez. Biyodizel yakıtların içeriğinde olefinik bağ önemli sayılarda bulunmaktadır [65].

Biyodizel, yağ asidi metil esteri olarak da adlandırılır. Bu adlandırmanın nedeni uzun zincire sahip yağ asitlerinin, mono alkoller ile esterleşme yapmasıdır. Bir işlem uygulaması görmeden, viskozitesi yüksek olan bitkisel kaynaklı yağlar kullanıma uygun görülmezler. Biyodizel ile ilgili çalışmalarda bu nedenle viskozite azaltma işlemlerine başvurulmaktadır. Bitkisel yağların motorin ile belirli miktarlarda karıştırılmasıyla seyreltme işlemi yapılmaktadır. Normal koşullarda birbirleriyle karışmayan iki sıvı formun, kimyasal bileşikler yardımıyla bir araya getirilmesi olayına mikroemülsiyon denilmektedir. Bileşikleri oluşturan kimyasal bağların daha ufak parça moleküller meydana getirmek için kırılması işlemlerine piroliz adı verilmektedir. Bitkisel yağlardan katalizör ile alkolün de yardımıyla gliserol ve ester meydana getirmesi olayına transesterifikasyon adı verilmektedir. Biyodizel meydana getirmek için kullanılmakta olan teknikleri 5 ana maddede toplayabiliriz [66].

- Piroliz Tekniği
- Mikroemülsifikasyon Tekniği
- Seyreltme Tekniği
- Transesterifikasyon Tekniği
- Süper Kritik Tekniği

2.5.1. Piroliz Yöntemi

Piroliz bir kimyasal değişimdir. Bu kimyasal değişim, hava veya azot bulunan ortamda termal enerji kullanımını neticesi meydana gelir. Yapılan birçok araştırma; ortaya çıkarılan ürün üzerinde sıcaklık faktörü etkisini, katalizör faktörünün uygulanmasını, genelde metalik tuzların yapısında ve hidrokarbon kaynaklı motorin yakıtı yapısında benzer olarak bulunan parafin ve olefin petrol yan ürünü elde etmeyi, termal ayrışmayı meydana getirebilen ürünlerin incelenmesi benzeri konuları işlemiştir. Bileşik sınıflarından alkanlar, alkadienler, alkenler, karboksilik asitler ile aromatikler gibi ürünler trigliseridlerin termal ayrışmayı sağlayacak ürünlerdendir. Bitkisel yağlardaki farklılıklar da termal ayrışmayı sağlayan ürünlerin birbirlerinden farklı olmasını sağlar. Trigliseridlerin ayrışma işleyişlerinin karmaşık olmasının sebeplerinin başında farklı molekül yapılarını içermesidir [67].

2.5.2. Mikroemülsiyon Yöntemi

Mikroemülsiyonlar; su ile yağ gibi yüzey aktif maddelerinin ve bunun gibi başka amfifilik moleküllerin termodinamik olarak şeffaf, yarı saydam veya izotropik biçimde kararlı olarak dağılımıdır. Mikroemülsiyonlarda mevcut damlaların çapı 100 Å° ila 1000 Å° aralığında çeşit göstermektedir. Bir mikroemülsiyon; bitkisel yağdan, seyreltici ile esterden, alkollerden meydana getirilebilir. Mikroemülsiyonlar, yanma odasını soğutma yönelimindedirler. Bunun nedeni içeriğinde bulunan alkol maddesinin, dizel yakıtından, hacimsel olarak daha az bir ısı kapasitesine sahip oluşudur. Bununla birlikte bir diğer neden de alkollerin buharlaşma gizli ısısının seviyesinin fazla olmasıdır. Metanolün ve bitkisel yağ emülsiyon edildiğinde motorine yakın bir netice gösterebilmektedir. Bu teknikte problem gösteren konular; karışımın düşük sıcaklık sağlanan ortamlarda ayrılmaya yönelim göstermesi ve emülsiyonda setan sayısının, kullanılan alkollerin setan sayılarının düşük olmasıyla beraber azalmasıdır. Mikroemülsiyon meydana getirmek için kullanılan yöntemde yakıtların bünyesinde alkol bulundurması nedeni ile ısı değerler motorine göre daha düşük seviyelere geriler. Isıl değer düşmesi demek gücün azalması anlamına gelmektedir. Diğer taraftan, alkoller yanma odasının bir miktar soğumasına gizli buharlaşma ısı özelliklerinin fazla olmasından dolayı katkı sağlarlar. Bu da püskürtme uçlarında oluşabilecek karbon birikmelerinin önüne geçer. Bu teknikle oluşturulan yakıtların bilhassa motorine alternatif bir yakıt olabilme özelliği gösterdiği fakat uzun bir zaman diliminde yapılacak motor testlerinin daha sağlıklı sonuçlar vereceği araştırma insanlarınca bildirilmektedir [68].

2.5.3. Seyreltme Yöntemi

Etanol benzeri maddelerle birlikte bitkisel yağ distilasyonundan dizel yakıt eldesi sağlanabilir. Ayçiçek yağı yüksek oranlarda oleik asit içeren bir bitkisel yağdır. Ziejewski tarafından, ayçiçek yağı 1'e 3 oranında distilasyon edilmiş ve birtakım sonuçlar ortaya çıkmıştır. Çalışmada, karıştırma işlemi sonucunda viskozite sıcaklığın 40 °C olduğu bir ortamda saniye başına, 4,88 mm² olarak görülmüştür. Karıştırma işleminin uzun süre uygulanmasıyla yakıt püskürtme ağızında koklaşma, yapışkanlık, bunun yanında motor yağında birikintilerin oluştuğu gözlemlenmiş ve uzun süreli uygulamaların zararlara yol açtığı görülmüştür. Yüzde 48 parafinden ve yüzde 52 naptenden meydana getirilen standart bir solventte, 1'e 1 oranında ve sıcaklığın 38 °C

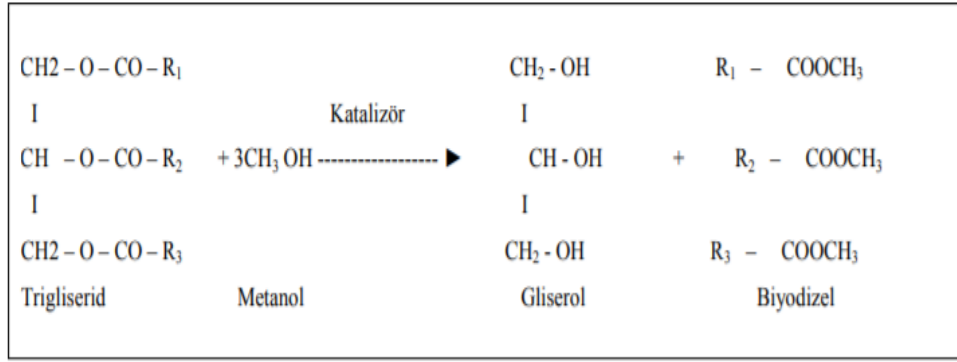
olduğu bir ortamda soya yağının viskozitesi saniyede 5,12 mm² olduğu görülmüstür. Meydana gelen yakıt, giriş vanalarında ağır ve çok miktarda karbon birikimlerine, ayrıca üst yüzük parçasının aşınmasına yol açmıştır [67].

2.5.4. Transesterifikasyon Yöntemi

Transesterifikasyonun bir diğer adı da alkolizdir. Transesterifikasyon tekniğinin amacı trigliseridlerin viskozitesini düşürmeye yöneliktir. Transesterifikasyon tekniğinde yağ, etanol veya metanol gibi monohidrik bir alkol ve bir katalizör eşliğinde gliserin meydana getirerek esterleşir. Esterleşme reaksiyonu süresince di ve monogliseridler meydana yan ürün olarak gelmektedir. Oluşan bu yan ürünler reaktan fazlası ile serbest yağ asitleri meydana getirirler. Biyodizeli meydana getirmede asidik veya bazik özellikte katalizörler kullanılabilir. H₂SO₄ ‘‘Sülfürik Asit’’ ile HCl ‘‘Hidroklorik Asit’’ asidik özellikte katalizörlerden, KOH ‘‘Potasyum Hidroksit’’, NaOH ‘‘Sodyum Hidroksit’’ bazik özellikte katalizrlerdendir. Enzimatik katalizörlerde asidik veya bazik katalizörlerden farklı olarak günümüzde değerlendirilmektedir. Bazik veya asidik katalizörlerin daha çok kullanılmasının sebepleri ve olumsuzlukları aşağıda belirtilmiştir [68].

- Reaksiyonlar bu katalizörler kullanılarak oluşturulduğunda meydana gelen reaksiyon daha verimli olmaktadır.
- Bu katalizörler daha az korozyif bir etki göstermektedir.
- Bu katalizörler kullanıldığında reaksiyon süresinin oldukça azaldığı görülmektedir.
- Asidik katalizör depolamak için asidik özelliğe direnç gösterecek tank ihtiyacının maliyeti oldukça fazladır.
- Bazik özellikte katalizörlerin, özellikle serbest yağ asidi içeriğinin %10 ila %15 oranları arasında olduğu bitkisel yağlarla reaktivlik göstermesiyle sabun meydana gelmektedir.

şekil 2.6’da gösterilen kimyasal basamaklar, transesterifikasyon tekniği ile biyodizel meydana getirmek için gerçekleşen kimyasal basamakları içermektedir.



Şekil 2.6. Transesterifikasyon tekniğinin kimyasal adımları [68].

Transesterifikasyon tekniği ile biyodizeli meydana getirmek için aşağıda belirtilen işlem adımları izlenmektedir.

Alkol ve katalizörün karıştırılması: Katalizör olarak genelde sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit kullanılır. Katalizör, metil veya etil alkol bünyesinde bir karıştırıcı kullanılarak çözünme işlemi yapılır [69].

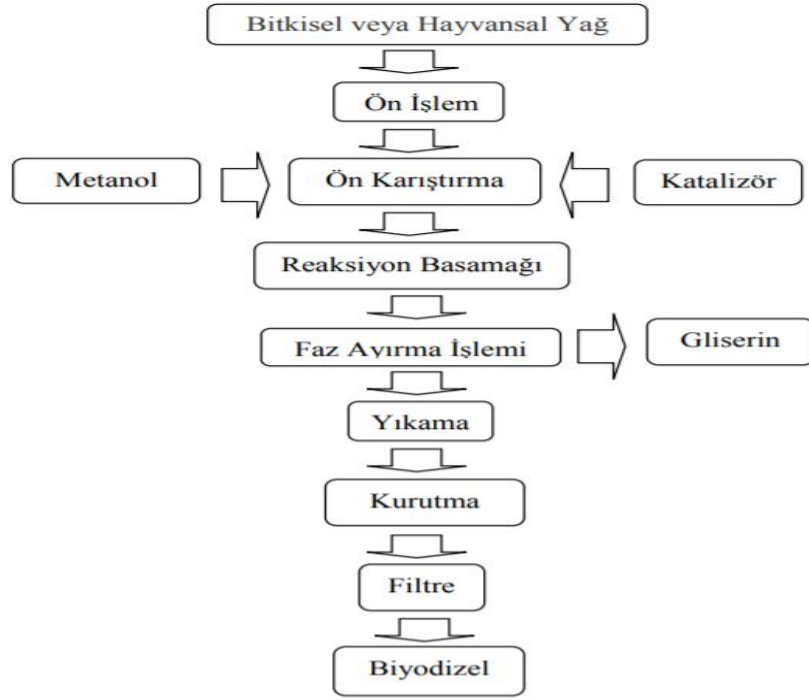
Reaksiyon: Hayvansal veya bitkisel kaynaklı yağlar biyodizeli oluşturmak için kullanılmaktadır fakat kullanılan bu yağlar ısıtılırken dikkat edilmesi gereken sıcaklığın 65 °C üstüne çıkmamasıdır. Bu sıcaklığın üstüne çıkılmamasının sebebi ise alkol olarak metil alkol tercih edildiğinde, alkol buharlaşacağından dolayı reaksiyon oluşturmayıp tutuşma haline geçebilmesidir. Genel bu tip sorunlarla karşılaşmamak için 60 °C sıcaklık üstüne çıkılmamasına özen gösterilir. Kullanılacak yağ belirli bir sıcaklığa getirildikten sonra alkol ve katalizörden oluşan karışım yağa ilave edilir. Bu işlem adımından sonra yağ, alkol ve katalizörden oluşan karışım 1 ila 8 saat arasında sabit sıcaklıkta karıştırılır. Alkol miktarı, katalizör çeşidi, sıcaklığın hangi derecede sabit tutulduğu ve sabit tutulmasının doğru yapılması, yağın kalitesi gibi faktörler reaksiyon süresini etkilemektedir. Alkol uçucu bir madde olduğundan, uçuculuğun önlenmesi için reaksiyonun kapalı bir ortamda olması sağlanır. Biyodizel üretilirken yağ olarak bitkisel yağlar veya hayvansal yağlar tercih edilir. Bu yağların yapısında su ile beraber serbest yağ asitleri bulunur. Bu maddelerin bulunma oranlarına göre gliserin ile sabun meydana gelip, sorun teşkil edebilir [69].

Ayırma: Reaksiyon sonucunda gliserin ile biyodizel olmak üzere iki ana ürün meydana gelir. Yoğunlukça gliserin ile biyodizel karşılaştırıldığında, gliserin yoğunluğu çok daha fazladır. Bu yüzden biyodizel-gliserin karışımı basit bir ayırma hunisi ile ayrıştırılabilir. Bu iki oluşumu birbirinden ayırmak için bazı sistemlerde santrifüj tekniği de uygulanabilir [69].

Alkolün Uzaklaştırılması: Ayrılan İki ana faz olan gliserin ve biyodizel içinde bulunan fazla alkolü ortamdan uzaklaştırmak için alkol buharlaştırma tekniği uygulanır. Bu teknik kullanılırken, alkol distilasyon kolunu sayesinde alkol geri dönüşümü gerçekleştirilir ve alkol tekrar değerlendirilebilir. Geri dönüşümü sağlanan alkol içeriğinde su bulunmaz [69].

Gliserin Nötralizasyonu: Biyodizel üretiminde meydana gelen safhalardan biri gliserinin ayrılmasıdır fakat ayrılan bu gliserin içeriğin katalizör sebebiyle artıklar, kullanılan katalizöre göre değişen tuz artıkları, nötralize olmuş sabun, gibi maddeler ham gliserin tankına gider. Oluşan fazlardan biri olan gliserinin içerisindeki madde artıkları, alkol, kullanılan katalizöre bağlı olarak oluşan tuz ve nötralize edilmiş sabun ham gliserin olarak ham gliserin tankına yollar. İlk adımda katalizörden gelen tuz, gliserinden ayrıştırılarak genelde hayvan yemlerinde kullanılır. İkinci adımda gliserin yapısında bulunan su ve alkol ayrıştırılarak saflık %80 ila %88 oranlarına getirilir. Üçüncü adımda daha detaylı ayrıştırma işlemlerine tabi tutulan gliserinden kozmetikte ve ilaç sektöründe kullanılacak, %99 saflıkta gliserin eldesi sağlanır [70].

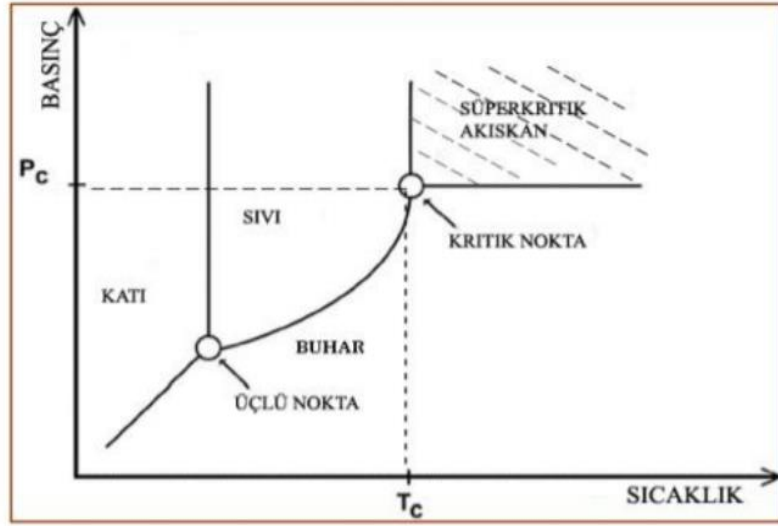
Metil Ester Yıkama İşlemi: Ayırma işlemi ile birbirinden ayrılan gliserin ve biyodizel kaplara konulduktan sonra, biyodizel içerisinde bulunabilecek katalizör artıkları ile oluşabilecek sabun oluşumlarını da ayırmak için biyodizelin, ılık su ile birkaç defa yıkanması gerekmektedir. Yıkama işlemi de yapıldıktan sonra biyodizel içindeki su damlacıklarını uzaklaştırmak için biyodizel yaklaşık 110 °C sıcaklıklara kadar ısıtılıp, içeriğindeki su damlacıkları buharlaştırılır. Bu işlemler bittikten sonra oluşan biyodizelin viskozitesi motorine yakın bir biçimde ve rengi de kullanılan yağlı tohumlara göre değişmek suretiyle genelde açık sarı bir renkte olacaktır. Bu şekilde biyodizel üretim adımları bitmiş olur. Meydana getirilen biyodizel, depolanmak amacıyla tanklara aktarılır ve kullanımdan önce bir filtreden geçirme işlemi uygulanır. Şekil 2.7’de belirtilen teknik ile biyodizel üretiminin işlem adımları belirtilmiştir [70].



Şekil 2.7. Biyodizel üretiminde işlem adımları [70].

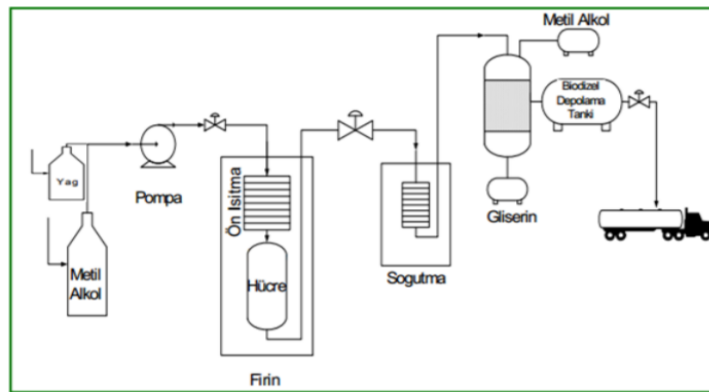
2.5.5. Süper Kritik Yöntem

Bir maddenin, çizilen sıcaklık faz diyagramı ile basınç faz diyagramı üzerinde gösterilen buhar ve sıvının dengesini belirten eğride, ileriye doğru gidildikçe sıcaklık ile basıncın arttığı görülmüştür. Sıvı yoğunluğu ısıl genleşmeler sebebiyle düşmeye sebep olurken, basınçta artışa neden olur. Basınç artışından dolayı gaz yoğunluğu fazlaşır. Zamanla bu iki fazın yoğunlukları birbirlerine yaklaşmaya başlar. İki faz arasındaki farklılıklar ortadan kalkmaya başlar. Bu sebeple çizilen eğride kritik nokta adı verilen bir eşik noktası meydana gelir. Örnek olarak metanolü gösterecek olursak, metanol için kritik nokta sıcaklığı 239 °C olmakla beraber kritik nokta basıncı da 81 bar olmaktadır. Kritik nokta adı verilen bu noktadan sonra madde artık akışkandır. Kritik nokta geçildikten sonra artık madde katı, sıvı veya gaz fazdan başka bir bölgeye geçer. Bu bölgedeki akışkana artık “Süper Kritik Akışkan (SC)” adı verilir. Bu bölgeye geçerken ki basınca “Kritik Basınç (PC)”, sıcaklığa da “Kritik Sıcaklık (TC)” adı verilmektedir. Bu olay Şekil 2.8’de belirtilmiştir [70].



Şekil 2.8. Süper kritik olayının grafiği [70].

Süper kritik noktayı aşmış akışkanların fizikokimyasal nitelikleri sıvı form ile gaz form nitelikleri arasındadır. Süper kritik akışkanların çözücülükleri bu nitelikleri sayesinde daha iyidir. Akışkanın yoğunluğuna bağlı olarak süper kritik akışkanın çözücülüğü değişmektedir. Yoğunluk bakımından süper kritik akışkanlar sıvı forma benzerken, viskozite olarak gaz formuna benzerler. Yoğunluğun fazlaşmasıyla süper kritik akışkanların çözücü kuvveti artış göstermekte ve gaz formuna göre daha iyi bir çözücü olmaktadır. Süper kritik akışkanların yayınımlarının fazlaşması ve viskozitelerinin düşmesi katı formların gözeneklerinde basitçe yayınıp, çözme kuvvetleri fazlaşmaktadır. Süper kritik tekniğinde işlem gerçekleştirilirken, transesterifikasyon tekniği gibi katalizör kullanılmaz ve 350 °C gibi yüksek sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Bu işlemlerin süresi yaklaşık 240 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşir. Süper kritik tekniği ile biyodizel üretimi Şekil 2.9’da verilmiştir [69].



Şekil 2.9. Süper kritik tekniği ile biyodizel üretimi [69].

2.6. Biyodizelin Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

Biyodizelin en önemli alternatif yakıtlardan birisi olmasının nedeni dizel motorlarda değişiklik yapılmadan veya çok az bir modifikasyon yapılarak rahatlıkla kullanılabilmesidir. Mevcut motorlarda parçasal hiçbir ekleme veya çıkarma işlemi yapılmadan kullanılabilir. Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle beraber araçların sayısı artmakta ve buna bağlı olarak kullanılan dizel motor sayıları da artmaktadır. Bu artışla birlikte birçok olumsuz etki meydana gelmektedir. Bu nedenle biyodizel kullanımı dizel yakıtının getirdiği olumsuzlukları azaltmada önemli bir alternatif yakıttır. Aşağıda biyodizelin olumlu ve olumsuz yönleri maddeler halinde belirtilmiştir [71].

- C16-C18 metil esterleri biyodizeli meydana getiriler. Bu metil esterleri doğada çok basitçe çözünerek, parçalanma özelliğindedir. Basit bir biçimde ayrışabilirler ve doğaya zarar veren zehirli bir bileşen değildir. Örnek vermek gerekirse yapılan deneylerde kanola yağından elde edilen biyodizel yakıtı 21 gün içinde doğada %99 oranında çözünebilmektedir ve bu özelliğiyle çevre dostudur. Biyodizel yerel imkanlarla basitçe üretilebilen, yenilenebilir bir alternatif yakıttır. Dizel motor yakıtı olan motorin ile kıyaslandığında atmosferde CO₂ birikimine neden olmayıp, çevre dostu olup, atmosferde sera etkisine yol açmaz. Bunun nedeni biyodizel yandığında açığa çıkan CO₂ gazını yine biyodizelin hammaddesini oluşturan bitkiler fotosentez olayında kullanırlar [71].
- Biyodizel üretimi, evsel veya endüstriyel yağlar gibi atık yağlar hammadde olarak kullanılabilirdiğinden bu yağlardan fayda sağlamada, bu yağların değerlendirilmesinde, bu yağların yeryüzünde azaltılmasında önemli rol üstlenir. Yine tarımsal ürünlerden de biyodizelin üretilmesi de ikinci bir artıdır [72].
- Biyodizel yapımında kullanılan yağların yapısında bulunan yağ asitleri biyolojik maddeler içinde en fazla ısı verime sahiplerdir. Bu özelliğin sebebi uzun hidrokarbon zincirlerinin, bir karboksil grubuna bağlı iki hidrojen atomlarından meydana gelmesindedir. Bu sebeple de bitkisel yağlar sıvı formdaki yakıtların özelliklerine en yakın olan biyolojik maddelerdir. Yağlı biyolojik maddeler, yağsız biyolojik maddelere göre daha fazla ısı enerjisini meydana getirirler. Bu özellikleri nedeniyle hammadde olarak yağlı biyolojik maddeler biyodizel üretiminde tercih sebebi olmaktadır [73].

- Biyodizelin tutuşma derecesi, petrol kökenli dizel yakıtların tutuşma derecesine göre daha fazla olduğundan (>110 °C), biyodizel yakıtın depolanıp, taşınması daha güvenilir olmaktadır [74].
- Biyodizel emisyonlarında, motorin emisyonlarına nazaran partikül madde oranı, karbon monoksit oranı, yanmamış hidrokarbon oranı oldukça az olmakla beraber, kükürt ile aromatik bileşikler neredeyse yoktur. Aromatlar, kansere sebep olan bileşenlerdendir. Biyodizeller, aromatlar açısından da zengin değildir. Biyodizeller işletmelerde, oksidasyon katalizörü biçiminde de değerlendirilirler. Bu şekilde kullanılmalarına olanak sağlayan özellik kükürt içermemeleridir. Kükürt azlığı, zararlı olan salınım gazlarının değerlerinin daha da düşük olması demektir [74].
- Biyodizelin yağlama derecesi dizel yakıtına göre daha iyi olduğundan dolayı motor ömrünü uzatır [75].
- Biyodizellerin yanma verimleri oldukça yüksektir. Yanma veriminin yüksek olmasını sağlayan içeriğindeki oksijen oranının %11 gibi yüksek değerlerde olmasındandır [76].
- Biyodizeller kurum oluşturmazlar. Kurum oluşturmamaları, içeriğindeki iyot sayılarının oldukça az olmasındandır [76].
- Motorun normal halinden daha gürültüsüz çalışması setan sayısının yüksekliği ile doğru orantılıdır. Biyodizelin setan sayısı motorine göre daha fazladır. Biyodizel yakıtı, motorin yakıtının kullanıldığı motorlarda, dizel yakıtı ile karıştırılarak veya doğrudan kullanılabilme özelliğindedir [77].
- Biyodizel den gliserin gibi, potasyum gübresi yan ürünlerde elde edilerek, bu yan ürünlerden fayda sağlanır [77].
- Biyodizel kullanımı, ülkelerin tarım ürünlerinin sanayileşmeye uyumunu sağlayarak tarımsal ekonominin kalkınmasını sağlar. Bu sebeple biyodizel kullanımı göz ardı edilmeyecek biçimde ülke ekonomilerinin canlandırır [76].
- Biyodizelin evsel ve sanayi türde üretimleri, özgül yakıt harcamalarının dizele yakın olması, dizele yakın güç ve momentum benzerlikleri sağlaması, gündelik yaşamda ulaşım haricinde, ısıtma da ve jeneratörlerde kullanımının olanaklı olması biyodizelin önemli artılarıdır [76].
- Biyodizel içeriği gereği önemli bir motor yağlayıcısı özelliği gösterir [74].

- Alevlenme noktası açısından biyodizel, petrol kökenli yakıtlara göre yüksek seviyededir. Biyodizel, bu özelliği ile kullanılması, depolanması ve taşınması gibi konularda güvenli bir yakıttır [74].
- Üretilen biyodizel her oranda motorin ile karıştırılabilme özelliği gösterir. Bu sayede petrol kökenli motorin yakıtının kalitesi daha da artmaktadır. Örneğin yanma olayından sonra açığa çıkan zararlı emisyon değerleri daha da düşer, motor yağlama özelliği iyileşir ve motorda güç kaybına neden olabilen birikintilerin çözülmesinde iyileşme meydana gelir [75].
- Biyodizel kullanımının artması, yağlı tohum ekiminin artmasına dolayısıyla tarımsal ekonomin artmasına, tüketicilerin harcamalarında azalmaya, kırsal bölgelerin kalkınmasına, iş imkanların fazlaşmasına, atmosferin korunmasına, dolayısıyla insan sağlığının iyileştirilmesine olanak sağlar [75].
- Biyodizelin akma noktası seviyesi motorine göre daha yüksektir. Viskoziteleri yüzünden biyodizellerin doğrudan motorlarda yakıt olarak kullanımları uygun görülmez. Çünkü yakıt püskürtme sistemleri viskozite değişimlerine uyum sağlamayabilir. Viskozitenin yüksek olması, yanma odasında yanma tepkimesine girecek olan yakıtın atomizasyon formunu bozar ve damlacık boyutunda büyümeye meydana gelir. Bu sebeple de tamamlanmaz. Yanmanın tamamlanmaması enjektör ile yanma odasında kalıntılara ve bu kalıntıların birikmesine, tıkanmasına, yağlama yağının jel formuna gelmesine sebep olur. Bitkisel yağlar doymamış bağlar içermekte ve bu özellikleri sebebiyle yağlama yağının ortamına karışarak, burada viskozitenin artmasına sebep olur. Viskozite artması da motora zarar veren özelliklerdendir [73].
- Biyodizel yakıtı, motorine göre soğuk hava şartlarından daha hızlı etkilenmektedir. Soğuk ortamlarda motorine göre bulutlanma noktası seviyesi daha yüksektir. Biyodizellerin, doymuş yağ asitleri fazla olduğundan soğuk hava şartlarında yakıt hattını meydana getiren borularda tıkanmalara, yakıtı kullanımdan önce süzen filtrelerde tıkanıklıklara neden olmaktadır. Tüm bu olumsuzluklar biyodizelin doğrudan soğuk hava şartlarında kullanımını engellemektedir. Bu olumsuzluklardan kurtulmak için ise ön ısıtma yapılabilir veya biyodizelin karışım formunda kullanımı sağlanır. Motorine göre biyodizelin ısı değeri daha azdır. Bu da motor gücünde bir miktar düşüslere neden olur [71].
- Biyodizelin jelleşme noktası yüksektir [78].

- Biyodizelin oksitlenmeye karşı yatkınlık gösteren bir yakıttır. Biyodizel özellikle sıcak ortam koşullarında havayla temas kurarak oksitlenme gösterir. Ayrıca, biyodizelin parlama noktası seviyesi motorine göre daha yüksektir [78].
- Biyodizelin bir diğer dezavantajı normal şartlarda motor parçalarında, depolamada, taşımada değerlendirilen kauçuk malzemeleri parçalamasıdır, bu dezavantajı uzun süreli depolamada problem çıkarmaktadır [79].
- Motorin yakıt salınımları, azot oksit salınımlarına göre biraz daha alçaktır [79].
- Biyodizel, hacimsel olarak yakıt harcanması %11 oranında, ağırlık yönünden de %5 ila %6 civarında daha fazladır [75].
- Biyodizel kullanımı yağı seyrelttiği için yağlama özelliğini azaltır [79].
- Araçların, 1996 yılı öncesi üretilen plastik aksamaları biyodizel ile etkileşime girebilir [78].
- Araç depoları, biyodizel yakıtı kullanılmadan önce temizlik işlemine tabi tutulmalıdır [79].

2.7. Dünyada Biyodizel

Günümüzde Küresel ısınmanın etkisi giderek artmaya başlamıştır. Buda fosil yakıt kaynaklarının azalmasına, ülkelerin yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarına yönelen politikalar tercih etmelerine neden olmuştur. Biyodizel uygulamaları kolay uygulanabilirliği ile, başta ABD ve Avrupa olmak üzere birçok ülkede artış göstermiştir. 1900'lü yıllarda Rudolf Diesel ilk kez yer fıstığı yağını dizel motorda kullanmıştır. Avrupa da biyodizel üretiminin başlangıcı 1980'li yılların başlarına dayanmaktadır. 1990'lı yıllara gelindiğinde dünyada biyodizel üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır [80].

1983 yılında biyodizel üretimini ilk olarak gerçekleştiren ülke Avusturya'dır. 1994 yıllarında petrol krizleri baş göstermiş ve tüm dünya ülkeleri alternatif enerji arayışlarına başlamış, biyodizelin önemliliği artış göstermiştir. 1994 senesinde İlk endüstriyel olarak faaliyet gösteren tesis Mureck de açılmıştır. Başta Hollanda ve İngiltere gibi ülkeler bu faaliyetleri sürdürmüştür. Ham petrolün 2000'li yıllarda iyice pahalılaşmasıyla beraber biyodizelin kıymeti de iyice artmış ve bu sektöre büyük yatırımlar yapılmaya başlanmıştır [81].

Yenilenebilir enerjinin pazarının 2020 senelerinde %20 civarlarına, 2030 senelerinde de %30 civarlarına artırılması Avrupa Birliği komisyonu tarafından önerilmektedir. Avrupa Birliği, bu önerisiyle tüm dünya ulaşımında 2030 senelerine gelindiğinde harcanacak yakıtın %4'ünün biyoyakıtlardan meydana gelmesini sağlama amacındadır [81].

2.8. Türkiye'de Biyodizel

Ülkemizde biyodizel yakıtı ile ilgili ilk denemeler 1934 senesinde Atatürk Orman Çiftliği'nde "Tarım Traktörlerinde Bitkisel Yağın Yakıt Olarak Kullanılması" adı altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ülkemizde "Biyodizel Çalışma Grubu" oluşumu 2001 senesinde Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından oluşturulmuştur [82].

Ülkemizde İlk olarak biyodizel kavramı ve adı 4 Aralık 2003 tarihinde 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu'nda bulunmakta olan harmanlanan ürünler arasında kendisine yer bulmuştur. Bu kanun ile ÖTV dışında bırakılan biyodizel için yapılan yatırımlar artış göstermiş ve hızlanmıştır [83]. Biyodizelin ülkemizde yakıt olarak kabulü 10 Eylül 2004 tarihli ve 25579 sayılı "Resmî Gazetede Petrol Piyasasında Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında Yönetmelik" ve 17 Haziran 2004 tarihli "Petrol Piyasası Lisans Yönetmeliği" ile yürürlüğe girip, tüketiciye ulaşımı, güvenli bir şekilde depolanması ve ithalatı kabul edilmiştir [84].

Araçlarda kullanılan biyodizelin ülkemizdeki üretimini gerçekleştirmek için belirli standart çizgilerinin aşılmaması gerekmektedir. Ülkemizde ki Yurtdışı ve Yurtiçi Kaynaklardan Temini ve Piyasaya Arzına İlişkin Teknik Düzenleme tebliğine göre, Türk Standardları Enstitüsünce hazırlanmış olan, "TS EN 14214 Otomotiv Yakıtları- Yağ Asidi Metil Esterleri - Dizel Motorlar İçin - Özellikler ve Deney Yöntemleri" kurallarına uyumlu olması mecburi hale getirilmiştir [85].

Ülkemizdeki belirtilmiş olan bu standartları yakalayabilmek için; standart üretimin dışına çıkılmaması, EPDK'dan biyodizeli işlemek için gerekli lisansın alınması, biyodizeli müşteriye satarken petrol piyasası kanununa uyulması gerekmektedir. 1 Aralık 2013 tarihinde Özel Tüketim Vergisinde (ÖTV) değişiklik yapılarak kullanılmayacak durumda ola bitkisel yağlar ile atık kızartma yağlarından meydana getirilecek biyodizelin yüzde 2 gibi bir oranla harmanlanmasıyla bu vergiden

muaf tutulma işlemi yürürlüğe girecektir. Böylece dağıtım şirketlerinin teşviği sağlanacaktır. Bu teşvikler sayesinde sektörde güçlü hale gelen bazı şirketlerin gelişmesiyle beraber biyodizel piyasası da gelişmiştir. 29378 sayılı “Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği’nde 6 Haziran 2015 tarihinde değişiklikler yapılmış ve yapılan bu değişikliklerle geri kazanımın yalnızca biyogaz ile biyodizel olarak gerçekleştirilmesi karara bağlanmıştır [86].

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 16 Haziran 2017 tarihinde yayınlamış olduğu duyuru da tekrar karar almış ve motorine %0.5 oranında biyodizel harmanlanmasını tebliğ etmiştir. Buna göre, dizel yakıtta 1 Ocak 2018 tarihinden itibaren %0.5 oranında ülke sınırlarındaki tarım ürünlerinden elde edilen biyodizelin katılması mecburiyeti getirilmiştir [87].

3. İÇTEN YANMALI MOTORLAR

Hizmet vermek amacıyla enerji üreten ya da üretilmiş olan bir enerjiyi harcayan mekanizmalara makine adı verilmektedir. Havadaki oksijen ile yakıtı, yanma bölgesinde yakıp, kimyasal ısı enerjisi açığa çıkaran ve enerjiyi de hareketli parçalar sayesinde mekanik bir enerjiye çeviren düzeneklere içten yanmalı motorlar denilmektedir. İçten yanmalı motorları buhar makinelerinden ayıran hadise yakıtın bir yanma odasında yakılarak ya da oksitlenerek enerji elde edilmesidir. İçten yanmalı motorlarda yaygın olarak kullanılan yakıt benzindir. İçten yanmalı motorlar genelde benzin veya dizel motoru olarak karşımıza çıkmaktadır. Dizel motorlarda yakıt olarak motorin kullanılmaktadır. Bunlarla beraber yakıt olarak hidrojen, metan, propan gibi yakıtlarda motorlarda ufak değişiklikler yapılarak değerlendirilir [88].

3.1. Benzinli Motorlar

Benzinli motorlar içten yanmalı motor türlerinden biridir. Benzinli motorlarda yakıt olarak kullanılan benzin, karbüratör mekanizması yardımıyla dizel motorlardan farklı bir biçimde buharlaştırılıp hava ile birleştirilerek silindirlere gönderilir. Dizel motorlarda buharlaşma olmadan sıvı halde gönderilir. Yakıt ile havanın birleşiminden oluşan karışım, silindirlerde sağlanan bir kıvılcım ile tutuşur ve patlama olayı gerçekleşir. Kıvılcımı sağlayan parçanın adı bujidir ve benzinli motorlarda görülmektedir. Silindirlerde oluşan patlamayla meydana gelen basınç kuvveti pistonları hareket ettirerek hareket enerjisi elde edilmesi sağlanır [88].



Şekil 3.1. Benzinli motorun dıştan görünüşü [88].

Benzinli motorların çalışma prensibi Alman mühendis Nikolaus Otto'nun icat ettiği 4 zamanlı otto çevrimidir. Çevrim dört kısımdan oluşup, 1876 senesinde bulunmuştur [88].

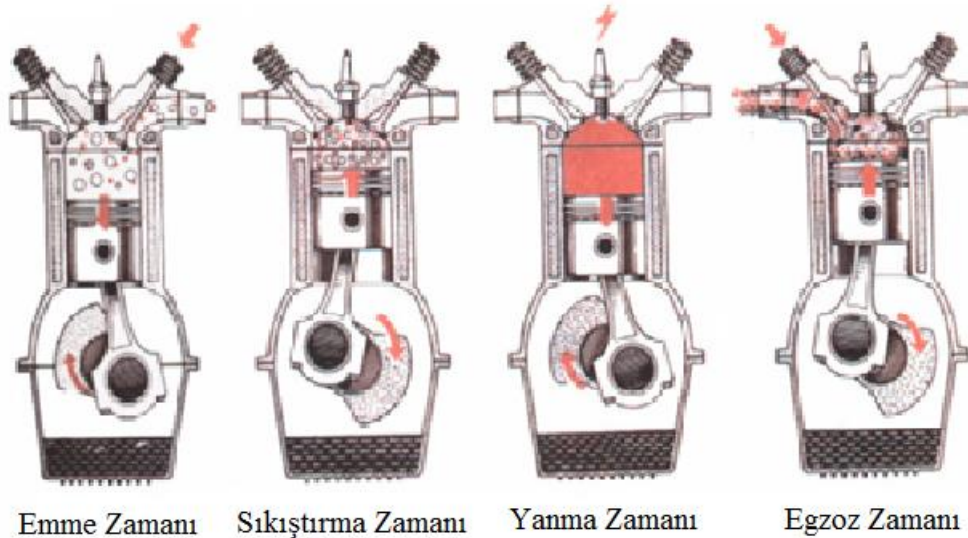
Emme: Silindir içerisine emme sübabının açılmasıyla beraber, karbüratör mekanizması sayesinde karıştırılan yakıt-hava karışımı çekilir.

Sıkıştırma: Bu aşamada yakıt-hava karışımı pistonun yukarı kısıma çıkmasıyla birlikte sıkıştırılır.

Yanma: Sıkıştırma işlemiyle birlikte yakıt-hava karışımı ısınarak, buji sayesinde meydana gelen kıvılcım ile yanma meydana gelerek patlama oluşur. Bu olay sayesinde piston aşağıya doğru hareket sağlar ve hareketi sağlama gücü meydana getirilmiş olur.

Egzoz: Egzoz aşamasında ise piston yukarı çıkar ve tutuşma sonucu oluşan zararlı gazlar dışarıya sübaplardan atılır. Bu sayede çevrim sonuna gelinerek, çevrim baştan tekrarlanır.

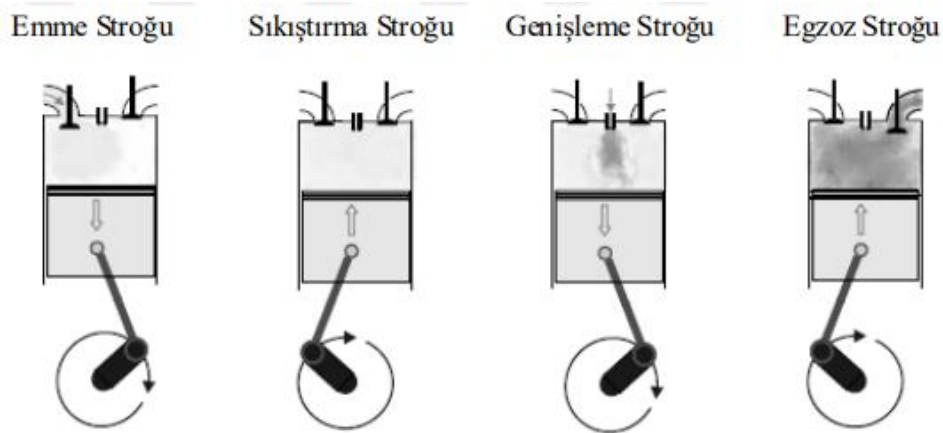
Günümüzde benzinli motorlar sıklıkla kullanılmaktadır. Otomobil, kamyonet, askeri araçlar, jet uçakları, gemiler gibi gündelik hayatta hemen her yerde gördüğümüz makinelerin hareketi bu motorlardan elde edilen güç sayesinde meydana gelmektedir. Aşağıda bulunan Şekil 3.2'de 4 zamanlı benzin motoru aşamaları gösterilmiştir [88].



Şekil 3.2. Dört zamanlı benzin motoru çevrimleri.

3.2. Dizel Motorlar

Dizel motorların prensibi; atmosferden alınan havanın piston içinde sıkıştırılıp, üzerine yakıt püskürtülmesi ile oluşacak yanma olayından enerji elde edilmesidir. Çalışma prensibinde benzinli motorlarla benzerlik olmasına rağmen benzinli motorlarda bulunması gereken ateşleme elemanı (buji), dizel motorlarda bulunmaz. Dizel motorlarda yanma ateşleme elemanı yardımıyla değil hava-yakıt karışımı sıkıştırılarak, kendiliğinden meydana gelir. Bu yönüyle dizel motorlar benzinli motorlardan ayrılırlar. Bu sebeple benzinli motorlar ateşlemenin kıvılcım yoluyla sağlandığı motor grubuna dahil edilirken, dizel motorlar ise ateşlemenin sıkıştırma yoluyla sağlandığı motor gruplarına dahil edilirler. Dizel motorlarda silindirin içerisinde yakıt ile hava karışımı sağlanır. Yanma olayının gerçekleşebilmesi için atmosferden alınan hava, silindir içerisine aktarılır ve burada hava sıcaklığı, silindir içerisine püskürtülecek yakıtın tutuşma sıcaklığını aşınca kadar sıkıştırılır. Sonraki süreçte sıkıştırılıp, yakıt tutuşma sıcaklığını aşan hava üzerine yüksek basınçta yakıt püskürtülüp, hava ile yakıttan oluşan karışım oluşturulup, yanma olayı kendiliğinden meydana gelir. Dizel motorlarda silindir sayısı tek bir adet olabileceği gibi birden fazla da olabilir. Dizel motorlarda çevrim sayısı sırasıyla emme, sıkıştırma, genişletme ve egzoz olmak üzere temelde dört kısımdır. Dört aşamadan meydana gelen bir dizel motorda her bir zaman bir stroğa karşılıktır. İki zamanlı dizel motorlarda ise emme ve sıkıştırma zamanları bir stroğa, genişleme ve egzoz zamanları bir stroğa karşılıktır. Dört aşamalı bir dizel motorda her bir zamana karşılık gelen dört stroğun piston hareketleri Şekil 3.3’de gösterilmiştir [88].



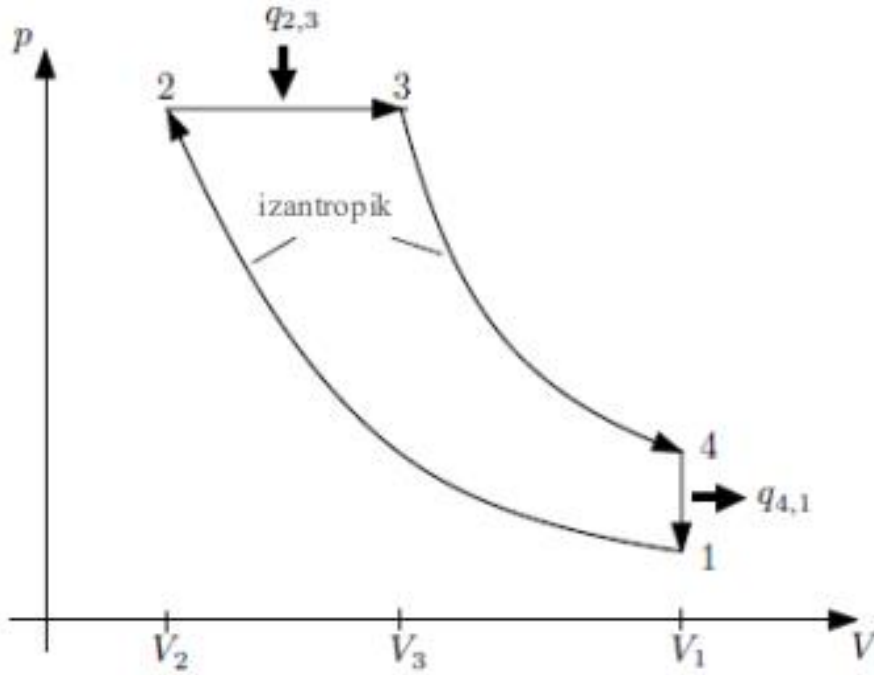
Şekil 3.3. Dört zamanlı dizel motorda strok çevrimleri [88].

• **Emme:** Motor çevrimlerinde ilk kademeyi emme stroğu meydana getirir. Emiş valfi bu strok süresince açık olmaktadır. Bu aşama, pistonun en yukarı konumda olduğu üst ölü noktada emme stroğu başlayıp, pistonun en aşağı konumda olduğu alt ölü noktada biter. Silindir hacminin piston hareketiyle artması sonucu bir vakumlama olayı gerçekleşerek, silindire atmosferdeki havanın girişi sağlanır.

• **Sıkıştırma:** Silindir içerisine emme stroğunda çekilen havanın sıkıştırılması işlemi sıkıştırma stroğunda gerçekleşir. Emme stroğunun devamı olarak sıkıştırma stroğu, alt ölü noktada başlayarak üst ölü noktada son bulur. Bu strok esnasında silindir içerisindeki sıcaklık ile basınç artarken, silindir hacmi düşer. Bu stroğun bitimine yakın silindir içerisine basınçla yakıt püskürtülüp yanma olayı gerçekleştirilir. Yakıtın püskürtülmesi işlemi genişleme stroğuna kadar sürdürülür.

• **Genişleme:** Bu stroğun bir diğer ismi de güç stroğudur. Bu strok üçüncü aşama olarak emme stroğunda olduğu gibi üst ölü noktada başlayıp alt ölü noktada son bulur. Sıkıştırma işleminde gerçekleşen yanma sayesinde ortaya yüksek sıcaklık ve basınç çıkar. Oluşan bu yüksek sıcaklık ve basınç, piston yüzeyine etki ederek pistonun aşağıya doğru kuvvetlice inmesini sağlar. Bunun sonucunda krank mili döner. Bu aşamada yapılan iş bir önceki adımda gerçekleşen sıkıştırma stroğunda yapılan işten 5 kat daha büyüktür. Yine bu aşamada silindir içerisindeki basınç düşerken, silindir hacmi genişler.

• **Egzoz:** Yanma olayında silindir içerisinde açığa çıkan gazlar, bu strok aşamasında egzoz valfi yardımıyla dış ortama atılır. Egzoz stroğunun başlangıcı pistonun alt ölü kısma gelmesiyle gerçekleşirken, bu stroğun bitişi pistonun üst ölü sınıra gelmesiyle gerçekleşir. Egzoz stroğu esnasında silindir içerisindeki hacim ve basınç azalmaktadır. Sıkıştırma işlemiyle ateşlenen motorlarda, dizel çevrimi uyumlu bir çevrimdir. Yanma süresi olarak bakıldığında dizel motorlar, buji ateşlemeli motorlara göre daha uzundur. Bu süre uzun olduğundan yanma işlemi, sabit basınçta sisteme ısı aktarılması olarak sanılmaktadır. Termodinamikte izobarik değişim; sabit basınçla sisteme ısı verilmesi ya da ısı alınması hadisesidir. Isı alışverişinin hal değişimi esnasında sistem ile çevre arasında gerçekleşmemesi olayına izantropik değişim adı verilmektedir. Şekil 3.4'te dizel motordan elde edilen ideal p-V diyagramı gösterilmiştir.

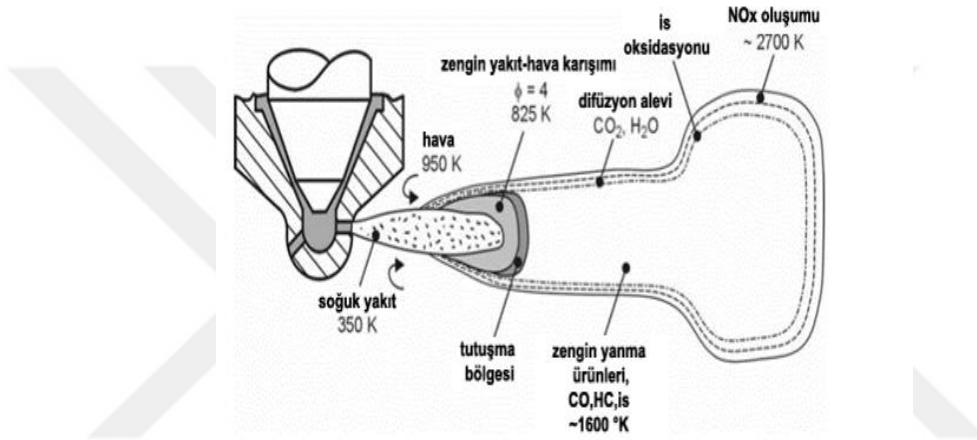


Şekil 3.4. Bir dizel motordan elde edilen ideal p-V diyagramı [88].

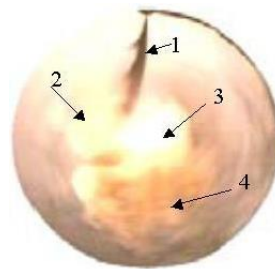
3.2.1. Dizel Motorlarda Yanma

Dizel motorlarda havanın yanması, püskürtülen yakıt ile gerçekleştirilir. Bu yanmanın sonucu olarak kükürtdioksit, karbondioksit, azot, oksijen, su buharı meydana gelir. Karbonmonoksit, azotoksit, hidrokarbon gibi kirletici gazlar yanma çevrimi tam gerçekleşmediğinde veya farklı bir biçimde gerçekleştiğinde meydana gelmektedir. Yanma odasına aktarılan havanın ölçüsü, silindir içerisinde bulunan sıcaklık, motorun krank mili dönüş sayısı, enjeksiyon sistemi yanmanın nasıl meydana geleceğini belirler. Yanma odasına aktarılan havanın ölçüsüne göre tam yanmayı meydana getirmek için yakıt püskürtülür. Yanma süreci bir dizi fiziksel ve kimyasal reaksiyonlardan meydana gelir. Yanma prosesi başlangıcı yakıtın püskürtülmesi olup, bitişi egzoz prosesinin başlamasıdır. Homojen bir yanmanın meydana gelmesi dizel motorlarda görülmemektedir. Reaksiyonların başlaması yakıtın yüksek sıcaklıktaki ortama püskürtülmesiyle başlayıp, yakıt da buharlaşmaya başlar. Reaksiyon başlangıcında basınçta az değişimlerin görülmesinin sebebi reaksiyon hızlarının çok düşük olmasıdır. Yanma kısmında alevin gözle görülüp, basıncın da gözle görülür bir biçimde artması tutuşma gecikmesi süresi bitişinde meydana gelir [89].

Silindir içerisinde bulunan oksijen oranı, yakıt-hava karışım miktarı, sıcaklık ve basınç yanmaya etki eden faktörlerdir. Bu faktörlere ilave olarak, yanma bölümünde meydana gelen ısı aktarımı ile hava davranışları yanmaya etki eder. Enjektöre ve silindirin içine yakıtın püskürtülmesi, pistonun üst ölü noktaya gelmesiyle gerçekleşir. Püskürtme işleminde, yakıt demet şeklinde ilerleyip toz halinde buharlaşma başlar. Yakıtın küçük damlacıklar halinde demetin dış kısmına doğru yönelir. Bunun nedeni havanın karşı basınç uygulayıp, bu damlacıkların hızını kesmesidir. İlk olarak yanmanın başlangıcı küçük damlacıkların olduğu, elverişli yakıt-hava karışımının bulunduğu kısımdan gerçekleşir (Şekil 3.5.) [89].



Şekil 3.5. Yakıt püskürtülme esnasında oluşan demetin emisyon oluşum kısımları [89].



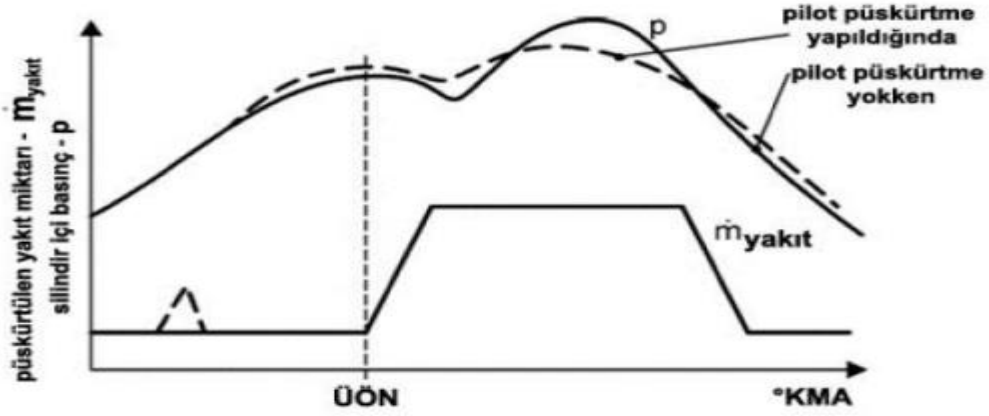
Şekil 3.6. Yakıt püskürtülme esnasında oluşan demetin emisyon oluşum kısımları [89].

Yakıt demetinde bulunan küçük boyuttaki damlacıkların temas yüzeyleri kütlelerine göre daha fazla olduğundan daha çabuk buharlaşma meydana gelir. Bu nedenle yanma olayının başlangıcı bu damlacıkların bulunduğu kısımlarda

gerçekleşir. Şekil 3.6’da yakıtın püskürtülme olayından sonra gerçekleşen ilk yanması gösterilmiştir. Yakıt demeti 1 numaralı kısımda sıvı formda görülmekte, 2 numaralı kısımda yakıt demeti buhar formunda görülmekte, 3 numaralı kısımda yakıt demetinde buharlaşma ile beraber tutuşmada başlangıç görülmekte, 4 numaralı kısımda alev alanında meydana gelen is alanı görülmektedir. Yanma olayı dizel motorlarda bu 4 bölgede incelenir [89].

3.2.2. Dizel Motorlarda Yanma Olayının Evreleri

Yanma prosesi dizel motorlarda 4 bölüme ayrılmaktadır. Bu evreler; tutuşma gecikmesi, ani yanma, kontrollü yanma, art yanma evreleridir.



Şekil 3.7. Dizel yakıtı uyumlu bir motora ait basınç-krank açısı diyagramı ile püskürtme stratejisi diyagramı [89].

3.2.2.1. Tutuşma Gecikmesi (TG)

Tutuşma gecikmesi, kullanılan yakıtın yanma bölümüne püskürtülmesi ile yanmanın olayının başlangıcına kadar geçen zamandır. Silindir kısmında yakıt ile havanın karışma oranına ve homojenliğe göre tutuşma gecikmesinin süresi etkilenir. Bu süreyi etkileyen diğer faktörler; yakıtın sahip olduğu özellikler, silindir kısmındaki sıcaklık, basınç, yanma bölmesinin şekli olarak sayılabilir. Silindir içi bölümde yüksek basınç ile sıcaklık bulunduğundan buharlaşma hız kazanır ve tutuşma gecikme süresi azalır. Tutuşma gecikmesi süresi uzadığı takdirde silindir bölümü içerisine püskürtülen yakıt fazlalaşır, kontrolsüz bir yanmaya sebep olur. Silindir bölümü içerisine püskürtülen yakıtın fazlalaşması da dizel vuruntusuna sebebiyet verir. Püskürtme olayından sonra yakıt damlacıkları çevresinde bir buhar katmanı oluşur ve

yanma olayı da bu buhar katmanı kısmından başlar. Yakıt damlacıklarının buharlaşma hızı ile yanma olayı doğru orantılı olmaktadır [90].

3.2.2.2. Kontrolsüz Yanma

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt, silindir bölgesine girmekte ve buharlaşma olayı başlamaktadır. Basınç ile püskürtülen yakıt toz halinde damlacıklara ayrılarak, hava ile hızlı bir şekilde karışır. Yanma olayında, yakıt buharlaşarak hızlı bir şekilde oksijen ile reaksiyon gösterip yanar. Yanma olayının gerçekleşme hızı, silindirlerdeki basınç eğrisini de etkiler. Basınç etkisinin hızlı bir şekilde artışı motorda mekanik parçalara fazlaca kuvvet uygulanması anlamına gelir. Yanma olayının hızı ile artan basınç, gürültü ve motor vuruntularına sebebiyet verir. Basınç eğrisini etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir [90].

- Yakıtın püskürtülme işlemi gerçekleştikten sonra ne kadar toz halinde (pülverize) olduğu.
- Tutuşma gecikmesi süresince silindirlere basınç ile püskürtülen yakıt miktarı bu faktörlerden biridir. Yakıt miktarı arttıkça silindir kısmında meydana gelen basınç artacak fakat bununla beraber dizel vuruntusu da artacaktır.
- Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıtın buharlaşma oranı ile hava homojen karışma oranı kontrolsüz yanma olayına tesir etmektedir.

3.2.2.3. Difüzyon Kontrollü Yanma

Bu yanma, silindir kısmında gerçekleşen yanma olayından sonraki basıncın en faza olduğu zaman ile yanma olayının yüksek oranda gerçekleşip, tamamlandığı zaman arasında geçen sürede gerçekleşmektedir. Bu adım sonrasında silindir bölümündeki sıcaklık ile basınç yüksek seviyelere çıkar. Bu ortama yakıtın püskürtülmesiyle, oksijenle buluşan yakıt hemen tutuşur. Difüzyon kontrollü yanma esnasında meydana gelen basıncın miktarına etki eden etkenler aşağıdaki gibidir [90].

- Motorun silindir kısımlarında yeterli oksijen bulunması halinde, bu bölüme aktarılacak yakıtın püskürtülme basıncı çok etkili bir etkendir.
- Yanma olayının gerçekleşmesi için yakıt ile oksijenin yeterli olarak birleşmesi gerekmektedir. Bu sebeple, yakıt ve oksijenin temasını artırmak gerekir. Bu temasın

artışı yanmanın gerçekleştiği odanın biçimi, havanın türbülanslı hareketi ve motorun hızındaki değişiklikler ile sağlanır. Dolayısıyla bu değişiklikler basınç eğrisine de etki etmektedir.

- Yanma olayının başlaması, pistonun üst ölü noktadan uzaklaştığı bir zamanda olmamalıdır. Eğer olay bu şekilde gerçekleşirse basınç azaldığı anda yanma başlayacağı için yanmanın verimi düşer. Yanma veriminin kaliteli olması için yanma olayı pistonun üst ölü noktaya geldiği, basıncın fazla olduğu zamanda gerçekleşmelidir. Bu yüzden pistonun yanma başlangıcındaki konumu ve enjeksiyonun yapıldığı zamanlama önemlidir.

3.2.2.4. Art Yanma

Bu evrenin kısa sürmesi motorun verimini artırmaktadır. Art yanma, silindirlerde yanma olayından sonra sıcaklığın en üst seviyeye çıkmasından sonra başlar. Yanma olayında kullanılan yakıt oranı fazla olduğunda yanma eksik olur. Bu evrede eksik yakılan bu yakıt yakılır. Bu evrenin gerçekleşmesi genişleme zamanında meydana gelir. Bu evre, krank mili açısının üst ölü noktadan 70-80 ° açığı aşınca kadar sürer. Ana yanmada evresinde yanamayan bu yakıt genişleme safhasında oksijenle temas kurabildiği için yanar. Egzoz zamanından önce yanma olayının bitmesi verim için önemlidir. Art yanmanın süresinin uzaması sıcaklığı artıracığından motorun mekanik aksamalarına zarar verir bu yüzden kısa tutulması daha faydalıdır [90].

3.2.3 Dizel Motorlarda Egzoz Emisyonlarının Oluşumu

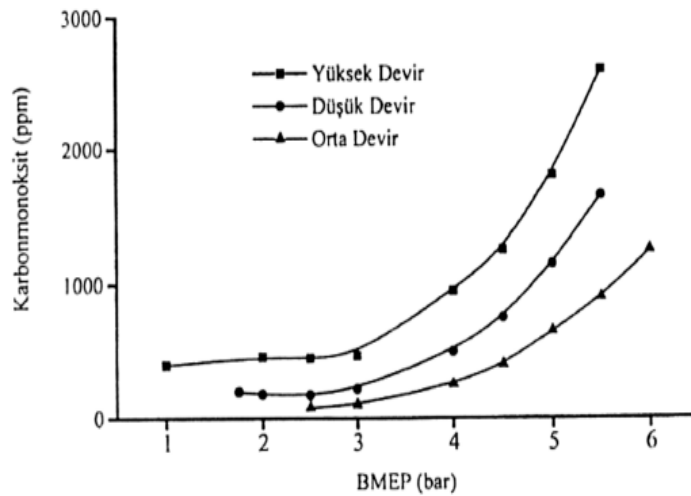
Dizel motorda kullanılan yakıtlar hidrokarbon kökenli olmaktadır. Dizel motorlarda kullanılan yakıtın yanmasıyla atmosfere karbon dioksit (CO₂), azot (N₂) ve su buharı (H₂O) verilmektedir. Su buharının (H₂O) doğaya kirletici ve zararlı bir tesiri yoktur fakat Karbon dioksit (CO₂) emisyonu insan sağlığını ve çevreyi doğrudan etkilemeyip atmosferde birikimlere sebep olur. Atmosferde CO₂ birikimi ise “Sera Etkisi” olarak adlandırılan atmosferin hızla ısınmasına sebebiyet verir. Yanma olayından sonra CO₂ ile H₂O ve bunlarla beraber CO ile HC açığa çıkar. Yanmanın gerçekleştiği odada yakıt ve hava uygun olarak karışmaz ise tam yanma gerçekleşmeyip zengin veya fakir bölgeler meydana gelebilir. Yanma olayında tüm şartlar ideal olarak sağlansa bile yanma olayının bir kimyasal sonucu olarak NO_x veya

CO gibi kirletici bileşenler meydana gelir. Bunun yanında yakıtta bulunan katkı maddeleri ve kükürt yanma olayı sonucunda kirletici maddeler olarak karşımıza çıkabilir [90].

Dizel motorlarda yakıt püskürtülmesi ile yakıt homojen dağılmadığında silindirlere basın ve sıcaklıklar da dalgalanmalar görülür. Bu olaylar, karışım bölgelerinde farklılıklara sebebiyet verir. Oluşan farklılıklar yanmanın tam ve düzgün bir şekilde olmasını engeller. Yanma olayının düzgün bir şekilde olmaması kirletici ve zararlı emisyonları meydana getirir. Dizel motorlarından atmosfere verilen egzoz emisyonlarını karbon monoksitler, hidrokarbonlar, azot oksitler, is, kükürlü bileşenler olarak sayabiliriz [90].

3.2.3.1. Karbon Monoksit (CO)

Dizel motorlarda yük durumuna bağlı olarak karışım oranı değiştirilir. Çoğunlukla fakir karışım değerlerinde motor çalıştırılmaktadır. Bu durumda ortamda yeterli miktarda O_2 bulunduğu için yanma olayında meydana gelen CO, CO_2 'e dönüşür. Yeterli O_2 bulunmadığında CO Egzoz emisyonunda açığa çıkar. Yeterli yanmanın olabilmesi için yakıtın 14,5 katı hava gerekli olmaktadır. Yanmanın yüksek sıcaklıklarında CO_2 ve H_2O elementlerine ayrışır bu olaya "Ayrışma" adı verilir. Ayrışma olayından sonra parçalanmış CO_2 , CO ve O olarak ayrışarak karbonmonoksit oluşur (CO). Şekil 3.8'de CO emisyonunun Fren Ortalama Etkili Basınç (BMEP)'a bağlı değişimi gösterilmektedir [91].

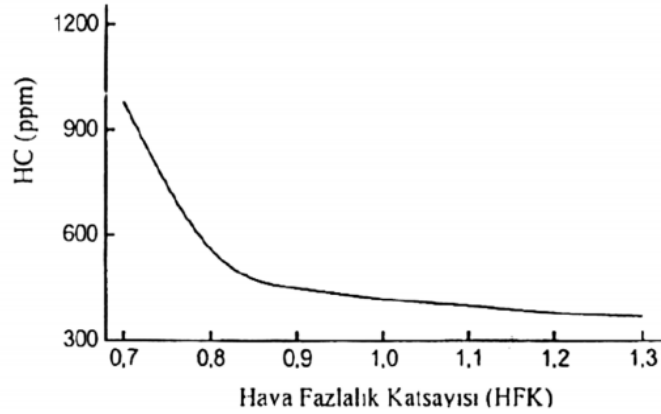


Şekil 3.8. CO salınımının BMEP'a göre değişimi [91].

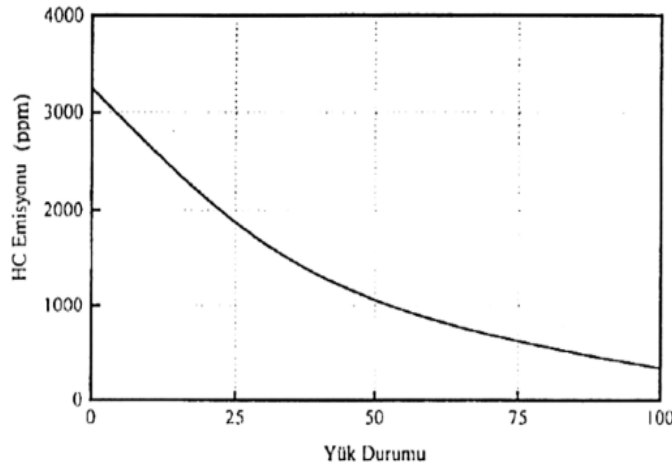
Silindir kısmındaki basınç arttıkça CO oluşumu da artmaktadır. Özellikle yakıt damlacıklarının içerisindeki çekirdek kısmında yüksek oranda CO oluşmaktadır. CO emisyonu, hava ile yakıt karışım seviyeleri artırıldığında azaltılabilir. Dizel motorlardaki CO salınımları benzinli motorlarla karşılaştırıldığında daha az oranlarda olmaktadır [91].

3.2.3.2. Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon salınımını hava ile yakıt karışım seviyesi etkilemektedir. Hava/yakıt oranı 1,1 seviyelerinde olursa, HC emisyonları en az düzeyde olmaktadır. Hava-yakıt karışım oranı 1.1'den uzaklaştığında hidrokarbon salınımı artmaktadır. Hava yakıt oranı artırıldığında hidrokarbon emisyonları yükselirken, yanma sıcaklığı düşer. Hava yakıt oranı az olduğunda, yanma olayı esnasında yeterli oksijen bulunmayacağından dolayı hidrokarbon salınımı artar. HC emisyonu yanma odası şekline, hava yakıt oranına, enjeksiyon planlamasına, motor yüküne göre değişir [90].



Şekil 3.9. HC salınımlarının hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişim grafiği [90].



Şekil 3.10. HC salınımlarının motor yüküne göre değişim grafiği [90].

3.2.3.3. Azot Oksitler (NO_x)

Yakıtın püskürtülme işlemi, üst ölü noktaya piston ulaşmadan önce gerçekleştirilir. Üst ölü noktaya varmadan önce gerçekleşen hızlı yanma sayesinde, yakıt püskürtülmeden hemen önce sıcaklık ve basınç ani bir şekilde yükselir. Püskürtülen yakıt ile silindire çekilen hava bu yüksek sıcaklıktan etkilenir. Yanma bölümünde sıcaklık 2000 °C'nin üzerine çıkabilir. Özellikle sıcaklık 1700 °C'yi geçtiğinde, havada bulunan azot, oksijen ile bileşik oluşturur. Bunlar genel olarak Azotoksit (NO_x) olarak bilinen, NO, NO₂, N₂O bileşikleridir [90].

3.2.3.4. İs ve Partikül

Sıvı yakıt damlaları içerisinde bulunan H₂ molekülleri, silindir içerisinde oksijenle reaksiyona girer. Böylece yakıt içerisinde bulunan C molekülü ortamda yeteri kadar oksijen bulamadığından yanmayıp is partikülleri oluşturarak bu is partikülleri atmosfere atılır. İs meydana gelmesinin sebepleri genelde yakıtın silindir içerisinde yeterli oksijenle temas edememesinden kaynaklanıp, yakıt cinsine göre değişir. İs ve partikül oluşturan bir diğer sebep yakıt sıvı damlacığında buharlaşmanın meydana gelmemesidir. Dizel motorlar yakıt özelliği gereğince, benzinli motorlara kıyasla daha fazla is ve partikül salınımı sağlarlar. Dizel motorlarda, katı karbon tanecikleri yanma olayının ara fazında oluşur. Bu tanecikler yanma olayının meydana gelmesi için yeterli zaman olmadığında is ve partikül oluşturur. Motorun Silindir kısmında is meydana gelişinin başlangıcı difüzyon kontrollü yanma olup, püskürtmenin olayı süresince zamanla artar. Püskürtme işlemi son bulduğunda is seviyesi en üst düzeye ulaşır. Yanma sıcaklığının düşmesiyle sıcaklık 1400 °C'nin altına düşmeye başladığında is oluşumu son bularak atmosfere atılır. Değişik işletme koşullarında motorin kullanan motorlarda dört farklı partikül emisyonu görülmektedir. Bunlar [90];

- **Beyaz İs:** Kirletici özelliği bulunmayan çoğu zaman havaların soğumasıyla görülen su buharıdır.
- **Mavi İs:** Yakıtın tam yanmayarak meydana getirdiği ya da özellikle motorların zamanla aşınmasıyla yağ moleküllerinin meydana getirdiği istir.
- **Siyah İs:** Hava ile yakıt seviyelerinin düşük olduğu zamanlarda ya da tam yükleme esnasında görülmektedir. Siyah isi karbon taneleri meydana getirmektedir.

- **Diğer Parçacıklar:** Yakıt bünyesindeki katkı maddelerinden gelen tanelerde, yağlama amaçlı kullanılan yağlarda, sülfatlarda görülen istir.

3.2.3.5. Kükürtdioksit (SO₂)

Yanma esnasında oksijen ile kükürt hızlı bir biçimde tepkime göstererek SO₂ emisyonunu meydana getirir. Yakıtı meydana getiren kükürt harici bileşenler oksijen ile reaksiyon göstererek yanma olayını oluşturur. Yanma olayından sonra yüksek miktarlarda su buharı açığa çıkmaktadır. Meydana gelen kükürtdioksit ile su buharı birleşip sülfürik asidi (H₂SO₄) meydana getirir. Atmosfere salınan kükürtdioksidin atmosferdeki su buharı ile birleşmesiyle de sülfürik asit meydana gelebilir. Bu şekilde sülfürik asidin oluşumu asit yağmurlarına neden olmaktadır. Asit yağmurları çevreye ciddi zararlar vermektedir [90].

3.2.4. Dizel Motorda Emisyonu Etkileyen Parametreler

Günümüzde teknolojinin de ilerlemesiyle birlikte içten yanmalı motorlardan daha düşük hacimlerde daha fazla güç elde edilmeye başlanıp, düşük yakıt tüketimiyle daha fazla performanslar elde edilmiştir. Beklentilerin artmasıyla beraber dizel motorlarda emisyonlarında düşürülmesi ön plana çıkmıştır. Günümüzde dizel motorları geliştirmede çalışılan en önemli konuların başında, ideal yanma koşullarını iyileştirip, egzoz emisyon salınımlarının azaltılması gelmektedir. Bu nedenle motorun tasarım yapısı, yakıtın silindir içine püskürtülme açısı, püskürtülme zamanlaması, püskürtülme basıncı, yanmanın gerçekleştiği bölümün geometrik dizaynı gibi konular üzerinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir [90].

3.2.4.1. Sıkıştırma Oranı

Sıkıştırma seviyesinin yükselmesiyle beraber sıcaklık ile basınçta artış görülür. Sıkıştırma seviyesi yüksek oldukça basınçta daha kısa sürede daha yüksek oranlara erişmektedir. İS salınımı da sıkıştırma miktarının artışıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. İS salınımı artışının nedeni, sıkıştırmanın artışıyla birlikte yakıt-hava karışımı homojenliği azalmakta ve silindir bölgesindeki havanın hareket kabiliyeti zayıflamaktadır. Püskürtme işlemi değiştirmeden devam ettirip, sıkıştırma miktarını azaltırsak tutuşma gecikmesi süresi artış gösterecek, silindirlerdeki sıcaklık artacak ve

buna bağı olarak NO meydana gelmesi fazlalaşacaktır. Sıkıştırma miktarı artırılırsa bunun tam tersi olup, NO meydana gelmesi azalacaktır [90].

3.2.4.2. Aşırı Doldurma

İçten yanmalı motorlarda meydana gelen güç üretimi, silindire aktarılıp tutuşan yakıt miktarı ile yakıtın yanmasında rol oynayan oksijen miktarı ile orantılı olmaktadır. Silindir hacmine göre motorlarda silindir bölgesine emilen hava miktarı değişir. Silindir içerisine çekilen havanın artırılması için normal emişli motorlara egzoz turbo kompresörü yöntemi, mekanik aşırı doldurma yöntemi, basınç dalga etkili aşırı doldurma yöntemi gibi yöntemler uygulanır. Bu yöntemler sayesinde normal emişli motora daha fazla hava çekilmekte olup, daha fazla yakıt püskürtüldüğünde, silindirlerde üretilen efektif basınç ve güç miktarı artacaktır. Aşırı doldurma yöntemlerinde sıcaklık seviyeleri artmakta olup, bu yöntemlerde HC salınımları azalır, NO_x salınımları artmaktadır. Yanma bölümünde meydana gelen sıcaklık artışıyla egzozdan çıkan gazların sıcaklıkları da artacağından bu yöntemlerde oksidasyon tepkimeleri artış göstermektedir [90].

3.2.4.3. Motor Devri

Motor devri az olduğu zaman tutuşma gecikmesi esnasında yakıt birikimi daha az olduğundan oluşacak basıncın miktarı ve basıncın yükselme hızı düşük olur. Tutuşma gecikmesi süresi hem yüksek hem de düşük devirlerde aynı olmaktadır fakat devir fazla olduğu zaman daha iyi bir türbülans sağlanmakta ve yakıt-hava karışımı daha verimli olmaktadır. Bu yüzden yanma daha iyi gerçekleşmektedir [90].

3.2.4.4. Yanma Odasının Şekli

Motorlar yüksek devirlerde çalıştığında emilen havaya girdap hareketi verip, yanma odası gibi dar bir alanda hareketlendirmek önemlidir. Motorlarda piston üst ölü noktaya yaklaştığı zaman püskürtülme işleminden önce hava girdabının sağlanması, püskürtülen yakıt damlacıklarının dağılmasına ve parçalanmasına olanak sağlayıp yanmayı iyileştirerek, is oluşumunu azaltır. Piston üst ölü noktaya yaklaştıkça, piston yüzeyi ile silindir kafası arasındaki boşluk azaldıkça emilen havanın hareketi artacak ve daha iyi bir yanma sağlanacaktır. Bu sebeple motor silindir başlığı ile silindir yüzeyi

arasında kalacak boşluk yani yanma odası mümkün olduğunca az olacak biçimde tasarlanır [90].

3.2.4.5. Emme Havası Hareketi

Enjektörlü motorlarda, daha iyi bir yanma için emme kanalına kavis verilir. Bu sayede hava bir girdap şeklinde dönme hareketi yaparak yanma odasına girer. Yanma odasına dönerek giren hava yakıt demetlerini daha iyi parçalayıp, daha iyi bir yakıt-hava karışımı sağlanır ve yanma olayı verimi artar fakat hava hareketinin bu şekilde dönmesi yüksek devirlerde güçte bir azalışa neden olur. Bunu engellemek için enjektörlerden püskürtülen yakıtın daha ufak parçalar halinde tıpkı bir toz gibi pülverize olarak püskürtülmesi sağlanır. Püskürtmenin pülverize olarak sağlanması, hem hava hızını düşürmede yardımcı olur hem de yakıtın buharlaşmasını artırarak yanmanın verimini yükseltir. Bu sayede motor devri yüksek seviyelerde olduğunda hem güç hem de motorun verimi artış gösterir [90].

3.2.4.6. Karışımdaki Oksijen Yüzdesi

Yanma olayında saf oksijen kullanımı havaya göre birim hacme düşen enerjiyi 5 kat fazlalaştırır. Yanma da oksijenin saflığı arttıkça tutuşma gecikmesi azalarak, enerjinin açığa çıkması hızlanır. Saf oksijen oranı arttıkça yanma sıcaklığı ile NO_x salınımının da artış görülür [90].

3.2.4.7. Emme Havası Giriş Sıcaklık ve Basıncı

Silindir içerisine giren hava basıncı artmasıyla birlikte, püskürtülen yakıt miktarı arttırılırsa tutuşma gecikmesi de azalarak motor gücü artar. Tutuşma gecikmesi ile beraber basınç yükselme hızı, motoru soğutmada kullanılan suyun sıcaklığı ile motora giren havanın giriş sıcaklığı arttığı zaman azalır fakat hava miktarı da azalır ve en üst seviyeye çıkabilecek güçte düşme görülür [90].

3.2.4.8. Yakıt Demeti Açısı

Yanma odasına aktarılan yüksek basınca sahip hava ile enjektörden püskürtülen yakıtın eşit bir biçimde dağılıp hava ile teması önem arz etmektedir. Yanmanın verimli olabilmesi için meydana gelecek alev çekirdeğinin, hava ve yakıttan oluşan karışımı kapsaması ve homojen yanmanın olması gerekmektedir. Homojen

yanma sonrasında oluşacak basınç etkisinin sağladığı titreşimin en az olması istenir. Enjektörden püskürtülen yakıt demetinin sahip olduğu açı, yakıtın yatay ve dikeyde yayılımını etkileyerek yanma performansını etkiler. Yakıt demetinin açısını, ortamda bulunan gazın yoğunluğu ile yakıt demetine uygulanan karşı basınç etkilemektedir. Bu etmenler en iyi seviyeye getirilerek zararlı salınım miktarları da düşürülebilir [90].

3.2.4.9. Yakıt Püskürtme Avansı

Silindir içerisine yapılan yakıt püskürtmesi geç olduğunda tutuşma olayı da geç gerçekleşir. Bu yüzden basıncın yükseliş hızı fazla olsa dahi ortalama etkin basınç az olmaktadır. Ateşleme geciktikçe basınç yükselme hızı da düşüp, basınç ortalaması da düşecektir. Bu yüzden is emisyonlarında artış, motor ve yanma veriminde azalış görülecektir [90].

3.2.4.10. Yakıt Püskürtme Basıncı

Yakıtın enjektörden püskürtülme basıncıyla, yakıtın silindir içerisinde pülverizasyonu bağlantılıdır. Dolayısıyla yakıt karışımı etkilenmekle beraber yanmanın verimi de doğrudan etkilenmektedir. Basınç artırılınca yakıt damlacıkları daha da parçalanıp toz haline gelerek hava-yakıt karışımı homojenliğinin uygunluğu artırılır. Yakıt damlacıklarının çaplarının ufalmasıyla yanmanın sıcaklığı artar. Sıcaklığın artması NO_x salınımını artırır, is salınımı azalır. Basınç artışının bir diğer etkisi de CO ve HC emisyonlarını düşürmesidir [90].

3.2.4.11. Yakıt Özellikleri

Dizel yakıtlarda en öne çıkan özellik setan sayısıdır. Çünkü setan sayısı yakıtın sıkıştırılıp ısınan havada kendi başına tutuşma özelliğini belirleyerek, bu sayının fazla olmasıyla tutuşma gecikmesi azalır, ani tutuşmada meydana gelen hızlı basınç artışını önlenir. Setan sayısı yüksek ise yakıt daha erken alevlenir. Silindir içerisinde sıkıştırma devam ettiğinden dolayı sıcaklık gittikçe artacak bu nedenle yakıtın tutuşmaya başlaması daha erken olacaktır. Bu esnada sıkıştırma sürdüğü için silindir içerisindeki sıcaklık da artacak ve NO_x meydana gelmesi fazlalaşacaktır. Yanma başlangıcından önce daha az yakıt enjektörlerden püskürtülür ise silindir üst ölü nokta civarında iken yakıtın yanma miktarı düşecek, dolayısıyla yanma olayı sıcaklığı da düşecektir. Yakıtın sahip olduğu yoğunluk partiküllerin ve NO_x salınımlarının

meydana gelmesini etkileyen faktördür. Yoğunluk miktarı arttıkça yakıtın püskürtülme miktarı fazlalaşır [90].



4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda biyodizel yakıtı üretiminde, ticari olarak temin edilen soğuk sıkım üzüm ve vişne çekirdeği yağları kullanılmıştır. Biyodizel yakıtı üretimi Manisa Celal Bayar Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan biyodizel üretim ve karakterizasyon cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen üzüm ve vişne çekirdekleri yağları metil esterlerinin motor deneyleri yine Manisa Celal Bayar Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan motor performans ve egzoz emisyon karakterizasyon cihazları ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma, 3 aşamada gerçekleştirilmiştir.

- 1) Transesterifikasyon ile biyodizel üretimi.
- 2) Üretilen biyodizellerin karakterizasyonlarının tespit edilmesi.
- 3) Üretilen biyodizellerin motor performans ve egzoz emisyonlarının tespit edilmesi.

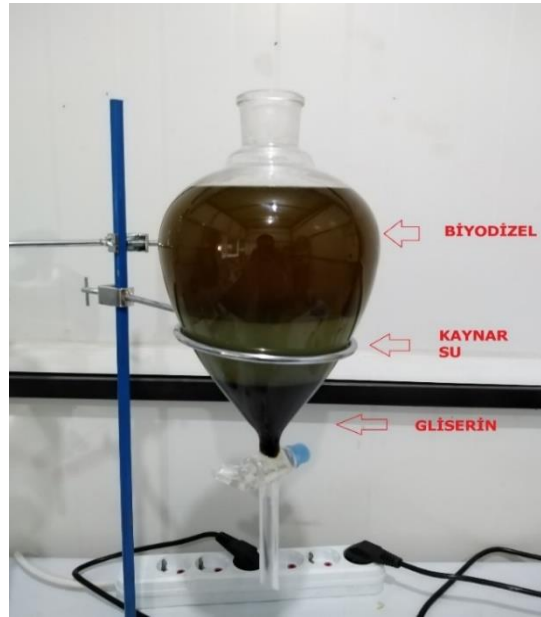
4.1. Transesterifikasyon Yöntemi ile Biyodizel Üretimi

Transesterifikasyon işleminin amacı triglisderidlerin viskozitesini düşürmektir. Transesterifikasyon işleminde kullanılan yağ, monohidrik yapıdaki bir alkol (Etanol, Metanol) ve bir katalizör (KOH, NaOH vb.) yardımıyla esterleşerek gliserin ve yağ asitleri oluşturur. Yapılan deneysel çalışmalarda 180 ml metanol bir mezür yardımıyla ölçülüp behere konulur. Beher içerisindeki metanole, 1000 gr için 4 gr KOH (Potasyum Hidroksit) ilave edilerek, bu beher manyetik karıştırıcı yardımıyla KOH eriyinceye ve sarı renk berraklaşınca kadar karıştırılır. Bu süre yaklaşık 10 dakika civarındadır. Metanol ile KOH birleştirilmesinin amacı “potasyum metoksit” adı verilen bir saldırgan yapı oluşturmaktır [77]. Biyodizel üretiminde kullanılacak olan vişne ve üzüm çekirdeği yağları yine bir mezür yardımıyla 820 ml ölçülür. Çekirdek yağları yavaş bir şekilde içerisinde potasyum metoksit bulunan behere dökülerek manyetik karıştırıcının sıcaklığı 55 °C olacak şekilde sabitlenip, karıştırılmıştır. Bu işlem homojen bir karışım oluşması için yaklaşık 30-40 dakika sürdürülür. Şekil 4.1’de manyetik ısıtıcıda bulunan potasyum metoksit ve yağ karışımı görülmektedir. Bu işlem adımından sonra karışım ayırma hunisine konularak soğuması beklenir, karışım soğudukça gliserin çökmesi olur. Gliserin ayırma hunisi yardımıyla ayrıştırılır. Sonrasında saf su ile yıkama işlemi yapılır. Bu işlem 2-3 kez tekrarlanır. En son adım olarak elde edilen biyodizel yakıtını nemden arındırmak için,

yaklaşık 110 °C sıcaklığa getirilip yeterli süre bu sıcaklıkta beklenir. Daha sonra kalan nem $MgSO_4$ ilavesiyle giderilmiştir. Şekil 4.3’de son adımda ayırma hunisine alınmış biyodizel görülmektedir. Bu şekilde, vişne çekirdeği ve üzüm çekirdeği yağlarından elde edilen biyodizel, motor ve egzoz emisyon testlerinde kullanılmak üzere belli oranlarda motorin yakıtıyla karıştırılarak farklı formda yakıtlar hazırlanmıştır.



Şekil 4.1. Manyetik ısıtıcıda gerçekleştirilen transesterifikasyon işlemi.



Şekil 4.2. Ayırma hunisinde beliren fazlar.



Şekil 4.3. Yıkama işlemi sonrasında elde edilen biyodizel.

4.2. Kullanılan Yakıtlar

Bu çalışmada, üzüm çekirdeği yağı metil esteri ve vişne çekirdeği yağı metil esteri belirli oranlarda ticari motorin ile ayrıca karıştırılarak farklı yakıt formları elde edilmiştir. Elde edilen farklı yakıt formlarına ait motor performans ve egzoz emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Buna göre deneysel çalışmada kullanılan farklı yakıt formları ve bunlara verilen indisler Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1. Yakıt formlarının indisleri ve hacimce karışım yüzdeleri.

İndis	Hacimce Karışım Yüzdesi
UZM _{B05}	%5 Üzüm Çekirdeği Yağı Metil Esteri + %95 Motorin
UZM _{B10}	%10 Üzüm Çekirdeği Yağı Metil Esteri + %90 Motorin
UZM _{B15}	%15 Üzüm Çekirdeği Yağı Metil Esteri + %85 Motorin
UZM _{B20}	%20 Üzüm Çekirdeği Yağı Metil Esteri + %80 Motorin
VSN _{B05}	%5 Vişne Çekirdeği Yağı Metil Esteri + %95 Motorin
VSN _{B10}	%10 Vişne Çekirdeği Yağı Metil Esteri + %90 Motorin
VSN _{B15}	%15 Vişne Çekirdeği Yağı Metil Esteri + %85 Motorin
VSN _{B20}	%20 Vişne Çekirdeği Yağı Metil Esteri + %80 Motorin

4.3. Kullanılan Motor

Bu çalışmada Thorq marka, TH600 model, tek silindirli, hava soğutmalı bir dizel motor kullanılmıştır. Deney motoruna ait teknik özellikler Tablo 4.2’de verilmektedir.

Tablo 4.2. Deneyde kullanılan dizel motorunun teknik özellikleri.

Marka	Thorq
Model	TH600
Silindir Hacmi	603 cc
Silindir Sayısı	1
Piston Çapı x Strok	95 mm x 85 mm
Sıkıştırma Oranı	17:1
Maksimum Tork	35 Nm @ 2000 d/dk
Maksimum Güç	11 Kw (15 Hp) @ 3000 d/dk

4.4. Biyodizel Karakterizasyonu

4.4.1. Yoğunluk Tayini

Deneyel çalışmalarda elde edilen biyodizellerin yoğunlukları hidrometre yardımıyla tespit edilmiştir. Hazırlanan herbir farklı yakıt formuna ait yoğunlukların tespiti amacıyla biyodizel 1000 ml’lik mezür içerisine tam kapasite doldurularak hidrometre daldırmak suretiyle, üzerinde yazılı skalanın okunması ile belirlenmiştir.

4.4.2. Viskozite Tayini

Farklı formlarda hazırlanan yakıtların Oswald viskozimetresi kullanılmıştır. Viskozite ölçümleri 40 °C sabit sıcaklık ortamında gerçekleştirilmiştir. Viskozite ölçümleri, kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve sabitleri belirlenmiş kılcal cam bir tüp yardımıyla yapılmıştır. Belirli bir hacme sahip yakıtın yerçekimi etkisiyle aktığı sırada zaman tespiti ile belirlenmesi suretiyle tayin gerçekleştirilmiştir.

4.4.3. Parlama Noktası Tayini

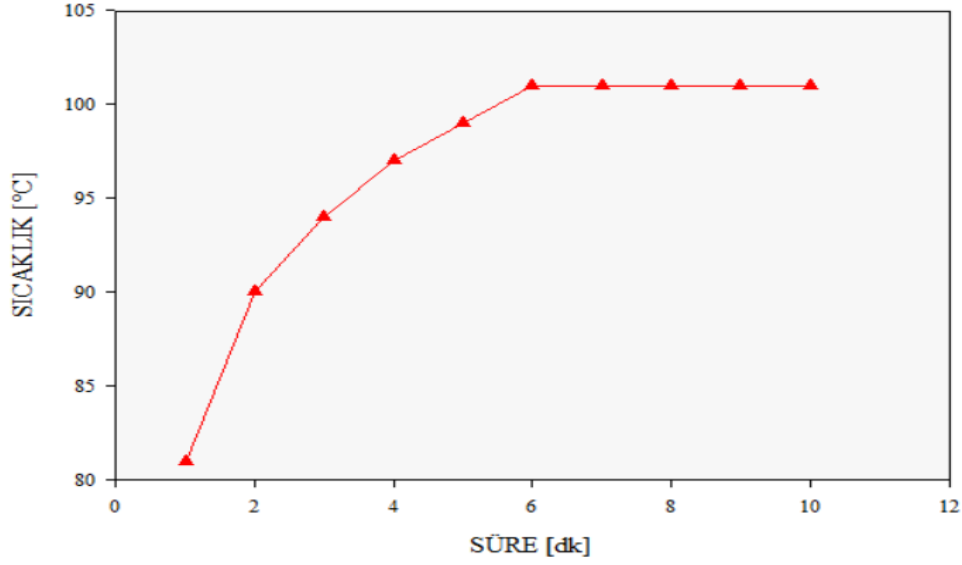
Elde edilen biyodizeller ve motorin yakıtının karışımı ile oluşturulmuş farklı formdaki yakıtların parlama noktalarının tayini için 50 mm çapında 25 mm yüksekliğinde içi boş bir silindirik potanın içerisine uygun miktarda yakıt konularak ölçüm cihazına ait ısıtma alanına pota yerleştirilmiştir. Pota içerisine konulan yakıtlara temas eden bir termometre ile anlık takip edilirken eş zamanlı olarak pota yüzeyinde sıklıkla alev gezdirilirken, sıcaklıkla yakıtın aniden parladığı sıcaklık seviyesi termometreden okunarak parlama noktası tayin edilmiştir.

4.4.4. Isıl Değer Tayini

Deneysel çalışmada kullanılan farklı yakıt formlarına ait ısıl değerler bomba kalorimetresi yardımıyla belirlenmiştir. Yüksek basınca dayanıklı kabın içine aktarılan oksijen ortamında yakıt haznesinde yanma olayı gerçekleştirilmiştir. Açığa çıkan ısı, kabın içerisinde bulunan suya aktarılmaktadır. Bu sayede oluşan sıcaklık farkının tespiti ile yakıt formlarına ait ısıl değerler hesaplanmıştır.

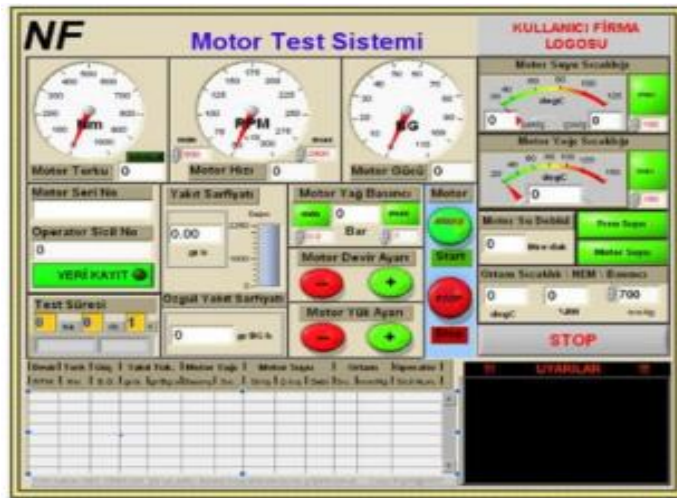
4.5. Motor Performans Analizi

Motor performans parametrelerinin tespitinde Manisa Celal Bayar Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan elektrik dinamometresi ve kontrol ünitesi kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan motorun bağlandığı kaplin ile dönen dinamometreye bağlı tork sensörleri yardımıyla kontrol ünitesine aktarılan veriler tork, güç, özgül yakıt sarfiyatı, egzoz gazı çıkış sıcaklığı gibi motor performans parametrelerinin tespitini mümkün kılmaktadır. Motor dinamometreye bağlanarak yük sensörlü harici yakıt deposu, ölçümü yapılacak olan yakıt formuyla doldurulmuştur. Ana kontrol ünitesinden verilen komut ile çalıştırılan dinamometrenin verileri eş zamanlı olarak bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. İlk olarak motorun rejim sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Bu amaçla motor rölanti devrinde yaklaşık 10 dk. süresince yüksüz çalıştırılarak rejim sıcaklığına ulaşmıştır. Şekil 4.4'de motor rejim sıcaklığının zamana bağlı grafiği verilmektedir.



Şekil 4.4. Motor rejim sıcaklığının zamana bağlı grafiği.

Motor rejim sıcaklığına ulaştığında öncelikle veri kayıt sistemi çalıştırılmış, sonrasında ölçüm yapılması istenilen devir sayısına ulaşılarak tam yükleme yapılması suretiyle egzoz gazı çıkış sıcaklığı sabitlenene dek veriler bilgisayar ortamında simultane olarak kayıt altına alınmıştır. Motor performans ölçümleri 500 devir/dk aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Buna göre; 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 devir/dk hızlarda ölçümler yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan Netfren marka, 80 Nm tork ölçüm kapasiteli motor test dinamometresi ile elde edilen veriler analiz edilerek farklı yakıt formlarına ait tork, güç, özgül yakıt sarfiyatı, egzoz gazı çıkış sıcaklığı gibi motor performans parametreleri belirlenmiş, hazırlanan grafikler yardımıyla aralarındaki farklılıklar kıyaslanmıştır.



Şekil 4.5. Dinamometre motor test paneli.

4.6. Egzoz Emisyonu Analizi

Yapılan deneylerde farklı yakıt formlarının yanması sonucunda ortaya çıkan egzoz emisyonlarının belirlenmesi amacıyla Manisa Celal Bayar Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan Bilsa marka, 2210 model gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Yanma sonucunda oluşan sera gazlarından CO, CO₂, HC, O₂, ve NO_x miktarlarının ölçümü için ele alınacak olan yakıt formu motora yakıt besleyen depoya eklenmiştir. Motor çalıştırıldıktan sonra yaklaşık 10 dk. süresince rölanti devrinde rejim sıcaklığı ulaşıncaya kadar yüksüz çalıştırılmıştır. Motor rejim sıcaklığına ulaştıktan sonra her 500 dev/dk hızda ölçümler tekrarlanmıştır. Buna göre; çalışma boyunca her bir farklı yakıt formu için 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 dev/dk hızlarda egzoz emisyon ölçümleri bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır. Elde edilen CO, CO₂, HC, O₂, ve NO_x verileri grafikler yardımıyla her bir farklı yakıt formu için kıyaslanarak aralarındaki farklılıklar analiz edilerek değerlendirilmiştir. Tablo 4.3’de deneysel çalışmada kullanılan Bilsa marka 2210 model egzoz emisyon cihazına ait teknik özellikler verilmektedir.

Tablo 4.3. Egzoz emisyon cihazına ait teknik özellikler.

Emisyon Türü	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	%0-10	%0,001
CO ₂	%0-20	%0,001
HC	0-10000	1 PPM
O ₂	%0-25	%0,01
CO Corr	%0-10	%0,001
NO _x (OPS.)	0-5000	1 PPM
Lambda	0,5-2.00	0.001
AFR	5-30	-
Motor Yağ Isısı	0-150 °C	1 °C
Devir (RPM) (OPS.)	0-9990 d/dk	10 d/dk
Opasite (Pusululuk Derecesi)	%0-100	%0,1

Deneysel çalışma kapsamında ilaveten duman koyuluğu ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bilsa marka duman koyuluğu ölçüm cihazı ile yapılan ölçümlerde motor öncelikle rejim sıcaklığına getirilmiştir. Sonrasında tam yük altında duman

koyuluğu ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler kaydedilerek grafikler yardımıyla farklı yakıt formlarına ait duman koyulukları kıyaslanmıştır.



5. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, belirli oranlarda vişne ve üzüm çekirdeği yağlarının ticari motorin ile karıştırılmasıyla elde edilen farklı yakıt formları ile ticari motorine ait motor performans ve egzoz emisyon karakteristikleri tespit edilmiş, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.1. Vişne ve Üzüm Çekirdeği Yağı Metil Esterleri ile Hazırlanan Yakıt Karışımlarına Ait Bazı Tespit Edilen Fiziksel Özellikler

Üzüm ve vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımlarının ve motorin yakıtının tespit edilen yoğunlukları, viskoziteleri, parlama noktası sıcaklıkları ile ısı değerleri Tablo 5.1’de gösterilmektedir. Buna göre; yakıt karışımlarında biyodizel oranı arttıkça yoğunluğun da arttığı görülmektedir. Üzüm ve vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımları yoğunluklarının motorin yakıtına ait yoğunluktan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımlarının viskozitelerinin motorin yakıtına göre genel olarak %30 - %45 oranlarında daha yüksek olduğu görülürken, üzüm çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımlarının viskozitelerinin ise motorin yakıtına göre genel olarak %10 - %15 oranlarında daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, motorin yakıtıyla kıyaslandığında en yüksek viskoziteye sahip yakıt formunun VSN_{B20} olduğu görülmektedir.

Üzüm ve vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımlarına ait parlama noktası sıcaklıklarının yaklaşık olarak 20°C - 35°C sıcaklık aralığındaki değerlerde parlama noktası en yüksek olan yakıt formu VSN_{B20} ’dir. Elde edilen deney verilerine göre depolanmaya en uygun, uçuculuğun en düşük olduğu ve tutuşma gecikmesi süresinin en fazla uzadığı yakıtın VSN_{B20} yakıt karışımı olduğu düşünülmektedir [91].

Vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımlarının ısı değerleri motorin yakıtına göre yaklaşık olarak %35 - %40 oranlarında daha düşük olduğu tespit edilirken, üzüm çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımlarının ısı değerlerinin ise motorin yakıtına göre yaklaşık olarak %30 - %35 oranlarında daha düşük olduğu görülmüştür. Yakıt karışımlarındaki biyodizel oranı

arttıkça, ısı verim değerlerinin azaldığı görülmektedir. Isıl verimin düşmesi, motor karakteristiklerini olumsuz yönde etkileyen bir faktördür [92]. Ayrıca, yakıt karışımlarından motorin yakıtına en yakın ısı verim değerinin UZM_{B05} yakıtına ait olduğu tespit edilmiştir.

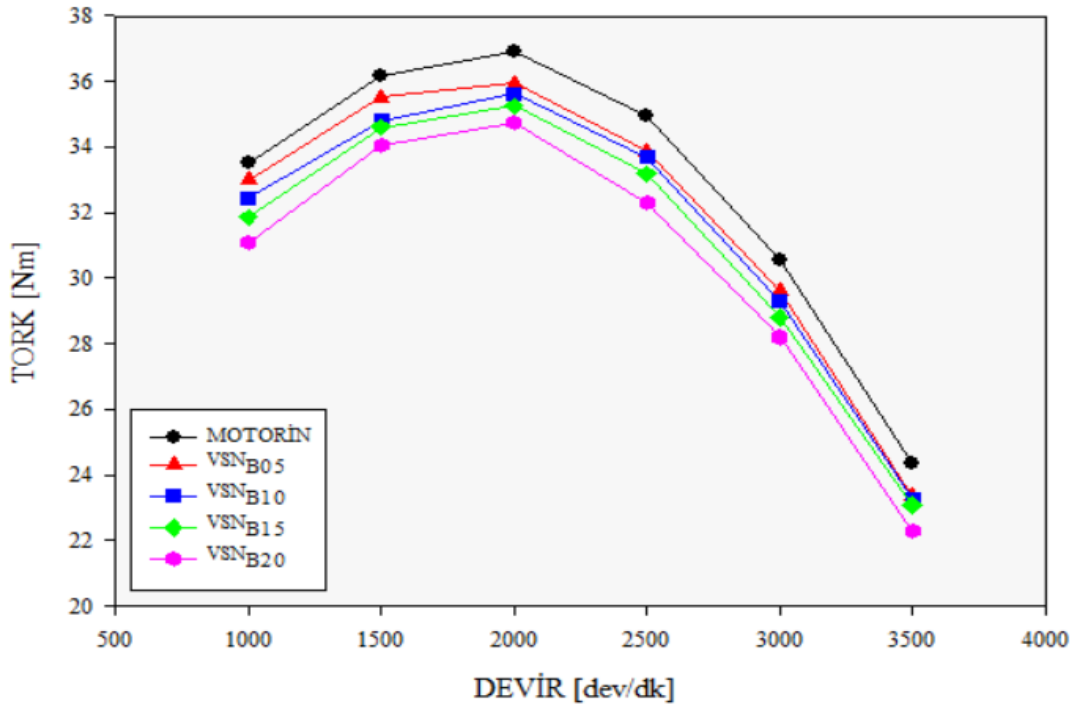
Tablo 5.1. Üzüm ve vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımlarının tespit edilen fiziksel özellikleri.

	Yoğunluk [gr/cm ³]	Viskozite [mm ² /s]	Parlama Noktası Sıcaklıkları [°C]	Isıl Değer [Mj/Kg]
Motorin	0,830	2,75	65	42,71
VSN_{B05}	0,841	3,62	90	26,64
VSN_{B10}	0,842	3,63	92	25,89
VSN_{B15}	0,844	3,72	96	25,13
VSN_{B20}	0,848	4,04	98	24,57
UZM_{B05}	0,834	3,03	84	29,67
UZM_{B10}	0,836	3,15	86	28,91
UZM_{B15}	0,838	3,16	88	27,78
UZM_{B20}	0,840	3,18	90	27,21

5.2. Motor Performans Karakterizasyonu

5.2.1. Vişne Çekirdeği Yağı Metil Esteri ile Hazırlanan Yakıt Karışımları ve Motorin Yakıtına Ait Motor Performans Verileri

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıtları ile motorin yakıtına ait motor devrine bağlı tork grafiği Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Rolanti devrinden 2000 dev/dk'ya kadar yanma hızının artması nedeniyle motor torkunun giderek arttığı, 2000 dev/dk'da maksimum değerlere ulaştığı görülmektedir. 2000 dev/dk hızdan 3500 dev/dk hıza doğru giderken volumetrik verimin azalması nedeniyle motor torklarının azaldığı düşünülmektedir [93].



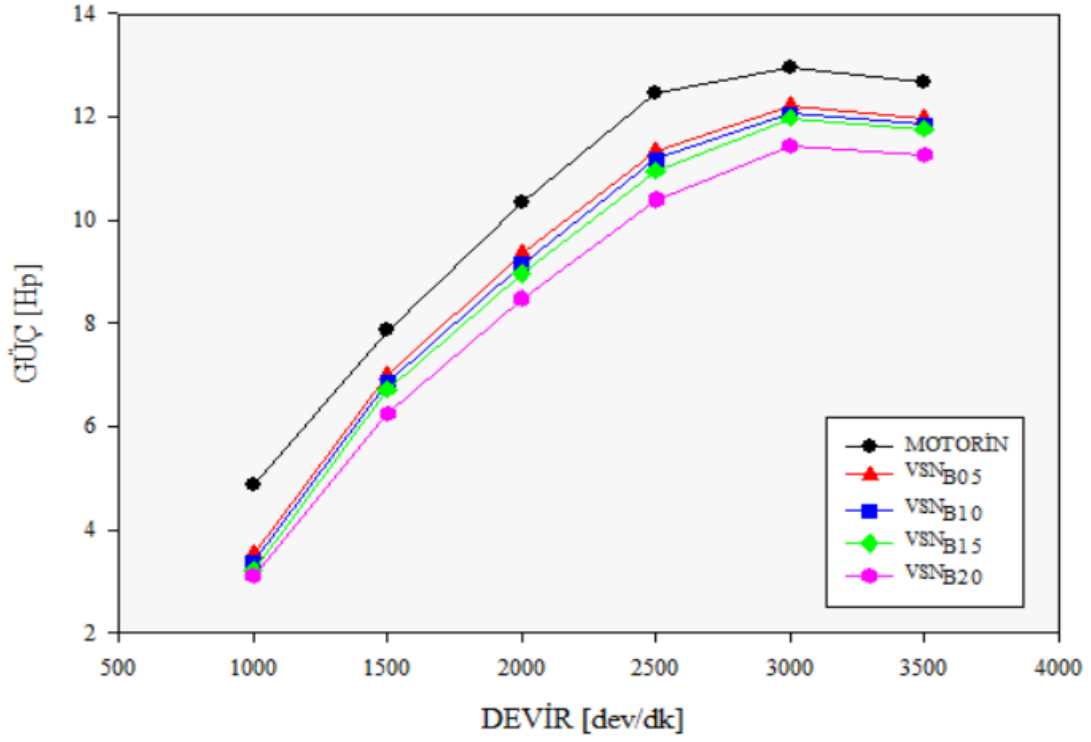
Şekil 5.1. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı tork grafiği.

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıtları ile motorin yakıtına ait rölanti (1000 dev/dk), maksimum tork (2000 dev/dk), maksimum güç (3000 dev/dk) devirlerine ait tork verileri Tablo 5.2’de verilmektedir. Buna göre; 2000 dev/dk’da VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıt karışımlarına ait torkların yaklaşık olarak sırasıyla %2.6, %3.5, % 4.5 ve %5.8 oranlarında motorin yakıtına göre azaldığı tespit edilmiştir. Biyoyakıtların ısı değerlerinin, motorin yakıtına ait ısı değerinden düşük olması sebebiyle biyodizel karışım yakıtlarına ait tork değerlerinin motorin yakıtınıninkine göre daha düşük olduğu düşünülmektedir [93]. Ayrıca, vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımlarında biyodizel oranı arttıkça, tork değerlerinin azaldığı ve VSN_{B20} biyoyakıt karışımı ile en düşük tork değerlerinin elde edildiği görülmektedir.

Tablo 5.2. Vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait tork verileri.

	YAKIT TÜRLERİ				
DEVİR SAYISI	Motorin (Nm)	VSN_{B05} (Nm)	VSN_{B10} (Nm)	VSN_{B15} (Nm)	VSN_{B20} (Nm)
1000 dev/dk	33,52	33,00	32,45	31,85	31,07
2000 dev/dk	36,91	35,93	35,61	35,24	34,74
3000 dev/dk	30,54	29,60	29,30	28,80	28,19

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıtları ile motorin yakıtına ait devre bağlı güç grafiği Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıtlar için 3000 dev/dk hızında maksimum motor gücüne ulaşıldığı görülmektedir. 1000-1500 dev/dk gibi düşük devirlerde hava hareketlerinin az olması nedeniyle güç değerlerinin düşük olduğu, 2500-3000 dev/dk gibi yüksek devirlerde ise hava hareketlerinin artmasıyla birlikte iyi bir yanmanın gerçekleştiği ve güç değerlerinin bu nedenle arttığı düşünülmektedir [94]. VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıtları ile motorin yakıtına ait rölanti (1000 dev/dk), maksimum tork (2000 dev/dk), maksimum güç (3000 dev/dk) devirlerine ait güç verileri Tablo 5.3’de verilmektedir. Buna göre; maksimum gücün sağlandığı 3000 dev/dk hızında VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıtlarına ait güç değerlerinin yaklaşık olarak sırasıyla %5.7, %6.9, %7.5 ve %11.7 oranlarında motorin yakıtına göre azaldığı belirlenmiştir. Biyodizellerin yoğunlukları ve viskoziteleri motorin yakıtına göre daha yüksektir. Bu durum, enjektörlerden istenilen şekilde atomize olarak yakıtın püskürtülememesine ve yanmanın verimsizleşmesine yol açmaktadır. Ayrıca biyodizellerin ısı değerleri de motorine göre daha düşüktür. Bu nedenlerden dolayı biyodizeller ile hazırlanan farklı formdaki yakıtlara ait motor güçlerinin motorininkine göre daha düşük olduğu düşünülmektedir [94].



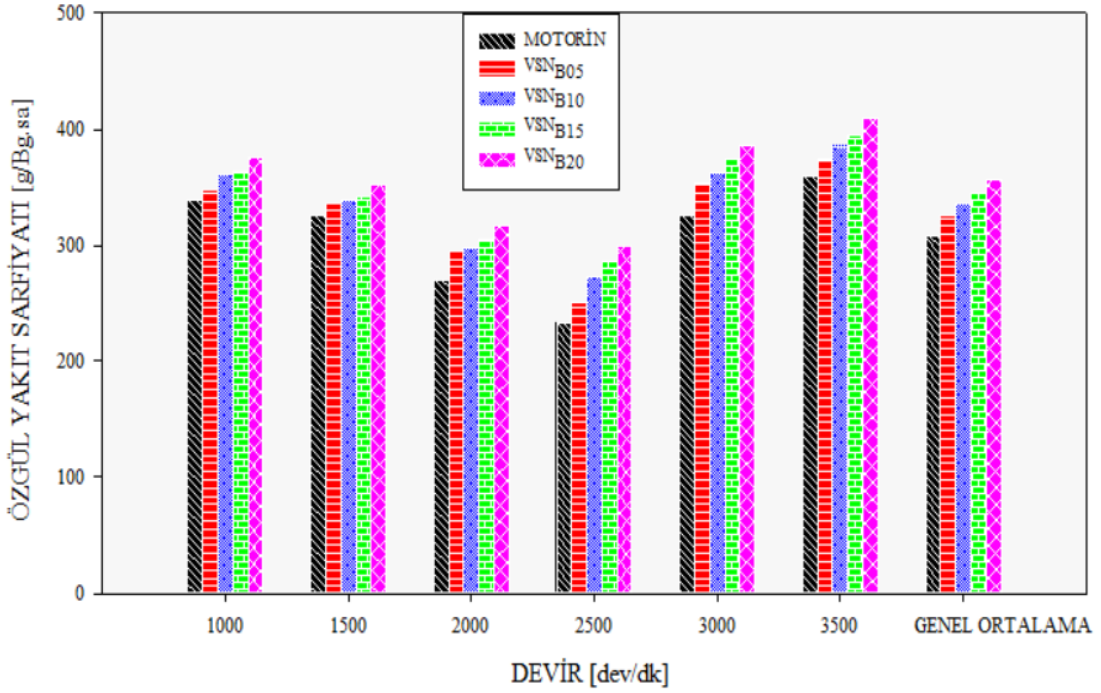
Şekil 5.2. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı güç grafiği.

Tablo 5.3. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait güç verileri.

DEVİR SAYISI	YAKIT TÜRLERİ				
	Motorin (Hp)	VSN _{B05} (Hp)	VSN _{B10} (Hp)	VSN _{B15} (Hp)	VSN _{B20} (Hp)
1000 dev/dk	4,85	3,53	3,37	3,21	3,11
2000 dev/dk	10,35	9,37	9,14	8,97	8,48
3000 dev/dk	12,95	12,21	12,05	11,97	11,43

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıtları ile motorin yakıtına ait motor devrine bağlı özgül yakıt sarfiyatı grafiği Şekil 5.3'de gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt türleri için 1000-1500 dev/dk gibi düşük motor devirlerinde özgül yakıt sarfiyatı verilerinin yüksek değerlerde olduğu, 2500 dev/dk motor devrinde özgül yakıt sarfiyatı verilerinin minimum değerlere düştüğü, 3000-3500 dev/dk gibi yüksek motor devirlerinde ise özgül yakıt sarfiyatı verilerinin tekrar yükseldiği görülmektedir. 1000-1500 dev/dk gibi düşük motor devirlerinde yeterli hava sirkülasyonu olmaması nedeniyle özgül yakıt sarfiyatı verilerinin yükseldiği, 2500 dev/dk motor devrinde homojen bir yakıt-hava karışımı meydana gelmesi nedeniyle özgül yakıt sarfiyatı verilerinin minimum değerlere düştüğü, 3000-3500 dev/dk gibi yüksek motor devirlerinde ise motorun volumetrik veriminin azalması nedeniyle özgül yakıt sarfiyatı verilerinin tekrar yükseldiği düşünülmektedir [93]. Ayrıca, motorin yakıtına ait ısıl değerlerin biyoyakıt karışımlarına ait ısıl değerlerden fazla olması nedeniyle motorin yakıtı özgül yakıt sarfiyatının biyoyakıt karışımlarıninkine göre daha düşük olduğu düşünülmektedir [93]. Bunun yanı sıra, yakıt karışımları kendi aralarında incelendiğinde; biyodizel oranı fazla olan yakıtların ısıl değerlerinin daha düşük olduğu ve dolayısıyla özgül yakıt sarfiyatlarının daha fazla olduğu görülmektedir.

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıtları ile motorin yakıtına ait devre bağlı özgül yakıt sarfiyatı verileri Tablo 5.4'de verilmektedir. Buna göre; maksimum torkun sağlandığı 2000 dev/dk hızında en yüksek özgül yakıt sarfiyatının 316,65 g/Bg.sa olarak VSN_{B20} yakıt karışımına ait olduğu, maksimum gücün sağlandığı 3000 dev/dk motor devrinde ise en yüksek özgül yakıt sarfiyatının 385,49 g/Bg.sa olarak yine VSN_{B20} yakıt karışımına ait olduğu görülmektedir. Ayrıca, VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıtlarına ait ortalama özgül yakıt sarfiyatlarının yaklaşık olarak sırasıyla %6.6, %9.3, %11.6 ve %15.3 oranlarında motorininkine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



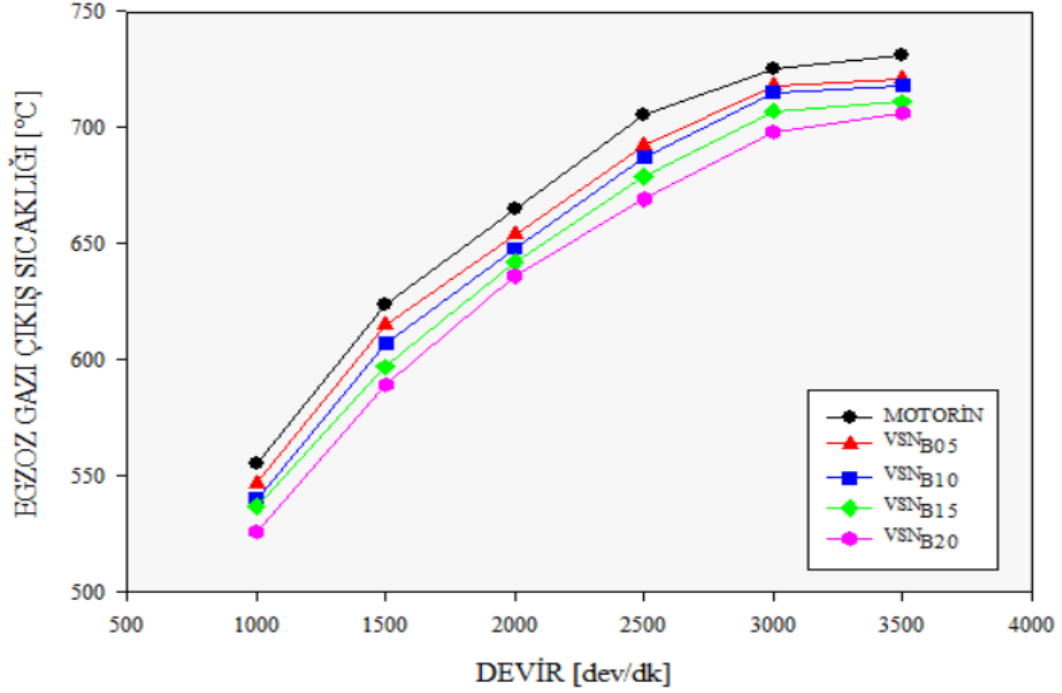
Şekil 5.3. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı özgül yakıt sarfiyatı grafiği.

Tablo 5.4. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait özgül yakıt sarfiyatı verileri.

DEVİR SAYISI	YAKIT TÜRLERİ				
	Motorin (g/Bg.sa)	VSN _{B05} (g/Bg.sa)	VSN _{B10} (g/Bg.sa)	VSN _{B15} (g/Bg.sa)	VSN _{B20} (g/Bg.sa)
1000 dev/dk	339,13	347,76	361,24	363,32	376,22
2000 dev/dk	270,06	295,37	297,69	305,75	316,65
3000 dev/dk	325,48	354,06	363,01	374,30	385,49
Ortalama	311,56	332,40	340,65	347,79	359,45

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıtları ile motorin yakıtına ait devre bağlı egzoz gazı çıkış sıcaklığı grafiği Şekil 5.4'de gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt türlerinde motor devrinin yükselmesiyle egzoz gazı çıkış sıcaklıklarının arttığı görülmektedir. Bu da motor devrinin yükselmesiyle birlikte birim zamanda tutuşturulan yakıt miktarının fazlalaşması ve bu sayede meydana gelen ısı enerjisinin yükselmesiyle açıklanabilir [96, 97]. Ayrıca, motorin yakıtının biyoyakıtlara göre daha yüksek ısıl değere sahip olmasından dolayı, biyoyakıtlara kıyasla daha yüksek egzoz

gazı çıkış sıcaklıkları oluşturduğu düşünülmektedir [98]. VSN_{B05} , VSN_{B10} , VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıtları ile motorin yakıtına ait devre bağlı egzoz gazı çıkış sıcaklığı verileri Tablo 5.5’de verilmektedir. Buna göre; 3500 dev/dk motor devrinde motorin için en yüksek egzoz sıcaklığı 731 °C olarak tespit edilirken, biyoyakıt karışımları içerisinde en yüksek sıcaklık VSN_{B05} yakıtı için 721 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.4. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı egzoz gazı çıkış sıcaklığı grafiği.

Tablo 5.5. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait egzoz gazı çıkış sıcaklığı verileri.

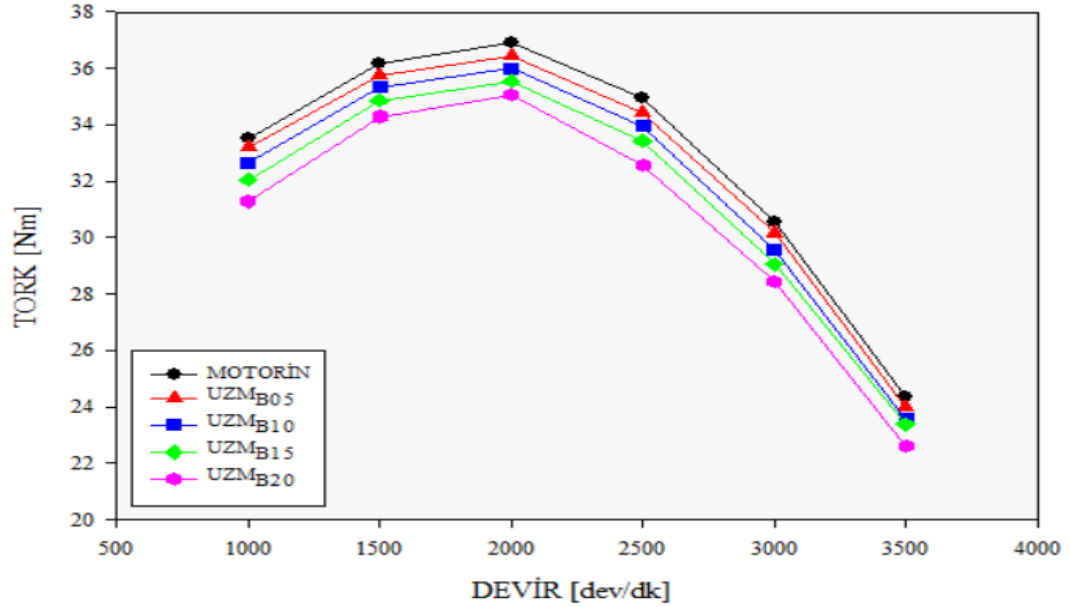
DEVİR SAYISI	YAKIT TÜRLERİ				
	Motorin (°C)	VSN_{B05} (°C)	VSN_{B10} (°C)	VSN_{B15} (°C)	VSN_{B20} (°C)
1000 dev/dk	555	547	540	537	526
1500 dev/dk	624	615	607	597	589
2000 dev/dk	665	654	648	642	636
2500 dev/dk	705	692	687	679	669
3000 dev/dk	725	718	715	707	698
3500 dev/dk	731	721	718	711	706
Ortalama	668	658	653	646	637

5.2.2. Üzüm Çekirdeği Yağı Metil Esteri ile Hazırlanan Yakıt

Karışımları ve Motorin Yakıtına Ait Motor Performans Verileri

UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı tork grafiği Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Buna göre; 1000-1500 ve 2000 dev/dk hızlarda tork verilerinin giderek artış gösterdiği ve 2000 dev/dk’da en yüksek değer elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, volumetrik verimin azalması nedeniyle 2500-3000-3500 dev/dk hızlarında tork değerlerinin azaldığı düşünülmektedir [93].

UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait tork verileri Tablo 5.6’da verilmiştir. Buna göre; 2000 dev/dk’da UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımları torklarının yaklaşık olarak sırasıyla % 1.3, % 2.5, % 3.7 ve % 5 oranlarında motorin yakıtına göre azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, üzüm çekirdeği yağı metil esterini ile hazırlanan yakıt karışımlarında biyodizel oranı arttıkça, tork değerlerinin azaldığı ve UZM_{B20} biyoyakıt karışımının en az tork değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Farklı yakıt formlarına ait tork değerlerinin motorininkine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Biyoyakıtların ısı değerlerinin motorininkinden düşük olması nedeniyle böyle olduğu düşünülmektedir [93].

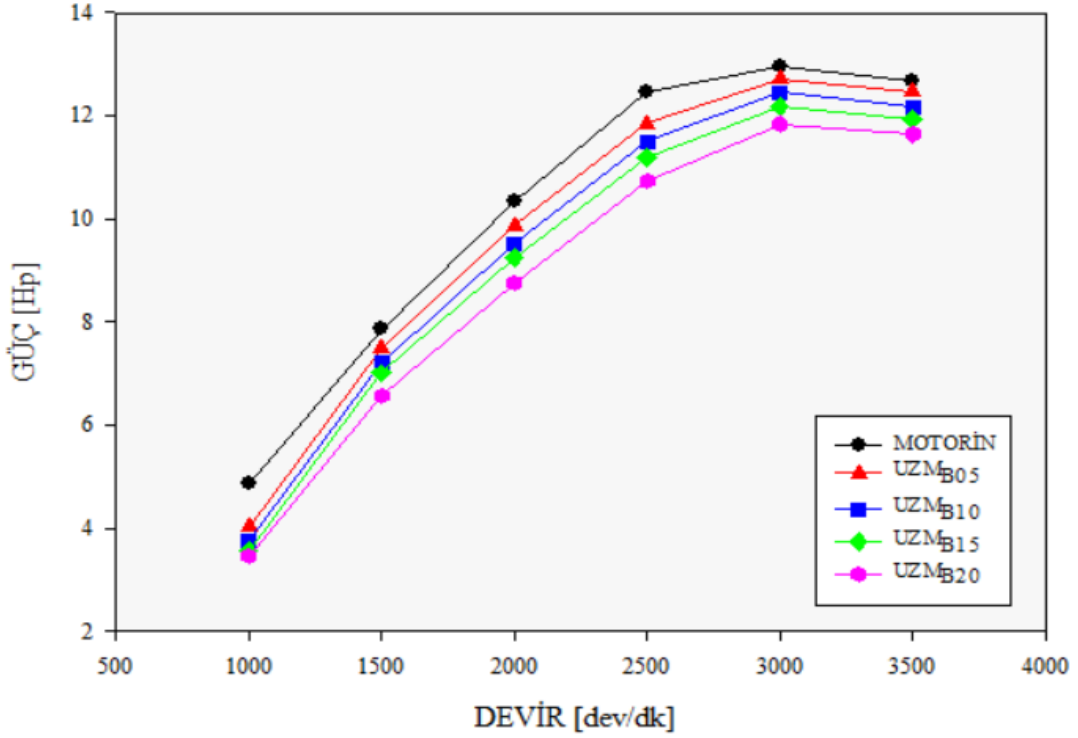


Şekil 5.5. Üzüm çekirdeği yağı metil esterini ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı tork grafiği.

Tablo 5.6. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait tork verileri.

	YAKIT TÜRLERİ				
DEVİR SAYISI	Motorin (Nm)	UZM_{B05} (Nm)	UZM_{B10} (Nm)	UZM_{B15} (Nm)	UZM_{B20} (Nm)
1000 dev/dk	33,52	33,2	32,65	32,05	31,27
2000 dev/dk	36,91	36,43	35,98	35,54	35,04
3000 dev/dk	30,54	30,17	29,55	29,05	28,44

UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı güç grafiği Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt türleri için 1000 dev/dk ve 1500 dev/dk motor devirlerinde hava hareketlerinin az olmasından dolayı motor güçlerinin düşük değerlerde olduğu, 3000 dev/dk'ya kadar hava hareketlerinin artış göstermesiyle de yanmanın iyileştiği ve motor güçlerinin giderek artış gösterdiği düşünülmektedir [94]. Bununla birlikte, tüm yakıt türlerinin 3000 dev/dk'da maksimum seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, en yüksek gücün sağlandığı 3000 dev/dk motor devrinde; UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımlarının güç değerleri yaklaşık olarak sırasıyla %1.8, %3.9, %6 ve %8.6 oranlarında motorin yakıtına göre azalmıştır. Biyodizellerin viskoziteleri ve yoğunluklarının motorininkinden daha fazla olmasından dolayı bu düşüşün yaşandığı düşünülmektedir. Çünkü viskozite ve yoğunluğun artması, yakıtın atomize olarak istenilen şekilde püskürtülememesine neden olarak yanmayı daha verimsiz hale getirmektedir [94].



Şekil 5.6. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı güç grafiği.

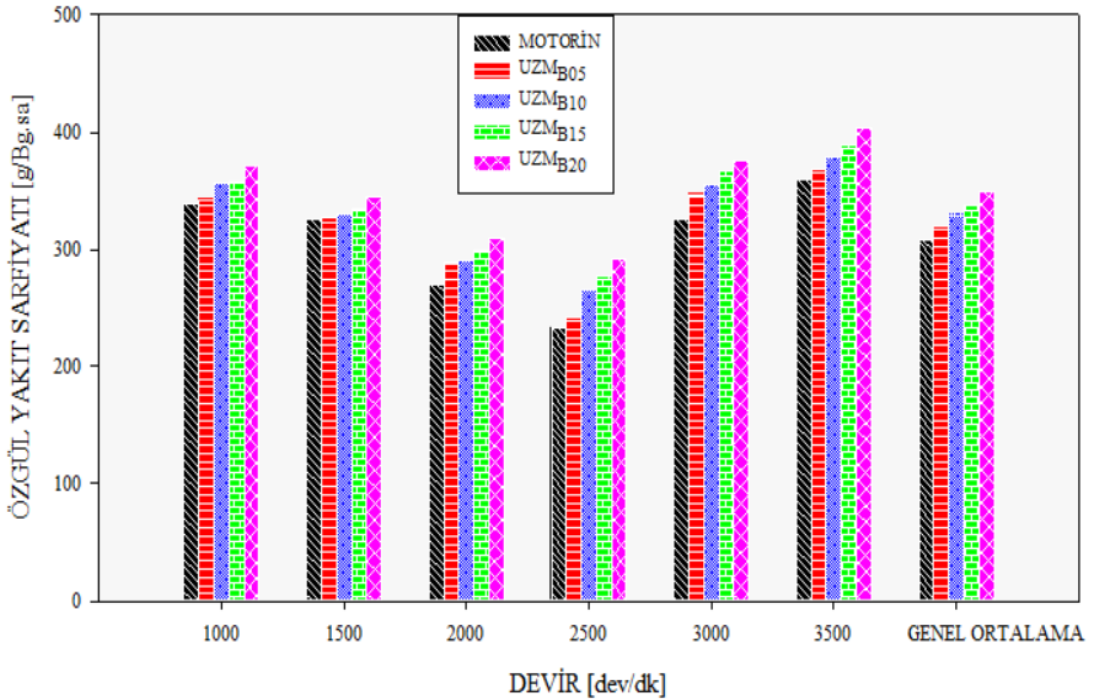
Tablo 5.7. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait güç verileri.

DEVİR SAYISI	YAKIT TÜRLERİ				
	Motorin (Hp)	UZMB05 (Hp)	UZMB10 (Hp)	UZMB15 (Hp)	UZMB20 (Hp)
1000 dev/dk	4,85	4,03	3,77	3,56	3,46
2000 dev/dk	10,35	9,87	9,51	9,24	8,75
3000 dev/dk	12,95	12,71	12,44	12,17	11,83

UZMB05, UZMB10, UZMB15 ve UZMB20 yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı özgül yakıt sarfiyatı grafiği Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt çeşitleri için 1000-1500 dev/dk gibi düşük motor devirlerinde yeterli hava sirkülasyonu olmamasından dolayı özgül yakıt sarfiyatı verilerinin yüksek değerlerde görüldüğü, 2500 dev/dk motor devrinde homojen bir yakıt-hava karışımı meydana gelmesi nedeniyle özgül yakıt sarfiyatı verilerinin en düşük değerleri sağladığı, 3000-

3500 dev/dk gibi yüksek motor devirlerinde ise motorun volumetrik veriminin azalması nedeniyle özgül yakıt sarfiyatı verilerinin tekrar artış gösterdiği düşünülmektedir [93]. Ayrıca, motorin yakıtı ısıl değerinin biyoyakıtların ısıl değerlerinden fazla olması nedeniyle, özgül yakıt sarfiyatının daha düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte biyodizel oranı fazla olan yakıt formlarının, ısıl değerlerinin daha düşük olduğu ve özgül yakıt sarfiyatlarının daha fazla olduğu görülmektedir [93].

UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı yakıt sarfiyatı verileri Tablo 5.8’de gösterilmiştir. Buna göre; maksimum torkun sağlandığı 2000 dev/dk motor devrinde en fazla özgül yakıt sarfiyatının 309,65 g/Bg.sa değerle UZM_{B20} yakıt karışımına ait olduğu, en yüksek gücün sağlandığı 3000 dev/dk motor devrinde ise en fazla özgül yakıt sarfiyatının 375,49 g/Bg.sa değerle yine UZM_{B20} yakıt karışımına ait olduğu görülmektedir. Ayrıca, UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımlarının özgül yakıt sarfiyatları ortalamalarının yaklaşık olarak sırasıyla %4.6, %7.1, %9.5 ve %13 oranlarında motorin yakıtına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

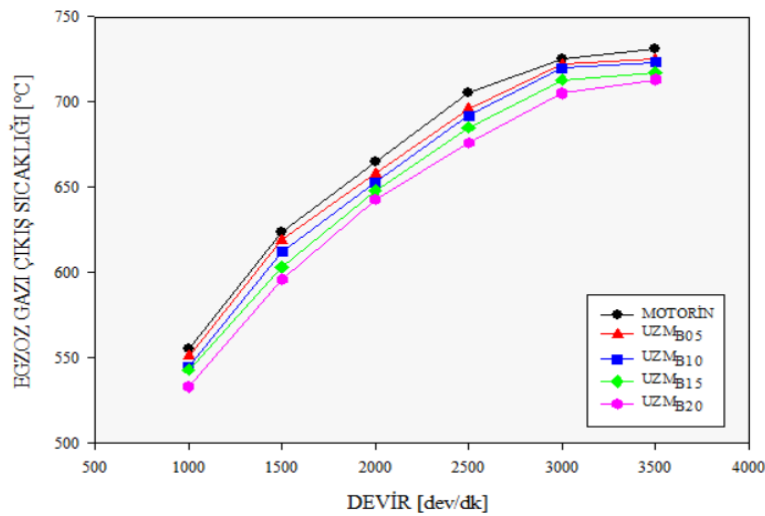


Şekil 5.7. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı özgül yakıt sarfiyatı grafiği.

Tablo 5.8. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait özgül yakıt sarfiyatı verileri.

DEVİR SAYISI	YAKIT TÜRLERİ				
	Motorin (g/Bg.sa)	UZM _{B05} (g/Bg.sa)	UZM _{B10} (g/Bg.sa)	UZM _{B15} (g/Bg.sa)	UZM _{B20} (g/Bg.sa)
1000 dev/dk	339,13	342,76	356,24	358,32	371,22
2000 dev/dk	270,06	288,37	290,69	298,75	309,65
3000 dev/dk	325,48	347,06	355,01	367,30	375,49
Ortalama	311,56	326,06	333,98	341,45	352,12

UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı egzoz gazı çıkış sıcaklığı grafiği Şekil 5.8'de gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt türlerinde motor devrinin artmasıyla birlikte egzoz gazı çıkış sıcaklık değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Motor devrinin artması, birim zamanda tutuşturulan yakıt miktarının da artmasına neden olur. Bu sayede ortaya çıkan ısı enerjisi giderek yükselir ve egzoz gazı çıkış sıcaklığında artış olur [96, 97]. Ayrıca, motorin yakıtının biyoyakıtlara göre daha yüksek ısı değere sahip olmasından dolayı, biyoyakıtlara göre daha yüksek egzoz gazı çıkış sıcaklıklarında seyrettiği düşünülmektedir [98]. Bununla birlikte, 3500 dev/dk motor devrinde motorin için en yüksek egzoz gazı çıkış sıcaklığı 731 °C olarak tespit edilirken, biyoyakıt karışımları içerisinde en yüksek sıcaklık UZM_{B05} yakıt karışımı için 725 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.8. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı egzoz gazı çıkış sıcaklığı grafiği.

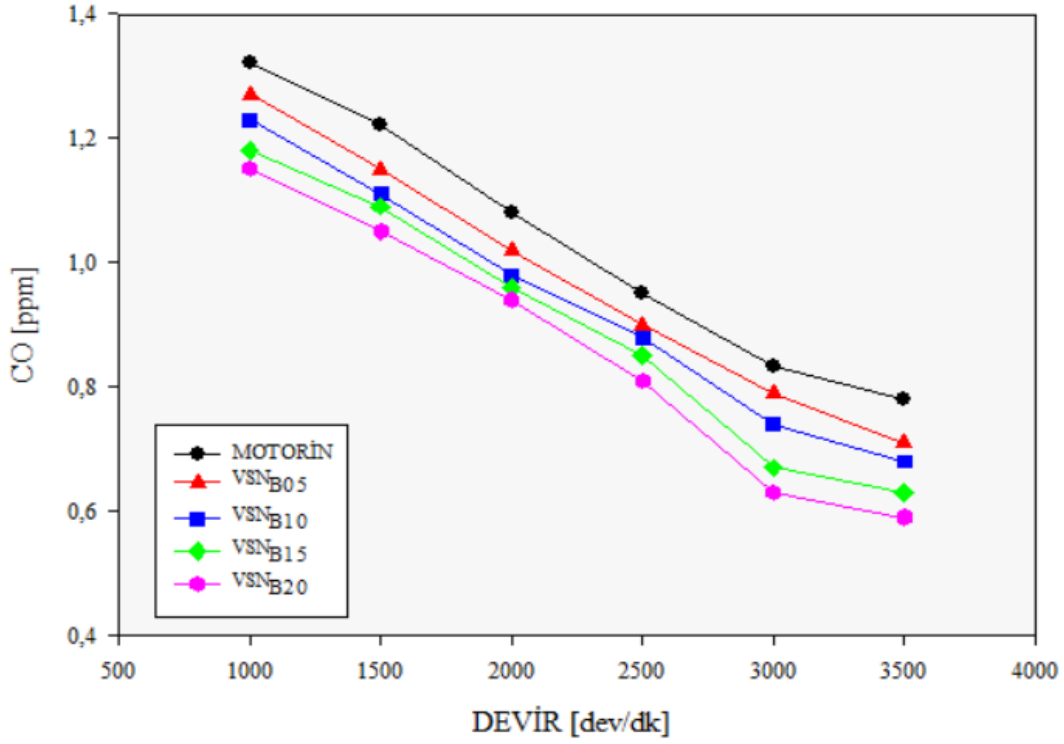
Tablo 5.9. Üzüm çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait egzoz gazı çıkış sıcaklığı verileri.

DEVİR SAYISI	YAKIT TÜRLERİ				
	Motorin (°C)	UZM _{B05} (°C)	UZM _{B10} (°C)	UZM _{B15} (°C)	UZM _{B20} (°C)
1000 dev/dk	555	551	545	543	533
1500 dev/dk	624	619	612	603	596
2000 dev/dk	665	658	653	648	643
2500 dev/dk	705	696	692	685	676
3000 dev/dk	725	722	720	713	705
3500 dev/dk	731	725	723	717	713
Ortalama	668	662	658	652	644

5.3. Egzoz Emisyon Karakterizasyonu

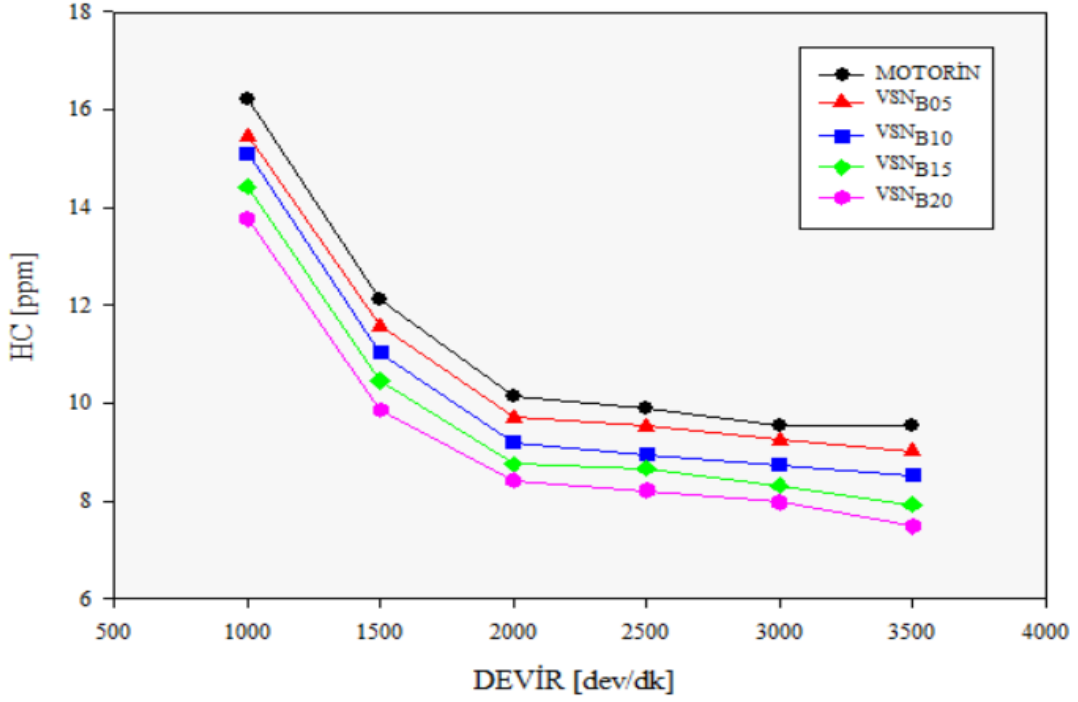
5.3.1 Vişne Çekirdeği Yağı Metil Esterleri ile Hazırlanan Yakıt Karışımları ve Motorin Yakıtına Ait Egzoz Emisyonları

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına devre bağlı CO emisyonu grafiği Şekil 5.9'da gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt türleri için motor devri arttıkça, CO emisyon değerlerinin giderek azaldığı görülmektedir. CO emisyonu, yanmanın eksik olması durumunda oluşan ve kayıp olan yani ısı enerjisine dönüşemeyen kimyasal enerjiyi gösteren önemli bir parametredir. Yanma bölgesinde yeterli hava-yakıt karışımı olmadığı durumlarda yanma olayının verimi düşüp, yanma ürünü olarak CO meydana gelmektedir [97]. Dolayısıyla, bu azalmanın motor devri artışıyla birlikte daha homojen bir yakıt-hava karışımı sağlanması ve daha iyi bir yanma olayının gerçekleşmesinden dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir [99]. Bununla birlikte, tüm motor devirlerinde biyoyakıt karışımlarına ait CO emisyonu verilerinin, motorin yakıtına ait CO emisyonu verilerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Biyoyakıt karışımlarında, motorine göre oksijen miktarı daha fazladır [100]. Ayrıca, yakıt karışımlarındaki biyodizel oranı arttıkça CO emisyon değerlerinin de azaldığı görülmektedir.



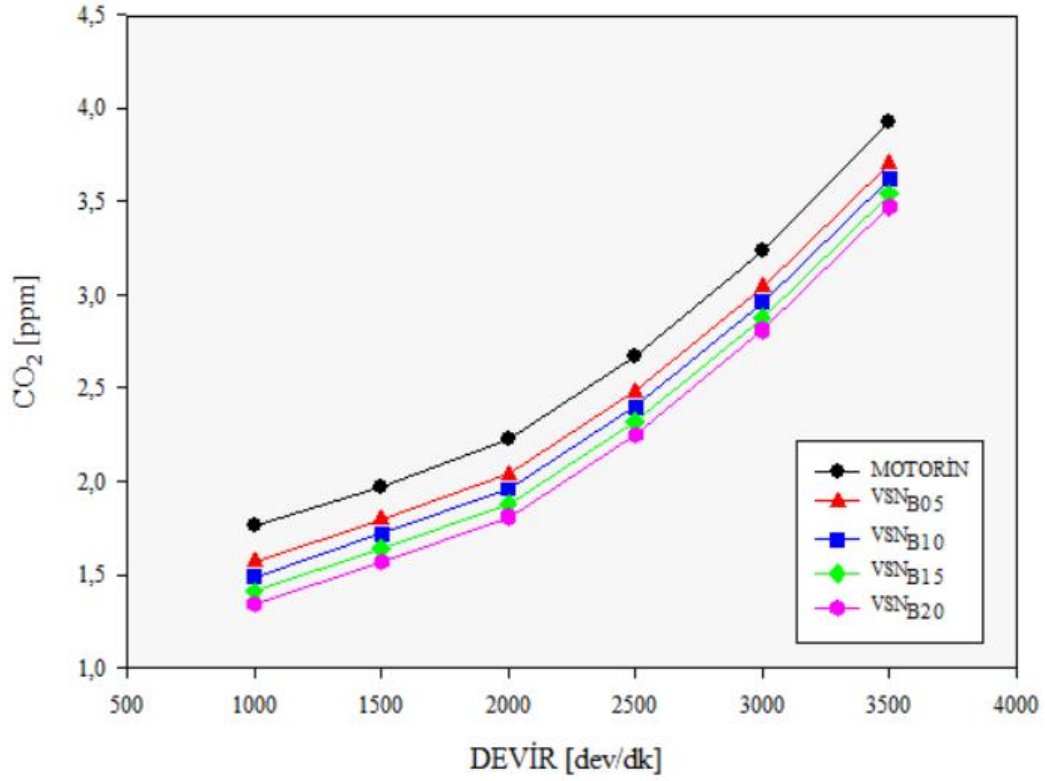
Şekil 5.9. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO emisyonu grafiği.

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıt karışımlarına ait devre bağlı HC emisyonu grafiği Şekil 5.10'da gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt türleri için 1000-1500 dev/dk gibi düşük motor devirlerinde HC emisyonu değerleri yüksek olarak görülmektedir. Bu durumun, düşük devirlerde silindirlerdeki sıcaklığın yeterince yüksek olmamasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, motor devrinin artmasıyla birlikte silindir içi sıcaklıklar yükselmekte ve HC emisyonları bu sebeple giderek azalmaktadır [101]. Ayrıca, biyoyakıt karışımlarında motorine göre daha yüksek miktarda oksijen bulunmasından dolayı daha iyi okside olduğu ve dolayısıyla HC emisyon değerlerinin daha düşük seyrettiği düşünülmektedir [102, 103, 104]. Zira, yanmanın gerçekleştiği ortamda yeterli miktarda oksijenin bulunmaması sebebiyle yakıtın okside olamaması ya da yakıt için tutuşma sıcaklığının sağlanamaması nedeni ile yanma ürünlerinde HC emisyonları meydana gelmektedir [101].



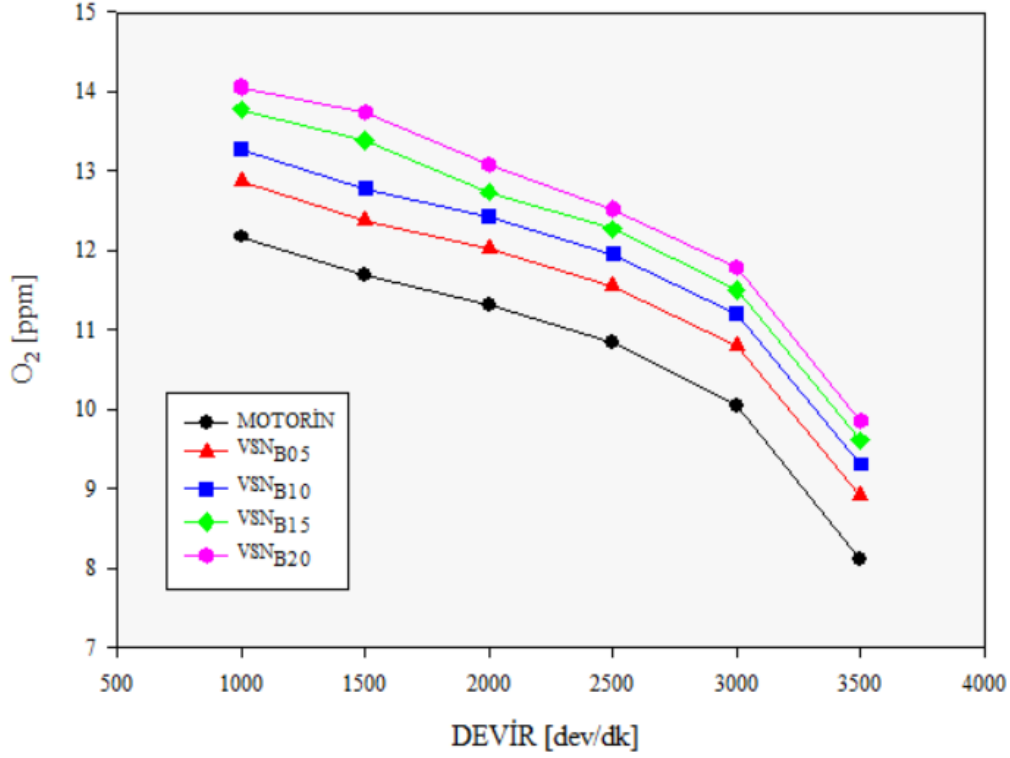
Şekil 5.10. Vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı HC emisyonu grafiği.

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO₂ emisyonu grafiği Şekil 5.11’de gösterilmektedir. Buna göre; motor devrinin yükselmesiyle birlikte tüm yakıt türleri için CO₂ emisyonu verilerinin giderek arttığı görülmektedir. CO₂ gazı renksiz, zararsız ve kokusu olmayan bir gazdır. CO₂ emisyonu yanma sürecinde açığa çıkarken tam yanmayı gösteren bir parametredir. Yanma odasında yeterli miktarda O₂ bulunması halinde, yakıt okside olur ve yakıt içerisindeki C atomu O₂ ile birleşerek CO₂ gazını oluşturur [105]. CO₂ salınımları, sınır değerleri aşması durumunda sera etkisine neden olmaktadır [106]. Motor devri yükseldikçe yakıt tüketiminin de yükselmesinden dolayı, C miktarının artışı CO₂ emisyonlarını da giderek arttırmaktadır [107, 108]. Ayrıca, biyoyakıtların yapısında motorine göre daha az C atomu bulunmasından dolayı, CO₂ emisyonlarının da motorine göre daha düşük değerlerde seyrettiği düşünülmektedir [109].



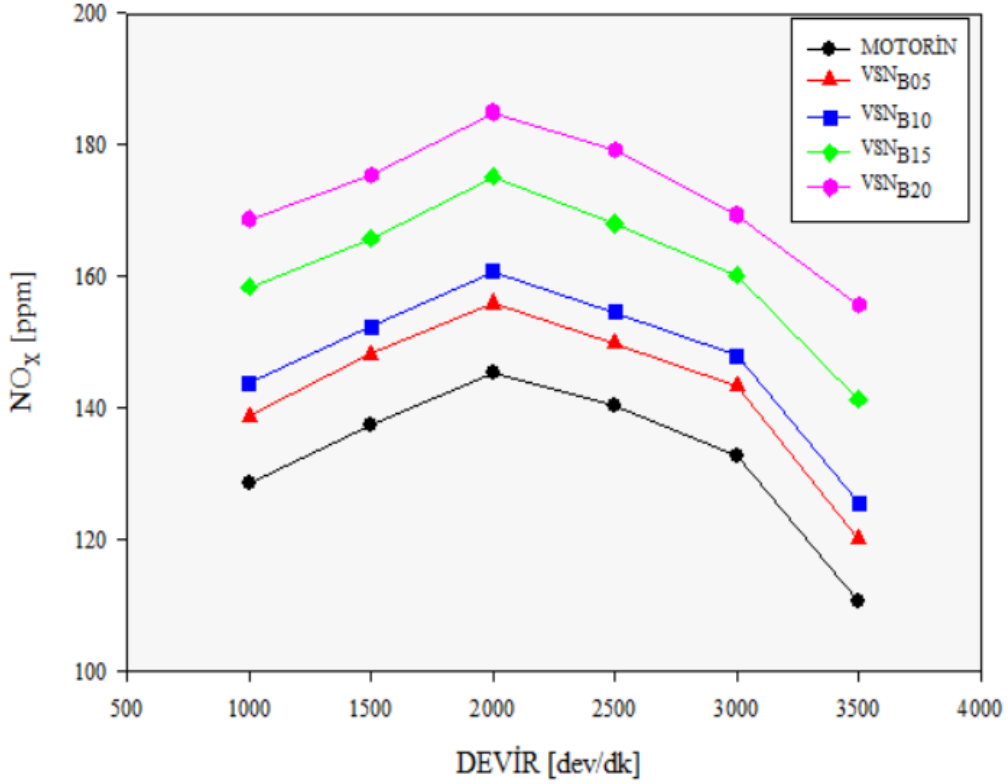
Şekil 5.11. Vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO₂ emisyonu grafiği.

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı O₂ emisyonu grafiği Şekil 5.12'de gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt karışımları için devir sayısı artışına bağlı olarak O₂ emisyonu değerlerinde azalma görülmektedir. Yanma olayı esnasında harcanan oksijeni görme açısından O₂ emisyonu önemli bir parametredir. Zengin karışım bölgelerinde O₂, yanmayı daha da iyileştirmektedir. O₂ emisyonunun ölçülmesi yanma esnasında oksijen miktarının hangi oranda kullanıldığını göstermesi açısından önemlidir [110]. Motor devri artışıyla yanma odasındaki türbülansın artarak daha ideal bir yakıt-hava karışımı sağlanması, dolayısıyla daha iyi bir yanmanın gerçekleşmesi, O₂ emisyonlarında yaşanan bu azalmanın nedeni olarak görülmektedir [111]. Ayrıca, biyoyakıt karışımlarına ait O₂ emisyonlarının motorininkine göre daha yüksek değerlerde seyrettiği görülmektedir. Biyoyakıt karışımları içeriğinde daha fazla oksijen bulundurmaları nedeniyle O₂ salınımlarının motorine göre daha yüksek değerlerde görüldüğü düşünülmektedir [112].



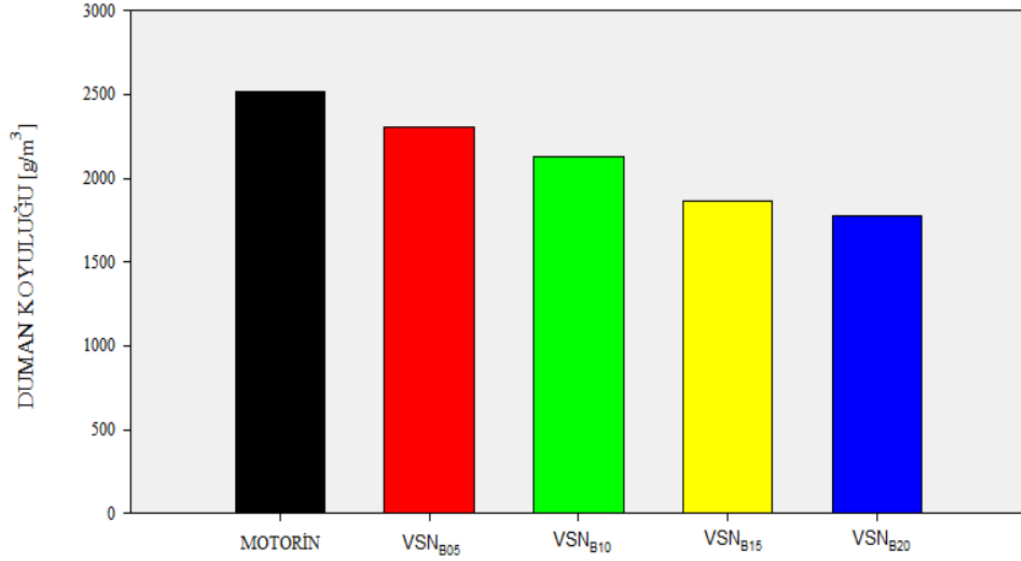
Şekil 5.12. Vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı O₂ emisyonu grafiği.

VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı NO_x emisyonu grafiği Şekil 5.13’de gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıtlar için NO_x emisyonlarında, motor devri 2000 dev/dk olana kadar artış görülmekte olup, 2000 dev/dk’den sonra düşüş gözlemlenmektedir. NO_x emisyonları, yanma odası sıcaklığın artmasıyla havadaki azotun iyonize olması ve oksijen ile birleşmesiyle meydana gelir. Sıcaklık, oksijen oranı ve yanma süresi NO_x emisyonları etkileyen önemli parametrelerdir. NO_x’ler doğada zincirleme reaksiyona girerek Nitrik Asit (HNO₃) meydana getirir ve asit yağmurlarına sebebiyet verir [113]. Motor devri 2000 dev/dk olana kadar yanmanın iyileşip silindir içi sıcaklığın arttığı bu sayede NO_x oluşumunun yükseldiği, 2000 dev/dk’den sonra yanma olayının hızlanıp, emme zamanının kısalması ile silindirlere yeterli oksijen alınamadığından dolayı da NO_x oluşumunun düşüşe geçtiği bu durumun sebebi olarak ifade edilebilir [114, 115].



Şekil 5.13. Vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı NO_x emisyonu grafiği.

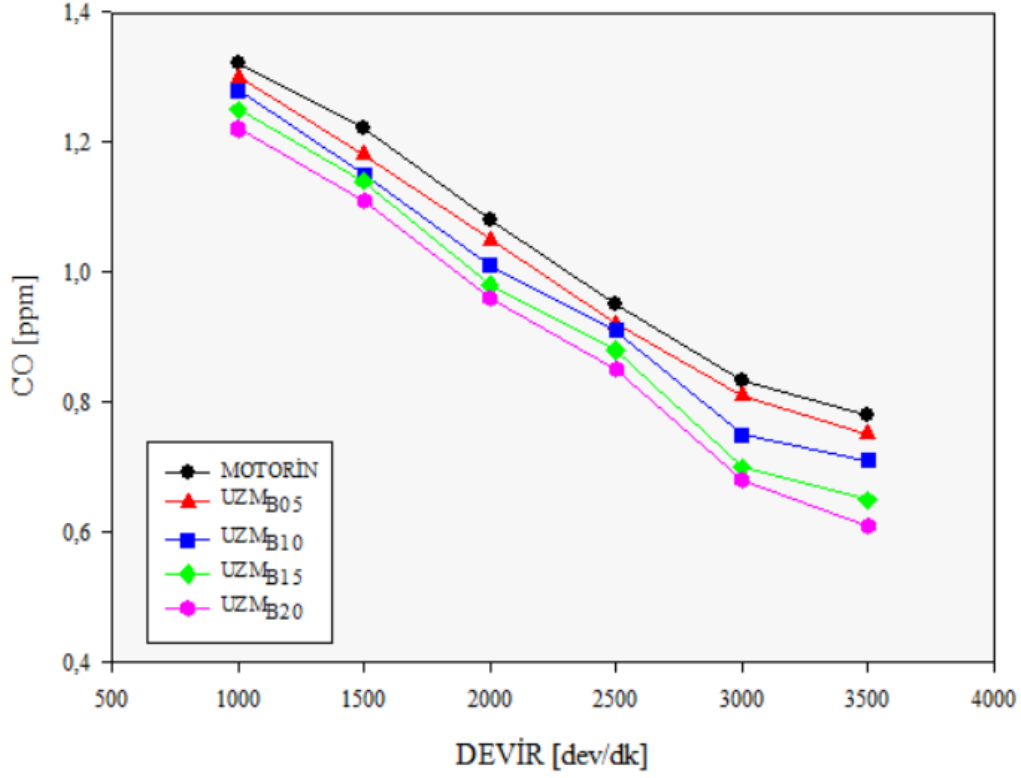
Katı yakıtlar ve akaryakıt gibi karbonlu maddelerin tam yanmamasından meydana gelen katı ve sıvı parçacıkların bir gaz karışımı olan duman, hava kirliliğinin bir çeşididir ve görüş uzaklığını azaltıcı bir etkiye sahiptir [116]. VSN_{B05}, VSN_{B10}, VSN_{B15} ve VSN_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait duman koyuluğu grafiği Şekil 5.14'de gösterilmektedir. Buna göre; biyoyakıtların duman koyuluğu değerlerinin motorin yakıtına göre daha az olduğu görülmektedir. Biyoyakıtların, motorin yakıtına göre bünyelerinde daha fazla oksijen ile daha az sülfür ve karbon içermeleri nedeniyle duman koyulukları, motorin yakıtına göre daha az sağlanmaktadır [103].



Şekil 5.14. Vişne çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait duman koyuluğu grafiği.

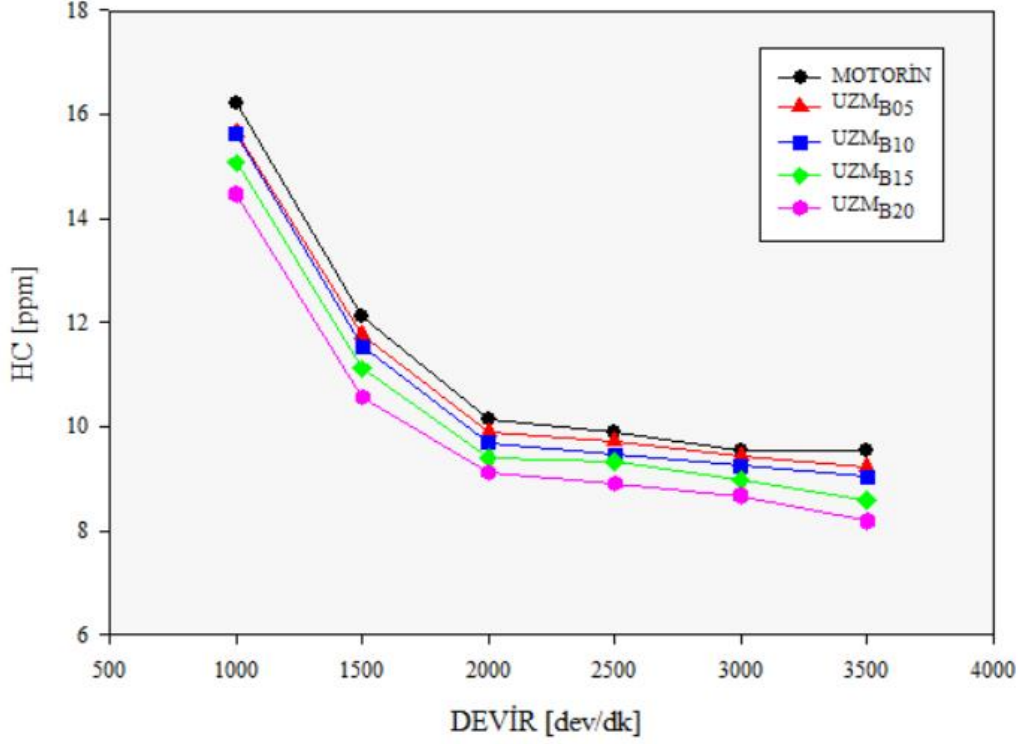
5.3.2 Üzüm Çekirdeği Yağı Metil Esteri ile Hazırlanan Yakıt Karışımları ve Motorin Yakıtına Ait Egzoz Emisyonları

UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO emisyonu grafiği Şekil 5.15’de gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt çeşitleri için motor devri artış gösterdikçe yakıt-hava karışımının homojenliğinin arttığı ve daha verimli bir yanmanın gerçekleştiği, CO emisyon değerlerinin de bu durumdan dolayı giderek azaldığı görülmektedir [99]. Bununla birlikte, tüm motor devirlerinde biyoyakıt karışımlarına ait CO emisyonu verilerinin, motorin yakıtına ait CO emisyonu verilerinden daha düşük değerlerde oldukları görülmektedir. Biyoyakıt karışımları bünyesinde, motorine göre daha fazla oksijen ve daha az karbon bulundurmasından dolayı CO emisyonu verilerinin motorininkine göre daha düşük seyrettiği düşünülmektedir [100]. Ayrıca, yakıt karışımlarındaki biyodizel oranı arttıkça CO emisyon değerlerinin de düştüğü görülmektedir.



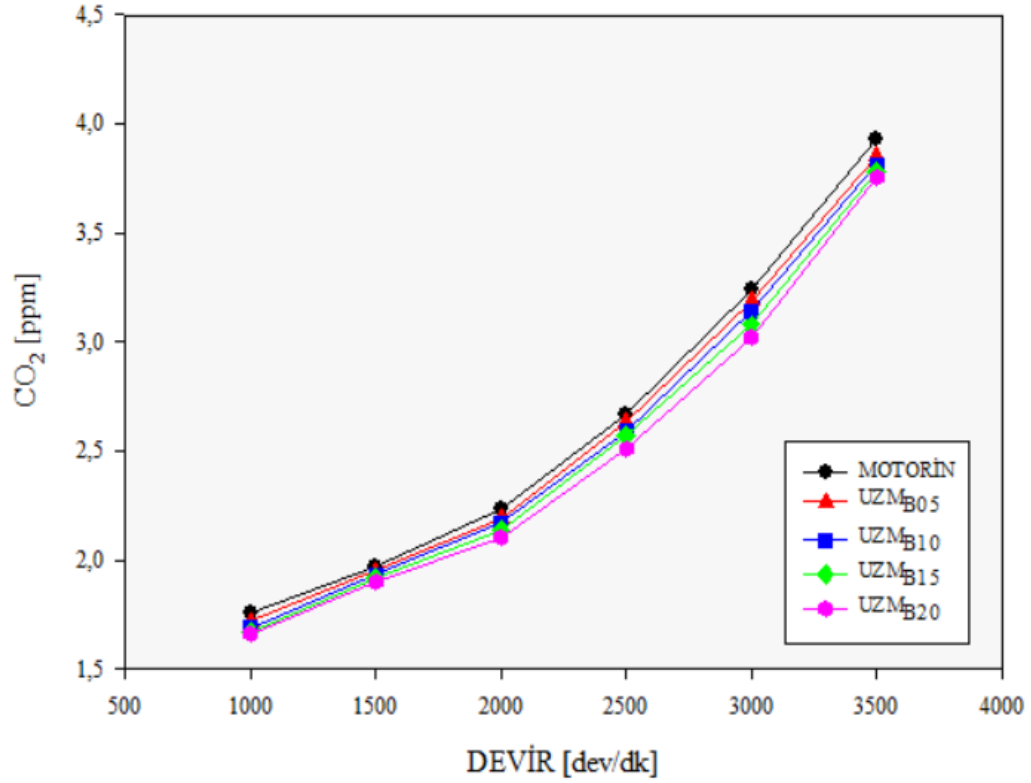
Şekil 5.15. Üzüm çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO emisyonu grafiği.

UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı HC emisyonu grafiği Şekil 5.16'da gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt çeşitleri için 1000-1500 dev/dk gibi düşük motor devirlerinde silindirlerdeki sıcaklığın düşük olmasından dolayı HC emisyonu değerlerinin yüksek olarak seyrettiği düşünülmektedir. Motor devrinin artışıyla silindir içi sıcaklıkları yükselmekte ve HC emisyonları bu nedenle giderek azalmaktadır [101]. Bununla birlikte, biyoyakıt karışımları yapısındaki oksijenden dolayı motorine göre daha iyi okside olurlar, bu durumdan dolayı biyoyakıtların HC emisyon değerlerinin daha düşük değerlerde sağlandığı düşünülmektedir [102, 103, 104].



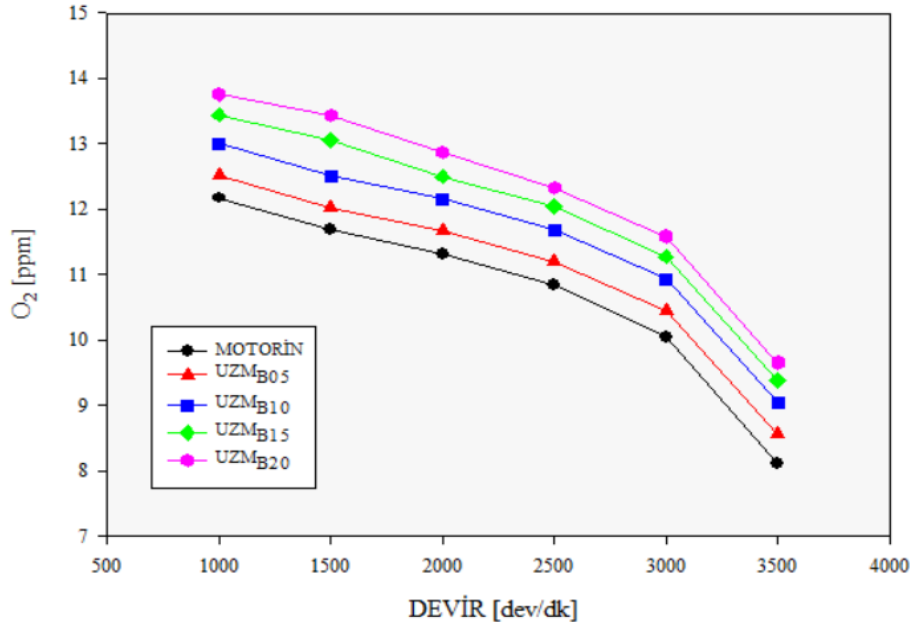
Şekil 5.16. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı HC emisyonu grafiği.

UZMB05, UZMB10, UZMB15 ve UZMB20 yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO₂ emisyonu grafiği Şekil 5.17’de gösterilmektedir. Buna göre; motor devrinin artışıyla birlikte yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak C miktarında artış göstermektedir. Bu durumun, tüm yakıt türleri için CO₂ emisyonu verilerini giderek yükselttiği düşünülmektedir [107, 108]. Ayrıca, biyoyakıtların yapısında motorine göre daha az C atomu bulunmasından dolayı, CO₂ emisyonlarının da motorine göre daha düşük değerlerde seyrettiği düşünülmektedir [109].



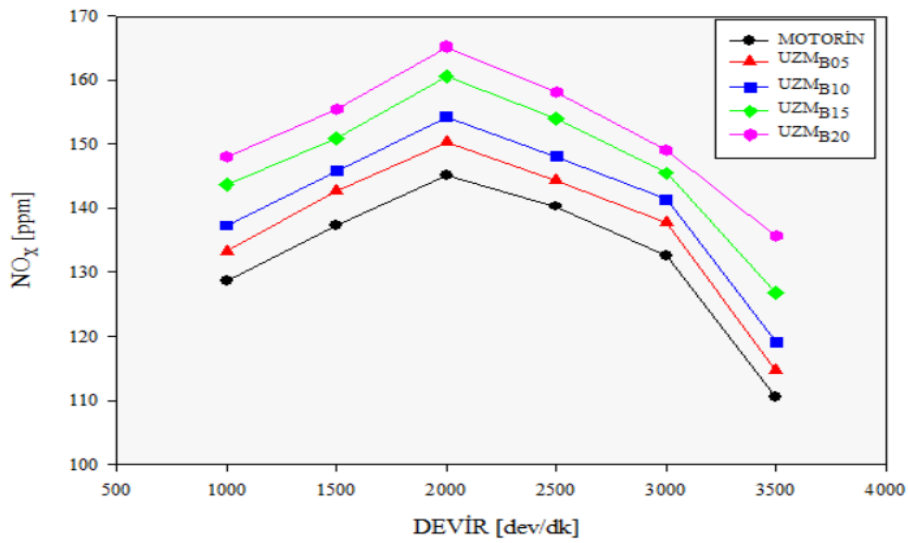
Şekil 5.17. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı CO₂ emisyonu grafiği.

UZMB₀₅, UZMB₁₀, UZMB₁₅ ve UZMB₂₀ yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı O₂ emisyonu grafiği Şekil 5.18'de gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıt karışımları için devir sayısı artışına bağlı olarak O₂ emisyonu değerlerinde azalma görülmektedir. Motor devri artışıyla beraber yanma odasındaki hava akışı artarak yakıt-hava karışımı daha ideal olmaktadır. Bu durum yanma olayının iyileşmesine neden olmaktadır. Bu durum, O₂ emisyonlarını azaltmaktadır [111]. Ayrıca biyoyakıt karışımları O₂ emisyonları, motorine göre daha yüksek değerlerde görülmektedir. Biyoyakıt karışımları içeriğinde daha fazla oksijen bulundurmaları nedeniyle biyoyakıt karışımların O₂ salınımlarının motorine göre daha yüksek değerlerde görüldüğü düşünülmektedir [112].



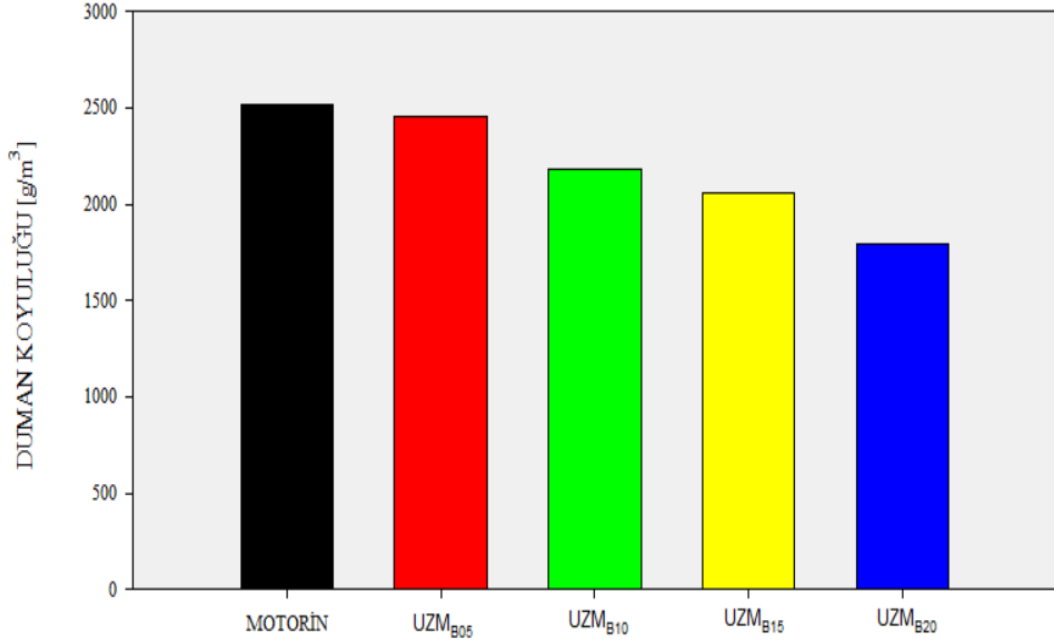
Şekil 5.18. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı O₂ emisyonu grafiği.

UZMB05, UZMB10, UZMB15 ve UZMB20 yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı NO_x emisyonu grafiği Şekil 5.19'da gösterilmektedir. Buna göre; tüm yakıtlar için motor hızı 2000 dev/dk olana kadar yanmanın iyileşip, silindir içi sıcaklığın artmasından dolayı NO_x oluşumunun yükseldiği, 2000 dev/dk'dan sonra yanma olayının hızlanmasıyla birlikte emme zamanının kısalması ve silindirlere yeterli oksijen alınamamasından dolayı NO_x oluşumunun giderek azaldığı düşünülmektedir [114, 115].



Şekil 5.19. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait devre bağlı NO_x emisyonu grafiği.

UZM_{B05}, UZM_{B10}, UZM_{B15} ve UZM_{B20} yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait duman koyuluğu grafiği Şekil 5.20’de gösterilmektedir. Buna göre; biyoyakıtların duman koyuluğu değerlerinin motorin yakıtına göre daha az olduğu görülmektedir. Biyoyakıtlar, motorin yakıtına göre bünyelerinde daha fazla oksijen ile daha az sülfür ve karbon bulundurlar. Bu durum dolayısıyla, biyoyakıtlara ait duman koyulukları motorin yakıtına göre daha düşük değerlerde görülmektedir [103].



Şekil 5.20. Üzüm çekirdeği yağı metil esteri ile hazırlanan yakıt karışımları ile motorin yakıtına ait duman koyuluğu grafiği.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, üzüm ve vişne çekirdeği yağlarından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilmiş biyodizellerin belirli oranlarda motorin ile karıştırılarak hazırlanan farklı formdaki yakıtların tek silindirli, hava soğutmalı bir dizel motora ait performans ve egzoz emisyon karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Buna göre;

- Üzüm ve vişne çekirdeği yağı metil esterleri ile hazırlanan yakıt karışımlarına ait yoğunluk, viskozite ve parlama noktası sıcaklıklarının motorin yakıtına ait verilere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, metil ester içeren yakıt karışımlarına ait ısı değerlerinin motorin yakıtınınkinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- Maksimum tork değerinin elde edildiği 2000 dev/dk'da metil ester ile belirli oranlarda karıştırılarak hazırlanan yakıtlara ait motor tork değerlerinin motorin yakıtınınkinden göre azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, yakıt karışımı içerisinde bulunan metil ester oranı arttıkça karışıma ait motor tork değerinin azaldığı belirlenmiştir.
- Maksimum motor gücünün elde edildiği 3000 dev/dk'da metil ester ile belirli oranlarda karıştırılarak hazırlanan yakıtlara ait motor gücü değerlerinin motorin yakıtınınkinden göre azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, yakıt karışımı içerisinde bulunan metil ester oranı arttıkça karışıma ait motor güç değerinin azaldığı belirlenmiştir.
- Tüm yakıtlar için rölanti devrine yakın hızlarda özgül yakıt sarfiyatının nispeten yüksek olduğu, 2500 dev/dk'da özgül yakıt sarfiyatının verilerinin minimum değerlere düştüğü, 3000-3500 dev/dk gibi yüksek motor devirlerinde ise özgül yakıt sarfiyatı verilerinin tekrar yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca, biyoyakıt oranı yüksek olan yakıtların özgül yakıt sarfiyatlarının da diğerlerine göre nispeten daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, tüm yakıt türlerinde motor devrinin yükselmesiyle egzoz gazı çıkış sıcaklıklarının arttığı belirlenmiştir.
- Tüm yakıt türleri için motor devri arttıkça, CO emisyon değerlerinin giderek azaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, tüm motor devirlerinde biyoyakıt karışımlarına ait CO emisyonu verilerinin, motorin yakıtına ait CO emisyonu

verilerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yakıt karışımlarındaki biyodizel oranı arttıkça CO emisyon değerlerinin de azaldığı belirlenmiştir.

- Tüm yakıt türleri için rölanti devrine yakın düşük motor devirlerinde HC emisyonunun diğer devirlerde belirlenenlere göre yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.
- Motor devrinin yükselmesiyle birlikte tüm yakıt türleri için CO₂ emisyonu verilerinin giderek arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, metil ester karışımı yakıtlara ait CO₂ emisyonlarının motorine göre daha düşük değerlerde seyrettiği tespit edilmiştir.
- Tüm yakıt karışımları için devir sayısı artışına bağlı olarak O₂ emisyonu değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıca, biyoyakıt karışımlarına ait O₂ emisyonlarının motorininkine göre daha yüksek değerlerde seyrettiği belirlenmiştir.
- Tüm yakıtlar için rölanti devrinden maksimum torkun elde edildiği 2000 dev/dk hızına kadar NO_x emisyonlarında artış görülmekte olup bu hızdan sonra azalma meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra, metil ester karışimli yakıtlara ait duman koyuluğu değerlerinin motorin yakıtına göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Tüm bunların yanı sıra, biyoyakıtların çevre dostu olması, daha güvenli olması, ekonomiye ve tarıma sağlayabileceği katkısı, enerjide dışa bağımlılığı azaltabilecek potansiyelinin olması, fosil yakıt kaynaklarının giderek azalıyor olması gibi faktörler değerlendirildiğinde biyoyakıtların, fosil kaynaklı yakıtlara önemli bir alternatif yakıt kaynağı olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Banapurmath, N. R., Tewari, P. G., Hosmath, R. S. Combustion an emission characteristics of a direct injection. *International Journal of Sustainable Engineering*. 2008, 1(2), 80-93.
- [2] Aksoy, F., Bayrakçeken, H., Baydır, Ş. A., Yavuz, H. Kanola yağı metil esterine ön ısıtma uygulamasının motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 2009, 1(1), 25-33.
- [3] Peterson, C. L., Reece, D. L., Thompson, J. C., Beck, S. M., Chase, C. Ethyl ester of rapeseed used as a biodiesel fuel. *Biomass and Bioenergy*. 1996, 10(5-6), 331-336.
- [4] Şimşek, D. Ayçiçeği yağından elde edilen biyodizelin motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Selçuk-Teknik Dergisi*. 2016, 15(3), 186-198.
- [5] Alpgiray, B. Kanola Yağının Dizel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Ankara, 2006, 74 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [6] Abdulvahitoğlu, A., Tüccar, G. Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak karpuz çekirdeği biyodizelinin değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 2017, 32(1), 189-194.
- [7] Aydın, M., Afsar, M., Çelik, M. B. Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Atık Biyodizel Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi. 4. Uluslararası Mühendislik ve Bilimde Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, 3-5 Kasım, 2016, Antalya.
- [8] Eryılmaz, T. Hardal Yağı Biyodizelinde Farklı Karışım Oranlarının Dizel Motorlarda Performansa Etkisi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Konya, 2009, 130 s. (Doktora Tezi).
- [9] Akbaş, B., Altun, Ş., Öner, C., Sugözü, D. Fındık yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması ve yanma karakteristiklerinin incelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 2007, 2(1), 15-24.
- [10] Behçet, R., Aydın, S., Çakmak, A. Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan üretilen biyodizellerin tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2012, 2(4), 55-62.
- [11] Uyumaz, A., Boz, F., Baydır, Ş.A. Direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda atık zeytinyağı biyodizelinin yanma, performans ve emisyon karakteristikleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 2018, 6(1), 55-66.
- [12] Akdere, Y. Soya Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, 2006, 122 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [13] Şahin, S. Keten Yağı Biyodizelinin ve Motorinle Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Konya, 2013, 63 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [14] Özsezen, A.N., Türkcan, A., Çanakçı, M. Ham Ayçiçek Yağı Kullanılan Bir dizel Motorun Performans ve Emisyonları. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, 28-31 Mayıs, 2007, Samsun.
- [15] Hafele, W. *Energy in a Finite World*, Ballinger Publishing Company, Cambridge, 1981, 225 s.
- [16] Ültanır, M. Ö. Temiz Enerji Olarak Hidrojen Yakıtı ve Teknolojisi. Türkiye 7. Enerji Kongresi, 3-8 Kasım, 1997, Ankara.

- [17] Finegold, J.G., Lynch, F.E., Baker, N.R., Takahashi, R., Bush, A.F. The UCLA Hydrogen Car: Design, Construction and Performance. Society of Automotive Engineers. 1973, DOI:10.4271/730507.
- [18] Gül, K. E. Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması ve Performansa Etkileri. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2006, 110 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [19] Kahraman, N., Akansu, S. O., Albayrak, B. İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak hidrojen kullanılması. Mühendis ve Makina Dergisi. 2007, 48(569), 9-15.
- [20] Soruşbay, C., Arslan, E. Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarda yanma performansı. Mühendis ve Makina Dergisi. 1988, 29(339), 23-28.
- [21] Glasson, N., Lumsden, G., Dingli, R., Watson, H. Development of the HAJI system for a multi-cylinder spark ignition engine. SAE Transactions. 1996,105(3), 1463-1469.
- [22] Haşimoğlu, C., Ciniviz, M., Uçar, G. Günümüzde içten yanmalı motorlarda hidrojen yakıtının kullanılması. Selçuk-Teknik Online Dergisi. 2016, 1(12000), 1-9.
- [23] Batmaz, İ. Buji ateşlemeli motorlarda yakıtta hidrojen ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi. 2007, 22(1), 137-147.
- [24] Akbıyık, T. Hidrojen Yakıtı Kullanılan Bir Dizel Motorun Emisyonlarının Bulanık Uzman Sistem ile Modellenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Konya, 2008, 93 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [25] Momirlan, M., Veziroğlu, T. Recent directions of world hydrogen production. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 1999, 3(2-3), 219-231.
- [26] Bohacik, T., De Maria, S., Trowbridge, C., Saman, W. Combustion characteristics of electrolytically produced hydrogen-oxygen mixtures. SAE transactions. 1997, 106(4), 727-736.
- [27] Ahluwalia, R. K., Wang, X. Direct hydrogen fuel cell systems for hybrid vehicles. Journal of Power Sources. 2005, 139(1-2), 152-164.
- [28] Pischinger, S., Schönfelder, C., Ogrzewalla, J. Analysis of dynamic requirements for fuel cell systems for vehicle applications. Journal of Power Sources. 2006,154(2), 420-427.
- [29] Kim, S., Shimpalee, S., Van Zee, J. W. The effect of stoichiometry on dynamic behavior of a proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) during load change. Journal of Power Sources. 2004, 135(1-2), 110-121.
- [30] Hayashi, A., Kosugi, T., Yoshida, H. Evaluation of polymer electrolyte fuel cell application technology R&Ds by GERT analysis. International Journal of Hydrogen Energy. 2005, 30(9), 931-941.
- [31] Kulaksız, A.A., Akaya, R. Yakıt Pili Sistemlerinde Güç Elektronik Uygulamaları. II.Ulusal Ege Enerji Sempozyumu, 26-27-28 Mayıs, 2004, Kütahya.
- [32] Soylu, Ş., Karabektaş, M., Ermiş, K. Otomobiller İçin Alternatif Enerji Kaynaklarının İncelenmesi. II.Ulusal Ege Enerji Sempozyumu, 26-27-28 Mayıs, 2004, Kütahya.
- [33] Telli, A. Y. Şebeke Bağlantılı Ve Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Sistemleriyle Enerji Üretiminin Ekonomik Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul, 2010, 125 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [34] Acaroğlu, M. Alternatif Enerji Kaynakları. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2003, 343 s.
- [35] Nigam, P. S., Singh, A. Production of liquid biofuels from renewable resources. Progress in Energy and Combustion Science. 2011, 37(1), 52-68.

- [36] Alkaya, E., Lif pamuk üretimi yan ürünlerinin/artıklarının katma değerli ürünlere dönüştürülmesi: mevcut uygulamalar ve teknolojik gelişmeler. 2. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, 18-20 Ekim, 2010, Mersin.
- [37] Demirbaş A. Green Energy and Technology Biofuels. Springer Verlag, London, 2009, 336 s.
- [38] Kumar, S., Cho, J. H., Park, J., Moon, I. Advances in diesel–alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013, 22(1), 46-72.
- [39] Agarwal, A. K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science. 2007, 33(3), 233-271.
- [40] Jin, C., Yao, M., Liu, H., Chia-fon, F. L., Ji, J. Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011, 15(8), 4080-4106.
- [41] Jang, Y. S., Malaviya, A., Cho, C., Lee, J., Lee, S. Y. Butanol production from renewable biomass by clostridia. Bioresource Technology. 2012, 123(1), 653-663.
- [42] Ni, Y., Sun, Z. Recent progress on industrial fermentative production of acetone–butanol–ethanol by *Clostridium acetobutylicum* in China. Applied Microbiology and Biotechnology. 2009, 83(3), 415-423.
- [43] Atmanlı, A. Dizel Motorunda Dizel Yakıtı - Alkol - Bitkisel Yağ Karışımları Kullanımının Motor Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, 2013, 219 s. (Doktora Tezi).
- [44] Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E. G., Dimaratos, A. M., Kyritsis, D. C. Effects of butanol-diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine. Energy Conversion and Management. 2010, 51(10), 1989-1997.
- [45] Green, E. M. Fermentative production of butanol-the industrial perspective. Current Opinion in Biotechnology. 2011, 22(3), 337-343.
- [46] Qureshi, N., Ezeji, T. C. Butanol, 'a superior biofuel' production from agricultural residues (renewable biomass): recent progress in technology. Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy. 2008, 2(4), 319-330.
- [47] Altner, U. Doğrudan Metanollü Yakıt Pili İçin Çift Kutuplu Plaka Geliştirilmesi ve Performans İncelenmesi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde, 2006, 84 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [48] Clemmens, W.B., Martin, J.C. Methanol decomposition through rich oxidation in a self ignited catalytic reactor. Society of Automotive Engineers. 1990, DOI:10.4271/900582.
- [49] Balat, M., Balat, H., Öz, C. Progress in bioethanol processing. Progress in Energy and Combustion Science. 2008, 34(5), 551-573.
- [50] Sheehan, J., Himmel, M. Enzymes, energy, and the environment: a strategic perspective on the US Department of Energy's research and development activities for bioethanol. Biotechnology Progress. 2009, 15(5), 817-827.
- [51] Wyman, C. E. Biomass ethanol: technical progress, opportunities, and commercial challenges. Annual Review of Energy and the Environment. 1999, 24(1), 189-226.
- [52] Dias, M. O., Cavalett, O., Maciel Filho, R., Bonomi, A. Integrated first and second generation ethanol production from sugarcane. Chemical Engineering Transactions. 2014, DOI:10.3303/CET1437075.

- [53] Meher, L. C., Sagar, D. V., Naik, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2006, 10(3), 248-268.
- [54] İşcan, N. E. Süperkritik Ortamda Biyodizel Üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2006, 99 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [55] Sharma, Y. C., Singh, B., Upadhyay, S. N. Advancements in development and characterization of biodiesel: a review. *Fuel*. 2008, 87(12), 2355-2373.
- [56] Aras, S. Yağ Asidi Metil Esteri (YAME) Kullanımının Dizel Motor Yakıt Sistemi Malzemelerine Etkisinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Teknik Eğitim Bölümü, Konya, 2008, 88 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [57] Cetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y., Karaosmanoğlu, F. Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel. *Energy Conversion and Management*. 2005, 46(7-8), 1279-1291.
- [58] Nouredini, H., Gao, X., Philkana, R. S. Immobilized *Pseudomonas cepacia* lipase for biodiesel fuel production from soybean oil. *Bioresource technology*. 2005, 96(7), 769-777.
- [59] Kafadar, A. B. Yağlardan Biyodizel Elde Edilmesine Etki Eden Faktörlerin Araştırılması. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Diyarbakır, 2010, 96 s. (Doktora Tezi).
- [60] Karaosmanoğlu, F. Vegetable oil fuels a review. *Energy Sources*. 1999, 21 (3), 221-231.
- [61] Alçelik, N. Atık Yağlardan Üretilen Biyodizelin Tek Silindirli Bir Dizel Motorun Performans, Egzoz Emisyonları ve Titreşimine Olan Etkilerinin İncelenmesi. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, 2017, 96 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [62] Şahin, A. Hardal Yağından Elde Edilen Biyodizelin Motor Performansına Etkileri ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, 2014, 82 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [63] Aydoğan, B. Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NOx Emisyonlarının ve NOx Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 2008, 81 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [64] Graboski, M. S., McCormick, R. L. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*. 1998, 24(2), 125-164.
- [65] Güven Ö. Türkiye Koşullarında Üretilen Biyodizelin Bazı Özelliklerinin Standartlara Uygunluğunun ve Yakıt Püskürtme Miktarı Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Tekirdağ, 2010, 57 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [66] Mata, T. M., Martins, A. A., Caetano, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010, 14(1), 217-232.
- [67] Ögüt, H., Oğuz, H., Bacak, S., Aydın, F., Uygun, S., Arslan, Y., Subaşı, İ. Pelemin Biyodizelinin Teknik Özelliklerinin İncelenmesi. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, 28-29 Mayıs, 2014, Samsun.
- [68] Güler, K. Biyodizel Teknolojisi, Sistem Tasarımı ve Deneysel Olarak Biyodizel Üretimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, 2008, 69 s. (Yüksek Lisans Tezi).

- [69] Alibaş,K., Ulusoy, Y. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanım Olanakları. Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi, 5-7 Eylül, 1995, Bursa (Bildiriler Kitabı 147-156).
- [70] Ögüt, H., Oğuz, H. Üçüncü Milenyumun Yakıtı Biyodizel. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2006, 745 s.
- [71] Yaşar, F. Yosun Yağından Biyodizel Üretimi ve Bir Dizel Motorunda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması. Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman, 2016, 149 s. (Doktora Tezi).
- [72] Öztürk, Ö. Dizel Motorlarında Karışimsız Olarak Kullanılan Biyodizellerin Motor Performansına Olan Etkilerinin Araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2007, 119 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [73] Mutlu, L., Yavuz, H., Bayrakçeken, H. Biyodizel Yakıtların Performanslarının Karşılaştırılması. 9. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 8 Haziran-7 Eylül, 2006, Kırıkkale.
- [74] Altun, S., Oner, C., Yasar, F., Adin, H. Effect of n-butanol blending with a blend of diesel and biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2011, 50(15), 9425-9430.
- [75] Nişancı, S. Biyodizel Yakıt Karışımlarının Performans ve Emisyon Üzerine Etkilerinin Deneysel Araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2007, 74 s. (Yüksek lisans tezi).
- [76] Türkay, S. Biyodizel Üretim Teknolojileri. Türkiye’de Biyodizel Üretimindeki Mevcut Durum Sorunlar ve Öneriler Çalıştayı, 2 Aralık, 2005, Ankara.
- [77] Koç, M. Biyodizel Üretimine Uygun Türkiye’de Yetişen ve Yetiştirebilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2011, 247 s. (Doktora Tezi).
- [78] Artukoğlu, B.D. Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2006, 94 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [79] Karaosmanoğlu, F. Türkiye Biyoyakıt Potansiyeli ve Son Gelişmeler. Türkiye 10. Enerji Kongresi, 27-30 Kasım, 2006, İstanbul.
- [80] Hama, S., Yamaji, H., Fukumizu, T., Numata, T., Tamalampudi, S., Kondo, A., Fukuda, H. Biodiesel-fuel production in a packed-bed reactor using lipase-producing *Rhizopus oryzae* cells immobilized within biomass support particles. Biochemical Engineering Journal. 2007, 34(3), 273-278.
- [81] Bulut, C. Atık Bitkisel Yağ Metil Esteri Kullanılan Dizel Motorunda Aşırı Doldurma Uygulamasının Motor Prerformansına Etkisinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 2008, 88 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [82] Erel, F. P. Biyodizel Üretiminde Ters Lojistik Uygulamaları. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Tekirdağ, 2014, 116 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [83] Hatunoğlu, E. E. Biyoyakıt politikalarının tarım sektörüne etkileri. DPT Dergisi. 2010, 50(2814), 110-115.
- [84] Sabancı, A., Ören, M. N., Yaşar, B., Öztürk, H. H., Atal, M. Türkiye’de Biyodizel ve Biyoetanol Üretiminin Tarım Sektörü Açısından Değerlendirilmesi. Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15 Ocak, 2010, Ankara.

- [85] Sabancı A., Atal, M., Yaşar, A. Türkiye'de biyodizel kullanım olanakları. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi. 2006, 2(1), 33-39.
- [86] Şahin, T. Ş., Sural, T. Biyodizel yan ürünlerinin hayvan beslemede kullanımı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2020, 3(2), 128-134.
- [87] Çetiner, B. S. Dizel Motorlarda Silindir İçi Yanma Modeli. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2018, 67 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [88] Baumgarten, C. Mixture formation in internal combustion engines. Ed: Dieter Mewes. Springer Science & Business Media, Hannover, 2006, 294 s.
- [89] Yılmaz, H. Dizel Motorlarda Püskürtme Stratejisinin Performans ve Emisyonlara Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2019, 83 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [90] Uzun, G. Yağ Asidi Katkılı Kolza Yağından Biyodizel Üretimi ve Üretilen Biyodizellerin Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2018, 74 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [91] Cesur, İ., Ayhan, V., Parlak A. Bir Dizel Motorunda Tavuk Yağı Metil Esteri Kullanılmasının Performans ve Emisyonlara Etkisi. 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 9-10 Ekim, 2008, Sakarya.
- [92] Sarıdemir, S., Albayrak, S. Kanola yağı metil ester ve karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına olan etkileri. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi. 2015, 4(1), 35-46.
- [93] Özer, S., Vural, E., Özdalyan, B. Dizel motorlarında kanola yağı metil esterli-dizel yakıtı karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri. Electronic Journal of Vehicle Technologies (EJVT). 2011, 3(1), 9-18.
- [94] İmal, M., Kaya, A., Sincar, O. Zeytinyağı biyodizelinin motor performansı ve egzoz emisyonu üzerindeki etkilerinin belirlenmesi. Tarım ve Doğa Dergisi. 2017, 20(3), 283-291.
- [95] French, C. C. J. Ceramics in reciprocating internal combustion engines. SAE transactions. 1984, 93(5), 105-118.
- [96] Thring, R. H. Low heat rejection engines. SAE transactions, 1986, 95(2), 377-383.
- [97] Aydın, H. Pamuk Yağı Biyodizelinin Bir Dizel Motorunda Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Diyarbakır, 2007, 73 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [98] Azi, H. Bir Dizel Motorda Hint Yağı Biyodizeli ve Dietil Eter Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması. Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman, 2017, 95 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [99] Ergeneman, M., Sorousbay, C., Goktan, A. G. Exhaust emission and fuel consumption of cng diesel fueled city buses calculated using a sample driving cycle. Energy Sources. 1999, 21(3), 257-268.
- [100] Balcı, A. B. Biyoetanol ile Menengiç Biyodizelinin Motorinle Karışımlarının dizel Motorda Performans, Egzoz Emisyonları ve Yağlama Yağına Etkilerinin İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2017, 150 s. (Doktora Tezi).
- [101] Behçet, R., Çakmak, A. V., Aydın, S., İlkılıç, C., Aydın, H. Atık Kızartma Yağı Metil Esterinin Bir Dizel Motorunda Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına

Etkisinin Araştırılması. 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 16-18 Mayıs, 2011, Elazığ.

[102] Altun, Ş. Dizel motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde biyodizel yakıtların etkisi. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED). 2010, 2(1), 9-19.

[103] Reşitoğlu, İ. A. Atık Yağlardan Üretilmiş Biyodizelin Dizel Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Mersin, 2010, 100 s. (Yüksek Lisans Tezi).

[104] Özdemir, M. Bir Dizel Motorda Biyodizel ve Etanol Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 2011, 139 s. (Yüksek Lisans Tezi).

[105] Haşımoğlu, C. Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 2005, 139 s. (Doktora Tezi).

[106] Dorado, M. P., Ballesteros, E., Arnal, J. M., Gomez, J., Lopez, F. Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. Fuel. 2003, 82(11), 1311-1315.

[107] Cheenkachorn, K., Fungtammasan, B. Biodiesel as an additive for diesel. International Journal of Green Energy. 2009, 6(1), 57-72.

[108] Shahir, S. A., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Imran, A., Ashraful, A. M. Performance and emission assessment of diesel–biodiesel–ethanol/bioethanol blend as a fuel in diesel engines: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015, 48(1), 62-78.

[109] Kowalewicz, A. Eco-diesel engine fuelled with rapeseed oil methyl ester and ethanol. Journal of Automobile Engineering. 2006, 220(9), 1275-1282.

[110] Örnek, S. S. Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 2007, 67 s. (Yüksek Lisans Tezi).

[111] Akay, F. Atık Zeytinyağından Elde Edilen Biyodizelin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, 2017, 73 s. (Yüksek Lisans Tezi).

[112] Aydın, F. E-B Motorin Yakıtlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Kullanımının Motor Performansına, Emisyonlara ve Yağlama Yağına Etkileri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Konya, 2014, 114 s. (Doktora Tezi).

[113] Çanakçı, M., Şanlı, H. An assessment about the reasons of NO_x rise in biodiesel's exhaust emissions. Journal of Naval Sciences and Engineering. 2005, 3(1), 124-132.

[114] Özsezen, A. N., Çanakçı, M. Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences. 2009, 15(2), 173-180.

[115] Canakci, M. NO_x emissions of biodiesel as an alternative diesel fuel. International journal of vehicle design. 2009, 50(1-4), 213-228.

[116] Uyumaz, A., Boz, F., Yılmaz, E., Solmaz, H., Polat, S. Taşıt egzoz emisyonlarını ezaltma yöntemlerindeki gelişmeler. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2017, 8(1), 15-24.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burak ESENLIOĞULLARI

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1992

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : burakesenli35@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : İzmir Selma Yiğitalp Anadolu Lisesi, 2010

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
2016

Mesleki Deneyim

Petek Plastik Kaplama San. ve Tic. Ltd. Şti. 2017-Halen