



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



**KETENCİK BİYODİZELİNİN VE
EURODİSEL KARIŞIMLARININ TAŞIT
PERFORMANSINA VE EMİSYONLARINA
ETKİSİ**

Muhammed Mahmut YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Muhammed Mahmut YILDIZ

Tarih: 28.01.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KETENCİK BİYODİZELİNİN VE EURODİSEL KARIŞIMLARININ TAŞIT PERFORMANSINA VE EMİSYONLARINA ETKİSİ

Muhammed Mahmut YILDIZ

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Abdullah Engin ÖZÇELİK

2021,65 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN
Doç.Dr. Abdullah Engin ÖZÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN**

Enerji elde etmek için kullandığımız fosil yakıtlarının azalması ve fosil yakıtının kullanılması sonucu oluşan hava kirliliğinin artması bilim insanlarını alternatif yakıt aramaya sevk etmiştir. Alternatif enerji kaynaklarından bir tanesi biyodizellerdir. Ülkemiz tarıma elverişli olduğu için biyodizel üretmek hem ekonomik açıdan hem bağımsızlık açısından önemlidir.

Eurodiesel motor egzoz emisyonlarının kentsel hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerine ilişkin endişeler, birçok büyük küresel şehrin potansiyel olarak Eurodiesel araçları yasaklaması beklentisiyle, giderek daha katı emisyon mevzuatı ile sonuçlanmıştır. Azot oksit (NO_x) ve hidrokarbon (HC) emisyonları erken ölüm oranındaki artışlarla bağlantılıdır ve her iki kirleticinin modifiye edilmiş yanma stratejileri aracılığıyla eşzamanlı kontrolü önemli bir zorluk teşkil etmiştir.

Bu çalışmada ketencik tohumlarından elde edilmiş olan yağı transesterifikasyon yöntemi ile ketencik yağı biyodizele dönüştürülmüştür. Elde edilen ketencik biyodizeli ile belirli oranlarda Eurodiesel karışımları yapılmıştır. Bu karışımların hacimsel olarak Eurodiesel oranları %93, %80, %50 ve %0 (B7, B20, B50 ve B100) olacak şekilde hazırlanmıştır. Biyodizel-Eurodiesel karışımları, dört zamanlı, dört silindirli, Common-Rail yakıt sistemli turbo-Eurodiesel bir motora sahip araç, şasi dinamometresi kullanılarak taşıt performansı ve egzoz emisyon değerlerine etkileri incelenmiştir. Deney sonuçlarına baktığımız zaman maksimum motor gücü ise 160 km/h'de 101,4 kW ile B7 yakıtında elde edilmiştir. En yüksek moment değeri 80 km/h 277 Nm ile B7 yakıtında elde edilmiştir. En düşük özgül yakıt tüketim değerlerine baktığımız zaman 120 km/h 57,63 ile Eurodiesel yakıtında ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Emisyon, Ketencik biyodizeli, Motor performansı, Şasi dinamometresi

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

EFFECT OF CAMELINA BIODIESEL AND EURODIESEL MIXTURES ON VEHICLE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Muhammed Mahmut YILDIZ

Selcuk University

Graduate School of

Department of Automotive Engineering

Advisor: Associate Prof. Dr. Abdullah Engin ÖZÇELİK

2021,65 Pages

Jüri

Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN

Assoc. Prof. Dr. A. Engin ÖZÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

The decrease in fossil fuels we use to obtain energy and the increase in air pollution caused by the use of fossil fuels have made scientists look for alternative fuels. One of the alternative sources of energy is biofuels. Since our country is suitable for agriculture, biofuel production is important both economically and in terms of independence.

Concerns about the adverse effects of Eurodiesel engine exhaust emissions on urban air quality have resulted in increasingly stringent emissions legislation, with the expectation that many major global cities could potentially ban Eurodiesel vehicles. Nitrous oxide (NO_x) and hydrocarbon (HC) emissions are linked to increases in premature mortality, and simultaneous control of both pollutants through modified combustion strategies posed a significant challenge.

The oil obtained from this kind of camelina seeds was transformed into biodiesel by the transesterification method. Eurodiesel blends were made with the obtained camelina biodiesel in certain proportions. The volumetric Eurodiesel ratios of these mixtures were 93%, 80%, 50% and 0% (B7, B20, B50 and B100). Biodiesel-Eurodiesel blends did not affect the vehicle with a four-way, four-cylinder, Common-Rail fuel system turbo-Eurodiesel engine, vehicle with chassis dynamometer and exhaust emission values. When we look at the experimental results, the maximum engine power was obtained with B7 fuel with 101,4 kW. The highest moment value was obtained with B7 fuel with 80 km/h 277 Nm. When looking at the lowest specific fuel consumption values, it was measured in Eurodiesel fuel with 57,63 at a speed of 120 km/h.

Keywords: Biodiesel, Emission, Camelina biodiesel, Engine performance, Chassis dynamometer

ÖNSÖZ

Ham petrol piyasası arzındaki belirsizlik ve petrol yakıtlarının çevreye zararlı etkileri nedeniyle Eurodiesel motorlarda yakıt olarak değiştirilmemiş bitkisel yağ kullanımına olan ilgi artmıştır. Petrol yakıtları ile karıştırılmış değiştirilmemiş bitkisel yağ daha ucuzdur, üretmek için daha az enerji kullanır ve Eurodiesel veya biyodizele kıyasla daha çevre dostudur. Bu tez çalışmasında, kullanılan taşıt için ketencik yağından üretilmiş biyodizel ve Eurodiesel yakıt karışımları kullanılmıştır. Bu yakıtların motor performansına ve egzoz emisyonu etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bu değerler karşılaştırma yakıtı olarak Eurodiesel ile değerlendirilmiştir.

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 20201022 nolu proje kapsamında yapılmıştır. Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne, tez yazarken ve deneyleri yaparken yardımlarından dolayı danışman hocam Doç. Dr. Abdullah Engin ÖZÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında bana yardımcı olan kıymetli hocalarım Sayın Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU 'na ve Sayın Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca bana gerekli desteği veren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Muhammed Mahmut YILDIZ
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGE.....	x
ŞEKİLLER	xi
SİMGELER	xii
KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Biyodizel.....	3
1.1.1. Biyodizelin Tarihçesi	4
1.1.2. Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları	4
1.1.2.1. Biyodizelin Avantajları.....	4
1.1.2.2. Biyodizelin Dezavantajları	5
1.1.3. Biyodizelin Özellikleri	5
1.1.4. Biyodizelin Yakıtının Fiziksel Özellikleri	6
1.1.4.1. Kinematik Viskozite	6
1.1.4.2. Yoğunluk	6
1.1.4.3. Parlama Noktası.....	6
1.1.4.4. Setan Sayısı.....	7
1.1.4.5. Isıl Değer	7
1.1.4.6. Soğuk Akış Özelliği.....	7
1.1.4.7. Su İçeriği.....	7
1.1.4.8. İyot Sayısı	8
1.1.4.9. Karbon Kalıntısı	8
1.1.4.10. Oksidasyon Kararlılığı	8
1.1.4.11. Yağlayıcılık.....	8
1.1.5. Biyodizel Üretim Yöntemleri.....	9
1.1.5.1. Mikroemülsiyon Yöntemi.....	9
1.1.5.2. Seyreltme Yöntemi	9
1.1.5.3. Süper Kritik Yöntemi	9
1.1.5.4. Piroliz (Isıl kesim) Yöntemi	9
1.1.5.5. Transesterifikasyon Yöntemi.....	10
1.1.6. Transesterifikasyona Etki Eden Parametreler	11
1.1.6.1. Serbest Yağ Asiti ve Nem Etkisi	11
1.1.6.2. Katalizör Türü ve Konsantrasyonunun Etkisi	12
1.1.6.3. Yağ, Alkol Molar Oranı ve Kullanılan Alkolün Çeşidi.....	12
1.1.6.4. Reaksiyon Sıcaklığının ve Süresinin Etkisi.....	12
1.1.6.5. Karıştırma Hızı	13
1.2. Ketencik.....	13

1.3.	Şasi Dinamometresi	16
1.3.1.	Şasi Dinamometresi Çeşitleri	17
1.3.2.	Şasi Dinamometresi Yapısı	18
1.3.3.	Şasi Dinamometresinin Çalışması.....	19
2.	KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	25
3.	MATEYAL VE METOD.....	33
3.1.	Materyal.....	33
3.1.1.	Ketencik Biyodizeli Üretiminde Kullanılan Ekipmanlar	34
3.1.1.1.	Ketencik Yağı	34
3.1.1.2.	Metil Alkol (Metanol)	35
3.1.1.3.	Katalizör	36
3.1.1.4.	Manyetik Karıştırıcı.....	36
3.1.1.5.	Terazi	37
3.1.1.6.	Termometre	37
3.1.1.7.	Kronometre	37
3.1.2.	Yakıt Analizinde Kullanılan Ekipmanlar	37
3.1.2.1.	Kinematik Viskozite Ölçümü	37
3.1.2.2.	Yoğunluk Ölçüm Cihazı	38
3.1.2.3.	Kalorimetre Cihazı	39
3.1.2.4.	Parlama Noktası Tayin Cihazı	39
3.1.3.	Şasi Dinamometre Testinde Kullanılan Ekipmanlar	40
3.1.3.1.	Şasi Dinamometresi	40
3.1.3.2.	Egzoz Gaz Analiz Cihazı.....	42
3.2.	Metot.....	43
3.2.1.	Ketencik Yağından Biyodizel Üretimi	43
3.2.2.	Yakıt Karışımlarının Hazırlanması	44
3.2.3.	Deney Düzeneklerinin Hazırlanması.....	44
3.2.4.	Taşıt Deneylerinin Yapılması.....	45
3.2.4.1.	Motor Gücü Hesabı	46
3.2.4.2.	Motor Momenti Hesabı	47
3.2.4.3.	Özgül Yakıt Tüketimi Hesabı.....	48
3.2.4.4.	Belirsizlik Analizi.....	49
4.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	50
4.1.	Motor Performansı.....	50
4.1.1.	Motor Momenti Değerlerinin Karşılaştırılması.....	50
4.1.2.	Motor Güç Değerlerinin Karşılaştırılması.....	51
4.1.3.	Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Karşılaştırılması	52
4.2.	Emisyon Değerleri Ölçümü	53
4.2.1.	CO Emisyonları Değişimi	53
4.2.2.	CO ₂ Emisyonları Değişimi	54
4.2.3.	O ₂ Emisyonları Değişimi	55
4.2.4.	HC Emisyonları Değişimi	56
4.2.5.	NO _x Emisyonları Değişimi.....	56
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	58

KAYNAKLAR.....	61
-----------------------	-----------



ÇİZELGE

Çizelge 1.1 B100 ketencik biyodizelinin özellikleri	3
Çizelge 1.2 Ham Ketencik yağı ve Eurodiesel yakıtı özelliklerinin karşılaştırılması.....	16
Çizelge 3.1 Deney taşıtının teknik özellikleri	34
Çizelge 3.2 Şasi dinamometresinin teknik özellikleri	42
Çizelge 3.3 Kullanılan egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri	42
Çizelge 3.4 Eurodiesel ve biyodizel karışımlarında Y, PN, KV ve ID değerleri	44
Çizelge 4.1 Eurodiesel ve ketencik biyodizel oranlarına göre belirsizlik analiz sonuçları.....	52



ŞEKİLLER

Şekil 1.1 Biyodizel üretim sıralaması	11
Şekil 1.2 Şasi dinamometresi genel görünümü	16
Şekil 1.3 Şasi dinamometresinin bilgisayar ekranı	21
Şekil 1.4 Şasi dinamometresinin ana menü.....	22
Şekil 1.5 Simülasyon test ekranı	22
Şekil 1.6 Power menüsü	23
Şekil 1.7 Hız ölçme testi	24
Şekil 1.8 Hız ölçme testi takip ekranı	24
Şekil 3.1 Deney düzeneği ve taşıtı	33
Şekil 3.2 Ketencik yağı	35
Şekil 3.3. Ketencik biyodizeli üretiminde kullanılan metil alkol.....	35
Şekil 3.4 Ketencik biyodizeli üretiminde kullanılan katalizör	36
Şekil 3.5 Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı	36
Şekil 3.6. Terazinin görünümü.	37
Şekil 3.7 Kinematik viskozite ölçüm cihazı.....	38
Şekil 3.8. Yoğunluk ölçüm cihazı	38
Şekil 3.9 Kalorimetre cihazı.....	39
Şekil 3.10 Parlama noktası tayin cihazı.....	40
Şekil 3.11 Şasi dinamometresi	40
Şekil 3.12 Şasi dinamometresi kontrol paneli	41
Şekil 3.13 Şasi dinamometresi kontrol paneli güç testi fonksiyonu örneği	41
Şekil 3.14 Egzoz gaz analiz cihazı	42
Şekil 3.15 Testlerde kullanılan yakıtlar.....	44
Şekil 3.16. Deney test düzeneği	45
Şekil 3.17 Rampa aşağıda	46
Şekil 4.1 Taşıt hızına bağlı olarak yakıtların motor moment değişimi	50
Şekil 4.2 Taşıt hızına bağlı olarak yakıtların motor moment değişimi	51
Şekil 4.3 Taşıt hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi	53
Şekil 4.4 Yakıtların CO değişimleri.....	54
Şekil 4.5 Yakıtların CO ₂ değişimleri.....	55
Şekil 4.6 Yakıtların O ₂ değişimleri	55
Şekil 4.7 Yakıtların HC değişimleri	56
Şekil 4.8 Yakıtların NO _x değişimleri	57

SİMGELER

AC	:Alternatif Akım
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
CH ₃ OH	: Metil Alkol
CH ₄	: Metan
DA	:Doğru Akım
H	: Hidrojen
H ₂	:Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
KOH	: Potasyum Hidroksit
K ₂ O	: Potasyum Oksit
N	: Azot
Na	: Sodyum
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NO _x	: Azot Oksit
O ₂	: Oksijen
OH	: Hidroksit
P ₂ O ₅	: Fosfor Pentaoksit
SO ₂	: Kükürtdioksit
THC	:Toplam Hidrokarbonlar
Y	: Yoğunluk (kg/m ³)

KISALTMALAR

2WD	: 2 Tekerlek ile Çekiş
B5	: %5 Biyodizel + %95 Eurodiesel
B7	: %7 Biyodizel + %93 Eurodiesel
B10	: %10 Biyodizel + %90 Eurodiesel
B20	: %20 Biyodizel + %80 Eurodiesel
B25	: %25 Biyodizel + %75 Eurodiesel
B30	: %30 Biyodizel + %70 Eurodiesel
B50	: %50 Biyodizel + %50 Eurodiesel
B75	: %75 Biyodizel + %25 Eurodiesel
B100	: %100 Biyodizel
BSF	: Bulanık Spektral Filtre
CNG	: Sıkıştırılmış Doğalgaz
E0	: %0 Biyoetanol + %100 Benzin
E5	: %5 Biyoetanol + %95 Benzin
E10	: %10 Biyoetanol + %90 Benzin
E15	: %15 Biyoetanol + %85 Benzin
E20	: %20 Biyoetanol + %80 Benzin
E30	: %30 Biyoetanol + %70 Benzin
E40	: %40 Biyoetanol + %60 Benzin
E50	: %50 Biyoetanol + %50 Benzin

E85	: %85 Biyoetanol + %15 Benzin
EGS	:Egzoz Gaz Sıcaklığı
EGD	:Egzoz Gazları Devir daim
EN ISO 3679	: Parlama Noktası Tayini - Hızlı Denge Kapalı Kap Yöntemi
EN ISO 3104	: Kinematik Viskozite Tayini Dinamik Viskozitenin Hesaplanması
EN ISO 12185	:Yoğunluk Tayini - Salınım Yapan u-Tüpü Yöntemi
EN 50082	:Kalori Tayini
GAG	:Geniş Açık Gaz
HSC	:Hint Sürüş Çevrimi
KV	: Kinematik Viskozite (mm ² /sn)
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
NBAA	: Nominal Brüt Araç Ağırlığı
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi
PN	:Parlama Noktası
PM	: Partikül Madde
USAOYD	: Ulusal Stok Araba Otomobil Yarışları Derneği
ÜİD	:Üst Isıl Değer

1. GİRİŞ

Petrol tüketiminde son dönemde yaşanan artışa göre, ana enerji kaynağı olan yakıtın geleceği konusunda birçok endişe artmıştır. Şu ana kadar bu rezervlerin tükenmesine yol açan fosil kaynakların kullanımı ile enerji talepleri karşılanmıştır. Bu rezervlerin tükenmesinin yanı sıra, küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi ve ormansızlaşma gibi olumsuz çevresel etkiler, ekonomik olarak verimli, çevreye zarar vermeyen ve sosyal olarak eşitlikçi olacak alternatif enerjinin acil olarak kullanılması ihtiyacına yol açtı. Akaryakıt talebinin istikrarlı bir şekilde artması nedeniyle, günümüzde artan araç ve insan sayısı nedeniyle bu beklentiler önümüzdeki on yıllara kadar değişmeden kalabilmektedir. Fosil yakıtlara olan talebin önemli ölçüde artması kaynakların tükenmeye başladığı bu nedenle fosil yakıtların fiyatlarının artması beklenmektedir. Sonuç olarak, fosil yakıtların beklenen kıtlığı ve fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan olumsuz çevresel etkiler, yenilenebilir ulaşım biyodizel üzerine araştırmalara yol açmıştır (Hill ve ark., 2006).

Motor performansının iyileştirilmesi, araçların neden olduğu çevre kirliliğini azaltmak ve alternatif yakıtların kullanılması üzerine incelemeler yapılmaktadır. Araştırmada, motorun hedeflenen kullanıma ulaşp ulaşmadığını kontrol etmek için laboratuvar ortamında testler yapılmaktadır. İçten yanmalı motorların test edilmesi, araştırma ve öğretim, ticaret ve çevre kirliliği açısından çok önemlidir. Testin amacına bağlı olarak araç testlerinin türü ve süresi değişiklik göstermektedir. Otomobil üretim şirketleri ve araştırma birimleri, araç geliştirme sürecinde bir dizi bilimsel ve uzun vadeli test gerçekleştirecektir. Bu testler genellikle yeni geliştirilmiş motorlar üzerinde de yapılmaktadır. İmalat aşamasında motor ve araçlar montaj hattından sonunda testleri yapılmaktadır. Üretimin kontrol edilmesi açısından bu testler son derece önemlidir. Yeni geliştirilmiş motor ve araç üzerinde benzer testler yapılarak ve sonuçların tatmin edici değerlere ulaşp ulaşmadığı araştırılmaktadır. Ayrıca yakıt ve motor yağının kalitesini belirlemek için bazı motor testleri yapılmış ve eğitim amaçlı kullanılmaktadır. Test sonuçları, motorun tasarımı ve üretimi için temel oluştururlar, motorun gerekli gücü sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek için deneyler yapılmaktadır. Farklı çalışma koşulları altında motorun gücü ve ekonomisi, motor özellikleri (yani performans eğrileri) aracılığıyla değerlendirilmektedir. Motor ve araç testleri sayesinde, ekonomiklik, güç, emisyon vb. ölçülen değerler ile performans eğrileri karşılaştırılmaktadır.

Birincil enerji kaynaklarının en büyük bölümünü oluşturan fosil yakıtların dengesiz dağılımı, bazı ülkeler avantajsız durumda olduğu için avantajlı olan ülkelere bağımlı hale

gelmesine sebep vermiştir. Enerji talebi arttıkça bu bağımlılık her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle ülkeler artık enerji kaynaklarını değerlendirmenin, yabancı ülkelere bağımlı olmayı azaltmanın ve arz-talep güvenliğini sağlamak amacıyla enerji kaynaklarını çeşitlendirmenin yollarını aramaktadır (Anne, 2009).

Doğa, senelik 150 milyar ton biyokütle üretiyor ve bu biyokütlenin yalnızca %10 kadarı ticari amaçlarla kullanılmaktadır. Dünya bu büyük potansiyeli canlandırmaya çalışıyor ve biyokütle teknolojisi önemli gelişmelerde artış yaşanmaktadır. Biyodizellar, enerji tedarikinin sağlanmasında ve küresel ısınmayla baş etmede hayati bir hale gelirken dünyadaki insanların dikkatinin odağı haline gelmiş ve gelecek nesiller için önlemler artırılmaya başlanmıştır (Anonim, 2020a).

Çevreye duyarlılık, ülkelerin ekonomik ve refah düzeyleriyle doğrudan ilgilidir. Bu nedenle ekonomik olarak gelişmiş ülkelerin egzoz emisyonlarında bulunan zararlı madde miktarı standartlar tarafından belirlenmektedir. Günümüzde LPG enjeksiyon sistemi, benzin enjeksiyon sistemine paralel olarak geliştirilmiştir.

Biyodizel, kanola, ayçiçeği, mısır, pamuk, ketencik vb. yağ bitkilerinden (yağlı tohumlar gibi) elde edilmiş bitkisel yağ veya hayvansal yağlara katalizör eklenerek metanol (kısa zincirli alkol) ile reaksiyonun sonunda oluşmuş olan ve Eurodiesel yerine kullanılan yakıttır. Biyodizel için hammadde olarak atık kızartma yağları ve hayvansal kaynaklı sıvı yağlar da kullanılabilir (Anonim, 2020b).

Biyodizel içerisinde petrol ürünleri bulunmaz, ancak biyodizel olarak veya çeşitli oranlarda Eurodiesel ile karıştırılıp kullanılabilir. Biyodizel, Eurodiesel ile karışımına göre B5: %95 Eurodiesel - %5 biyodizel, B20, B50, B100 olarak isimlendirilmektedir. Bu oranlara baktığımızda, çevreye etkisi, ekonomik etkisi, egzoz emisyonlarını ve yakıt özelliklerini etkilediği için en uygun B20 karışımının ticari değeri olduğu kabul edilebilir (Çengelci ve ark., 2011).

Bu tez çalışması, Eurodiesel yakıt sistemine sahip bir taşıtın Eurodiesel ve ketencik biyodizelinin farklı karışımlarda ve farklı taşıt hızlarında, motor performansları ve egzoz emisyon değerlerini taşıt dinamometresi ile tespit etmek ve bu değerleri Eurodiesel yakıtı ile karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır.

1.1.Biyodizel

Araştırmacılar, Eurodiesel yakıtına alternatif olabilecek yakıtların daha ekonomik, çevre dostu ve ulaşılabilirliğinin kolay olması gibi özelliklerinin yanında da teknik olarak üretilmesinin önünde çok büyük engeller olmaması gerektiğinin belirtmektedir. Bu bağlamda bitkisel yağlar Eurodiesel yakıtlara çok iyi bir alternatif olma noktasında karşımıza çıkmaktadır. Fakat bitkisel yağların saf olarak kullanılması karşımıza yüksek viskozite, zayıf buharlaşma gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar motorlarda enjektörlerin tıkanması gibi istenmeyen mekanik arızalara sebep olmaktadır. Bu problemler, bitkisel yağların transesterifikasyon aracılığı ile kimyasal olarak biyodizel yakıtlara dönüştürülmesi ile ortadan kaldırılabilir. Bitki kaynaklı veya hayvansal kaynaklarından elde edilebilen yağın mono-alkil esterleri şeklinde tanımlanan biyodizel, Eurodiesel yakıtlar ile kıyaslandığında daha yüksek setan sayısı, parlama noktası sıcaklığı, motorda yağ film tabakası oluşturma kabiliyeti ve daha düşük karbon monoksit salınımları gibi çok sayıda avantajlara sahiptirler (Verduzco, 2013).

Ketencik yağı metil esterinin setan sayısı 50,22 olduğu ölçülmüştür ve ASTM biyodizel standardına göre yüksek değere sahiptir. Yüksek bir setan sayısı olan yakıtlar iyi bir yakıt tutuşma kalitesi göstermektedir. Ketencik yağı metil esterinin önemli bir parametresi olan akma noktası değeri -11 °C ile -8 °C arasında olduğu tahmin edilmektedir. Bu özellikte yakıtın soğuk mevsim şartlarına çok uygun olduğunu göstermektedir. Kolza tohumu metil esterini ile ketencik esterinin özgül yakıt tüketimi ve taşıt kullanımları benzerdir (Bilgili ve ark., 2019).

Ketencik biyodizelinin özellikleri ve test metod çeşitleri Çizelge 1.1’ verilmiştir.

Çizelge 1.1 B100 ketencik biyodizelinin özellikleri (Özçelik ve ark., 2015).

Özellikler	Birim	EN 14214:2010	Ketencik biyodizeli	Test metodu
Yoğunluk 15 °C	kg/m ³	860–900	885 -888	EN ISO 12185
Kinematik viskozite (40 °C)	mm ² /s	3,5–5	4,53 – 5,45	EN ISO 3104
Soğuk filtre tıkanma noktası	°C	-	-3	EN 116
Bulutlanma noktası	°C	-	3	ASTM D 2500
Metil ester içeriği	(wt %)	96,5	97,5	EN 14103
Parlama Noktası	°C	101	202	EN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	10	0,59	EN ISO 20846
Karbon artığı	wt.%	0,3	0,019	EN ISO 10370
Su içeriği	mg/kg	500	120	EN ISO 12937
Bakır korozyon testi (3 h, 50 °C)		1	1A	EN ISO 2160
Oksidasyon stabilitesi (110 °C)	h	6	1.3 – 2,2	EN 14112
Asit değeri	mg KOH/g	0,5	0,36	EN 14214
İyot sayısı	g.I ₂ /g	120	154	EN 14111

1.1.1. Biyodizelin Tarihçesi

Eurodiesel motor 1890'larda Alman mühendis Rudolf Eurodiesel tarafından icat edildi. Eurodiesel motorun bir avantajı, bitkisel yağ da dahil olmak üzere birçok kaynaktan elde edilen yakıtlarla çalışabilme kapasitesine sahip olmasıydı. Aslında 1900 Paris Fuarı'nda yer fıstığı yağı ile çalışan bir Eurodiesel motor sergilendi.

Bununla birlikte, Eurodiesel kısa sürede her yerde Eurodiesel kaynağı haline geldi ve yirminci yüzyılın sonuna kadar böyle kaldı. Petrokimyasal yakıtın hazır bulunması, alternatiflere ticari bir ilginin olmadığı anlamına geliyordu. Ancak bilim adamları hala denemeye devam ettiler. Bin dokuz yüz otuzlu yıllarda, bazı araştırmacılar, bitkisel yağlardaki yağ asitlerini de içerdiği gliserinden ayırarak farklı Eurodiesel yakıt yaratmaya çalışıyorlardı.

İkinci Dünya Savaşı sırasında, 1939'dan 1945'e kadar, petrokimyasallara erişmek için mücadele eden bazı ülkeler bitkisel yağlardan Eurodiesel yakıt çıkarmaya başvurdular. Biyodizel endüstrileri Güney Amerika'da Arjantin ve Brezilya'da ve Uzak Doğu'da Japonya, Çin ve Hindistan'da işletildi. Bununla birlikte, savaş sona erdiğinde ve küresel petrokimya ticareti kolaylaştığı zaman biyodizel kullanma girişimleri 1980 yılına gelinceye kadar önemli bir ilerleme kazanmamıştır (Anastasov, 2009).

1.1.2. Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları

1.1.2.1. Biyodizelin Avantajları

- ✓ CO₂ emisyonlarının azaltılması: Biyodizelin yanmasıyla açığa çıkan CO₂, daha önce fotosentezle sabitlenen CO₂'yi dengeler.
- ✓ Fosil yakıt kaynaklarının tükenmesinin azaltılması
- ✓ Fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması
- ✓ Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi
- ✓ Mevcut motorlar için modifikasyon veya ekstra ekipman gerekmez.
- ✓ Tarımsal üretim fazlası için yeni bir pazar (Robles-Medina ve ark., 2009).
- ✓ Daha az zararlı emisyon bulundurmaktadır. Çünkü kükürt içeriği çok düşüktür.
- ✓ Setan sayısının Eurodiesel yakıtı ile kıyaslandığında yüksek olduğu için motor gürültüsü düşüktür ve vuruntu olmaz (Suresh ve ark., 2018).
- ✓ Eurodiesel yakıtı ile aynı depolanma koşullarına sahiptir.

- ✓ Eurodiesel yakıtı ile her miktarda karıştırılabilir veya saf olarak kullanılabilir (Öğüt ve Oğuz, 2006).
- ✓ Biyodizel-Eurodiesel yakıtına kıyasla daha iyi yağlayıcı özelliğine sahip olduğu için motorun dayanıklılığını uzatmaktadır (Altun ve Öner, 2013).
- ✓ Biyodizel kullanıldığı zaman yakıt tüketimi, erken alev alma, güç çıktısı ve motor gücü performansında Eurodiesel yakıtına kıyasla olumsuz bir etki oluşturmaz (Mutlu ve ark., 2006).
- ✓ Biyodizelin taşınması ve depolanması oldukça güvenlidir. Aynı zamanda yüksek alevlenme noktasına (149°C) sahip olmaktadır. Eurodiesel yakıtı için bu değer 125°C dir.
- ✓ Biyodizel yağlı bitki tohumlarından üretiliyor olması ekonomik bakımından katkıda bulunmakta ve işsizliğin azalmasını sağlayıp yeni iş fırsatları sağlamaktadır (Nişancı, 2007).

1.1.2.2. Biyodizelin Dezavantajları

- ✓ Uçuculuğu Eurodiesel yakıtına oranla daha düşüktür (Öztürk, 2007).
- ✓ Akma ve bulutlanma noktalarının daha yüksek olması nedeniyle soğuk hava şartlarından Eurodiesel yakıtına göre daha kısa sürede etkilenmektedir. Bundan dolayı, soğuk iklim yerlerinde biyodizelin kullanımı sınırlandırıcı bir faktör görülmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006).
- ✓ Çift bağ ve doymamış yağ oranında olduğundan dolayı iyot sayısı Eurodiesel yakıtına kıyasla daha yüksektir (Koç, 2011).
- ✓ Daha düşük ısı değerine sahip olduğundan Eurodiesel yakıtına göre yakıt tüketimi daha fazladır (Mazivila, 2018).
- ✓ Motor elemanları; piston başı, segman, segman yuvası, silindir başı, supaplar, supap kılavuzları ve enjektör memesi vb. elemanlarda karbon birikmesine sebep olmaktadır (Aydın ve ark., 2015).
- ✓ Eurodiesel yakıtına göre daha yüksek viskoziteye sahiptir (Seraç, 2018).
- ✓ Biyodizel yakıt dağıtım sistemi alt yapısının daha fazla geliştirilmesi gerekliliği bulunmaktadır (Türkay, 2005).

1.1.3. Biyodizelin Özellikleri

Biyodizel, yağlı tohum bitkilerinden elde edildiğinden, fotosentez olayı ile CO₂'e dönüştürdüğü ve karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırmaz. Kullandığımız biyodizelden atmosfere salınan karbondioksit bir yıl içerisinde bitkiler tarafından geri

kazanılacaktır. Biyodizel üretiminin CO₂ emisyonlarını yakalayabilen ve küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin azaltılmasına önemli katkı sağladığı söylenebilir. Fosil yakıtların geri dönüşü olmayan CO₂ emisyonlarının artması sonucu sera etkisinin neden olduğu küresel ısınma, dünyadaki en önemli çevre sorunlarından biridir.

Biyodizel yirmi sekiz gün suda bekletildiğinde %95 çözülme görülmüş ancak Eurodieselde %40'a düşmüştür. Bu sebepten dolayı, deniz, göl, nehir ve su içeren yerlerde kullanılan nakliye araçlarında ve gemilerde yakıt olarak sadece biyodizel kullanılmalıdır (Ölçüm, 2006).

Biyodizelin kalorifik değeri, Eurodieseline çok yakındır ve biyodizeldeki setan sayısı Eurodieselde göre daha fazladır. Biyodizel kullanılarak, motor daha az vuruş yaparken, Eurodieselde yakıtının değerlerine benzer özgül yakıt tüketimi, güç ve tork değerleri elde edilebilir. Biyodizel motorlar, güç birikintilerini azaltabilir ve Eurodieselde göre daha iyi yağlama performansına sahip olabilir (Demirbas, 2005).

1.1.4. Biyodizelin Yakıtının Fiziksel Özellikleri

1.1.4.1. Kinematik Viskozite

Viskozite, sıvının akış direnci olarak tanımlanır. Eurodiesel motorların yakıt besleme ve enjeksiyon sisteminde önemli bir değere sahiptir. Biyodizelin özelliklerini belirler. Yüksek viskozite, zayıf yakıt atomizasyonuna, zayıf yanmaya, enjektörlerde tıkanıklığa sebep olmasına, segmanlarda aşırı karbon kalıntısı birikmesine ve yağlama yağında bozulmalar görülür. Biyodizelin yüksek viskoziteli olması istenmeyen bir durumdur çünkü hidrokarbonun zincir uzunluğu ile viskoziteyi beraberinde artırır ve çift bağ sayısı arttıkça viskozite düşer. Bu nedenle, transesterifikasyon yöntemi viskoziteyi azaltmak için kullanılır (Nişancı, 2007).

1.1.4.2. Yoğunluk

Bitkisel yağın yoğunluğu genellikle yağın cinsine göre değişir. Ancak genellikle 15 °C'de 880-920 kg/m³ arasındadır. Yoğunluk, yakıt tüketimini ve yanma sıcaklığını etkiler. Hidrokarbon zincirinin uzaması ile yoğunluk azalmakta, çift bağ sayısının artması ile yoğunluk artmaktadır (Van Gerpen ve ark., 2004).

1.1.4.3. Parlama Noktası

Yakıtın hava ile temas ettiği ve alev aldığı en düşük sıcaklık ile adlandırılır. Parlama noktası, yakıtın güvenliği ve depolanabilmesi ile ilgilidir. Eurodiesel'in parlama noktası 55 °C

iken biyodizelin parlama noktası 160-250 °C'dir. Bu özelliklere sahip olduğu için biyodizel güvenilir bir yakıttır (Safgönül ve ark., 2013).

1.1.4.4. Setan Sayısı

Bu parametre yakıtın yanıcılığını gösterir. Yakıtın kolay tutuşuyor ise setan sayısı yüksektir. Setan sayısı Eurodiesel motorlarda vuruntu dediğimiz olaya engel olur. Biyodizelin setan sayısı genellikle ham maddeye göre değişiklik göstermektedir. Yüksek doymuş ester içeriğine sahip yağlar yüksek setan sayısı gösterirler. Setan sayısının aşırı yüksek olması tutuşma gecikmesinin azalmasına sebep olur (Arslan, 2015).

1.1.4.5. Isıl Değer

Yakıtın enerjisini ifade etmek için genellikle alt ısı değerleri, üst ısı değerleri veya kalorifik değeri gibi ifadeler kullanılır. Üst ve alt ısı değer arasındaki fark, yanma ile üretilen H₂O'nun buharlaşması için gereken enerji miktarını temsil eder. Amaca göre üretilen yakıt, farklı rafine işlemlerinden geçtiği için farklı düşük kalorilere sahiptir. Örneğin, kükürtsüz yakıtın enerji içeriği, düşük kükürtlü yakıttan biraz daha yüksektir. Bu durum kükürt gidermenin sonucudur. Yakıttaki kükürdün oksidasyonu için gereken enerjiyi azaltır. Ek olarak, yüksek ısı değerli yakıtlar, düşük ısı değerli yakıtlara göre daha iyi özgül yakıt tüketimine sahiptir (Li ve ark., 2005).

1.1.4.6. Soğuk Akış Özelliği

Bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası ve akma noktası, soğuk hava koşullarında yakıtın en gerekli akış özellikleridir. Akma noktası, yakıtın belirtilen standart koşullar altında soğutulduğunda akışkanlığını koruduğu en düşük sıcaklıktır. Biyodizel, Eurodiesel yakıtı göre daha yüksek akma noktasına sahiptir. Soğuk hava şartlarında yakıt kullanımında sorunlara neden olur. Bulutlanma noktası, ilk wax kristal bulutunun görüldüğü sıcaklık olarak bilinir. Düşük soğuk akış performansına sahip yakıt kullanılması, motorun yakıt besleme elemanlarına zarar verebilir ve motorun ilk çalıştırma aşamasında sorunlara neden olabilir (Arslan, 2015).

1.1.4.7. Su İçeriği

Bitkisel yağlar esasta su barındırmazlar, ancak biyodizelin üretimi esnasında (su ile yıkama) karışabilmektedir. Bu durum, motorun içerisinde aşınmasına ve yıpranmasına neden olacaktır. Aşınma nedeniyle kopmuş olan parçacıklar yakıtla karışarak enjektörlerin ve filtre tıkanıklığına neden olur (Van Gerpen ve ark., 2004).

1.1.4.8. İyot Sayısı

Biyodizeldeki çift bağların sayısı doymamışlık miktarını gösterir. İyot değeri veya iyot sayısı, gibi ifadeler oksidasyon kararlılığını karşılaştırmak için biyodizel kalite standardına dâhil edilmiştir. Yüksek iyot içeriğine sahip biyodizel, hava ile temas ettiğinde kolayca oksitlenir. İyotun değeri, biyodizel üretiminde kullanılan hammaddelerin niteliğine ve esterin bileşimine bağlıdır (Obisesan ve ark., 2017).

1.1.4.9. Karbon Kalıntısı

Yakıtın yetersiz hava ile yüksek bir sıcaklığa ısıtılmasıyla üretilen karbon yüzdesidir. Yanma odasındaki karbonlu tortu miktarının bir ölçüsüdür. Motorun yanma odasındaki kirliliklerin ve birikintilerin varlığını gösterir ve ayrıca transesterifikasyon reaksiyonundaki gliseritlerin, serbest yağ asitlerinin, sabun ve katalizör kalıntılarının bir göstergesidir. Karbon kalıntısı, biyodizelin kalitesini etkileyen önemli bir parametredir (Hotti ve Hebbal, 2015).

1.1.4.10. Oksidasyon Kararlılığı

Oksidasyon, kimyasal olarak tanımlanacak olunursa, elektronların bir atom ya da molekülden ayrılmasını sağlayan bir kimyasal tepkimedir. Biyodizel içinde bulunan bazı yağ asidi metil esterlerin hava ile reaksiyona girmesi işlemine oksidasyon adı verilmektedir. Bu oksidasyon işlemi, sonuçta biyodizel yakıtın kalitesini etkilemektedir. Biyodizel yakıtın içindeki yağ asidi metil esterlerinin kompozisyonunu oksidasyon işleminin nasıl etkilediğini bilmek önemlidir. Bu tür bir bilgiyi elde etmek biyodizeli oksidasyona karşı stabilize etmek için olan metotları etkileyecektir. Dolayısı ile alternatif dizel yakıt olarak önemi her geçen gün artan biyodizel konusunun en önemli teknik tartışma sorunlarından birisi de biyodizelin doymamış yağlı asit içeriğinden dolayı hava ile maruz kalma durumundaki yakıt stabilizesidir (Özçelik ve ark., 2016).

1.1.4.11. Yağlayıcılık

İyi yağlama sayesinde, motorun hareketli bileşenlerinde (enjektörler, yakıt pompaları ve piston segmanı parçaları vb.) Sürtünme ve aşınma sorunları minimum seviyesine düşürülmüş olur. Günümüzde dizelin kükürt içeriği azaltılarak yağlama özelliği zayıflatılmıştır. Bu durumda Eurodieselin yağlayıcılığını artırmak için katkı maddeleri tercih edilir. Katkı maddelerinin miktarı, yakıt besleme elemanında birikmeyi önlemek için önemlidir (Arslan, 2015).

1.1.5. Biyodizel Üretim Yöntemleri

1.1.5.1. Mikroemülsiyon Yöntemi

Bu, yağın mikroemülsifikasyonu yoluyla metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerin viskozitesini düşürme işlemidir. Mikroemülsiyon, 1 ile 150 nm arasında bir boyuta sahip, optik olarak izotropik sıvı mikro yapıların koloidal denge dağılımıdır ve genel olarak karışmamış olan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir kombinasyonundan oluşur. Bu şekilde hiç yağa dayanmayan alternatif Eurodiesel yakıt üretmek mümkündür. Bu yöntemin dezavantajı, düşük setan sayısına sahip alkollerin, yakıtın setan sayısını düşürmesi ve düşük sıcaklıklarda ayrışma eğiliminde olmasıdır (Srivastava ve Prasad, 2000).

1.1.5.2.Seyreltme Yöntemi

Seyreltme yöntemi, bitkisel yağ ile Eurodiesel yakıtı belirli oranda karıştırarak bitkisel yağın viskozitesini düşürme işlemidir. Seyreltme yönteminde en çok tercih edilen bitkisel yağlar kolza tohumu yağı, yer fıstığı yağı, ayçiçek yağı, soya fasulyesi yağı ve ketencik yağıdır. Pratikte B20, B30 ve B40 olarak adlandırılan yakıtlar sırasıyla %20, %30 ve %40 bitkisel yağ içerir. Bu yöntemle elde edilen yakıtın maliyeti Eurodiesel yakıttan daha düşüktür. Ancak bu yöntem direkt enjeksiyonlu Eurodiesel motorlarda uzun süreli kullanım için tercih edilmemektedir. Çünkü enjektör memesinin viskozitesinin artmasına ve motor yağı birikmesine neden olmaktadır (Aksoy, 2010).

1.1.5.3. Süper Kritik Yöntemi

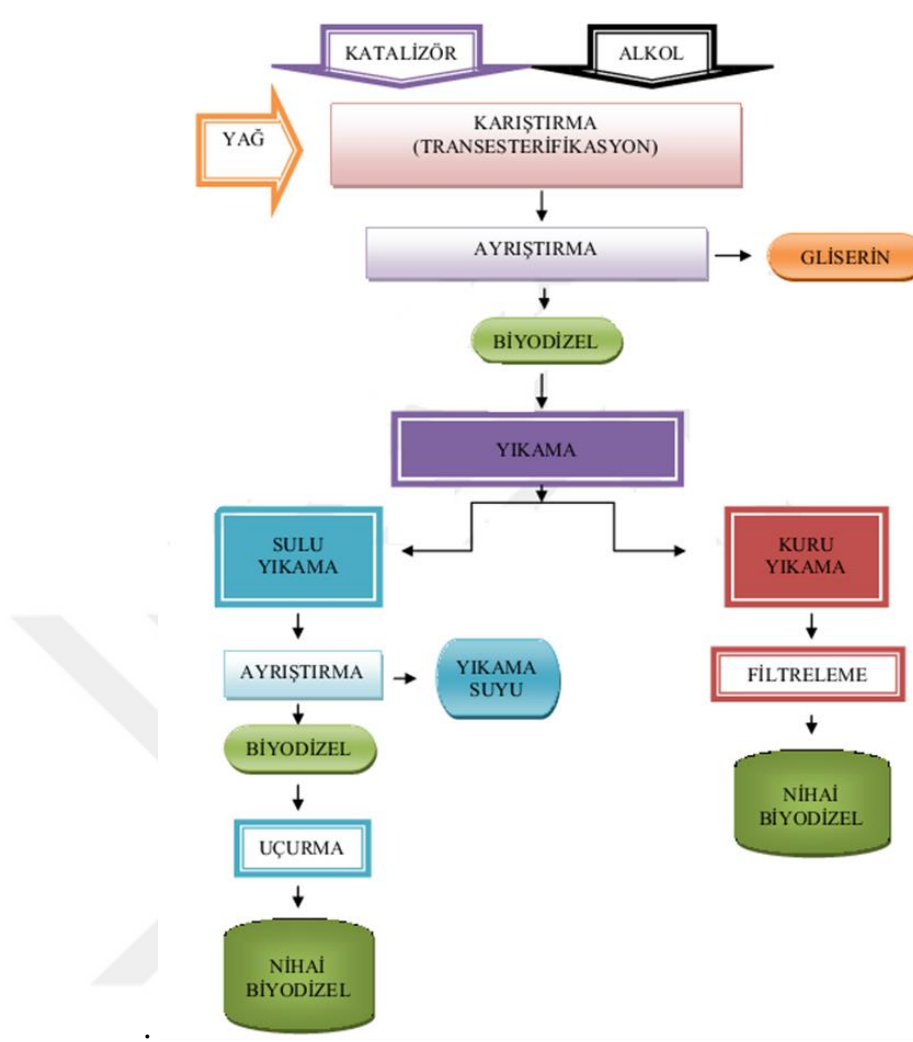
Süper Kritik Yönteminde uygulanan işlemler, transesterifikasyon yönteminde kullanılan katalizör bu yöntemde kullanılmaz ve 350 - 400 °C gibi sıcaklığa, 4 dakika sürede tamamlanmaktadır (Fedai, 2006, Özçelik, 2011).

1.1.5.4.Piroliz (Isıl kesim) Yöntemi

Piroliz, havanın veya oksijenin yokluğunda bir maddenin ısıtarak veya bir katalizör yardımı ile başka bir maddeye dönüştürülmesi olarak adlandırılır. Bitkisel yağlarda piroliz ile ürün elde etmenin iki farklı yöntemi vardır. Bir yöntem, bitkisel yağı ayrıştırmak için kapalı bir kapta bitkisel yağı ısıtmaktır ve diğer yöntem, bitkisel yağı standart ASTM damıtma yoluyla termal bozulmaya tabi tutmaktır (Singh ve Singh, 2010).

1.1.5.5. Transesterifikasyon Yöntemi

Transesterifikasyon (alkolizasyon) yöntemi biyodizel üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle kanola, ayçiçeği, soya fasulyesi, ketencik vb. bitkilerin yağ içeren tohumundan çıkarılan bitkisel yağ, hayvansal yağ ve atık yağlar, monohidrik bir alkolle (metanol, etanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) eşliğinde ana ürün olan yağ asidi esterleri ile gliserini vererek esterleşmiş olur. Ayrıca esterleşme reaksiyonu sonucunda yan ürünler olarak monogliseridler, digliseridler, ve serbest yağ asitleri oluşur. Yağ molekülü, gliserine bağlı üç ester molekülünden (trigliserit) oluşur. Bitkisel yağ moleküllerinin %20'si gliserindir. Yağda bulunan gliserin, yağın kalınlaşmasına ve mumsu hale getiren bir yapıya sahip olmaktadır. Transesterifikasyon işlemi sırasında gliserin uzaklaştırılarak, yağ inceltilir ve yağın özellikleri Eurodiesele daha yakın hale getirilebilir. Alkol radikalleri, ayrıştırılan gliserinin yerini alır, yani üç ester molekülü gliserinden ayrılır ve alkol radikalleri ile bileşikler oluşturur (Acaroğlu, 2003). İki farklı arıtma yöntemine göre biyodizelin üretim aşamaları Şekil 1.1'de özetlenmiştir.



Şekil 1.1 Biyodizel üretim sıralaması (Kılıçarslan, 2019)

1.1.6. Transesterifikasyona Etki Eden Parametreler

1.1.6.1. Serbest Yağ Asiti ve Nem Etkisi

Biyodizel üretim aşamasında alkali katalizör tercih edildiğinde su ve bitkisel yağdaki serbest yağ asitlerinin miktarının önemi büyüktür. Bitkisel yağda asla su olmamalı, susuz saf alkol kullanılmalıdır. Çünkü su, biyodizelin reaksiyonunu değiştirecek ve istenmeyen sabunlaşma reaksiyonlarına neden olacaktır. Sabun, reaksiyondaki katalizörün katalitik etkisini azaltır ve viskozite arttıkça jelleşmeye sebep olur. Bu nedenle üretilen ürünün verimi azalır ve gliserinin ayrılması zorlaşır (Ma ve ark., 1998).

1.1.6.2.Katalizör Türü ve Konsantrasyonunun Etkisi

Alkali katalizler, asit katalizler ve enzimler transesterifikasyon tepkimelerinde katalizör olarak kullanılabilir. En çok tercih edilen alkali katalizörler sodyum hidrit, sodyum metoksit, potasyum hidroksit, potasyum hidrid, potasyum amit ve sodyum hidroksit vb. katalizör kullanılır. Biyodizel üretmek için kullanılan yağ büyük miktarda serbest yağ asidi içeriyorsa, asit katalizörleri alkali katalizinin yerini alır ve asit katalizörler (hidroklorik asit, fosforik asit ve sülfürik asit gibi) transesterifikasyon işleminde kullanılabilir. Transesterifikasyon tepkimelerinde alkali kataliz tepkimeleri asit katalizli tepkimelere göre daha hızlı gerçekleşir. Bu tepkimeler düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilir veya az miktarda kataliz kullanılarak gerçekleştirilebilir. Ancak suya ve serbest yağ asitlerine daha duyarlıdır (Kiani, 2014).

1.1.6.3.Yağ, Alkol Molar Oranı ve Kullanılan Alkolün Çeşidi

Ester ürünlerine etkisi olan önemli parametrelerden birisi de alkol yağ molar oran değerleridir. Stokiyometrik transesterifikasyon tepkimesi, üç mol yağ asidi ve bir mol gliserin oluşturmak için bir mol yağ ve üç mol alkol ile tepkimeye girer. Yüksek molar oranlı bir tepkimede, daha kısa süre içerisinde daha yüksek bir ester dönüşüm oranı meydana gelir. Alkol mol oranının artırılması ürünün verimini etkileyen en önemli parametrelerdendir. Biyodizel üretiminde genellikle etil alkol ve metil alkol kullanılmaktadır.

Fiyatının düşük olması, kimyasal ve fiziksel avantajları, kısa zincirli ve polar olması nedeniyle çoğunlukla metanol tercih edilir. Etanolün tercih edilmemesinin nedeni sabunlaşma reaksiyonuna ortam hazırlaması ve su oluşumunun olmasıdır. Ayrıca kısa zincirli olan alkoller trigliseritlerle (yağlar) hızlı bir şekilde tepkime verir ve NaOH bu alkollerin içinde kolayca çözünmeye başlar (Fedai, 2006).

1.1.6.4.Reaksiyon Sıcaklığının ve Süresinin Etkisi

Kullanılan alkol ve yağa bağlı olarak, transesterifikasyon reaksiyonu çeşitli sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir. Yüksek sıcaklık reaksiyon süresini kısaltır, reaksiyonu hızlandırır ve dönüşüm oranını artırır. Reaksiyon aynı zamanda oda sıcaklığı gibi düşük bir sıcaklıkta da gerçekleştirilebilir. Atık kızartma yağı kızartma sırasında polimerize olur, yüksek moleküler ağırlığa ve artırılmış viskoziteye sahiptir. Aynı zamanda serbest yağ asitlerinde artışa neden olurlar. Bu nedenle atık kızartma yağı kullanıldığında, yüksek

reaksiyon sıcaklığı viskoziteyi düşürür ve reaksiyon süresini kısaltır. Reaksiyon süresinin uzaması ile ester dönüşüm oranı artar (Fedai, 2006).

1.1.6.5.Karıştırma Hızı

Karıştırma işleminde önemli olan esterleşme reaksiyonlarında homojen dağılımın olmasıdır. Transesterifikasyon işlemi sırasında yağ, KOH ve metanol beraber karıştırılmaz. Öncelikle istenilen sıcaklığa kadar ısıtılmış olan alkol ve katalizör karıştırılarak metoksit oluşturulur. Metoksit karışımı yağa ilave edilerek reaksiyon başlatılır. Karıştırma hızı, reaksiyonun başlangıç koşullarını arttırmak için önemlidir. Karışımın yapılmadığı biyodizel üretimin prosesinde tepkimelerin gerçekleşmediği görülmüştür (Çağla 2013).

1.2.Ketencik

Ketencik (*Camelina sativa* (L.) Crantz), Brassicaceae ailesindeki eski bir bitkidir ve tarihsel olarak keten otu olarak biliniyordu. Sahte keten olarak da bilinen ketencik bitkisi, Akdeniz'den Orta Asya'ya kadar geniş arazilerde kendiliğinden büyüdüğü bilinmektedir (Putnam ve ark., 1993). Bu bitkinin kökeninin Orta Asya olduğu kabul edilmektedir (Wysocki ve Sirovatka, 2008). Bazı araştırmalara göre ketencik, Güneydoğu Asya ve Güneybatı Asya'da 4.000 yıl önce ketenden yetiştirilen yerli bir bitkidir (Fröhlich ve Rice, 2005). Antik Yunan, Roma ve Orta Çağ gibi farklı medeniyetlerde bir yağ bitkisi olarak tercih edilmiştir.

Ketencik kullanım alanı yağ ve küspe olmak üzere ikiye ayrılır. Ketencik tohumlarının yağ içeriği mevsimsel olarak yaz veya kışa göre değişir. Taneleri %30-40 oranında yağ içerir. Ketencik yağı, %90'dan fazla doymamış yağ asitleri içerir. Doymamış yağ asitlerinin %58'i çoklu doymamış yağ asitlerinden oluşur. Çoklu doymamış yağ asitlerinin %35-45'i linolenik asitten (C_{18} : 3n-3; Omega-3 yağ asitleri) ve %15-20'si linoleik asitten (C_{18} : 2n-6; Omega-6 yağ asitleri) oluşur. Tekli doymamış yağ asitlerinin oranı yaklaşık %36'dır. Bu yağ asitleri esas olarak oleik asit (C_{18} : 1n-9) ve eikosenoik asitten (C_{20} : 1n-9) oluşur. Doymuş yağ asitleri oranı yaklaşık %6' dır (Kurt ve Seyis, 2012).

Küresel nüfus artışı nedeniyle enerji ihtiyacı artmış, giderek azalmakta olan fosil yakıt rezervleri ve iklimsel kaygılar gıda dışı ürünlerin alternatif enerji kaynaklarından ve yenilenebilir kaynaklardan elde etme zorunluluğu doğmuştur. Biyodizel, Eurodiesel motorlarda motor değişikliğine gerek olmadan kullanılabilen yenilenebilir, toksik olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilen bir yakıttır. Bu nedenle, biyodizel hammaddesi üretmek için

marjinal tarım arazilerinin kullanılması tercih edilmiştir. Marinal alanlar için çok uygun olan ketencik bitkilerinin tohumları, son yıllarda önemli bir biyodizel kaynağı haline gelmiştir. Ketencik tohumlarında bulunan yüksek yağ içeriği (%25-48) ve düşük üretim maliyetleri önemli bir avantajdır. Ketencik biyodizelinin yakıt özelliklerinin birçok açıdan ASTM D6751 ve EN 14214 standartlarını karşıladığını kanıtlamıştır. 2000 dev/dak'da motor fosil yakıtlardan daha fazla güç üretir. Ketencik, biyodizel fosil yakıtlarından daha düşük CO ve CO₂ üretir (Bilgili ve ark., 2019).

Yapılan araştırmada on iki çeşit ketencik genotipinin verimini ve bazı agronomik özelliklerinin belirlenmesi için metrekaşe başına bitki yoğunluğu, fide çıkışı, çiçeklenme ve vejetasyon süresi, bitki boyu, tohum verimi, yağ içeriği ve yağ içeriği değeri incelenmiştir. Çalışma, bu bitkilerin ortalama yirmi sekiz gün içinde ortaya çıktığını, kırk dört gün içinde çiçek açtığını ve seksen yedi gün içinde hasat olgunluğuna ulaştığını buldu. Ayrıca ortalama bitki boyu 93,98 cm, tohum verimi 255,47 kg/gün, yağ içeriği %39,30 ve yağ verimi 100,91 kg/gün'dür. Bu bitkideki ortalama çiçeklenme sayısı dokuz, salkımdaki kapsül sayısı on sekiz ve kapsülün tohum sayısı on bir'dir. Ölçülen bin tane ağırlığı 1,19 g ve her bitkinin tohum verimi 2,25 g idi. Araştırmacılar, ekim sıklığının çiçeklenme zamanı ve yağ verimi gibi özellikleri etkileyeceğine dikkat çekti. Araştırmalarda, ekim sıklığı azaldıkça salkımdaki çiçeklenme ve kapsül sayısının artacağını, ekim sıklığının ise kapsüldeki bin tane ağırlığı ve tohum sayısını etkilemediğini göstermiştir (Mason, 2009).

Ketencik bitkisi mevsimsel olarak yazlık ve kışlık olacak şekilde ekimi yapılabilir. Kurak hava koşullarına dayanıklıdır ve yüksek kil içerikli topraklar dışında farklı iklim ve toprak yapılarına sahip birçok farklı bölgede yetişebilir. Yazın ekimi yapılan ketencik çeşitlerinin büyüme süresi ortalama yüz yirmi gün olarak gözlemlenmiştir. Ketencik tohumlarının boyutları küçük olduğu için toprağın ekime hazırlanması önemlidir. Ekimden önce çimlenen yabancı otların tekrar tekrar toprakla karıştırılması yabancı ot kontrolü için çok önemlidir. Yabancı otların çok yoğun olduğu bölgelerde, trifluralin etken maddesinin (150 g/da) çıkmadan önce toprakta püskürtülmesi yabancı otları kontrol altına almak için yeterlidir. Sıra sıra ekim yapmak istiyorsanız sıra aralığı 10-15 cm, sıra aralığı 1-2 cm olmalıdır 1.000 adet tohum ağırlığına bağlı olarak her ot ekiminizde 0,5-0,7 kg tohum ekilmelidir. Bitkilere atılacak gübre ihtiyaçlarının çok fazla olmamasıyla beraber, azot (N) ihtiyacı dekar başına on kg'dır. En uygun ekim zamanı kışlık ekimin erken sonbaharı, yazlık çeşitler ise 4-6 yapraklıdır. Ekimden önce her seferinde üç kg fosfor pentaoksit (P₂O₅) ve beş kg Potasyum oksit (K₂O) uygulanmalıdır. Ketencik bitkisi makineli hasada uygun bir bitki çeşitlerindendir.

Yeni geliştirilen çeşitler tohum dökülmesine karşı koyabilir. Hasat işlemi sırasında tohumların nem içeriği %11 civarında, depolamada ise %8' den az olmalıdır. Çeşit, ekolojik koşullar ve yetiştirme teknolojisi paketinin uygulanmasına göre değişmekle birlikte, dekara verimi yaz ekiminde iki yüz altmış kg, kış ekiminde üç yüz otuz kg'a ulaşabilmektedir (Zubr, 1997).

Bitkiler, tohum suyu içeriği %8 olduğunda hasat edilir. Hasat yapıldığında meyvede diğer bazı yağlı bitkiler gibi çatlamaz. Gövdeler hala yeşildir. Ancak tohumlar sararınca hasat edilebilir ve harmanlanabilir. El ile hasat yapılacak ise çok geç bırakılmamalı ve tohumlar etrafa saçılmamalıdır. Hasattan sonra bir süre bekletilmeli ve karıştırılmalıdır (Wysocki ve Sirovatka, 2008).

Ketencik önemli bir biyodizel kaynağıdır (Ghamkhar ve ark., 2010). Ketencik tohumları yüksek yağ içeriğine (%25 ila %48) ve doymamış yağ asitlerine (>% 90 doymamış yağ asitleri) sahiptir, bitki kısa bir yaşam döngüsüne, düşük tarımsal girdiye ve çeşitli biyotik ve abiyotik streslere göreceli toleransa sahiptir (Ayaşan, 2014). Hasattan ve karıştırıldıktan sonra Ketencik kurutulur. Ketencikte mekanik presleme, tohumların işlenmesinde ana yöntemdir ve farklı şekillerde yapılabilir. Diğer bir yöntem, Ketencik tohumlarını mekanik basınç altında kızartılmış bir ezme haline getirmektir. Bu yöntem ile tohumlar eşit miktarda su ile karıştırılarak karışıma hamur görünümü kazandırılır. Hamur daha sonra 60-90 °C sıcaklıkta pişirilir ve bu işlemten sonra karışım kumlu hale gelir. Kızartma hamuruna mekanik bir presle bastırılır ve ardından yağı alınır, arıtmak için yağ filtreden geçirilir (Rode, 2002). Bir diğer yöntem ise ketencik tohumlarının yıkandıktan sonra expeller-press ile yağ ve su ilave edilmeden tohumlarından çıkarılabilmesidir. Preste oluşan basınç ve ısı, tohumlardan kolayca yağ çıkarabilir. Bu işlemler sonunda ketencik yağı ve küspe üretimi yapılacaktır. ketencik yağı, yaklaşık %15 gondik asit (20:1 n₉) ve yaklaşık %3 erusik asit (22:1 n₉) içerir. Bu iki yağ asidi genellikle Cruciferae tohumlarındaki yağda bulunur (Abramoviç ve Abram, 2005). Araştırmalar, ketencikteki linolenik asit içeriğinin kanola, soya fasulyesi ve zeytinyağının yaklaşık iki-dört katı olduğunu göstermiştir (Crowley ve Frohlich, 1998). Ketencik bitkisinin tohumlarında linolenik (~%32), linoleik (~%19) ve oleik (~%18) yağ asitleri sebebiyle, ketencik yağından elde edilen metil ve etil esterler, kanola, palm ve soya yağları ile kıyaslandığında, oksidatif stabilitesi ideal değerlerden daha düşük ve yüksek iyot değerleri düzeylerine sahiptir (Moser ve Vaughn, 2010). Çizelge 1.2'de ham ketencik ve Eurodiesel yakıtının fiziksel özellikleri görülmektedir.

Çizelge 1.2 Ham Ketencik yağı ve Eurodiesel yakıtı özelliklerinin karşılaştırılması (Özçelik ve ark., 2015)

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

1.3. Şasi Dinamometresi

Bütün marka araçların servis ve ölçüm merkezlerinin kullandığı bir sistemdir. Aracın tahrik tekerlekleri yerde bulunan iki silindir arasına yerleştirilmiştir. Araç hareketsizdir ve aracı tam gazda sabit bir hızda tutarak ölçülür. Motor gücü veya tekerlek çıkışına göre farklı ölçümler yapılabilir. Tipik bir şasi dinamometresi Şekil 1.2’de gösterilmektedir.



Şekil 1.2 Şasi dinamometresi genel görünümü (Ün, 2020)

Aracı istirahat halindeyken kullanma fikri, ilk olarak karayolu taşıtları endüstrisi tarafından kabul edilmeden önce demiryolu lokomotif mühendisleri tarafından tasarlanmıştır. Tarihsel kayıt meselesi olarak İngiltere’de inşa edilen son buharlı lokomotifler, raylı hat profillerine sahip silindirlerle donatılmış her tahrikli aksa bağlı büyük girdap akımı dinamometreleri, mekanik bir bağlantı ve yay dengesi ile ölçülen çekme kuvveti ile çoklu aks ünitelerinde test edildi.

Günümüzde şasi dinamometresi neredeyse sadece karayolu taşıtları için kullanılıyor. Ancak forklift ve mafsallı arazi araçları için tasarlanmış özel makineler var. Tasarımcının ve test mühendisinin bu tür olanaklara sahip olmasının avantajları açıktır; temel olarak, tüm güç aralığında ve çoğu bakımdan hareket halinde çalışırken, tüm aracın performansının statik gözlemine ve ölçülmesine izin verir.

Yaklaşık 1970'den önce çoğu makine nispeten ilkel “test tamburu” adı verilmişti. Bu da oldukça küçük çaplı silindirlere sahipti. Lastik temas koşullarını ve yolda aracın yaşadığı yuvarlanma direncini yetersiz bir şekilde simüle etmiştir. Bu tür makinelere, tork direncini uygulamak ve ölçmek için oldukça çeşitli ham düzenlemeler takılmışken, test edilen aracın ataletsel kütlesinin yaklaşık bir simülasyonunu vermek için tek bir sabit volan genellikle silindire bağlanmıştır.

Gelişimindeki asıl güç, 1970'lerde emisyon testlerinin hızlı evrimi ile geldi. Silindirlerin çapı, daha gerçekçi çekiş koşulları sağlamak için artırılırken, gerginlik ölçülü yük hücreleri ve daha gelişmiş kontrol sistemleri ile tork ölçümü yapan muylusu monte edilmiş DC dinamometreleri, yol yükünün daha doğru simülasyonuna izin verdi. Makinelere, atalettaki adımları vermek için bir dizi volan sağlanmıştır; Tahrik motorunun sağladığı yükün kontrolü ile demir ataletinin kesilmesi ile taşıt kütlesinin hassas simülasyonu sağlanmıştır.

Son yıllarda, dijital kontrol teknikleri ve elektrikli tahriklerdeki gelişme, artan volanlarının çoğu emisyon test tasarımında kullanılmadığı ve bunların tüm yönlerinin elektriksel simülasyonuna dayanan tek (2x2) veya çift (4x4) rulo makineleri ile değiştirildiği anlamına geliyordu.

1.3.1. Şasi Dinamometresi Çeşitleri

a) Sıvı soğutmalı şasi dinamometreleri

Bu ekipman, yarı-yankısız bir odada gürültü testi için en uygun olanıdır. Diğer tipler ile karşılaştırıldığında, yer tasarrufu için karakteristik belirgindir. Bu nedenle, inşaat giderlerinde büyük bir düşüş beklenebilir.

b) Hava soğutmalı şasi dinamometreleri

Bu ekipman tipi dinamometresinin her iki şaft ucunda silindirlerin asıldığı entegre bir şekilde gelir. Yer tasarrufu sağlayan ortamda oldukça yüksek hassasiyette bir tork ölçüm

sistemi gerçekleştirildi. Atalet kütle simülasyonu, yüksek hızlı tepki kontrol tipinde bir toplam elektrik atalet dengeleme sistemini benimser.

c) Motosikletler için Şasi Dinamometreleri

Bu tür dinamometre, düşük ataletli dinamometresinin şaft ucunda sarkan bir makaraya sahip entegre bir konfigürasyonda gelir. Yer tasarrufu için, yüksek hassasiyetli tork ölçümünü gerçekleştirmek için volan çıkarılmıştır. Atalet kütle simülasyonu için, yüksek hızlı tepki kontrol tipi olan tamamen elektriksel atalet dengeleme sistemi benimsenmiştir. Hafiften ağır ağırlıklara kadar her motosiklete uygulanabilir. Araç soğutma fanları, lastik soğutma fanları, araç emniyet tertibatı ve diğerleri gibi şasi dinamometreleri için opsiyonel donanımlar mevcuttur.

1.3.2. Şasi Dinamometresi Yapısı

Aracın çıkış gücü en çok, ısı veya elektrik enerjisi olarak dağıtan hidrolik veya elektrik makineleri (dinamometre olarak da bilinir) tarafından emilir. Hem motor (güç çıkışı) hem de (güç emilimi) işlevlerini gerçekleştirebilen tek bir ünite, ticari olarak satılan şasi dinamometrelerinde ortak bir özelliktir. Derinlemesine sürüş döngüsü ve araç haritalama testleri için şasi dinamometreleri, bilgisayar kontrollü bir veri toplama sistemi tarafından örneklenen ve kaydedilen birçok farklı ölçüm cihazını geleneksel olarak içerir.

Şasi dinamometresinde güç, Girdap Akımı Dinamometresi tarafından emilir. Bu cihazla sağlanan tork ve hız ölçüm ekipmanı, kontrol amacıyla kullanılır. Başlangıçta, tasarım her iki yönde de motor görevi yapabilen ve emebilen DC motor-jeneratör seti içerir. Bununla birlikte, bu kompakt rejeneratif sistem, yeterli AC şebeke akımı kapasitesinin olmaması nedeniyle pratik değildi. Su soğutmalı, disk tipi dinamometre, üstün bir düşük hızlı tork kapasitesi ve belirli bir maksimum tork derecesi için su beslemesine daha az gereksinim olması nedeniyle bir hidrokinetik absorbe edici tercih edilerek seçildi. Aks tertibatına dahil edilen dişli tertibatı, dinamometrenin silindir tamburlarına doğrudan bağlanmış olandan daha yüksek bir hızda ve daha düşük torkta çalıştığı anlamına gelir.

Dinamometre milinde bir sıralı tork ölçer bulunur ve dinamometre yükünü okur. Şasi dişli kutuları, yüzeyi sabit bir sıcaklıkta tutmak için ısı izlemeli ve yalıtılmış dişli yağ ile yağlanır. Sürtünme ısısı, küçük bir su soğutmalı ısı eşanjöründe yağdan çıkarılır. Yağ sıcaklığının düzenlenmesi, yağ viskozitesini sabitler ve değişken yağ özellikleri nedeniyle sürtünme değişikliklerini en aza indirir.

Farklı ağırlıklara sahip olan araç kütlelerinin atalet simülasyonuna izin vermek için aks ve dinamometre arasına bir dizi volan monte edilmiştir. Volan setinin ortasından geçen, ana mile sıkıca bağlanabilen veya yataklar üzerinde bağımsız olarak dönmesine izin verilen içi boş bir mil vardır. Dört volanın her biri, içi boş milin dışındaki yataklara oturur. Silindir tamburlarının hızlanması ve yavaşlaması sırasında mevcut olan atalet yükleri girdap akımı dinamometresi tarafından karşılanabilirken, volanların dahil edilmesi toplam güç soğurma gereksinimini azaltır. Tüm şasi dinamometreleri ortak birçok temel özelliğe sahiptir. En önemlisi, çeşitli test prosedürleri için farklı yüklerin uygulanmasına izin vermek için test aracının motorundan gelen güç çıkışını absorbe etmenin bir yoluna ihtiyaç vardır. Enerji, bu güç emiciye, aracın tekerlek göbeğine doğrudan bağlantı yoluyla veya test aracının tekerlekleri tarafından döndürülen bir dizi silindir aracılığıyla iletilir. Araç ataleti simüle edilecekse volanlar ve/veya bir sürüş kabiliyeti de dahil edilebilir.

1.3.3. Şasi Dinamometresinin Çalışması

Şasi dinamometresi deney sistemi tamburlardan aldığı yüzey gerilmelerini dinamometreye aktarmaktadır. Dinamometrenin miline bağlı takometre ile elektrikli aracın hızı dev/dk olarak bulunmaktadır. Dinamometreye bağlanan frenleme dirençlerinin farklı değerlerde motora uygulanabilmesi için kontaktörler veri alış-veriş kartı ile kontrol edilmektedir.

Şasi dinamometresi testlerinde, bir araç bir döngü veya rota üzerinden sürülür. Bir döngü, genellikle sürücünün izlemeye çalıştığı bir bilgisayar monitöründe görüntülenen hıza karşı zaman izlemesidir. Bir rota, seyir bölümlerinin uzunluğunu gerçek zamanlı olarak ayarlayarak sabit bir hızlanma, yavaşlama ve sabit bir mesafeden tutulan seyir bölümlerinden oluşur. Bir döngü ve bir rota arasındaki temel fark, geniş açık gaz kelebeğindeki ivmenin bir döngüdeki gibi belirli bir ivmelenme hızından ziyade güzergâhlar boyunca kullanılmasıdır.

- **Şasi Dinamometresi Simülasyonu**

500 rpm'de 95 km/h yol hızında dönen rulolar, DC dinamometresi silindirlere doksan derece yerleştirilir ve shaft gücü 5: 1 oranlı dişli kutusundan iletilir. Dinamometre milinde bir sıralı tork ölçer bulunur ve dinamometre yükünü okur. Şasi dişli kutuları, yüzeyi sabit bir sıcaklıkta tutmak için ısı izlemeli ve yalıtılmış dişli yağ ile yağlanır. Sürtünme ısısı, küçük bir su soğutmalı ısı eşanjöründe yağdan çıkarılır. Yağ sıcaklığının düzenlenmesi, yağ

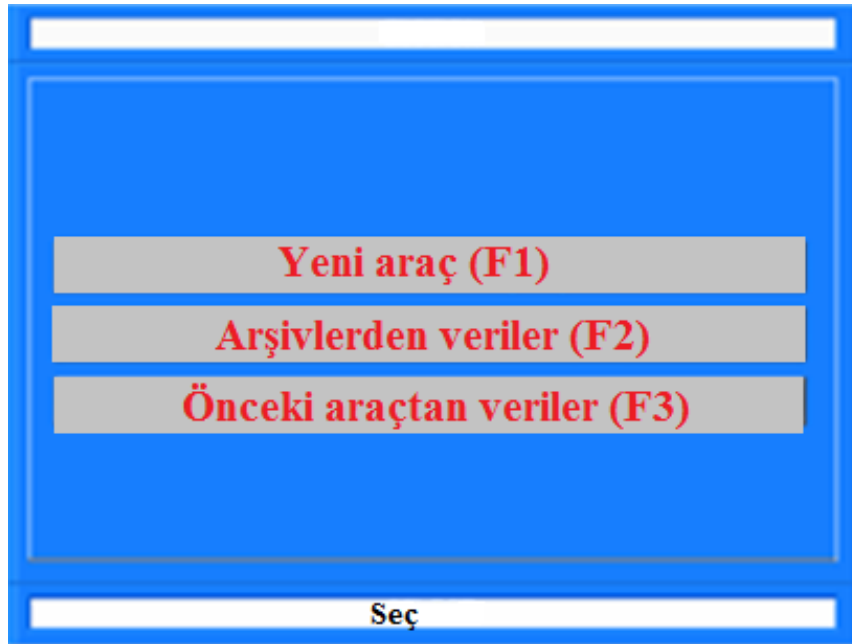
viskozitesini sabitler ve değişken yağ özellikleri nedeniyle sürtünme değişikliklerini en aza indirir.

Atalet, yüksek hızlı dinamometre milinde bulunan mekanik volanlarla simüle edilir. Atalet ağırlığı, yaklaşık olarak boş ağırlık ve Nominal Brüt Araç Ağırlığı (NBAA) ortalamasına ayarlanır. Sürtünme koşulu için yük simülasyonu, araç hızına cevaben dinamometre uygulanan yükü değiştirmek için kontrol devreleriyle gerçekleştirilir. Taşıt rüzgar ve yuvarlanma sürtünme kayıpları yayınlanmış çalışmalardan tahmin edilmektedir ve dinamometre kontrol cihazı, ağırlık ve ön alana dayalı olarak rulolardaki uygun tork kontrolünü sağlamak için çalıştırılmaktadır.

Araç hızı, araç sürücüsü tarafından yönetilir. Döngü, sürücünün mevcut hızını gösteren bir sürücünün yardım istemini kullanarak ve kaymayı öngörmek üzere geleceğe yaklaşık 30'lar boyunca gösterilir. Kalite kontrol amacıyla sürücü için ± 2 mil hata bantları görüntülenir. Bu program kapsamında yapılan tüm şasi testleri için tek bir sürücü kullanılmıştır. Sürücü bir kayışı kaçırırsa ve ivmeyi tekrarlamak için aracı frenlemek zorunda kalırsa testler tekrar yapılır.

- **Şasi Dinamometrenin Bilgisayarda Kullanılması**

Taşıt, şasi dinamometresine hareketi engellemeyecek şekilde bağlanır ve sonrasında yakıt tüketimi ölçüm deney düzeneği ile emisyon cihazı bağlandıktan sonra dinamometrenin programı açılır. Şekil 1.3'de görüldüğü gibi yapılması istenilen testin ayarları (seçilen ilgili tuşlarla) seçilir.



Şekil 1.3 Şasi dinamometresinin bilgisayar ekranı (Dynamometers, 2019)

- **Şasi Dinamometresinin Otomatik Kalibrasyonu**

Eğer devri otomatik olarak ölçmek istersek hız ve devir için iki ayrı büyük grafik göstergesi bir pencerede görüntülenir. Bu açılan pencerede görüntülenen göstergeler sistem kalibrasyonunu oluşturur. Bu ölçümler bir önceki testte mevcut ise kalibrasyon numarası merkezin ortasında görünür ve geri tuşuna basılarak devam edilir. Diğer bir değişle motor devrini 2000'e çıkarmamız gerekmektedir. Dinamometrenin yaptığı ölçümler sadece o vites için geçerlidir. Diğer vitesler için devir ve tork değerleri uygun olmayacaktır. 2000 devre gelindiğinde kayıt (F₁) tuşunu basılır. Şimdi devir göstergesi kalibrasyonunun iyi olduğunu taşıtın devir göstergesiyle kontrol edebiliriz. Kalibrasyon düzgün değilse en iyi sonucu almak için kalibrasyonu en iyi şekilde tekrar ayarlamak mümkündür.

- **Ana Menü**

Ana menü Şekil 1.4'de görüldüğü gibi aşağıdaki beş menüyü içerir. Ana menüde simülasyon testi (F₁), güç testi (F₂), hız göstergesi testi (F₃), ayarlar (F₄), kayıtlı testler (F₇) ve Esc butonu bulunur. Seçilmek istenen menü sayfanın sonunda yanıp sönen bir etiketle belirir.



Şekil 1.4 Şasi dinamometresinin ana menü (Dynamometers, 2019)

- **Simülasyon Menüsü**

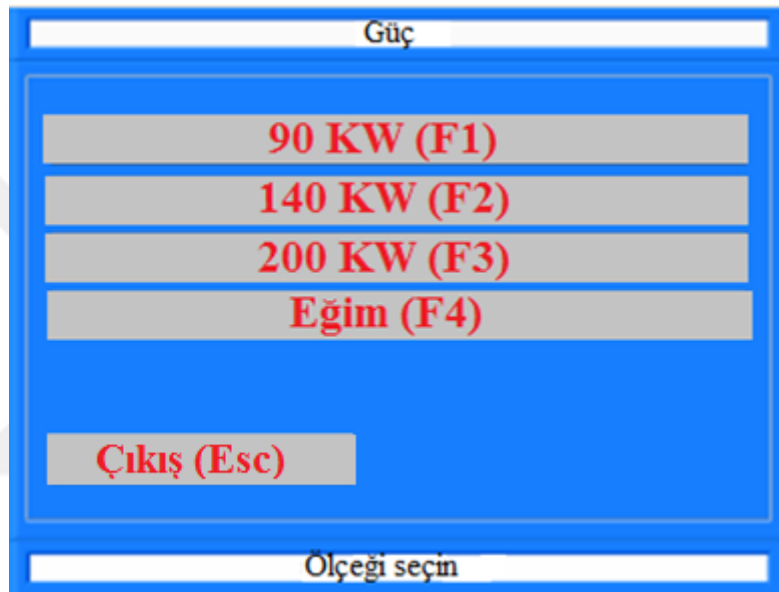
Simülasyon test sayfası Şekil 1.5’de görüldüğü gibi yol testi, menüleri içerir.



Şekil 1.5 Simülasyon test ekranı (Dynamometers, 2019)

- **Sweep Test Menüsü**

Güç seçenekleri soru ekranında (Şekil 1.6), kullanıcı tarafından maksimum tahmin edilmiş taşıtın motor gücü veya eğim (Curve) tuşuna basarak önceden saklanmış referans eğiminin seçilmesi ile diğer menüye geçebiliriz. Seçilen veri önce diyagrama hız skalasını atar. Tahmin edilen gücün seçilmesinden sonra diyagramlı sayfada oluşturulan motor gücü grafiğinde maksimum güçteki motor devrinden (rpm) kısa bir süre sonra debriyaja bas ekranın alt kısmında belirir ve sadece debriyaja basılarak tamburların durması beklenir.



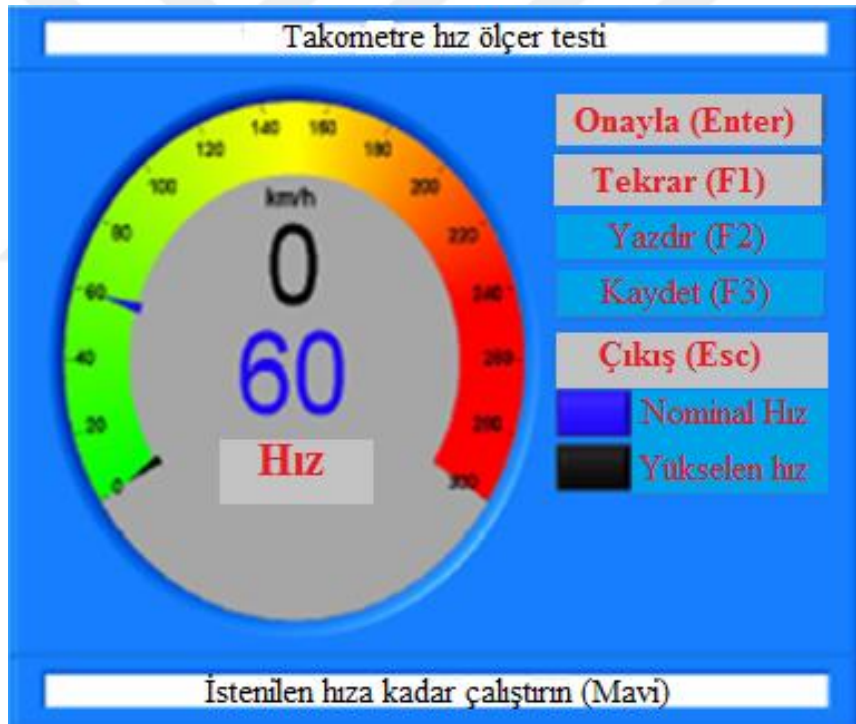
Şekil 1.6 Power menüsü (Dynamometers, 2019)

- **Hız Ölçer Testi (Speedometer Test)**

Hız için testteki bilgi ayarlarını gösteren, önceki bölümlerde uygulanan aynı prosedür ile değişebilen, altı ayar öncesi hız ile birlikte bir çizelge de mevcuttur (Şekil 1.7). Deney sırasında aracın hızındaki değişimleri görmek için Şekil 1.8'de görülen ekrana bakılabilir.



Şekil 1.7 Hız ölçme testi (Dynamometers, 2019)



Şekil 1.8 Hız ölçme testi takip ekranı (Dynamometers, 2019)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Şasi Dinamometre

Huffman (1962) çalışmasında, Girdap Akımları Dinamometresini kullanarak bir şasi dinamometresi gerçekleştirmişlerdir. Bu dinamometrede tek silindir kullanılmıştır. Huffman bir aracın tekerleğindeki torku silindirin yüzey sürtünmesine, atalet ve rüzgâr direncine bağlamıştır. Sonuç olarak şasi dinamometresi gerçekleştirilmiş ve araç performans testleri için kullanılmıştır.

Tascillo (1995) yaptığı çalışmada şasi dinamometresi ile ölçüm yapılırken sürücü kontrolü nedeni ile ortaya çıkan gecikmeyi azaltmak için, tam durum geri besleme tekrarlayıcı sinir ağı mimarisini kullanarak şasi dinamometresini kontrol etmeye çalışmışlardır. Hızda meydana gelen hataya göre gaz veya fren uygulamışlardır. En iyi zamanda müdahale edebilmek için Bulanık Spektral Filtre (BSF) kullanmışlardır. Sonuç olarak dinamometrenin hızı kontrol altına alınmıştır.

Yanowitz ve ark. (1999) kullanımda olan 21 ağır hizmet Eurodiesel araçtan gelen regüle edilmiş emisyonlar, düşük kükürtlü Eurodiesel yakıt kullanılarak üç sürüş çevrimi aracılığıyla bir ağır hizmet şasi dinamometresinde deneyler yapılmıştır. Partikül madde (PM), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), toplam hidrokarbon (THC) ve PM sülfat fraksiyonu emisyonları bu deneylerde ölçülmüştür. 25 °C'de başlayan soğuk, PM emisyonlarında %11 artış sağlanmıştır. Değişkenli analizlerim, kullarımdaki PM emisyonlarının, 1985'ten bu yana yürürlüğe konulan motor sertifikasyon test standartlarına göre beklenenden daha yavaş bir oranda azaldığını göstermişlerdir.

French ve Stark (2000) şasi dinamometresi, araç yol simülasyon testi için çok kullanışlı bir test cihazı olduğunu belirtmişlerdir. Ancak bu sistemlerin maliyetinin yüksek olduğunu ve şasi dinamometre tasarımlarının birçok çeşidi olduğunu ayrıca ortak bazı temel özelliklerinin olduğunu belirtmişlerdir.

Zhang ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada dinamometrenin temel amacı olan, araçlar için gerçekçi çalışma koşulları oluşturmaktan yola çıkmışlardır. İstenilen değerlere hatasız ve en kısa zamanda ulaşmak için çalışma yapmışlardır.

Guo ve Wang (2008) çalışmalarında test simülasyonu için dinamometre kontrolü tamamen bilgisayar ortamına aktarılmış ve bilgisayar ile kontrol etmeye çalışmışlardır. Ayrıca test

standının da simülasyonu görsel bir programlama ile gerçekleştirilmiştir. Burada toplu araç sistemi kullanılarak dinamometrenin bütün parametreleri kontrol edilmiştir. Sonuç olarak işçi gücü kullanılmamış, zaman kaybı yaşanmamış ve hata payı en aza düştüğü görülmüştür.

Bettes ve Hancock (2008) İkinci Dünya Savaşı bittikten sonra Hot Rod Dergisi Utah Bonneville’ de yapılan dinamometreyi “Büyük Beyaz Dinamometre” yazısı ile tanıtmıştır. İlk yasal sürüklenen bantlar ile performans ölçümleri başlamış ve dünya karada hız rekoru denemeleri hala orada yapılmaktadır. 1949 yılında USAOYD (Ulusal Stok Araba Otomobil Yarışları Derneği yarışları) başlamış ve dinamometre daha hızlı bir gelişme sürecine girmiştir ve popüler olmaya başlamıştır.

Akçakaya (2010) tez çalışmasında, motorlu taşıt testlerinde motor gücünün ölçülmesi için kullanılan şasi dinamometresinin hazırlanan bir bilgisayar yazılımı ve bu yazılımın üzerinde çalıştığı elektronik kart ile otomasyonu yapılmıştır. Bu sistemde dinamometre olarak kabul edilen sistemden gelen elektronik sinyaller ve bu sinyallerden elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak daha doğru ölçümler sağlanmıştır.

Guo ve Wang (2010) yılında yaptıkları çalışmada araç şasi dinamometresinin yük bindirme kısmında simülasyonun hassasiyeti nedeni ile ölçülen verinin doğrusal olmayan dalgalanmasını düzeltmek istemişlerdir. Bunun için de Kernel Ana Bileşen Analizi yöntemine dayanarak yük direncinin yüksek doğrulukta ve hızlı şekilde kendini dengelemesi sağlanmıştır. Sonuç olarak veri girişi tepkisi ve yapılan yükleme faktörü dengede tutulmuştur.

Martyr ve Plint (2011) yazdıkları kitap motor test uygulamaları ve teoriyi bir arada sunarak geniş ve dağınık bilgileri biraya getirmiştir. Motor testlerinin yeni motor gelişiminin temel bir parçası olduğundan bahsedilmiştir.

Zhao ve Li (2012) yaptıkları araştırmada hibrit araçlar için alan kontrol ağına dayalı bir şasi dinamometresi geliştirmiştir. Hibrit araçların ölçüm metodlarını ve yükleme aygıtlarını analiz etmişlerdir. Hibrit elektrikli araçların yol direnç simülasyonunu yapmışlardır. Test metodları ve standartları hibrit elektrikli araçların gelişimi için geniş bir araştırma alanı sağlamıştır.

Bayram (2016) yaptığı çalışmada test sırasında aracın performansına bakarak zayıf yönleri ve güçlendirilmesi gereken alanları belirlemiştir. Test sonuçlarını doğru yorumlamak için birden fazla parametrenin ölçülmesi ve gerçek hayatın simüle edilmesi gerekir. Test koşullarını karşılamak için özel sıcaklık, nem, yük, kuvvet vb. oluşturarak test için simülatörler

geliştirilmiştir. Simülatörü kullanmak test sürecini hızlandırabilir ve çok zaman kazandırabilir. Şasi dinamometresi, tasarım doğrulama sürecini hızlandırmak için klima odasına entegre edilmiştir.

Liu ve ark. (2017) Çin'in araba popülasyonundaki tipik benzinli araçlar için egzoz emisyonu ve çalışma stillerine sahip bir şasi dinamometresi ile belirlemişlerdir. Egzoz emisyon oranı azot oksit (NO_x) Çin benzinli otomobillerinin %0,03-0,42 aralığında olduğu ve ortalama olarak yaklaşık %0,18 olduğu, bunun Avrupa, Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya'da benzin için mevcut olan az sayıda çalışmada bildirilenlerle karşılaştırılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Chen ve ark. (2018) farklı ağır Eurodiesel araçların emisyonları üzerindeki etkisini araştırmak için Euro VI standardında bir ağır hizmet Eurodiesel aracını farklı yük, yakıt, sürüş koşulları altında test ve analiz etmek için bir şasi dinamometresi tarafından kullanılmıştır. Tam yük durumunun, boş yük durumuna kıyasla NO_x emisyonlarını yaklaşık 0,107 g/km (%30) ve partikül maddeyi (PM) 0,003 g/km (%18) artırdığı görülmüştür. Çin Euro V Eurodieseline kıyasla, Pekin euro6 Eurodieselinin NO_x emisyonları 0,065 g/km (%18) ve PM 0,004 g/km (%25) azaldığı tespit edilmiştir.

Burke ve ark. (2018) araç testi, yakıt tüketimini, egzoz emisyonları ve araç performansını ölçmek için geliştirilmiştir. Bir şasi dinamometresinde araç testindeki hassasiyet testlerini analiz etmek için dört farklı araç çalışmasında hassasiyet kaynaklarını tanımlamak için başarıyla kullanılmıştır. Bu bulgular, araç testlerinde kayda değer gelişmelere yol açmıştır ve test çabalarında önemli tasarruflar sağlamıştır.

Talibi ve ark. (2019) Eurodiesel yakıtının yerine kullanılabilecek alternatif yakıtın etkilerini egzoz emisyonlarında hidrojen ile hem tek silindirli bir araştırma motorunda hem de bir gösteri aracında incelemişlerdir. İlk aşamada, farklı motor yüklerinde, emme hava basınçlarında ve EGR seviyelerinde süper şarjlı, direkt enjeksiyonlu, tek silindirli Eurodiesel araştırma motoru üzerinde testler yapılmıştır. H_2 ilavesi ile CO_2 ve partikülde azalma olurken NO_x artma olduğu görülmüştür. Diğer aşamada ise küçük bir minibüs ile şasi dinamometresinde testler yapılmıştır. Minibüse, hızlandırıcı pedalı konumu tarafından belirlenen H_2 ekleme seviyelerine sahip programlanabilir bir H_2 büyütme sistemi takılmıştır. H_2 artırımını CO, NO_x ve partikül sayısında düşüşler olduğu ancak daha yüksek bir toplam PM kütlesi kaydedildiğini görülmüştür.

Biyodizel

Peterson ve ark. (2000) test yakıtlarını hacimsel olarak %20 biyodizel, %80 Eurodiesel karışımının, Eurodiesel yakıtı kıyasla emisyonlar üzerindeki etkilerini test etmişlerdir. Test yapılacak araç, 5,9 L turbo şarjlı ve su soğutmalı direkt enjeksiyonlu Eurodiesel motora sahip bir kamyonettir. İyot sayısı 7,88'den 129,5'e yükseldikçe NO_x %29,3 oranında artmıştır. İki çift bağa sahip yağ asitlerinin NO_x emisyonlarının artışında, tek çift bağa sahip yağ asitlerine göre daha fazla etkiye sahip olduğunu gözlemlenmiştir.

Pireli ve Aktaş (2006) yaptıkları deneyde, tek silindirli direkt enjeksiyonlu Eurodiesel motor, 200 bar standart enjeksiyon basıncında hacimsel olarak Eurodiesel, biyodizel karışımı (%25, %50, %75) ve değişik enjeksiyon basınçlarında (200, 215 ve 230 bar) biyodizel yakıtı ile deney yapılmıştır. Karışım oranı ve yakıt enjeksiyon basıncının motor performansına etkisi tam yükte ve farklı hızlarda yapılan deneylerle incelenmiştir. Deneyin sonuçlarında, standart püskürtme basıncı altında biyodizel yakıt kullanmak, yaklaşık %21,76 oranında daha az bir güç ve %15,4 oranında daha az bir tork değeri gözlemlenmiştir. Biyodizelde püskürtme basıncının artmasıyla motor torkunun %19 arttığı ve motor gücünün %24 arttığı, fakat basınç artışı ile bu artış eğiliminin azaldığı görülmüştür.

Aktaş ve Şahin (2009) Eurodiesel motorlarda, alternatif yakıtlar genellikle Eurodiesel ile birlikte harmanlanıp yakıt olarak kullanılabilir. Araştırmacılar, özellikle B20 emisyonlarının önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Bu çalışmada, tek silindirli dört zamanlı hava soğutmalı bir motor, 1800 rpm sabit hızlı, %25, %50, %75 ve %100 yük ile B20 (%20 soya biyodizeli, %80 Eurodiesel hacimsel) ile çalışan bir motordur. Eurodiesel motor için B20 yakıtı yerine kütleli olarak %3 ile %14 oranlarında hidrojen kullanmasının özgül yakıt tüketimi (ÖYT), egzoz gaz sıcaklığı (EGS), silindir basıncı, is, HC, CO ve NO_x emisyonlarını incelemek için deney sırasında her şey kayıt altına alınmıştır. Sonuç olarak her yük koşullarında, vuruntu olmadan çalışması için kütleli olarak B20 yakıt karışımının maksimum %14'ü seviyesine kadar hidrojen ilave edilebildiği, hidrojen oranının yavaşça artırılması ile ÖYT'nin, is, HC ve CO emisyonunun yüksek miktarda düşerken NO_x 'in ise az bir miktar artış gözlemlenmiştir.

Bannister ve ark. (2010) transesterifikasyon yoluyla biyodizel üretmek için bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan ve atık yağlardan trigliserit sentezlenmektedir. Biyodizel hacimsel olarak %5, %10, %20, %30 ve %50 oranıyla Eurodiesel ile karıştırılmış, elde edilen karışımlar common rail direkt enjeksiyon araç ile, motor performansı ve egzoz emisyonları

ölçmek için şasi dinamometrelerinde test edilmiştir. Egzoz emisyon sonuçlarında NO_x hariç diğer gazlarda azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Biyodizel oranı arttıkça motorun çekiş gücü de azalırken yakıt tüketiminde artış gözlemlenmiştir.

Aydin ve ark. (2016) yaptıkları deneyde dört zamanlı tek silindirli doğrudan enjeksiyonlu bir motor kullanılmıştır. Test motoru, sabit hızda ve farklı yüklerde Eurodiesel ve saf biyodizel yakıt ile test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, Eurodiesele kıyasla biyodizel kullanımı frenin birim yakıt tüketimini %3 artırmaktadır ve frenin birim enerji tüketimini %5 azaldığı görülmüştür. Ayrıca Eurodiesel yakıtı için, NO_x , CO ve kurum emisyonları %17, %33 ve %31 azalırken, HC emisyonları %24 arttığı görülmüştür.

Çelik ve ark. (2016) araştırmalarında kullanılan yakıtı alternatif olarak kanola yağı metil esteri elde edildikten sonra egzoz emisyonları ve güç değerleri bulmak için, şasi dinamometresi üzerinde yapılan deneylerde ölçülmüştür. Deneyin sonucu, kanola yağı metil esteri yakıtının maksimum tork değeri %3,25 artmıştır ve maksimum güç değerinde %2,48 artış olmuştur.

Şimşek ve Aydoğan (2016) biyodizel üretimi çevre dostu ve ekonomik açısından dolayı önemi giderek artmaktadır. Bu çalışmada, ham ketencik yağından biyodizel elde edilmiştir. Hacimsel olarak Eurodiesel yakıtı, B20, B50 ve B100 oranlarında harmanlayarak yakıtlar hazırlanmıştır. Elde edilen karışımlar, bir common rail yakıt enjeksiyon sistemine bağlı Eurodiesel motorlarda yakıt olarak kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde ketencik biyodizel yapısında bulunan oksijen her koşulda yanma verimine katkı sağlamakta, CO, HC değerlerinin düşürülmesine yardımcı olmakta, CO_2 ve NO_x artmaktadır.

Biyoetanol

Koç (2006) araştırmasında hacimsel olarak %50 ve %85 oranında etanol olan benzin-etanol kıvılcım ateşlemeli motorların performans ve emisyon değerlerine etkisi gözlemlenmiştir. Test esnasında motor tam yükte çalıştırılmıştır ve hava fazlalık katsayısı, sıkıştırma oranını, ateşleme avansı motor devri gibi faktörler kullanılmıştır. Tüm test koşullarında sıkıştırma oranı 10:1'den 11:1'e çıktığında %85 etanol karışımından elde edilen motor torku ve motor gücü değerleri yükselirken, sıkıştırma oranı 11:1'den 12:1'e yükseltildiğinde edilen motor torku ve motor gücü değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Motor devri yükseldikçe HC emisyonlarının azaldığını ve sıkıştırma oranı yükseldikçe HC emisyonlarının arttığını gözlemlenmiştir. Ateşleme avansı ve sıkıştırma oranına göre CO ve CO_2 emisyonlarında

önemli bir değişiklik olmamıştır. Hava fazlalık katsayısının yükselmesi CO ve HC emisyonları azalma meydana gelirken NO_x emisyonları artış olmamıştır. Motor performansın en iyi değerini %85 oranında etanol içeren bir karışımdan elde edildiği görülmüştür.

Örs (2007) deneysel çalışmasında, benzin-etanol karışımının yakıt olarak kullanılmasının elektronik ateşleme sistemli ve yakıt enjeksiyon sistemli araçların tekerlek tahrik gücü, CO, HC ve CO₂ egzoz emisyonları incelenmiştir. Yakıt olarak benzin-etanol hacimsel olarak %10-20-30 oranlarında karışım yapıp kullanmıştır. Deney sonuçlarına göre; E0 ile karşılaştırıldığında, ikinci viteste, 20 km/h araç hızında E20 yakıt kullanıldığında, tekerlek tahrik kuvvetindeki maksimum artış %9,56 oranında olmuştur. E0 ile karşılaştırıldığında, E30 yakıtı kullanırken ve 40 km/h hızında üçüncü viteste iken, tekerlek tahrik kuvvetindeki maksimum azalma %9,8 oranında olmuştur. Emisyon değerlerine bakıldığında, üçüncü viteste, E0 ile karşılaştırıldığında, CO emisyonlarındaki en yüksek azalma E20'nin yaklaşık 12,7 katı olduğunu görmüştür. İkinci viteste, 20 km/h hızda E10 yakıt ile sürüş yaparken, HC emisyonlarında E0'a kıyasla en yüksek azalma 9,2 katı olarak görülmüştür.

Eyidoğan ve ark. (2011) etanol-benzin karışımı (E5, E10) ve metanol - benzin karışımlarının (M5, M10) yanma özellikleri, motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney 60, 80 ve 100 km/s araç hızlarında ve 5, 10, 15 ve 20 kW sabit güç koşullarında şasi dinamometresi kullanılarak kıvılcım ateşlemeli dört zamanlı, dört silindirli bir araç üzerinde gerçekleştirilmiştir. E5 (%5 etanol +%95 benzin), E10, M5 ve M10 yakıtları için elde edilen sonuçlar benzin test verileri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, etanol-benzin ve metanol-benzin karışım yakıtlarının özgül yakıt tüketimi artmasına rağmen CO, HC, CO₂ ve NO_x emisyonlarının azaldığını ölçülmüştür.

Koçtürk (2011) bu deneysel çalışmada; Türkiye’de üretilen çeşitli hammaddelerden elde edilen biyoetanoller istenilen oranlarda benzine karıştırılarak veya biyoetanol olarak tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan düşük güce sahip benzinli motorlar için motor performans değerleri ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Biyoetanol genellikle dünya çapında yaygın olarak kullanılan benzinde hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 karışım kullanılmış ve bu karıştırma oranlarını (E5, E10, E15 ve E20) kullanırken motorda değişiklik yapılmasına gerek kalmamıştır. Motor efektif gücündeki sonuçlar benzin ile yapılan deneylere göre, E5 yakıtında %2,2, E10 yakıtında %3, E15 yakıtında %3,8 ve E20 yakıtında %4,3 azalma meydana gelmiştir. Maksimum özgül yakıt tüketimi E20 yakıtında elde edilmiştir.

Costagliola ve ark. (2016) şasi dinamometresinde, biyoetanol-benzin karışımlarının dört zamanlı bir motosikletin egzoz emisyonları ve silindir içi yanma üzerine etkilerini araştırmışlardır. Biyoetanol-benzin karışımları (biyoetanol karışım oranı hacimsel olarak %5-10-20-30), Euro 3 motora sahip büyük boyutlu bir motosiklet üzerinde deneysel bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, %30'a varan biyoetanol için motorun herhangi bir kontrol ünitesi ayarına ihtiyaç duymadığını göstermiştir. Egzoz emisyonları ile ilgili olarak, benzin içindeki biyoetanol oranı arttıkça emisyonların azaldığını gözlemlenmiştir.

Sakthivel ve ark. (2019) şasi dinamometresi kullanılarak ticari benzinli (E0) ve %30 etanol karışimli benzinli (E30) bir motosiklet üzerinde deneysel bir çalışma yapılmıştır. Yanma, motor performansı ve egzoz emisyon özellikleri sabit durumda geniş açık gaz ve geçici Hint sürüş Çevrimi (HSC) çalışma koşulları altında incelenmiştir. Egzoz emisyon testinde karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonları azalma meydana gelmiştir ancak azot oksitler (NO_x) E0 ile karşılaştırıldığında E0'a yükselmiştir. Spesifik yakıt tüketimi E30 ile daha yüksek çıkmıştır, ancak araç gücün azalma meydana gelmiştir. Yanma analizi, yanma süresinin uzamasını ve E30 ile ısı yayılma hızında gecikmeyi göstermiştir. En yüksek yanma basıncı ve maksimum basınç artış hızı da daha düşük olduğu bulunmuştur.

Sakthivel ve ark. (2020) yakıtlar hacimsel olarak E0 (%100 benzin) ve E10, E20, E30, E40 ve E50 gibi farklı etanol-benzin karışımlarıyla iki tekerlekli bir aracın emisyon değerlerini ölçmek için şasi dinamometresi kullanmışlardır. E20 yakıt karışımının ve etanol oranının arttığı karışımlarda doymuş hidrokarbon emisyonlarının (metan ve etan) arttığı görülmüştür. Aromatikler (toluen), yanmamış etanol emisyonları E30, E40 ve E50 ile saf benzin ve karışımlara kıyasla daha yüksek çıktığı görülmüştür. Araç hızındaki artışla birlikte tüm emisyon bileşenlerinin azaldığı görülmüştür.

Biyogaz

Subramanian ve ark. (2013) metanla zenginleştirilmiş biyogaz (%93 CH_4) ve CNG (%89,14) ile beslenen kıvılcım ateşlemeli bir motora sahip taşıtın yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları, şasi dinamometresi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçları, egzoz emisyon özelliklerini (CO , HC ve NO_x) aracın zaman açısından her iki yakıt için de kentsel döngüde (düşük hızda), şehir dışı döngüye (yüksek hızda) göre çok daha yüksek olduğunu göstermiştir. Metanla zenginleştirilmiş biyogaz, fosil CNG'ye benzer performans gösterdiğinden, zenginleştirilmiş biyogaz, kıvılcım ateşlemeli motorlar için yakıt olarak kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Lim ve ark. (2015) biyogaz ve doğal gazla çalışan motora sahip bir aracın egzoz emisyonlarını ve yakıt tüketimini araştırmışlardır. Kore'de şehir içi otobüs olarak kullanılan büyük bir CNG aracı şasi dinamometresinde test etmişlerdir. Test yakıtları olarak bir CH₄ ile zenginleştirilmiş biyogaz (%97,6 CH₄) ve farklı CH₄ içerikli 5 doğal gaz (%81,6-94,0 CH₄) kullanmışlardır. Toplam hidrokarbonlar (THC), CO, NO_x ve CO₂ emisyonları, test edilen tüm yakıtlar için daha yüksekken, yakıt tüketimi %43,7-51,5 oranlarında düştüğünü görmüşlerdir. HC emisyonları, şehir içi sürüş modunda eksik yanmadan dolayı yakıt artışı %133,3 - 577,8 oranında daha yüksek çıkmıştır. Partikül madde sayısı ise şehir içi sürüş modunda %33,2 - 123,8 oranında daha yüksek olduğunu görmüşlerdir.



3. MATEYAL VE METOD

3.1. Materyal

Çeşitli çalışmalara göre, bitkisel yağlar yakıt olarak kullanılırken, kullanılan bitkisel yağlar arasından Eurodiesel yakıtın özelliklerine en yakın bitkisel yağın seçilmesi önemlidir. Bu nedenle bitkisel yağların yakıt performansı petrol esaslı Eurodiesel yakıtlarla karşılaştırılmalıdır.

Bu çalışmada, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 20201022 numaralı yüksek lisans tez projesinden ketencik yağı ve BP Petrolleri A.Ş.'den Eurodiesel yakıtı temin edilmiştir. Ketencik yağından biyodizel üretmek için Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Biyodizel Laboratuvarı kullanılmıştır. Elde edilen ketencik biyodizeli, Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv ABD laboratuvarında bulunan 2000 cc'lik turbo-şarjlı Common-Rail Eurodiesel yakıt sistemine sahip, 2012 model Toyota marka, Verso 2.0 tip taşıtta kullanılmıştır. Çizelge 3.1'de, bu taşıta ait motorun teknik özellikleri ve Şekil 3.1' de deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 3.1 Deney düzeneği ve taşıtı

Çizelge 3.1 Deney taşıtının teknik özellikleri

Markası	TOYOTA
Modeli	Verso 2.0
Tahrik şekli	Önden çekişli
İmal yılı	2012
Dingil mesafesi	2780
Taşıt uzunluğu/ Genişliği/ yüksekliği (mm)	4440/1790/1620
Azami taşıt ağırlığı (kg)	1540
Taşıt motorunun özellikleri	
Silindir sayısı	4
Çap x strok (mm)	86 x 86
Motor hacmi (cm ³)	2000
Supap sayısı	16
Sıkıştırma oranı	15:8
Yakıt sistemi	Eurodiesel Common-Rail
Maksimum güç (kW-d/d)	92,46-3600
Maksimum tork (Nm-d/d)	300-2400

Ketencik Biyodizeli (Ketencik Yağı Metil Esteri) elde etmek için transesterifikasyon yöntemi ile Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde bulunan Biyodizel Laboratuvarı'nda üretilmiştir. Ketencik yağından elde edilen biyodizel yakıtı hacimsel olarak Eurodieselle %7 (B7), %20 (B20) ve %50 (B50) oranlarında karışım hazırlanmıştır. Hacimsel olarak hazırlanmış karışımlar olan B7, B20, B50, B100 ve Eurodiesel yakıtının viskozitesi, yoğunluğu, ısıl değeri ve parlama noktası testleri Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Biyodizel Laboratuvarında yapılmıştır.

3.1.1.Ketencik Biyodizeli Üretiminde Kullanılan Ekipmanlar

3.1.1.1.Ketencik Yağı

Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 20201022 numaralı yüksek lisans tez projesinden ketencik yağı temin edilmiştir. Elde edilen Ketencik yağı Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2 Ketencik yağı

3.1.1.2. Metil Alkol (Metanol)

Ketencik bitkisinin tohumundan elde edilen yağından biyodizel üretmek için Şekil 3.3’de gözüken metil alkol kullanılmıştır. Deneyde Merck firmasının üretmiş olduğu metil alkol (CH_3OH) tercih edilmiştir. Metil alkolün 20 °C deki yoğunluğu 0,791-0,793 kg/l ve moleküler ağırlığı 32,04 g/mol dür.



Şekil 3.3. Ketencik biyodizeli üretiminde kullanılan metil alkol

3.1.1.3.Katalizör

Ketencik biyodizeli oluşumunun en önemli malzemelerinden birisi katalizördür. Bu katalizör Merck firması tarafından üretilen 40 g/mol moleküler ağırlığa ve %97'nin üzerinde saflık değerine sahip sodyum hidroksit (NaOH) tercih edilmiştir. Deneyde kullanılan sodyum hidroksit Şekil 3.4' da gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Ketencik biyodizeli üretiminde kullanılan katalizör

3.1.1.4.Manyetik Karıştırıcı

Üretimi yapılmış olan ketencik yağı biyodizel elde etme aşamasında Dragon-Lab marka ısıtıcı kullanılmıştır. Biyodizel elde edilirken manyetik karıştırıcı karışımı hem homojen bir şekilde karıştırıp hem de 340 °C kadar sıcaklığı kontrol edilebilmektedir. Yüzeyinde seramik kaplı malzeme vardır. Deneyde kullanılan manyetik karıştırıcılı ısıtıcı Şekil 3.5“de verilmiştir.



Şekil 3.5 Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı

3.1.1.5. Terazi

Biyodizel üretirken ve üretiminde kullanılacak olan maddelerin miktarı metanol, katalizör, ketencik yağı ve tepkime sonundaki elde edilen ürünün tartılması için RADWAG marka AS 220/C/2 model terazi tercih edilmiştir. Kullanılan terazinin maksimum ölçüm değeri 220 g ve minimum ölçüm değeri 10 mg olarak belirtilmiştir. Dijital terazinin hassasiyeti 0,1 mg'dir. Şekil 3.6 'de deneyde kullanılan terazinin resmi verilmiştir.



Şekil 3.6. Terazinin görünümü.

3.1.1.6. Termometre

Araştırmada sıcaklık ölçümü için dijital ve cıva sütunlu termometreler tercih edilmiştir. Kullanılan termometre Hanna Checktemp markası ve 0,1 °C hassasiyetine sahiptir.

3.1.1.7. Kronometre

Kinematik viskozitenin hesaplanmasında ihtiyacımız olan malzemedir. Bu kronometre Hanhart 7 Jewels Shockproof marka, on beş dakika kapasiteli, 0,1 saniye hassasiyetli tercih edilmiştir.

3.1.2. Yakıt Analizinde Kullanılan Ekipmanlar

3.1.2.1. Kinematik Viskozite Ölçümü

Yakıtların ve ketencik biyodizelinin viskozite değerlerini ölçmek için Biyodizel Laboratuvarı'nda olan çalışma sıcaklığı 25 ile 150°C arasında, hassasiyeti $\pm 0,01$ olarak belirlenmiştir. Koehler marka K23377 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ASTM D445, DIN 51550 ve ISO 3104 standartlarında belirlenmiş değerlere göre viskozite ölçümü Şekil 3.7' de verilmiş alet ile yapmaktadır.



Şekil 3.7 Kinematik viskozite ölçüm cihazı

3.1.2.2. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Elde edilen biyodizelin yoğunluk değerlerinin ölçebilmek için, Biyodizel Laboratuvarı'nda olan ölçüm aralığı 0 ile 2 g/cm³, ölçüm sıcaklığı 0 ile 40 °C ve hassasiyeti $\pm 0,001$ g/cm³ olan Kem Kyoto marka DA-130N model kullanılmıştır. Şekil 3.8'de gösterilen alet EN 61326 standartlarına uygun yoğunluk ölçümü yapmaktadır. Cihazla ölçüm yapılırken her zaman sıcaklığı 15 °C'ye çevirerek g/cm³ olarak değerleri ekranda göstermektedir.



Şekil 3.8. Yoğunluk ölçüm cihazı

3.1.2.3. Kalorimetre Cihazı

Ketencik yağı ve alternatif yakıtların net yanma ısı değerini ölçmek için Biyodizel Laboratuvarı'nda bulunan IKA marka, 40.000 Joule'e kadar olan kalorimetre cihazı kullanılmıştır. Cihaz EN 61010, EN 50082, EN 55014 ve EN 60555 standartlarına uygun şekilde ölçüm yapılmaktadır. Şekil 3.9'da kalorimetre cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Kalorimetre cihazı

3.1.2.4. Parlama Noktası Tayin Cihazı

Alternatif ve petrol esaslı yakıtların parlama noktasının belirlenmesi için, Biyodizel Laboratuvarı'nda bulunan Koehler marka K16270 model cihaz kullanılmıştır. Şekil 3.10' da görülen Cihaz ASTM D 93, DIN 51758 ve ISO 2719 standartlarına uygun ölçüm yapmaktadır.

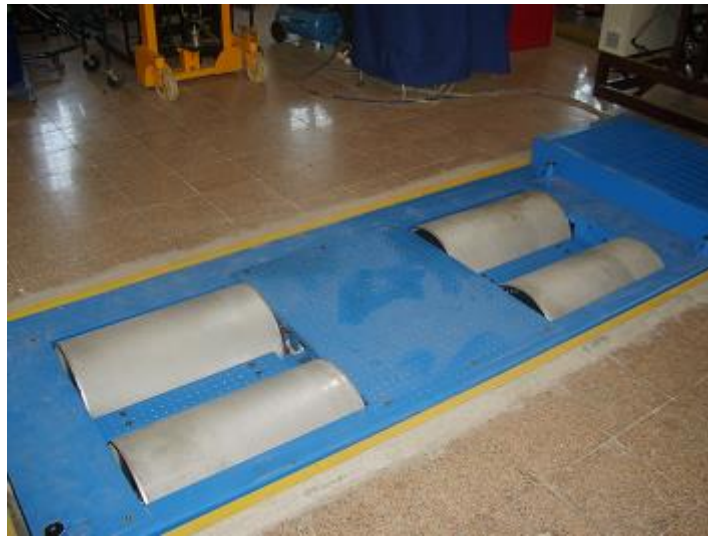


Şekil 3.10 Parlama noktası tayin cihazı

3.1.3. Şasi Dinamometre Testinde Kullanılan Ekipmanlar

3.1.3.1.Şasi Dinamometresi

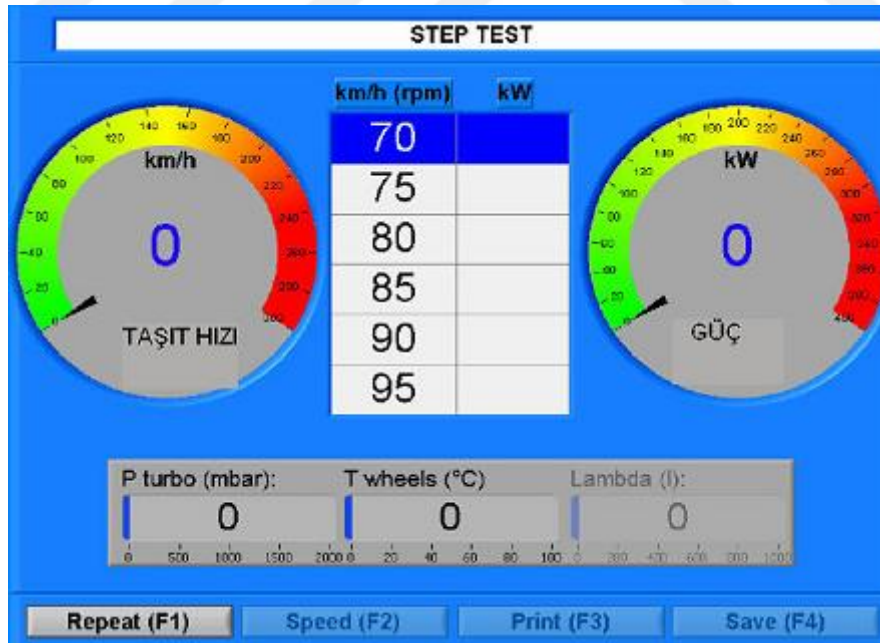
Deneylerde, şekil 3.11’ de gösterilen HPT 6100 marka şasi dinamometresi kullanılmıştır. Kullanılan araç dinamometresi yol testi, güç testi ve hız testi için kullanılabilir. Şasi dinamometresinin kontrol paneli şekil 3.12 ve şekil 3.13’de kontrol paneli gibi fonksiyonların kullanımını sağlamaktadır.



Şekil 3.11 Şasi dinamometresi



Şekil 3.12 Şasi dinamometresi kontrol paneli



Şekil 3.13 Şasi dinamometresi kontrol paneli güç testi fonksiyonu örneği

Deneylerde kullanılacak Şasi Dinamometresinin cihazının teknik bilgileri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Şasi dinamometresinin teknik özellikleri (Dynamometers, 2019).

Marka		HPT
Model		6100
Tambur Çapı	m	1,2
Maksimum Hız	km / h	200
Maksimum aks yükü	kN	35
Kapasite	kW	170

3.1.3.2.Egzoz Gaz Analiz Cihazı

Egzoz Emisyon değerlerini ölçmek için Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Atölyesinde bulunan Bosch BAE 350 marka egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzoz emisyon cihazı Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14 Egzoz gaz analiz cihazı (Anonim, 2020c).

Deneylerde kullanılacak egzoz emisyon cihazının teknik bilgileri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Kullanılan egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri (Anonim, 2020c).

	Birim	Ölçüm Aralıkları
CO	%	0-9,99
CO ₂	%	0.19,99
HC	ppm	0-2500
COK	%	0-9,99
λ	%	0-1,99
O ₂	%	0-20,8
NO _x	ppm	0-2000
İşletme Sıcaklığı	°C	5-40
Bekletme Sıcaklığı	°C	(-20)-(+60)
Besleme gerilimi	V	12

3.2. Metot

3.2.1. Ketencik Yağından Biyodizel Üretimi

Biyodizel çeşitli yöntemlerle üretilse de günümüzde en yaygın kullanılan transesterifikasyon yöntemidir. Bu yöntem; bir katalizörün alkol ile reaksiyona girmesi yoluyla bitkisel yağın yeniden esterlenmesi işlemidir. Bu yöntem günümüzde viskoziteyi düşürmede en etkili yöntemdir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Biyodizel üretimi; alkol ve katalizörün karıştırılması, reaksiyon, ayırma, yıkama, kurutma ve depolama olmak üzere 6 aşamadan oluşmaktadır (Eryılmaz, 2009).

Ketencik tohumu yağından biyodizel elde etmek için, yağ Eurodiesel motorları çalıştırmaya ve kullanışlı oluncaya kadar pilot biyodizel üretim tesisinde aşağıdaki adımları uygulamak gerekmektedir.

Biyodizel üretiminde aşağıdaki maddeler yapılmıştır;

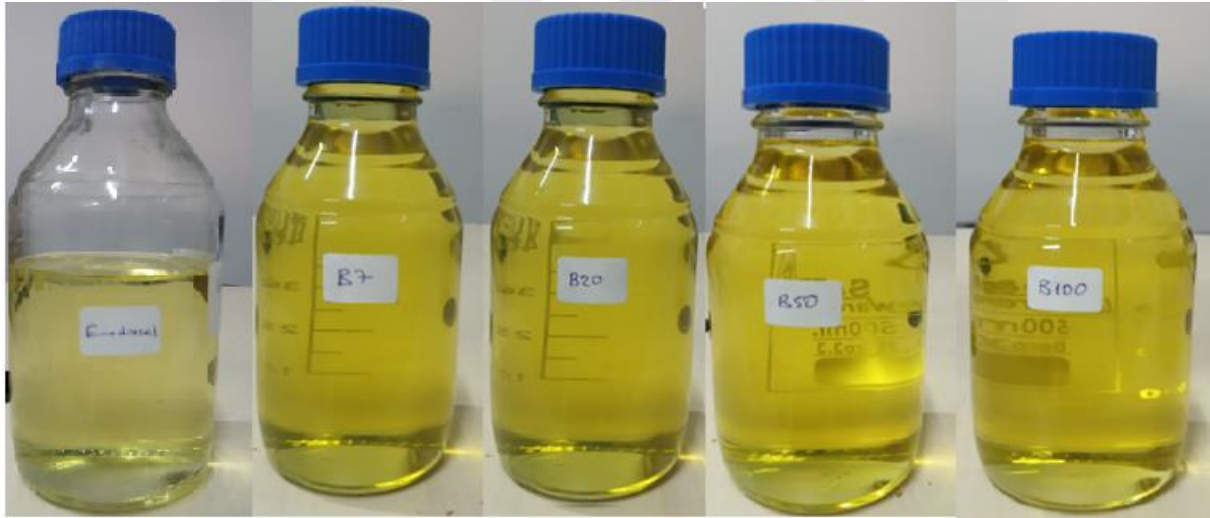
- Reaktördeki yağı karıştırarak 60° C'ye çıkana kadar ısıtma yapılmıştır.
- Ketencik yağının hacimsel %20'si metanol ve bir litre yağ için 3,5 g şeklinde NaOH katalizör maddesi eklenmiş ve reaksiyon iki aşamada şeklinde yapılmıştır.
- Tepkimede ilk başta metanol ile NaOH katalizörü karıştırılıp metoksit çözeltisi elde edilmiş ve reaktörün içindeki ketencik yağının içine dökerek karıştırılmıştır. Karıştırma 80 l/min'de altmış dakika yapılmıştır. Karıştırma sonunda en az iki saat bekletilen karışımın tabanında biriken gliserin alınmıştır.
- Reaktördeki ham biyodizelin soğuma ve içinde olan gliserinin dibe çökmesi için 1 gün bekletildiği zaman en altta birikmiş olan gliserin tekrar alınmıştır.
- 50°C sıcaklığında olan saf biyodizel ve saf su hacimsel olarak eşit ölçüde karıştırdıktan sonra yıkanıp ve suyun çökmesi için on iki saat dinlenmeye bırakılmıştır. Yıkama işleminin bitiminde biyodizel içinde bulunan tepkimeye girmeyen yağ asitleri, alkol, Na⁺ iyonları, katalizör madde ile yapıda olabilecek gliserin uzaklaştırılmış oldu.
- Reaktörde en altta birikmiş olan suyu tahliye ettikten sonra kurutma işlemine yapılarak biyodizelin içinde kalan su, en az iki saat süresince 100°C'de ısıtılıp ve karıştırılarak buharlaştırma sonunda istenilen biyodizel elde edilmiş olunur. Elde edilen ketencik biyodizeli ve Eurodiesel yakıt karışımlarının özellikleri Çizelge 3.4' de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Eurodiesel ve biyodizel karışımlarında Y, PN, KV ve ID değerleri

Biyodizel	B7	B20	B50	B100	Eurodiesel	Standart
Yoğunluk	834	845,9	865,6	884,8	824,9	EN ISO 12185
Parlama Noktası (°C)	164	175	186	205	65	EN ISO 3679
Kinematik viskozite (40 °C) mm ² /s	2,832	3,18	4,25	5,16	2,82	EN ISO 3104
Isıl Değer (MJ/kg)	37,57	37,42	37,09	36,81	47,14	EN 50082

3.2.2. Yakıt Karışımlarının Hazırlanması

Eurodiesel yakıtı ile ketencik yağı metil esteri karışımları hazırlanırken hacimsel olarak %93, %80, %50 ve %0 Eurodiesel konulmuş daha sonra üzerine sırasıyla %7 , %20, %50 ve %100 biyodizel eklenerek yakıt karışımları elde edilmiştir. Laboratuvar tipinde hazırlanmış yakıtların karıştırılması için ilk başta 1500 l/min’de 7,5 dakika daha sonra homojenizatör ile 24000 l/min’de 7,5 dakika olmak üzere toplam on beş dakika karışımı homojen şekle getirilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak hacimsel B7, B20, B50 ve B100 karışımları hazır hale edilmiştir. Şekil 3.15’da deney sırasında kullanılan yakıt ve yakıt karışımları görülmektedir.

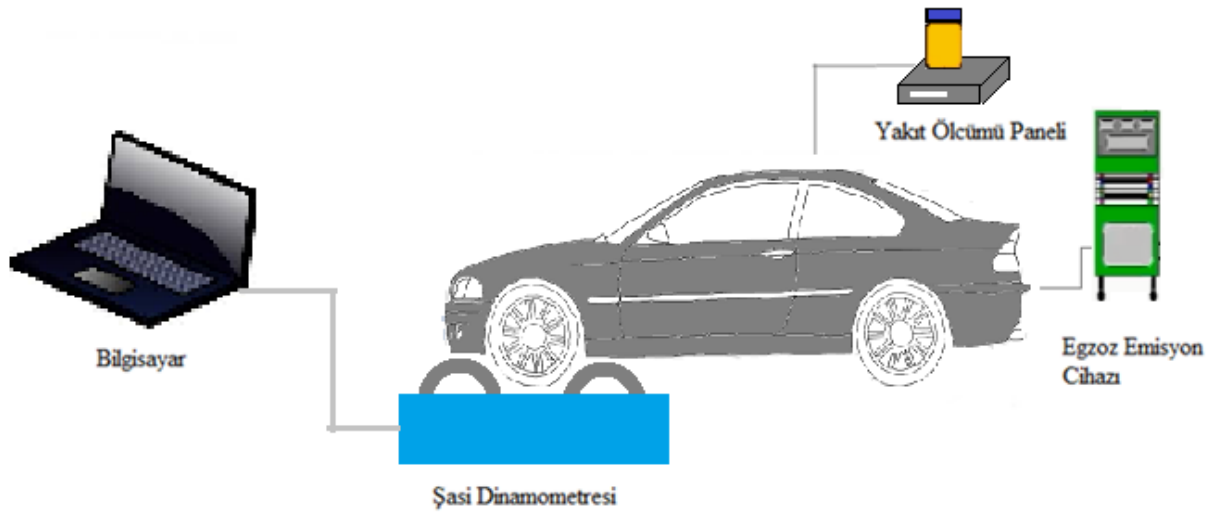


Şekil 3.15 Testlerde kullanılan yakıtlar

3.2.3. Deney Düzenekinin Hazırlanması

Üretilmiş olan ketencik biyodizelinin araç deneyini yapabilmesi için; şasi dinamometresi (HPT 6100) ve egzoz emisyon ölçüm cihazının Toyota Verso 2.0 aracına bağlantısı yapılmıştır. Hazırlanan karışım yakıtın tüketim değerinin hesaplanabilmesi için

yakıt altında ölçüm için doğru bir terazi hazırlanması gerekmektedir. Şekil 3.16’de tez araştırması için hazırlanan test cihazını görülmektedir.

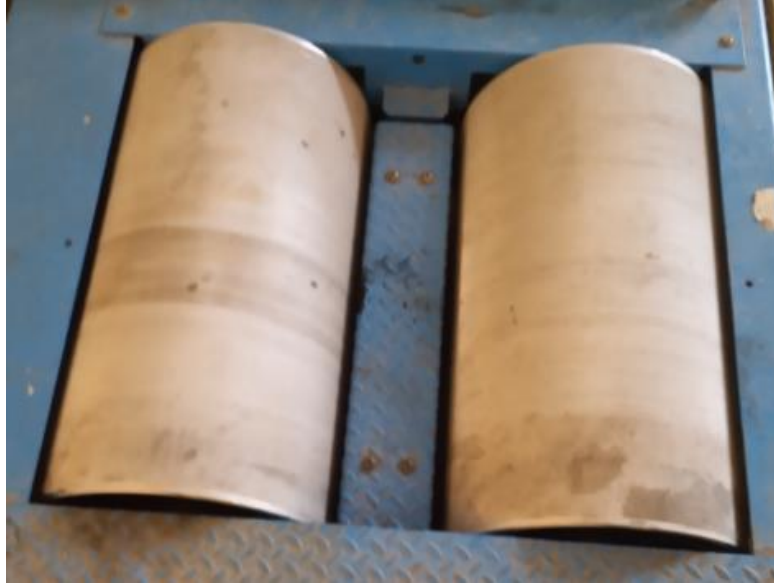


Şekil 3.16. Deney test düzeneği

3.2.4. Taşıt Deneylerinin Yapılması

Araç performans parametreleri DIN 70200 standardına göre ölçülür. Deney yapmadan önce ölçüm ekipmanının kalibrasyonu yapılması gerekir ve test aracının gerekli bakım ve kurulumu katalogdaki değerlere getirilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Deneylerin tümünde ölçüm sürecine başlamadan önce araç motoru ve araca bağlı test ekipmanı çalıştırılmalı ve araç motoru çalışma sıcaklığına ulaşmalıdır. Deneyde DIN 70200 standardına uygun olarak motor gücü ve egzoz emisyonları sabit bir viteste ve farklı araç hızlarında ölçülmüştür. Önce ölçüm için yakıt olarak Eurodiesel kullanılmış ve ardından ölçüm için B7, B20, B50 ve B100 yakıtlarını kullanılmıştır. Deneyler bütün yakıtlar için üç defa tekrarlanmıştır. Deney yapılırken aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilir.

- Şasi dinamometresinin bilgisayarı ve kompresör çalıştırmak için gerekli elektrik bağlantısı yapılır.
- Şasi dinamometresi tamburlar arasında bulunan parçanın yükseltip alçaltması için gereken hava kompresör çalıştırılarak sağlanır ve hava depolanır.
- Bilgisayarın açma tuşuna basıp çalıştırılır, program açılır. Tamburlar arasındaki parçanın inip kalkması için programa giriş yapmak şarttır.
- Tamburlar arasında bulunan parça Şekil 3.17’de ki gibi normalde aşağı konumundadır.



Şekil 3.17 Rampa aşağıda

- Test aracının lastik basıncını kontrol ederek, tamburlar arasındaki eğim artacak ve araç tambur üzerine yerleştirilecektir. Araca lastikleri tamburları ortalaması gerekmektedir.
- Aracı tamburun üzerine yerleştirdikten sonra F_6 tuşuna tekrar basıp parçanın aşağı inmesi sağlanır.
- Taşıt, bağlama kemerleri ile dinamometre üzerinde bulunan demir halkalara bağlanır. Bağlantı kemerleri alt salıncakta uygun bir yerden geçirildikten sonra halkalara bağlanır ve kemerlerin boşluğu alınır. Boşluk alma işlemi aracın yüksek hızlarda sağa sola hareket etmemesi, dolayısıyla güvenlik açısından çok önemlidir.
- Araç çalıştırılarak ölçüme başlanır.

3.2.4.1. Motor Gücü Hesabı

SI sistemindeki güç birimi watt'tır ve sembolü büyük W'dir. Güç, genellikle kW sembolü ile kilowatt cinsinden ifade edilir. Watt'ın kilowatt'a dönüşümü şu şekilde yapılır.

- $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$
- $1 \text{ W} = 0,001 \text{ kW}$

Frenlenen güç, motorun şaft gücünü ifade eder ve P_e ile tanımlanır. Mil gücü, güç standartlarına göre motordan elde edilen net veya brüt güçtür. Motorların karşılaştırılmasında, karşılaştırma için en önemli temel budur. Frenlenen güç, motorun çıkış milini yükleyen bir dinamometre ile ölçülebilir. Motorun şaft gücü böylece aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$P_e = M * \omega \quad (3.1)$$

Milin açısal hızı bilinmiyorsa, motor gücü dönme devri kullanılarak da hesaplanabilir. Dönme hızını açısal hıza dönüştürmek, değerini 2 pi sayısı ile çarparak mümkündür. Bu durumda formül aşağıdaki formu alır.

$$P_e = M * 2 * \pi * n \quad (3.2)$$

Devir sayısını hıza çevirmek için sayısal bir değer denklemi kullanarak;

$$V = \pi * d * n / 60 \quad (3.3)$$

Önceki formüllerin açıklamaları

P_e şaft gücü (Nm/s = W)

M moment (Nm)

ω şaftın açısal hızı (rad/s)

n dönme devri (1/s)

d çap (m)

V hız (m/s)

3.2.4.2.Motor Momenti Hesabı

Hız, saniyede metre cinsinden ölçülür ve m/s olarak işaretlenir. Sabit bir dönme hareketinde, çevresel hız aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$v = r * \omega \quad (3.4)$$

veya sayısal bir değer denklemi kullanarak

$$v = \pi * d * n / 60 \quad (3.5)$$

Açısal hız sembolü ω ve SI biriminde rad/s'dir. Açısal hızı belirlemek için aşağıdaki formül kullanılır.

$$\omega = \varphi / t = v / r = 2 * \pi * n \quad (3.6)$$

Motor momenti M ile tanımlanır ve SI birimi Newton metre veya Nm'dir. Moment, silindirde oluşan yanma basıncının yoğunluğunu ve bunun krank miline iletimini tanımlar. Her motor, ideal miktarda yakıt - hava karışımı elde etmek için maksimum moment hızına sahiptir. Bu durumda, maksimum kuvvet, dönen çubuk boyunca krank miline iletilir.

Moment, aşağıdaki formül kullanılarak ölçülebilir.

$$M = F \cdot r = P/\omega \quad (3.7)$$

veya sayısal bir değer olarak, moment

$$M = 9550 \cdot P/n \quad (3.8)$$

Önceki formüllerin açıklamaları:

v Çevresel hız (m/s)

r yarıçap (m)

ω açısal hız (rad/s¹)

π 3,14 (standart)

d çap (m)

n hız (min⁻¹)

φ açı (rad)

t , zaman (s)

M moment (Nm)

F kuvvet (N)

P güç (kW)

3.2.4.3.Özgül Yakıt Tüketimi Hesabı

Motorun birim güç için tükettiği yakıt miktarına özgül yakıt tüketimi denir. Özgül yakıt tüketimi, motor karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerden biridir.

$$be = m_y \times 3600 / P_b \quad (3.9)$$

be = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

m_y = Yakıt tüketimi (g/sn)

P_b = Efektif güç (kW)

Şeklinde ifade edilir.

3.2.4.4. Belirsizlik Analizi

Yapılan deneylerde elde edilen verilerin hata analiz yöntemlerinden olan belirsizlik analizini kullanmak büyük avantaj sağlayacaktır. Bu yöntem bize en çok hataya sebep olan değişkeni bulmamıza yardım eder. Deneyde ölçülen değere R, ölçülen değere etkisi olan n tane bağımsız değişkenleri ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) şeklinde isimlendiririz. Bu değerleri matematiksel olarak birleştirdiğimizde $R=R(x_1, x_2, x_3, x_n)$ yazabiliriz. Her değişkenin hata oranı $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ şeklinde ise R değerinin hata oranı aşağıdaki denklemdeki gibi elde edilir (Genceli, 2011).

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.10)$$

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

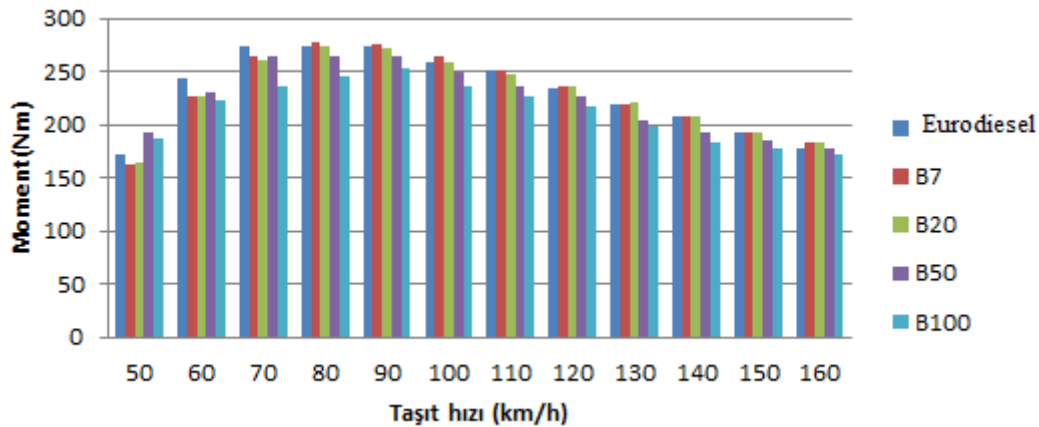
4.1. Motor Performansı

Deneylerde kullanılan Şasi dinamometre cihazının özelliklerine bağlı olarak deneylerde motor moment ve motor gücü ölçülmüştür.

4.1.1. Motor Momenti Değerlerinin Karşılaştırılması

Taşıt operatör tarafından 4. viteste tam gaz konumuna getirilmiştir. Bu esnada motor devri 6500 d/d ve hız göstergesi 160 km/saat olarak okunmuştur. Bilgisayar monitöründe “debriyaj pedalına basınız” mesajı okununca operatör tarafından debriyaja basılmış ve tekerleklerin kendi kendine durması beklenmiştir. Yavaşlama esnasında kesinlikle frene basılmamıştır.

Şekil 4.1’te değişken yakıtlar için taşıt hızına bağlı olarak motor moment değerleri gösterilmiştir. Eurodiesel, B7, B20, B50 ve B100 yakıtları ile elde edilmiş maksimum motor moment değeri sırasıyla 274, 277, 274, 265 ve 253 Nm olarak hesaplanmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığında tüm yakıtlar içerisinde en yüksek moment değeri 80 km/h B7 yakıtında elde edilmiştir.



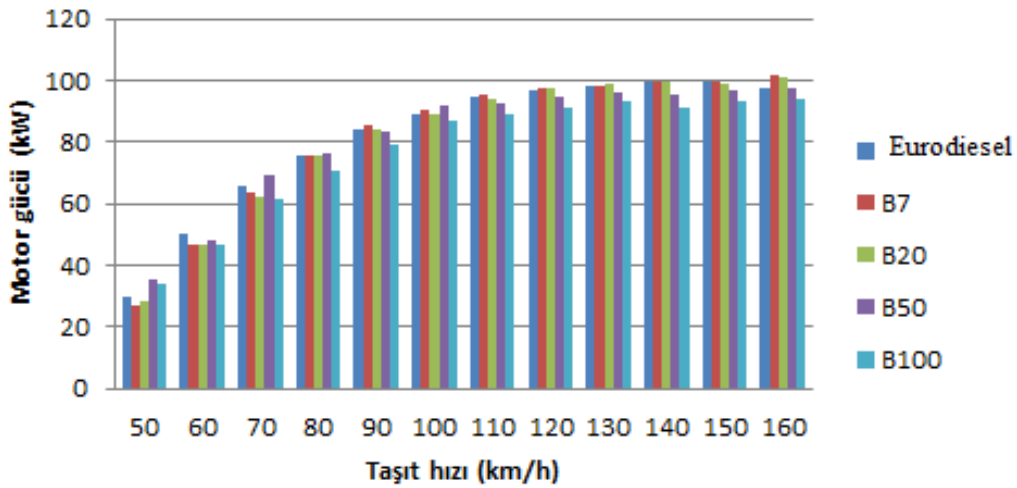
Şekil 4.1 Taşıt hızına bağlı olarak yakıtların motor moment değişimi

Yapılan testlerde motor moment bakımından Eurodiesel yakıt kullanımı, B7, B20, B50 ve B100 yakıtlarına göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Karışım oranındaki biyodizelin artan yüzdesi moment değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Moment değerlerinin daha düşük olması biyodizelin alt ısı değeri Eurodiesel yakıtına göre daha düşük, viskozitesinin ise yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Motor moment değerlerine

bakıldığında, (Shojaeefard ve ark., 2013) tarafından yapılmış araştırmanın motor moment değerlerine benzediği görülmektedir.

4.1.2. Motor Güç Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.2’de ketencik biyodizel - Eurodiesel yakıtı karışımları kullanımında deney motorunun devrine bağlı olarak motor güç değişimleri görülmektedir. Eurodiesel, B7, B20, B50 ve B100 yakıtları için elde edilen maksimum motor gücü değerleri sırasıyla 99,6, 101,4, 101,2, 97,7 ve 94,3 kW olarak hesaplanmıştır. Maksimum motor gücü B7 yakıtı için 160 km/h’ da, 101,4 kW olarak ölçülmüştür. Yakıtlardaki ketencik biyodizeli yakıt oranına bağlı olarak motor gücündeki düşüşün nedeni, ketencik biyodizelinin Eurodiesel yakıtına göre yüksek yoğunluk ve viskozitesinden kaynaklanmaktadır. Biyodizel yakıtının içerisinde bulunan oksijenin yanma karakteristiklerini iyileştirmesi sebebiyle motor performans değerleri Eurodiesel yakıtına göre yakın seviyede tutması gösterilebilmektedir.



Şekil 4.2 Taşıt hızına bağlı olarak yakıtların motor moment değişimi

Motor gücünün Eurodieselde belirsizlik analizi aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial m} \cdot w_m \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial n} \cdot w_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$w_R = [(2 * \pi * n * w_m)^2 + (M * 2 * \pi * w_n)^2]^{\frac{1}{2}}$$

Eurodiesel ölçüm sonuçlarında M=99,6 kW, n=4924 d/d ve hata oranları ise katalogdan ($w_m=w_n$) %3 olduğu görülmüştür. Bu değerler formülde yerine konduğu zaman aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

$$P_e = M * 2 * \pi * n = 99,60 * 2 * \pi * 4924$$

$P_e = 3081465,083$ W elde edilmiştir.

$W_R = 92,83 = \pm \%3$ dür.

Ölçülen değerler kullanılarak bütün yakıt ve yakıt karışımları için belirsizlik analizi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Eurodiesel ve ketencik biyodizel oranlarına göre belirsizlik analiz sonuçları

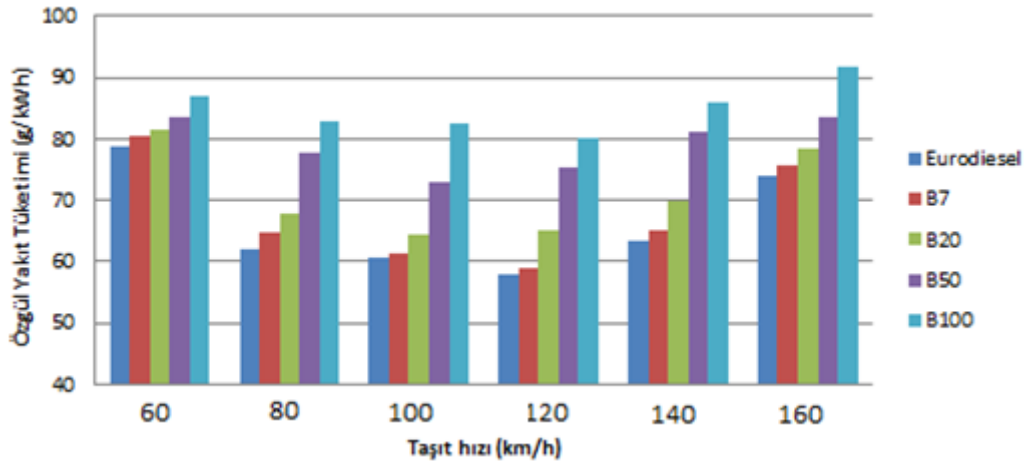
	Eurodiesel	B7	B20	B50	B100
Hata oranları	$\pm 0,00301$	$\pm 0,00295$	$\pm 0,00296$	$\pm 0,00307$	$\pm 0,00318$

4.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Karşılaştırılması

Birim güç başına tüketilen yakıt miktarına Özgül yakıt tüketimi olarak adlandırılır. Şekil 4.3’de farklı oranlarda biyodizel tercih edilmesinin özgül yakıt tüketimindeki değişimi gösterilmiştir. Eurodiesel, B7, B20, B50 ve B100 yakıtları için elde edilen minimum özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla 57, 63, 58,9, 64,4, 72,9 ve 82,4 g/kWh olarak hesaplanmıştır. Yapılan testlerde 120 km/h araç hızında tüm yakıtların en düşük özgül yakıt tüketim değerlerini elde etmek için Eurodiesel, B7 ve B100 yakıtları kullanılırken, 100 km/h araç hızında en düşük yakıt tüketim değerlerini elde etmek için B20 ve B50 yakıtları kullanılmıştır. Genel olarak değerlere baktığımız zaman, biyodizel kullanımıyla beraber özgül yakıt tüketimi artmış oluğu görülmüştür. Yakıtlardaki biyodizel miktarının artmasıyla özgül yakıt tüketiminde artış gözlemlenmiştir.

Özgül yakıt tüketimi, karışımı yapılmış olan yakıtların Eurodiesele göre daha yüksek olmasının ana nedeni, biyodizelin Eurodiesele göre daha düşük kalori değerine sahip olmasıdır. Ancak biyodizel yakıtların yakıt özellikleri açısından sağladığı avantajlar yanma verimini artırmaktadır.

Özgül yakıt tüketimindeki artışın bir diğer nedeni ise yüksek setan sayısına sahip biyodizelin ve enjeksiyon zamanındaki değişikliklerin yanma süresini değiştirmesidir.



Şekil 4.3 Taşıt hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi

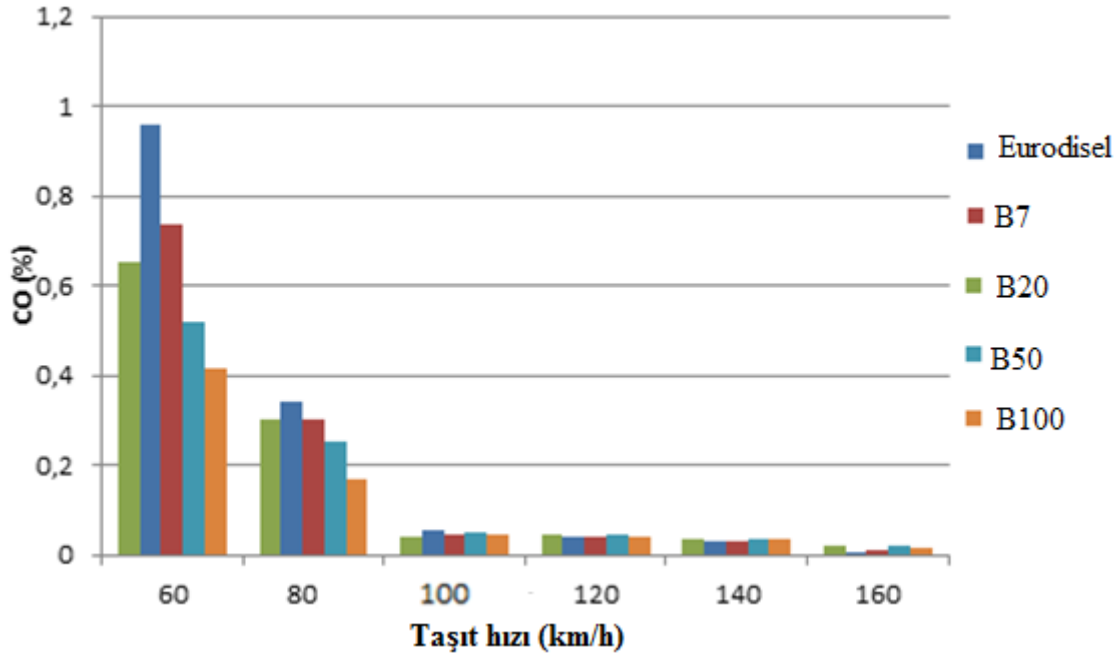
4.2. Emisyon Değerleri Ölçümü

4.2.1. CO Emisyonları Değişimi

Yakıt karışımı yakıt bakımından zengin olduğunda (örneğin, çalıştırma veya hızlanma), motordaki CO emisyonları en yüksek seviyeye ulaşır. Temel olarak, CO oluşumu fazla hava katsayısına göre değişir. CO emisyonları, motorda kullanılamayan kimyasal enerji kaybını temsil ettiği için önemli parametrelerden biridir. Şekil 4.4’de biyodizel-Eurodiesel yakıt karışımı ve Eurodiesel kullanıldığında egzoz gazındaki %CO değerinin araç hızına göre nasıl değiştiğini gösterilmiştir. Deneysel sonuçlara göre her yakıt için en düşük CO emisyon değeri 160 km/h araç hızında tespit edilmiştir. Araç hızı arttıkça, hava ve yakıt karışımı daha iyi yanma etkisiyle iyileştirilerek ve karbondioksit emisyonlarının azaldığı görülmüştür.

Yanma ürünlerinde CO değerine rastlanmasının temel nedeni yetersiz oksijen veya tam yanmanın oluşmamasıdır (Aydoğan, 2010). Bu nedenle yanma ürünlerinde CO değerine rastlanmasının nedeni düşük hava-yakıt oranıdır. Motor yükü, yakıt özellikleri ve püskürtme karakteristikleri nedeniyle hava-yakıt oranını önemli ölçüde etkileyeceğinden, CO oluşumu bu parametrelere göre değişir. CO azalmasının en önemli nedeni biyodizel yakıtın moleküler yapısında oksijenin bulunması ve motor kullanımı sırasında hava fazlalık faktörü Eurodiesel yakıtı göre kıyaslama yapıldığında daha yüksek olmasıdır.

Ayrıca hava giriş hızı yüksek bir hızda arttığı için yanma odasında türbülans yoğunluğu artarak yakıt-hava karışımı daha iyi karışır ve yanma iyileştirilir. Sonuç olarak, CO değerinde azalma olduğu görülmektedir.

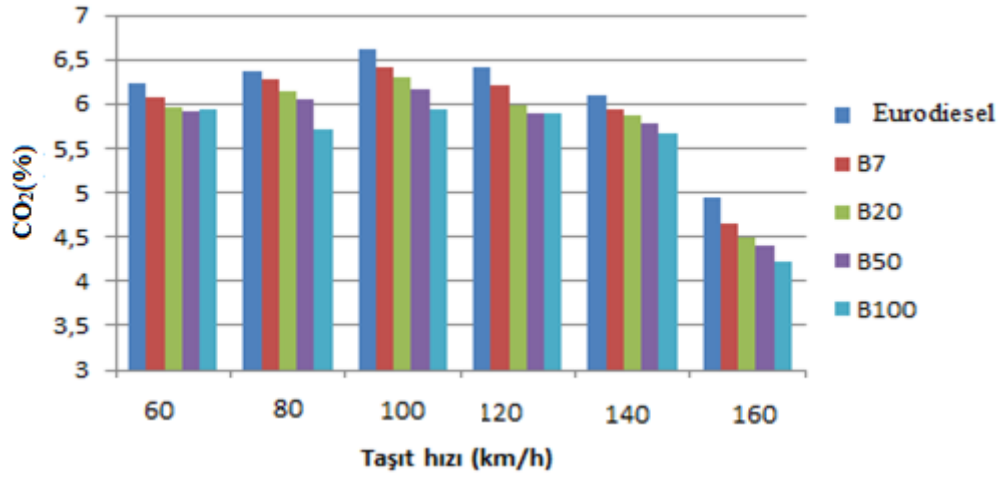


Şekil 4.4 Yakıtların CO değişimleri

4.2.2. CO₂ Emisyonları Değişimi

Bitkiler, yenilenebilir enerji yakıtlarının yakılmasıyla elde edilen CO₂ tutabilen canlıdır. Bitkiler CO₂'i karbon ve oksijene dönüştürür. Böylelikle oksijen atmosfere geri salınmış olur. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kullanımı doğal bir CO₂ emisyonu dengesi sağlar. Egzoz ürünlerindeki CO₂, tam yanmayı temsil ettiği için önemli bir parametredir. Şekil 4.5'de araç hızının bir fonksiyonu olarak karbondioksit yüzdesini gösterir.

Deney sırasında ölçülen CO₂ emisyon değerleri biyodizel oranı ve taşıt hızı arttıkça CO₂ emisyon değerleri azalmaya başlamıştır. En yüksek CO₂ emisyon değeri Eurodiesel yakıtında 100 km/h taşıt hızında %6,62 değerleri ölçülmüştür. En düşük olarak ise B100 yakıtında 160 km/h taşıt hızında %4,21 olarak ölçülmüştür.

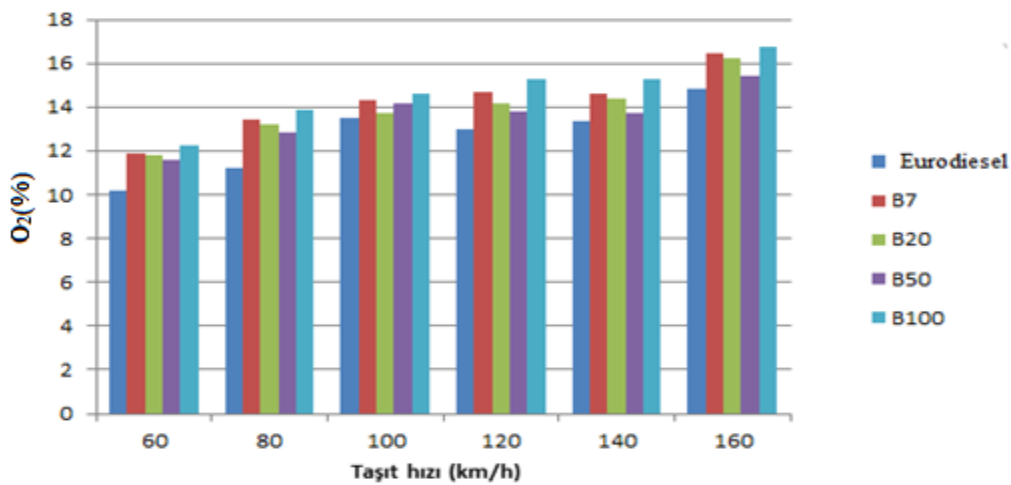


Şekil 4.5 Yakıtların CO₂ değişimleri

4.2.3. O₂ Emisyonları Değişimi

Egzozdaki O₂ değerlerinin yüksek olması fakir bir karışım oranının olduğundandır. Eurodiesel motorlarda karışım miktarı fakirleştikçe yakıt sarfiyatının azaldığı ve NO_x hariç diğer zararlı emisyonlarda da azalma meydana gelmektedir.

Egzoz gazındaki yüksek O₂ içeriği, zayıf bir karışım oranını gösterir. Eurodiesel motordaki karışımlar fakir hale geldikçe yakıt tüketimi azalır ve NO_x dışındaki diğer zararlı emisyonlar azalır. Şekil 4.6'de, biyodizel - Eurodiesel yakıt karışımı kullanıldığında egzoz gazındaki O₂ miktarını gösterilmektedir. Ölçülen en yüksek O₂ emisyon değeri B100 yakıtta 160 km/h taşıt hızında %16,72 değeri ölçülmüştür. En düşük olarak ise Eurodiesel yakıtında 60 km/h taşıt hızında %10,15 olarak ölçülmüştür.

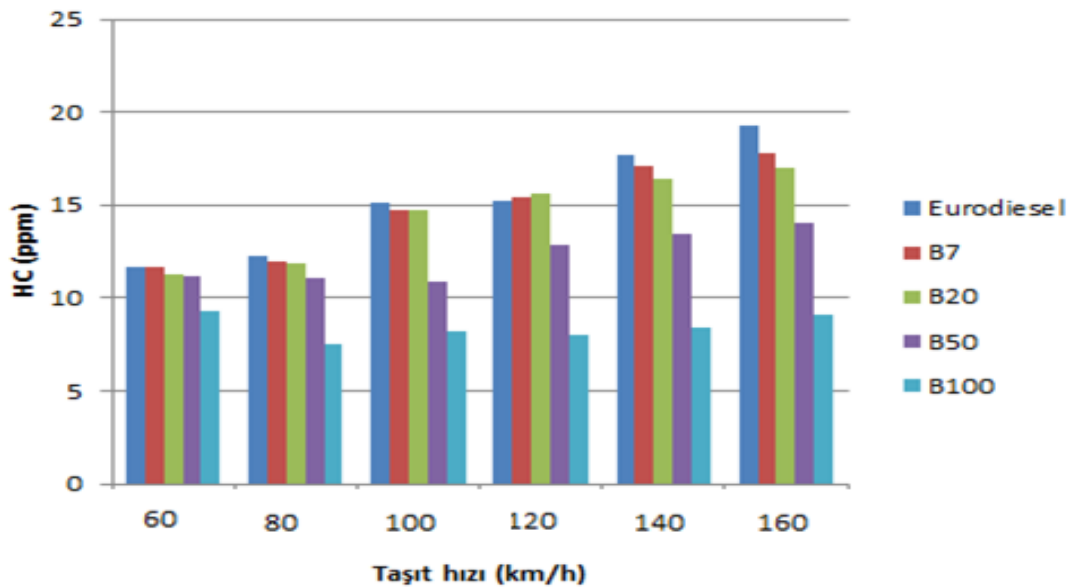


Şekil 4.6 Yakıtların O₂ değişimleri

4.2.4. HC Emisyonları Değişimi

Yanma ürünlerinde yanmamış HC bulunmasının nedeni, yakıtın tutuşma sıcaklığına ulaşamaması, ortamdaki oksijenin az olması veya yakıtın yeterli yanma süresi bulamadığı için yakılamamasıdır. Bu nedenle, HC, yanmamış yakıtı ifade eder.

Şekil 4.7’de, farklı motor hızlarında Biyodizel - Eurodiesel karışık yakıt kullanıldığında HC değerindeki değişimi göstermektedir. En yüksek ölçülen HC değerleri Eurodiesel yakıtı kullanıldığında, 160 km/h’de 19,29 ppm olarak ölçülmüştür. En düşük ölçülmüş HC değeri ise B100 yakıtının 80 km/h’de 7,5 ppm olduğu gözlemlenmiştir.

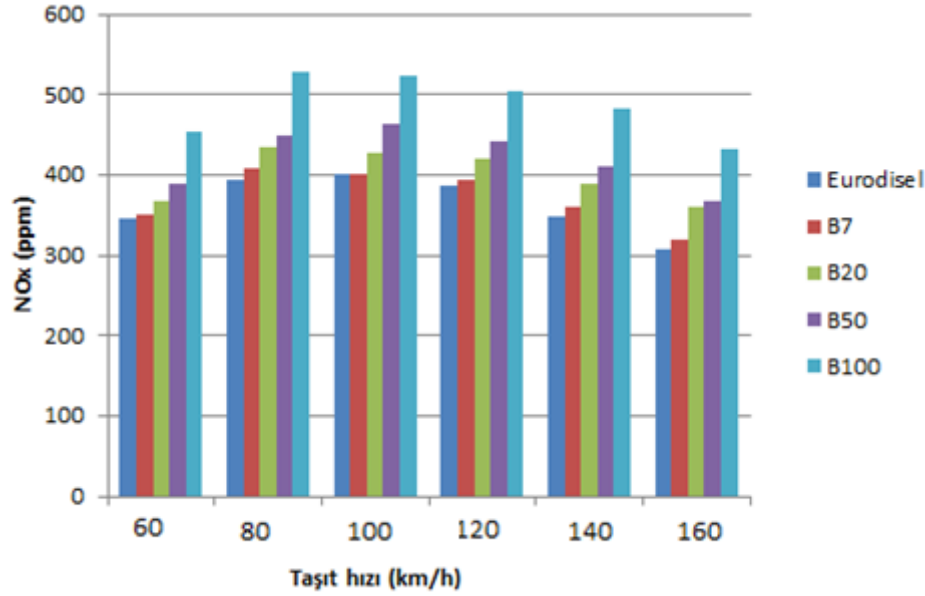


Şekil 4.7 Yakıtların HC değişimleri

4.2.5. NO_x Emisyonları Değişimi

NO ve NO₂ gibi emisyonlarına verilen genel bir terimdir. NO_x emisyonları, silindir içindeki sıcaklık, yanma süreci ve bu reaksiyon esnasında onunla tepkimeye giren oksijen miktarı ile önemli ölçüde ilişkilidir. Genellikle yüksek sıcaklığın olduğu yerlerde kontrolsüz yanmada meydana gelir. Bunun nedeni, bitkisel yağın oksijen içermesinden dolayıdır. Motorda yakıtın yanmasından sonra oluşan yüksek sıcaklık, havadaki azot ve oksijeni birleştirerek azot oksitler üretir. Ayrıca hızlı ateşlenen yakıttaki uzun süreli yanma nedeniyle NO_x seviyesi yükselir. Bitki kaynaklı yakıtlarının içerdiği yüksek oksijen sıcaklığı nedeniyle NO_x değerleri yüksektir.

Deney sonuçlarında Şekil 4.8'deki verilere göre minimum NO_x emisyon değerleri bütün yakıtlarda 160 km/h taşıt hızında tespit edilmiştir. Biyodizel yakıt olarak Eurodiesel yakıtına göre daha fazla oksijen miktarı bulunduğu ve silindir içi sıcaklık yükseldiğinde biyodizel kullanımı ile NO_x içeriğinde artış olmaktadır. En yüksek ölçülen NO_x değeri B100 yakıtı tercih edildiğinde 80 km/h'de 527 ppm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.8 Yakıtların NO_x değişimleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir kaynaklardan biyodizel elde etmek için pek çok çalışma yapılmış olup, bu ülkemizin ana harcamalarından biridir ve ithal edilen ham petrolün ikamesidir. Ancak yenilenemeyen bitkilerden, özellikle tarıma elverişli olmayan arazilerde kolaylıkla büyüeyebilen yakıt üretimi konusunda az sayıda çalışma vardır ve sulama ve ekim maliyetlerine olan talep düşük değildir. Tarım ülkesi olmamız ve ülkemizde bitki türünden zengin olduğundan dışa bağımlılıktan kurtulmak için son derece önemlidir. Bu değeri artırmak, Ketencik ve benzeri bitkilerden biyodizel üreterek ülkemizin refah seviyesinin artmasını sağlayacaktır.

Bu amaç doğrultusunda Ketencik bitkisinden transesterifikasyon yöntemi kullanılarak biyodizel elde edilmiştir. Dört silindirli sıkıştırılmalı ateşlemeli bir motorda farklı oranlarda Eurodiesel yakıt kullanılarak elde edilen ketencik biyodizelin motor performansına ve emisyon değerlerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar standart Eurodiesel ile elde edilen verilerle karşılaştırılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilebilir.

- Şekil 4.2'yi incelediğimizde maksimum motor gücü 160 km/h'de 101,4 kW ile B7 yakıtında elde edilmiştir. Ayrıca 160 km/h'de ile kıyaslandığında motor gücü B100, B50, B20 ve Eurodiesel yakıt karışımlarında sırasıyla 94,3 kW, 97,7 kW, 101,2 kW ve 97,5 kW olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda tüm motor devirlerinde Eurodiesel yakıtına göre ortalama motor gücü B50, B20 ve B7 yakıt karışımlarında sırasıyla %0,20, %3,79 ve %3,99 artarken, B100 yakıt karışımında %3,28 azalmıştır. Sonuç olarak B50, B20 ve B7 yakıt karışımlarında motor gücünün Eurodiesel yakıtına göre artmasının sebebinin biyodizeldeki oksijen içeriğinin tam yanmaya katkı sağlaması olduğunu söyleyebiliriz.
- Maksimum motor momenti 80 km/h'de 277 Nm ile B7 yakıt karışımında elde edilmiştir. Ayrıca 80 km/h'de B100, B50, B20 ve Eurodiesel yakıt ve karışımları için motor momenti sırasıyla 246, 265, 274 ve 274 Nm olarak elde edilmiştir. Ayrıca motor momenti Eurodiesel yakıt ile karşılaştırıldığında 80 km/h'de B100, B50 yakıt ve karışımlarında sırasıyla %10,21, %3,28 azalırken, B7 yakıt karışımlarında %1,54, artış oranında artış gözlenmiş ve B20 yakıt karışımlarında herhangi bir değişiklik görülmemiştir.
- En düşük ÖYT yapılan deneylerde bütün yakıtlar için en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri Eurodiesel, B7 ve B100 yakıtları ile 120 km/h taşıt hızında 57,76, 58,9 ve 80

g/kWh elde edilirken, B20 ve B50 yakıtları ile 100 km/h taşıt hızında 64,4 ve 72,9 g/kWh olarak elde edilmiştir. En yüksek ÖYT ise 160 km/h'de B100 yakıtında 91,6 g/kWh ile elde edilmiştir. Tüm sonuçlara bakıldığında Eurodiesel yakıtına göre 120 km/h'de B7, B20, B50 ve B100 yakıt ve karışımlarında sırasıyla ortalama ÖYT %1,97, %12,88, %30,19, %38,5 artış göstermiştir. Eurodiesel yakıtı ile karşılaştırıldığında, tüm yakıt ve karışımlarda ÖYT artışının ana nedeni, aynı gücü elde etmek için daha fazla miktarda yakıt gerekmesidir.

- Tüm taşıt hızlarında en düşük CO emisyonu 160 km/h'de Eurodiesel ve B7 yakıt ve karışımında %0,004, %0,009 olarak elde edilmiştir. Eurodiesel yakıtına göre B7, B20, B50 ve B100 yakıt ve karışımlarında CO emisyonları sırasıyla ortalama %125, %375, %475 ve %350 oranında artmıştır. Tüm bu sonuçlara göre biyodizel katkısının CO emisyonlarını olumlu oranda azaldığı ortaya çıkmıştır.
- En düşük CO₂ emisyonu 160 km/h'de %4,21 B100 yakıtında elde edilmiştir. Maksimum CO₂ emisyonu 100 km/h'de %6,62 Eurodiesel yakıtında elde edilmiştir. Eurodiesel yakıtına göre B7, B20, B50 ve B100 yakıt ve karışımlarında CO₂ emisyonları sırasıyla %5,85, %9,09, %11,31 ve %14,94 oranında azalmıştır. Tüm bu sonuçlara göre; Eurodiesel yakıt içerisine %50 ve %100 oranında biyodizel katılması tam yanmayı ifade eden CO₂ emisyonlarına olumlu yönde katkı sağlamaktadır.
- En düşük O₂ emisyon miktarı 60 km/h'de ile Eurodiesel yakıtında %10,15 olarak elde edilmiştir. Maksimum O₂ emisyonu 160 km/h'de %16,72 B100 yakıtında elde edilmiştir. Eurodiesel yakıtı ve 160 km/h'de hızına göre B7, B20, B50 ve B100 yakıt ve karışımlarında O₂ emisyonları sırasıyla %10,94, %9,86, %4,18 ve %12,97 oranında artmıştır. Egzoz gazındaki yüksek O₂ içeriği fakir karışım oranını gösterir. Eurodiesel motordaki karışım ne kadar kötü olursa, o kadar az yakıt tüketimi ve NO_x in yanı sıra diğer zararlı emisyonlar da azalır.
- En düşük HC emisyon miktarı 80 km/h'de ile B100 yakıtında 7,5 ppm olarak elde edilmiştir. Aynı taşıt hızında Eurodiesel B7, B20 ve B50 yakıt ve karışımları sırasıyla 12,26, 12, 11,89 ve 11,11 ppm olarak elde edilmiştir. Maksimum HC emisyon miktarı 160 km/h'de 19,29 ppm ile Eurodiesel yakıt ile elde edilmiştir. Bütün değerlere baktığımız zaman Eurodiesel yakıtına göre en iyi HC emisyon değerlerinin ortalaması 8,41 ppm ile B100 yakıttan elde edilmiştir. Bu sonuçlar, biyodizelin HC emisyonları üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

- En düşük NO_x emisyonu 160 km/h'de 308,4 ppm ile Eurodiesel yakıtında elde edilmiştir. Maksimum NO_x emisyonu 80 km/h'de 527 ppm B100 yakıtı ile elde edilmiştir. Eurodiesel yakıtına göre B7, B20, B50 ve B100 yakıt ve karışımlarında NO_x emisyonları sırasıyla ortalama %2,10, %9,81, %15,42 ve %33,88 oranında artmıştır. Biyodizel yapısında bulunan oksijen sayesinde yanma iyileştirilir ve yanma sıcaklığı artar. Sonuç olarak NO_x emisyonları artar. Elde edilen sonuçlara göre, Biyodizelin ketencik biyodizelinden üretilebildiği ve Eurodiesel araçlarda karışım olarak kullanılabildiği görülmektedir.

Ülke ekonomisinin önemi için bitki kaynaklı biyodizel yakıtın çeşit sayısının artırılması ve herhangi bir bitki ekim işlemi olmayan alanlara uygun biyodizel üretebilecek bitkilerin yetiştirilmesi önemlidir. Bu sayede ülkeye ve insanlığa katkı sağlayabilir. Sonuç olarak, Eurodiesel taşıtlarda alternatif yakıt olarak atık yağ ve bitkisel yağlardan elde edilmiş biyodizelin kullanılması motor performansını olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle biyodizel özellikle egzoz emisyonlarını azaltır. Biyodizel kullanımından kaynaklı küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarını ve atmosferdeki ozon tabakasını incelmeye sebep olan gazların azaltmasını sağladığı anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abramoviç, H. ve Abram, V., 2005, Physico-chemical properties, composition and oxidative stability of Camelina sativa oil, *Food technology and biotechnology*, 43 (1), 63-70.
- Acaroğlu, M., 2003, Alternatif Enerji Kaynaklar, Atlas Yayın & Dağıtım İstanbul, p, 503.
- Akçakaya, O., 2010, Tekerlekli araçlar için dijital şasi dinamometresinin tasarımı ve uygulaması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 55.
- Aksoy, L., 2010, Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2 (3), 45-52.
- Aktaş, A. ve Şahin, Ö., 2009, Dizel/biyodizel karışımı ile çalışan bir motorun performans ve emisyonlarını iyileştirmek için hidrojen kullanılması, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 14 (1).
- Altun, Ş. ve Öner, C., 2013, Gaseous emission comparison of a compression–ignition engine fueled with different bioEurodiesels, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10 (2), 371-376.
- Anastasov, A., 2009, BioEurodiesel—Basic Characteristics, Technology and Perspectives, *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23 (sup1), 755-759.
- Anne, E. M., 2009, Renewable Energy: Sources and Methods, Infobase Publishing, ISBN: 1282473433 9781282473430.
- Anonim, 2020a, What is BioEurodiesel, http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/02-03/biofuels/what_bioEurodiesel.htm [24 eylül 2020].
- Anonim, 2020b, Türkiye, <http://www.enerji.gov.tr/index.php>: [10 Eylül 2020].
- Anonim, 2020c, Türkiye, <https://ekilavuz.com/bosch-bea-350-ekzoz-emisyon-analiz-cihazı--cc3b173f6f3fd090-1>, [03 Eylül 2020].
- Arslan, M., 2015, Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve yabancı zeytinden (Oleaoleaster) üretilcek biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi, yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 74.
- Ayaşan, T., 2014, Ketencik bitkisinin (Camelia sativa) kanatlı beslenmesinde kullanılması, *Tarım ve Doga Dergisi*, 17 (2), 10.
- Aydin, M., Afsar, M. ve Çelik, M. B., 2016, Tek silindirli bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi, 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (isites2016) 3-5 Nov 2016 Alanya/Antalya-Turkey.
- Aydin, S., Sayin, C. ve Aydin, H., 2015, Investigation of the usability of bioEurodiesel obtained from residual frying oil in a Eurodiesel engine with thermal barrier coating, *Applied Thermal Engineering*, 80, 212-219.
- Aydoğan, H., 2010, Biyoetanol-dizel yakıtı karışımlarının (e-dizel) motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 136.
- Bannister, C. D., Hawley, J., Ali, H., Chuck, C., Price, P., Chrysafi, S., Brown, A. ve Pickford, W., 2010, The impact of bioEurodiesel blend ratio on vehicle performance and emissions, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 224 (3), 405-421.
- Bayram, H., 2016, Şasi dinamometreleri iklimik oda test simülatöründe araç modeli oluşturma ve doğrulama süreci, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21 (2), 451-464.
- Bettes, H. ve Hancock, B., 2008, Dyno testing and tuning, CarTech, Inc., 1st edition, ISBN-10 : 1934709743, 146.

- Bilgili, M. E., Sevilmiş, U., Seydoşoğlu, S., Kahraman, Ş. ve Sevilmiş, D., 2019, Ketencik biyodizelinin eldesi ile özellikleri ve kullanım alanları, *Ziraat Mühendisliği* (367), 36-53.
- Burke, R. D., Burke, K. A., Chappell, E. C., Gee, M. ve Williams, R., 2018, A novel use of multivariate statistics to diagnose test-to-test variation in complex measurement systems, *Measurement*, 130, 467-481.
- Chen, L., Wang, Z., Liu, S. ve Qu, L., 2018, Using a chassis dynamometer to determine the influencing factors for the emissions of Euro VI vehicles, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 564-573.
- Costagliola, M. A., Prati, M. V., Florio, S., Scorletti, P., Terna, D., Iodice, P., Buono, D. ve Senatore, A., 2016, Performances and emissions of a 4-stroke motorcycle fuelled with ethanol/gasoline blends, *Fuel*, 183, 470-477.
- Crowley, J. ve Frohlich, A., 1998, Factors affecting the composition and use of camelina, *Teagasc*, p. 23.
- Çağla D., 2013. Biyodizel dizel karışımlarının bazı fiziksel özelliklerinin biyodizel oranı ile değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 76.
- Çelik, M., Solmaz, H., Yücesu, H. S. ve Yılmaz, E., 2016, Kanola Metil Esterine N-Heptan Katkısının Motor Performansı ve Yanma Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 36 (1), 9-16.
- Çengelci, E., Bayrakçeken, H. ve Aksoy, F., 2011, Hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin dizel yakıtı ile karşılaştırılması, *Electronic Journal of Vehicle Technologies (EJVT)*, 3 (1), 41-53.
- Demirbas, A., 2005, BioEurodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods, *Progress in energy and combustion science*, 31 (5-6), 466-487.
- Dynamometers, C., 2019, Chassis Dynamometers tester, www.bapro.it [15.11.2019].
- Eryılmaz, T., 2009, Hardal yağı biyodizelinde farklı karışım oranlarının dizel motorlarda performansa etkisi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 130.
- Eyidoğan, M., Canakci, M., Ozsezen, A., Alptekin, E., Turkcan, A. ve Kilicaslan, I., 2011, Etanol-Benzın Ve Metanol-Benzın Karışımlarının Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Yanma Parametrelerine Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3).
- Fedai, Ö., 2006, Transesterifikasyon ile kanola yağı metil esteri sentezinin optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, 128.
- French, M. ve Stark, A., 2000, Chassis dynamometers, *Experimental Techniques*, 24 (4), 45-46.
- Frohlich, A., & Rice, B. 2005. Evaluation of Camelina sativa oil as a feedstock for biodiesel production. *Industrial crops and products*, 21(1), 25-31.
- Genceli, O. F., 2011, Ölçme Tekniği (Boyut, Basınç, Akış ve Sıcaklık Ölçmeleri), Birsen Yayınevi, ISBN:9789755111131, İstanbul, 387.
- Ghamkhar, K., Croser, J., Aryamanesh, N., Campbell, M., Kon'kova, N. ve Francis, C., 2010, Camelina (Camelina sativa (L.) Crantz) as an alternative oilseed: molecular and ecogeographic analyses, *Genome*, 53 (7), 558-567.
- Guo, L. ve Wang, H., 2008, Information management system of automobile chassis dynamometer based on multi agent Web serve, 2008 International Conference on Computational Intelligence and Security, 66-70.
- Guo, L. ve Wang, Y., 2010, A quick self-compensation method of resistance simulation system in vehicle chassis dynamometer based on kernel PCA, 2010 8th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2075-2079.

- Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S. ve Tiffany, D., 2006, Environmental, economic, and energetic costs and benefits of bioEurodiesel and ethanol biofuels, *Proceedings of the National Academy of sciences*, 103 (30), 11206-11210.
- Hotti, S. ve Hebbal, O., 2015, BioEurodiesel production and fuel properties from non-edible Champaca (*Michelia champaca*) seed oil for use in Eurodiesel engine, *Journal of Thermal Engineering*, 1 (1), 330-336.
- Huffman, J. G., Brea., Moore, C. C. and Fullerton., C, 1962, Chassis Dynamometer. US3057192 A. Offic, U. S. o. P, 37.
- Kiani, S., 2014, Effect of Surfactants on Biodiesel Production from Vegetable Oils, Master's Degree, Shahid Beheshti University, 103.
- Kılıçarslan, M. N., 2019, Atık yağlardan üretilen biyodizelin ve biyodizel üretim atığı olan yıkama suyunun karakterizasyonu, Yüksek Lisans, Konya teknik üniversitesi, 71.
- Koç, M., 2006, E85 ve E50 kullanımının yüksek sıkıştırma oranlarında Benzin motoru performansına etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 116.
- Koç, M., 2011, Biyodizel üretimine uygun Türkiye'de yetişen ve yetiştirilecek bitkilerin ve biyodizel teknolojilerinin belirlenmesi, doktora tezi Yıldız Teknik Üniversitesi 247.
- Koçtürk, D., 2011, Farklı özelliklerdeki etanol-benzin karışımı yakıtların buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılmasının çevresel ve ekonomik yönden değerlendirilmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, 195.
- Kurt, O. ve Seyis, F., 2012, Alternatif Yağ Bitkisi: Ketencik [*Camelina sativa* (L.) Crantz], *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 23 (2), 116-120.
- Li, D.-g., Zhen, H., Xingcai, L., Wu-gao, Z. ve Jian-Guang, Y., 2005, Physico-chemical properties of ethanol-Eurodiesel blend fuel and its effect on performance and emissions of Eurodiesel engines, *Renewable energy*, 30 (6), 967-976.
- Lim, C., Kim, D., Song, C., Kim, J., Han, J. ve Cha, J.-S., 2015, Performance and emission characteristics of a vehicle fueled with enriched biogas and natural gases, *Applied Energy*, 139, 17-29.
- Liu, Y., Lu, K., Ma, Y., Yang, X., Zhang, W., Wu, Y., Peng, J., Shuai, S., Hu, M. ve Zhang, Y., 2017, Direct emission of nitrous acid from gasoline cars in China determined by vehicle chassis dynamometer experiments, *Atmospheric Environment*, 169, 89-96.
- Ma, F., Clements, L. ve Hanna, M., 1998, The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow, *Transactions of the ASAE*, 41 (5), 1261.
- Martyr, A. J. ve Plint, M. A., 2011, Engine testing: theory and practice, Elsevier, p,464.
- Mason, H., 2009, Yield and yield component responses to camelina seeding rate and genotype, Websitesi: <http://ag.montana.edu/nwarc/research/CroppingSystems/Camelina/09CamSeedingRateGenotype.pdf>. Erişim Tarihi, 10.
- Mazivila, S. J., 2018, Trends of non-destructive analytical methods for identification of bioEurodiesel feedstock in Eurodiesel-bioEurodiesel blend according to European Commission Directive 2012/0288/EC and detecting Eurodiesel-bioEurodiesel blend adulteration: A brief review, *Talanta*, 180, 239-247.
- Moser, B. R. ve Vaughn, S. F., 2010, Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as bioEurodiesel and as blend components in ultra low-sulfur Eurodiesel fuel, *Bioresource Technology*, 101 (2), 646-653.
- Mutlu, L., Yavuz, H. ve Bayrakçeken, H., 2006, Biyodizel yakıtların performanslarının karşılaştırılması, 9, *Yanma Sempozyumu*, 40-49.
- Nişancı, S., 2007, Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, 75.

- Obisesan, O. R., Adekunle, A. S., Oyekunle, J. A. O., Obuotor, E. M., Ojo, O. S., Adedayo, M. S., Akinyemi, M. A. ve Adesina, O. M., 2017, Refining, Toxicology Study and BioEurodiesel Potentials of Used Vegetable Oils, *American Journal of Food Science and Technology*, 5 (3), 78-88.
- Öğüt, H. ve Oğuz, H., 2006, *Biyodizel Üçüncü Milenyum Yakıtı*, Nobel Akademik Yayıncılık, ISBN:9789755917306 (745).
- Ölçüm, T., 2006, *Biyodizel teknolojisi*, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 72.
- Örs, İ., 2007, *Benzin-etanol karışımlarının taşıt performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi*, Yüksek Lisans, Selçuk Üniversitesi 63.
- Özçelik, A. E., Aydoğan, H. ve Acaroğlu, M., 2015, A study of the effects of bioethanol-gasoline blends on vehicle emissions, *J. Clean Energy Technol*, 3, 332-335.
- Özçelik, A. E., Acaroğlu, M., & Akgün, N. 2016, The effect of additives on the oxidation stability of biodiesel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(5), 702-708.
- Özçelik, A. E. 2011, *Aspir biyodizelinin ve motorinle karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda yağlama yağına etkilerinin belirlenmesi* Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 107.
- Öztürk, Ö., 2007, *Dizel Motorlarında Karışimsız Olarak Kullanılan Kiyodizellerin Motor Performansına Olan Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, 118.
- Peterson, C., Taberski, J., Thompson, J. ve Chase, C., 2000, The effect of bioEurodiesel feedstock on regulated emissions in chassis dynamometer tests of a pickup truck, *Transactions of the ASAE*, 43 (6), 1371.
- Pireli, E. ve Aktaş, A., 2006, Alternatif yakıt olarak farklı oranlarda biyodizelin tek silindirli bir motorda kullanılmasının ve püskürtme basıncının performans etkisi, *Conference: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi*, 13.
- Putnam, D., Budin, J., Field, L. ve Breene, W., 1993, Camelina: a promising low-input oilseed, *New crops*, 314, 322.
- Robles-Medina, A., González-Moreno, P., Esteban-Cerdán, L. ve Molina-Grima, E., 2009, Biocatalysis: towards ever greener bioEurodiesel production, *Biotechnology advances*, 27 (4), 398-408.
- Rode, J., 2002, Study of autochthon *Camelina sativa* (L.) Crantz in Slovenia, *Journal of herbs, spices & medicinal plants*, 9 (4), 313-318.
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E. ve Soruşbay, C., 2013, *İçten yanmalı motorlar*, Birsen Yayınevi, 218.
- Sakthivel, P., Subramanian, K. ve Mathai, R., 2019, Comparative studies on combustion, performance and emission characteristics of a two-wheeler with gasoline and 30% ethanol-gasoline blend using chassis dynamometer, *Applied Thermal Engineering*, 146, 726-737.
- Sakthivel, P., Subramanian, K. ve Mathai, R., 2020, Experimental study on unregulated emission characteristics of a two-wheeler with ethanol-gasoline blends (E0 to E50), *Fuel*, 262, 116504.
- Seraç, M. R., 2018, *Biyodizelin jeneratörlü bir dizel motorunda performans, emisyon ve yanma karakteristikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması*, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 54.
- Shojaeefard, M., Etgahni, M., Meisami, F. ve Barari, A., 2013, Experimental investigation on performance and exhaust emissions of castor oil bioEurodiesel from a Eurodiesel engine, *Environmental Technology*, 34 (13-14), 2019-2026.

- Singh, S. ve Singh, D., 2010, BioEurodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of Eurodiesel: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1), 200-216.
- Srivastava, A. ve Prasad, R., 2000, Triglycerides-based Eurodiesel fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4 (2), 111-133.
- Subramanian, K., Mathad, V. C., Vijay, V. ve Subbarao, P., 2013, Comparative evaluation of emission and fuel economy of an automotive spark ignition vehicle fuelled with methane enriched biogas and CNG using chassis dynamometer, *Applied Energy*, 105, 17-29.
- Suresh, M., Jawahar, C. ve Richard, A., 2018, A review on bioEurodiesel production, combustion, performance, and emission characteristics of non-edible oils in variable compression ratio Eurodiesel engine using bioEurodiesel and its blends, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 38-49.
- Şimşek, R. ve Aydoğan, H., 2016, Ketencik biyodizelinin üretimi ve common rail enjeksiyon sistemli bir motorun emisyonlarına etkisi, *Uluslararası Yakıtlar Yanma Ve Yangın Dergisi* (4), 60-64.
- Talibi, M., Hellier, P., Watkinson, M. ve Ladommatos, N., 2019, Comparative analysis of H2-Eurodiesel co-combustion in a single cylinder engine and a chassis dynamometer vehicle, *international journal of hydrogen energy*, 44 (2), 1239-1252.
- Tascillo, A. L., 1995, A hierarchical anticipatory neural controller with fuzzy spectral filter diagnostics, *Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks*, 334-338.
- Türkey, S., 2005, Biyodizel üretim teknolojileri, Türkiye’de biyodizel üretimindeki mevcut durum sorunlar ve öneriler çalıştayı, 2.
- Ün, B., 2020, Dyno testinde nelere dikkat etmek gerekir?, <https://www.sekizsilindir.com/2016/09/dyno-testi-dikkat-edilmesi-gerekenler.html>: [13.11.2020].
- Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D. ve Knothe, G., 2004, BioEurodiesel production technology, *National renewable energy laboratory*, 1617, 80401-83393.
- Verduzco, L. F. R., 2013, Density and viscosity of bioEurodiesel as a function of temperature: Empirical models, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 652-665.
- Wysocki, D. ve Sirovatka, N., 2008, Camelina, a Potential Oilseed Crop for Semiarid Oregon, 2008 Dry/and Agricultural Research Annual Report, 86.
- Yanowitz, J., Graboski, M. S., Ryan, L. B., Alleman, T. L. ve McCormick, R. L., 1999, Chassis dynamometer study of emissions from 21 in-use heavy-duty Eurodiesel vehicles, *Environmental Science & Technology*, 33 (2), 209-216.
- Zhang, W., Qu, F. ve Wang, X., 2008, Development of the MCG-200 simulated chassis dynamometer based on buzzy-PID, 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics, 1794-1798.
- Zhao, S. ve Li, N., 2012, Chassis dynamometer for hybrid electric vehicle based on controller area network, 2012 Third International Conference on Intelligent Control and Information Processing, 352-354.
- Zubr, J., 1997, Oil-seed crop: Camelina sativa, *Industrial crops and products*, 6 (2), 113-119.