

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

**ETANOL KATKILI ATIK KIZARTMA YAĞLARININ BİR DİZEL
MOTORUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim GÜNDÜZ

(141136108)

Anabilim Dalı: Otomotiv Mühendisliği

Programı: Taşıt Tasarım

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23 Ekim 2017

EKİM -2017

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

**ETANOL KATKILI ATIK KIZARTMA YAĞLARININ BİR DİZEL
MOTORUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İBRAHİM GÜNDÜZ

(141136108)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Ekim 2017
Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Ekim 2017**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cengiz ÖNER (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. İlker TEMİZER (C.Ü)

Ekim -2017

ÖNSÖZ

Petrol kaynaklı yakıtların tükenmeye yüz tutmaya başlamış olması ve bu kaynakların belli ülke ve bölgelerde bulunması buna ek olarak petrol kaynaklı yakıtların çeşitli alanlarda kullanılıyor olması petrol yakıtlarına alternatif yakıtların aranmasına yol açmıştır.

Bu alternatif yakıtların başında atık yağlardan elde edilen biyo yakıtlar gelmektedir. Biyo yakıtların kolayca elde edilebilmesi ve çevre dostu bir yakıt olmasından ötürü önemli bir durumdur.

Bu tez çalışmasında atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri bir dizel otomobil üzerinde test edilerek motor performansı ve emisyon değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve yardımlarını esirgemeyen her konuda yol gösteren kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Cumali İlkılıç'a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Arş. Gör. Dr. Burak TANYERİ'ye ve değerli meslektaşım Gökhan ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

İbrahim GÜNDÜZ
ELAZIĞ 2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLOLAR LİSTESİ	IX
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Dizel Yakıt.....	2
1.2. Dizel Yakıtta Olması Gereken Önemli Performans Özellikleri.....	2
1.1. Akma Noktası.....	2
1.2.3. Viskozite.....	3
1.2.4. Isıl Değer.....	3
1.2.5. Bulutlanma Noktası.....	4
1.2.6. Vuruntu Mukavemeti.....	4
1.2.7. Setan Sayısı.....	4
1.2.8. Parlama(alevlenme) Noktası.....	4
1.2.9. Tutuşma Noktası.....	5
1.2.10. Korozyon Özelliği.....	5
1.2.11. Kül Miktarı.....	5
1.3. Dizel Yakıtlarının Sınıflandırılması.....	6
1.4. Bitkisel Yağlar.....	7
1.4.1. Bitkisel Yağların Tanımı.....	7
1.4.2. Tuz Oluşumu.....	7
1.4.3. Ester Oluşumu.....	7

1.5. Kullanılmış Kızartmalık Yağlar.....	7
1.5.1. Bitkisel Atık Yağların Çevreye Olan Etkisi	8
1.5.2. Kullanılmış Kızartmalık Yağın Geri Dönüşümü.....	9
1.6. Biyodizel Yakıtı.....	11
1.6.1. Isıl Değer.....	11
1.6.2. Setan Sayısı.....	12
1.6.3. Yoğunluk	12
1.6.4. Akış Özelliği.....	12
1.6.5. Parlama Noktası.....	13
1.7. Biyodizel ve Standartları.....	13
1.8. Bitkisel Yağlardan Biyodizel Elde Edilmesi.....	13
1.8.1.Seyreltme.....	16
1.8.3. Mikro Emülsiyon.....	16
1.8.4. Transesterifikasyon	16
1.9. Biyodizel Üretim Reaksiyonu.....	18
1.10. Biyodizelin Çevresel Avantajları.....	19
1.11. Biyodizelin Depolama Koşulları.....	21
1.12. Biyodizelin Dizel Motorlarda Kullanımı.....	22
1.13. Biyodizelin Toplumsal Faydası.....	22
1.14. Biyodizelin Tüketim Alanları.....	23
1.15. Literatür Araştırmaları.....	24
2. MATERYAL VE METOT.....	31
2.1. Deneylerde Kullanılan Aracın Özellikleri.....	31
2.2. Dinamometre / Dyno – Araç test cihazı.....	32
2.3. Gaz Analiz Cihazı.....	33
2.4. Deneylerin Yapılışı.....	34
2.5. Hesaplanan Büyüklükler.....	34
2.5.1. Motorun Döndürme Momenti.....	34

2.5.2. Özgöl Yakıt Tüketimi.....	35
2.6.Deneysel Çalışmalar.....	35
2.6.1. Atık Kızartma Yağlarından Biyodizel Elde Edilmesi.....	35
3. BULGULAR.....	41
3.1. Motor Performansı.....	41
3.1.1. Motor Momenti (Tork).....	41
3.1.2. Ortalama Efektif Güç.....	44
3.1.3. Özgöl Yakıt Tüketimi.....	46
3.2. Egzoz Emisyon Değerleri.....	50
3.2.1. Karbon Monoksit (CO) Emisyo.....	50
3.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu.....	52
3.3.3. Azot Oksit (NOx) Emisyonları.....	55
3.3.4. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonu.....	57
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	60
5. ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	62

ÖZET

Son yıllarda petrol kaynakları azalmaya başlamıştır. Bununla beraber alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye başlanmıştır. Bu kaynaklar arasında en kullanışlı en ideal olanlarından biri de biyodizel yakıtlardır. Bu anlamda biyo yakıt elde etmek için çeşitli yağlar özellikle de bitkisel yağlar kullanılmaktadır.

Bitkisel kökenli yağların petrol kökenli dizel yakıtı yakın özelliklerinin olması bu çalışmaların yapılmasında önemli bir faktördür. Özellikle atıl duruma gelen, artık gıda işlemlerinde kullanılmayacak yağların biyo yakıt elde edilmesinde kullanılması hem çevre hem de ekonomi açısından bir katma değer olarak görülmektedir.

Bu çalışmada atık kızartma yağlarından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel yakıt elde edilmiştir. Elde edilen biyodizel önce saf olarak ardından %5 etanol katılarak (BE5), %10 etanol katılarak (BE10) ve %15 etanol katılarak (BE15) fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

Biyodizel ve etanollu karışımlarının, dizel motora sahip bir araçta farklı devir aralıklarında deneyleri yapılmıştır. Performans ve emisyon sonuçları dizel yakıt ile karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dizel motor, Atık yağ, Metil Ester, Transesterifikasyon, Performans, Emisyon, Etanol

SUMMARY

Investigating The Utility of Ethanol Added Waste Frying in a Diesel Engine

In recent years, oil resources have begun to decline. Along with this, it started to be directed towards alternative energy sources. One of the most useful of these resources are also ideal biofuel. In this sense, various oils are used for obtaining biofuels in particular vegetable oils.

The fact that vegetable oils are close to the petroleum-derived diesel fuel is an important factor in carrying out these studies. Particularly in the idle state, the use of oils that are no longer used in food processing to produce biofuels is seen as an added value both in terms of environment and economy.

In this study, biodiesel fuel was obtained with a transesterification process from waste cooking oil. The physical and chemical properties of the obtained biodiesel were determined by adding 5% ethanol (BE5), 10% ethanol (BE10) and 15% ethanol (BE15).

Biodiesel and ethanol mixtures were tested at different engine speeds in a vehicle with a diesel engine. Performance and emission results are compared and evaluated with diesel fuel.

Key words: Diesel engine, Transesterification, Methyl ester, Performance, Emission, Ethanol

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Bitkisel ve Hayvansal Yağların Yakıt Niteliklerinin İyileştirilmesi.....	15
Şekil 1.2. Transesterifikasyon İşlem Şeması.....	17
Şekil 1.3. Biyodizel Döngüsü.....	21
Şekil 2.1. Aracın Test Esnasından Dinamometre Üzerindeki Hali.....	32
Şekil 2.2. Gaz Analiz Cihazı.....	33
Şekil 2.3. Atık yağın ısıtma işlemi.....	37
Şekil 2.4. NaOH'ın ölçümü ve metanol içerisinde çözülmesi.....	38
Şekil 2.5. Metanol NaOH çözeltisi ile yağın karıştırılması.....	39
Şekil 2.6. 12 saat boyunca beklemiş biyodizel gliserin karışımı.....	40
Şekil 2.7. Saf su ile yıkanmış biyodizelin ayırma hunisinde bekletilmesi.....	41
Şekil 3.1. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının motor momentine etkisi.....	44
Şekil 3.2. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının efektif güce etkisi.....	46
Şekil 3.3. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının özgül yakıt tüketimine etkisi.....	48
Şekil 3.4. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının CO emisyonuna etkisi.....	51
Şekil 3.5. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının HC emisyonuna etkisi.....	53
Şekil 3.6. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının NO emisyonuna etkisi.....	55
Şekil 3.7. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının CO ₂ emisyonuna etkisi.....	58

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. DIN- 51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler.....	2
Tablo 1.2. Dizel yakıtı çeşitlerine ait bazı fiziksel özellikler.....	6
Tablo 1.3. Kızartma yağı, kızartma yağında elde edilen biyodizel ve dizel yakıtının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	10
Tablo 1.4. Bitkisel Yağların Bazı Fiziksel Özelliklerinin kızartma yağı ile Karşılaştırılması.....	10
Tablo 1.5. Türkiye'deki Biyodizel Standart Değerleri Tablosu.....	13
Tablo 1.6. B100 ve B20 Biyodizel kullanımının emisyon değerlerini gösteren tablo.....	20
Tablo1.7.Dünya Biyodizel Üretim Tablosu.....	23
Tablo 2.1. Deneylerde kullanılan aracının teknik özellikleri.....	31
Tablo 2.2. Deneylerin yapılmasında kullanılan dinamometrenin teknik özellikleri.....	32
Tablo 2.3. Gaz Analiz Cihazının Özelliklerini Gösteren Tablo.....	33
Tablo 3.1. Dizel yakıtı, Biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	42
Tablo 3.2. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen motor momenti değerleri.....	44
Tablo 3.3. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen motorun efektif güç değerleri.....	47
Tablo 3.4. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen özellikler.....	49
Tablo 3.5. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen CO emisyon değerleri.....	50

Tablo 3.6. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen	
HC emisyon değerleri.....	52
Tablo 3.7. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen	
NOx emisyon değerleri.....	54
Tablo 3.8. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen	
CO₂ emisyon değerleri.....	57



SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Sembol	Açıklama
P_e	: Efektif motor gücü
M_d	: Döndürme Momenti (Nm)
V_H	: Toplam strok hacmi (m^3)
be	: Özgül yakıt tüketimi (g/kW h)
P_{me}	: Ortalama efektif basınç
B100	: %100 biyodizel
BE5	: %5 etanol +%95 biyodizel (hacimsel)
BE10	: %10 etanol +%90 biyodizel (hacimsel)
BE15	: %15 etanol +%85 biyodizel (hacimsel)
POH	: Potasyum hidroksit
NaOH	: Sodyum hidroksit
cSt	: Sentistok (mm^2/s)
EN	: Avrupa Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ppm	: Milyonda bir parçacık
PM	: Partikül Madde (Particulate Matter)
HC	: Hidrokarbon
CO	: Karbon monoksit
NO_x	: Azot Oksitler
SO₂	: Kükürtdioksit
ASTM	:Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu(American Society For Testing and Materials)
EPA	:Amerikan Çevre Koruma Ajansı(U.S.Environmental Protection Agency)
K	: Işık absorpsiyon katsayısı
SS	: Setan sayısı
PTDY	: Petrol türevi dizel yakıtı

SYA : Serbest yağ asidi
ÜÖN : Üst Ölü Nokta
AÖN : Alt Ölü Nokta



1. GİRİŞ

Dünyada petrol kaynaklarının azalması, ülkemizin petrol ürünlerini dışarıdan temin etmesi, petrol ürünlerinin enerji sektörünün ihtiyacını karşılamada yetersiz kalması ve dünyada petrol krizlerinin oluşu petrol fiyatlarının sürekli artmasına neden olmaktadır. Ayrıca petrol kökenli yakıtların yanması sonucu çevreye ve insan sağlığına zararlı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu zararlı etkilerin azaltılması için çeşitli çalışmalar yapılmakta olup bazı olumlu sonuçlar da elde edilmektedir. Bunların başında petrole alternatif olabilecek yakıt çalışmalarıdır. Bunların başında dizel motorlarda alternatif olarak kullanılacak biyo kökenli yakıtların üretimi, kullanım imkan ve şekilleri, yakıtın geliştirilmesi ve motorda emisyon ve performans değerleri üzerine ARGE çalışmaları yapılmaktadır.

Biyo yakıt kavramını ilk olarak dizel motoru icat eden Rudolf Diesel 1900 yılında Paris'teki bir sergide yer fıstığı yağını kullanarak dizel motorun çalıştırılmasını sağlayarak ortaya çıkarmıştır. Ancak o dönemin şartları ve petrol kaynaklarının fazla ve ucuz olması sebebiyle bu fikir fazla değer görmemiştir. Zamanla kaynakların azalması ve pahalılaşması sebebiyle alternatif biyo yakıt düşüncesi değer kazanmaya başlamıştır. Bu düşünce üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmış ve alternatif biyo yakıtlar üretilmeye başlanmıştır. Biyo yakıtların kullanılmasında bazı sıkıntılar meydana gelmiştir. Bu sıkıntılar ön ısıtma, biyo yakıtı petrol yakıtıyla karıştırma ve biyodizel diye tabir edilen yakıtı dönüştürme gibi yollarla kullanıma tabi tutulmuştur. Günümüzde transesterifikasyon adı verilen bir reaksiyon işlemiyle biyodizel olarak adlandırılan yakıtlar üretilmektedir. Bu yakıtların hem hayvansal hem de bitkisel kökenli yağlar ile üretilmesi mümkündür.

Yapılan araştırma çalışmaları sonucunda biyodizel ürününün petrol kökenli dizel göre CO, CO₂, PM, HC yanma sonu emisyonlarında azalmanın tespit edildiği ama NO_x emisyonunda artış olduğu tespit edilmiştir. Motor performansı açısından ise motor çekişi, motor gücü, ortalama efektif basıncı ve verimlerde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Türk standartlarına bakıldığında TS 3082 EN 590 standardı doğrultusunda dizel motora sahip olan taşıtlarda dizel yakıtına azami olarak %5 oranında biyodizel ile karıştırılmasına müsaade edilmiştir.

1.1 Dizel Yakıtı

Dizel yakıtı ham petrolün yaklaşık 160°C ile 400°C aralığında sıcaklık ile işlem yapılması sonucu rafine ile ortaya çıkan bir petrol ürünüdür. Karbon atom sayısı 8-16 arasında olup, yapısında sıvı HC bulunduran ve az miktarda kükürt, azot, kül ve su bulunduran dizel yakıtı mazot veya motorin olarak da adlandırılmaktadır. Dizel yakıtı $C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$ formülü ile ifade edilmektedir. DIN-51601 standartlarına göre ideal dizel yakıtında olması gereken özellikler aşağıdaki Tablo 1.1’de görülmektedir [1].

Tablo 1.1. DIN- 51601’e göre dizel yakıtından istenen özellikler [1]

	Değerler	Deney Normu
Hacimsel su miktarı	%0,1	DIN 51777
15°C’de özgül ağırlık	0.820-0,860 g/ml	DIN 51757
Kaynama olayı hacimsel olarak 360°C’ye kadar en az	%90	DIN 51752
20°C’de viskozite	1.8-10 mm ² /s	DIN 51550
Parlama noktası	55°C	DIN 51755
Filtrasyon	Yazın 0°C Kışın -12°C	DIN 51770
Kükürt’ün maksimum kütleli yüzdesi	% 1,0	DIN 51768
Koklaşma artığının kütleli maksimum yüzdesi	%0,1	DIN 51551
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı	4 mg	DIN 51779
Tutuşma kabiliyeti (en küçük setan sayısı olarak)	40 SS	DIN 51773
Kül miktarı, kütleli yüzde olarak maksimum	% 0,02	DIN 51575

1.2. Dizel Yakıtında Olması Gereken Önemli Performans Özellikleri

1.2.1 Akma Noktası

Yakıtın akma özelliğini yitirip jelleşmeye başladığı minimum sıcaklık olarak adlandırılır. Özellikle soğuk havalarda motorun çalışmasında önem taşımaktadır. Akma noktası yüksek olduğunda yakıt çabuk jelleşecek ve akış sağlanmadığı için motor çalışmayacaktır. Akma noktasının düşük olması istenmektedir. Bunun için de yakıtta çeşitli katkıları eklenerek akma noktası düşürülür [2].

1.2.2. Viskozite

Genel olarak sıvıların akmaya karşı gösterdiği direnç viskozite olarak adlandırılmaktadır. Bu özellik motorlarda ve yakıt sistemlerinde önemli bir noktadır. Uygun viskoziteli bir yakıtın seçimi yalnızca pompa ve püskürtme sistemleri ile ilgili olarak değil, aynı zamanda yanma olayında da önemlidir. Çok düşük ve çok yüksek olması istenmeyen viskozitenin optimum değerinde olması istenir. Viskozite yakıt zerreciklerinin büyüklüğünü kontrol ettiğinden mükemmel bir yanma için çok lüzumlu olan yeterli bir hava yakıt karışımı elde etmede en önemli faktör olan atomizasyon ve dağılma derecelerini de tayin eder. Çok yüksek olması depodan pompalama ve enjektörden püskürtmede problemler oluşturur. Yakıtın yanma odasında nüfuz ettiği alan yakıt parçacıklarının büyüklüğüne bağlıdır. Viskozite yüksek olduğu zaman yakıtlar soğuk olan silindir duvarlarına çarpmadan ve zerrecikler halinde ayrılmadıkları için yanma olayı dumanlı olur. Çok düşük olması ise yakıt pompası yönünden problem oluşturabilmektedir. Diğer taraftan çok hafif yani viskozitesi düşük olan yakıtlar mükemmel bir hava-yakıt karışımı meydana getirir fakat yanma odası içerisinde yeterli olarak nüfuz etmezler. Büyük motorlarda oldukça viskoz yakıtlar, küçük motorlara nazaran daha iyi bir şekilde kullanılabilir. Aynı veya ön yanma odalı motorlarda yakıt püskürtme huzmesi nispeten kısa olduğundan daha ziyade düşük viskoziteli yakıtlar tercih edilir. [2]

1.2.3. Isıl Değer

Herhangi bir yakıtın yanma sonucu referans olarak kabul edilen bir sıcaklığa bağlı olarak toplam enthalpinin yakıt kütlesine oranlanması sonucu elde edilen değere verilen isimdir. Isıl değer yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarını belirler. Bir yakıtın ısı değeri, alt ısı değeri ve üst ısı değeri olarak ikiye ayrılmaktadır. Yanma sonucu ürünlerde su sıvı halde bulunuyorsa üst ısı değeri, buhar halde bulunuyorsa alt ısı değeri olarak adlandırılmaktadır. Birçok yakıt, yanma sırasında su buharı haline dönüşen hidrojen ihtiva eder. Eğer yanma gazı 20°C ye soğutulursa su buharı sıvı hale geçer ve bu esnada buharlaşma gizli ısıyı açığa çıkar. Bu şekilde yapılan bir laboratuvar testi üst ısı değeri verir. Uygulamada ise yanma gazları yüksek sıcaklıktadır. Bu durumda gazın gizli ısıyı açığa çıkarmaz. Bu şekildeki bir yanmada elde edilen ısı, alt ısı değerini ifade eder. Ağırlık sınırlaması olan araçlar için bu değer önemli olmaktadır. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğunun artması ile ısı değeri artar. Doymamışlık arttıkça yani hidrojen sayısı

azaldıkça ısı değeri azalır. Biyodizelin ısı değeri oksijen içeriğinden dolayı fosil dizel yakıtına göre yaklaşık %11 daha düşüktür. Aynı motor çalışma şartları altında dizel yakıtına göre biyodizelin güç ve torku daha düşüktür. Enjeksiyon hacmi artarsa aynı motor performansı elde edilebilir. Ancak o zaman da yakıt sarfiyatı artar. [2]

1.2.4. Bulutlanma Noktası

Sıvıların soğutulması sürecinde kristal tanelerin gözlemlendiği ilk sıcaklık olarak tanımlanır. Bu sıcaklıkta sıvı içinde katı partiküller oluşacağı için yakıt sisteminde tıkanmalara sebep olur. Bulutlanma noktası dizel yakıtın soğukta çalışma özelliğini göstermektedir [4].

1.2.5. Vuruntu Mukavemeti

Dizel motorlarında yanma odasına yakıt püskürtüldüğü zaman karışım homojen olmadığında tam buharlaşması için biraz zaman geçmesi lazımdır. Bu zaman tutuşma gecikmesinden (TG) daha uzun olduğu için yanma başladığında basınç yükselme hızı da benzin motorlarındaki kadar yüksek olmaz. TG buharlaşma süresine eşit veya daha uzun olursa o zaman karışım bir anda yanmaya hazır hale gelir ve yanma hızı aynı zamanda basınç yükselme hızı çok yüksek olur. Bunun sonucundaki yanma vuruntulu yanma meydana gelir. TG sebebiyle yanma odasında biriken ve ani olarak yakıtın miktarının artması sonucu mekanik zorlanmalar oluşturan yüksek basınçlara dizel vuruntusu denir. Dizel motorlarında hava içine püskürtülen yakıtın TG düşük olmalıdır. TG süresince yanma odasına püskürtme sonucu biriken yakıt tutuşunca motorda darbe etkisi büyük olur. Buna karşı yakıtın mukavemeti setan sayısının (SS) büyüklüğüne bağlıdır. Kendi kendine tutuşma özelliğine bağlı olarak SS sınırı 70'ten büyük olmalıdır.[2,3]

1.2.6. Setan Sayısı

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda yakıtın tutuşmaya yatkınlığının ölçüsü olarak setan sayısı denilen isimlendirme kullanılır. Setan sayısı dizel yakıtın kendi kendine tutuşabilme kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Setan sayısı yüksek olan yakıt kolay tutuşabilir ve hızlı bir şekilde yanabilir. Yakıtın tutuşma kabiliyeti yani setan sayısı yüksek olmalıdır ki yanma zamanında yakıt kendiliğinden kolayca tutuşabilsin ve istenilen zaman içerisinde yanma olayı sona ersin. Eğer setan sayısı yeteri kadar yüksek değil ise yakıtın tamamının

yanması gereken zaman aralığında yanamaz. Yanma zamanından sonra yanan yakıt fazla verimli olmaz. Yani piston aşağıya doğru uzaklaştığı için yakıtın yanmasının oluşturduğu basınç pistona fazla bir itme gücü sağlayamaz. Setan sayısının yüksek olması büyük dizel motorlarda istenmez, hatta bu motorlarda uygun olan yakıt setan sayısı düşük olmalıdır. Setan sayısı dizel indeksi veya anilin noktası bulunarak tespit edilebilmektedir. [3,12]

1.2.7. Parlama (alevlenme) Noktası

Yanma sürecinde sıcaklığın biraz daha artırılması sonucu gazlar homojen şekilde karışarak devamlı olarak yanarlar. Alevin çekilmesi ile yanma hala devam ediyorsa bu sıcaklık yanma noktası olarak adlandırılır. Parlama noktası, yakıt ısıtıldığında, yakıt üzerinde oluşan yakıt buharı ile hava karışımının tutuşabildiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanabilir. Parlama noktası genelde yakıtın depolanması ve güvenliği ile ilgilidir. Motor performansı üzerinde etkin bir değişiklik meydana getirmez. Ayrıca parlama noktasındaki değişimler yanma karakteristiklerini de pek fazla etkilemez. [3,9]

1.2.8. Tutuşma Noktası

Sıcaklık eğer belli bir noktaya ulaşırsa yakıt kendi kendine tutuşabilmektedir. Bu sıcaklık değeri tutuşma noktası olarak adlandırılır. Yaklaşık olarak 350°C 380°C aralığındadır. [4]

1.2.9. Korozyif Özellik

Dizel içerisinde kükürt ihtiva ettiği için hem korozyona hem de partikül oluşumunda negatif özelliktedir. Ayrıca yakıt içinde su, tuzlu su ve tortuların bulunması da korozyona sebep olabilmektedir. [3]

1.2.10. Kül Miktarı

Dizel yakıtı büyük oranda artık madde içeriyorsa, eksik yanma sırasında kül ve karbon birikintileri meydana gelecektir. Bu birikintiler piston, supap, enjektör ucunda, segman, emme ve egzoz portlarında karbon birikmelerine sebep olur. Bu artıklar ayrıca segman kanalları ve supap yuvalarında birikerek süapların kapanmasını engelleyen

katmanlar oluştururlar. Yanma sonu ürünlerinden olan kül motorda istenmeyen aşındırıcı bir etkiye sahiptir. Külün oran olarak %0.01'den fazla olması istenmez [3].

1.3. Dizel Yakıtlarının Sınıflandırılması

Akaryakıt dağıtım şirketleri, (Opet eurodizeli, Petrol ofisi prodizeli, BP Ultimate, Total performa'yı ve diğer firmalar) dizel yakıtın içerisine bazı katkı maddesi ilave ederek veya çeşitli işlemlere tabi tutmak suretiyle kendi dizel yakıtlarını kullanıcılarına sunmaktadır. Bu dizel yakıtların kendi aralarında da bazı özelliklerinden dolayı küçük farklılıkları mevcuttur. Petrol dizeli ile yeni çıkan dizel yakıtlar arasındaki en öne çıkan fark setan sayılarının yükseltilmiş ve içerisindeki kükürt miktarının azaltılmış olmasıdır.

Dizel yakıtı petrolün damıtılması sırasında dört çeşit yakıt olarak elde edilmektedir. Bu yakıtların özellikleri birbirine yakındır. Bu yakıtlar aşağıda verilmiştir.

No. 1-D: Petrolün damıtılmasında elde edilen bir dizel yakıtı çeşididir. Uçuculuğu yüksek olup, devir sayısı yüksek olan dizel motorlarında kullanılan damıtık bir yakıttır. Bu yakıtın adı motorin olarak bilinmektedir.

No.2-D: Damıtık ve kraking ürünleri içeren motorine göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorlarında kullanılan bir yakıttır. Bu yakıtın teknik adı "Diesel Oil"dir.

No.3-D: Düşük uçuculuğa sahip bir damıtma ürünü olup orta devirli dizel motorlarında kullanılır.

No.4-D: Damıtma ve kraking ürünlerinden elde edilen bu yakıt düşük hız motorlarında kullanılmaktadır. Oldukça viskoz olan bu yakıt "Marine Diesel Oil" olarak adlandırılır.

Tablo 1.2. Dizel yakıtı çeşitlerine ait bazı fiziksel özellikler [47]

Özellik	No.1-D	No.2-D	No.4-D
Setan sayısı (minimum)	40	40	40
Parlama noktası (°F)	100	125	130
Viskozite, saybold (S)100°F'da	30-34	33-45	45-125
% Kül, Kütlesel	0.01	0.02	0.10
% Kükürt, Kütlesel	0.50	1.0	2.0

1.4. Bitkisel Yağlar

1.4.1. Bitkisel Yağların Tanımı

Zeytin, pamuk, soya, mısır, ayçiçeği, fındık gibi yağlı yapıda olan bitkilerden elde edilen yağlara bitkisel yağ denir. Monokarboksilik asitler yağ asidi olarak adlandırılır. Yağ asitlerinin hem kimyasal hem de fiziksel özellikleri moleküldeki çift bağların sayısı ve karbon zincirinin uzunluğu ile değişkenlik göstermektedir. Bu durum yağ asidinin doymamışlık derecesini ifade etmektedir. Karbon sayısı 10'dan düşük olan yağ asitleri oda sıcaklığında sıvıdır ve uçucu özelliğe sahiptir. Karbon sayısı 12 ve üzerinde olan yağ asitleri vücut sıcaklığında katı halde bulunur. Erime noktaları molekül ağırlığının artması ile yükselmektedir [5].

1.4.2. Tuz Oluşumu

Yağ asitlerinden 6 karbondan fazla karbona sahip olanlar metallerle reaksiyon oluşturarak tuz meydana getirirler. Bu tuzlara sabun adı verilir. Oluşan tuzlardan sodyum ve potasyum sabunları suda eriyebilmektedir. Ancak başka metallerin oluşturduğu sabunlar genel olarak erimezler. [5,9]

1.4.3. Ester Oluşumu

Yağ asitlerinden karboksil grupta olanlar alkollerle dönüşümlü olarak esterleşme meydana getirebilirler. Esterleşme reaksiyonu kendi kendine yavaş bir şekilde meydana gelir. Ancak ısı veya hidrojen katkısı ile bu reaksiyon çok daha hızlı gerçekleşebilmektedir.[5,9]

1.5. Kullanılmış Kızartmalık Yağlar

Yüksek sıcaklık etkisi altında oksidasyona uğramış ve tekrar kullanılamayacak yağlara atık kızartma yağı denmektedir. 170°C ile 190°C aralığında gerçekleşen kızartma işleminde yağdaki ısı gıda maddesine transfer olur. Su ise gıda maddesinden uzaklaşır. Kızartma sırasında yağda oluşan fiziksel değişimler sonucu viskozite artar, renk koyulaşır, köpürme olur, dumanlanma noktası azalır. Yağlarda bulunan serbest yağ asitleri, karbonil bileşikler ve yüksek molekül ağırlıklı maddeler artar. Son yıllarda dünyada ve ülkemizde yağda kızartılmış patates ve diğer gıdaların kullanımında önemli artışlar olmuştur. Bu

artışın sonucu olarak kullanılmış bitkisel yağ atıkları da artmıştır. Bitkisel atık yağların kalorileri çok yüksektir. Kızartma işlemi sonunda yağın viskozitesinin artması, renginin değişmesi, dumanlanma noktasının azalması gibi özellikleri değişmektedir. Gözle görülemeyen özelliklerin değişip değişmediği polar madde tespit cihazı ile tespit edilebilmektedir [8].

Bitkisel atık veya kızartma yağlarının evsel atıklarla birlikte atılması, kanalizasyon sistemi gibi kolektör sistemlerine verilmesi veya kontrolsüz bir şekilde açık alanlara bırakılması sağlık ve çevre açısından sakıncalıdır. Bu alanlara dökülen bu yağlar kolektör sistemlerinin tıkanmasına, yeraltı sularının kirlenmesine, evsel atık su kirliliğinin ve arıtma tesisi maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu atık yağlar, suya, kanalizasyona döküldüğü zaman su yüzeyini kaplar, su sistemine zarar verir, havadan suya oksijen transferini önler, zamanla suda bozunarak sudaki oksijenin tükenmesini hızlandırır. Atık su kanal borularına yapışarak boru kesitinin daralmasına ve tıkanmasına neden olur. Bitkisel atık veya kızartma yağlarının çevre ile uyumlu hale getirilmesi ile insan ve çevre sağlığı korunabilir ve geri kazanımı ile ekonomik değeri olan ürünler üretilerek ülkemiz ekonomisine katkı sağlanabilir. [8]

Evsel kullanımda yağın kısa aralıklarla 2 defadan fazla kullanılmaması gerekmektedir. Ayrıca yağ beklediği süreç içinde polimerizasyon sürekli devam etmektedir. Yağlardaki toplam polar madde oranı %25'in üzerine çıktığında insan vücudunda kanserojen etki meydana getirmektedir.

1.5.1. Bitkisel Atık Yağların Çevreye Olan Etkisi

Kullanılmış atık yağlar çevre açısından zararlıdır. Çevre kirliliğine sebep olmakla beraber bulundukları ortamdaki canlılara da zarar vermektedir. Ayrıca yer altı sularının kirlenmesinde ve içme suyu arıtma tesislerinin tıkanmasında ve kirlenmesinde rol oynamaktadır.

Kanalizasyona dökülen yağlar atık su arıtma tesislerine zarar verir ve işletme maliyetini artırır. Evsel atık sular genel olarak biyolojik olarak arıtılırlar. Evsel atık su içinde bulunan yağları biyolojik olarak arıtmak mümkün değildir. Ayrıca biyolojik arıtmada faaliyet gösteren bakteriler yağ ve gresle kaplanarak aktiviteleri engellenir. Sonu arıtma ile bitmeyen atık suların içindeki bitkisel ve hayvansal atık yağlar; denizlere, göllere ve akarsulara döküldüğü zaman o suyun kirlenmesi ve sudaki oksijenin azalması sonucu;

ortamdaki, başta balıklar olmak üzere diğer canlılar üzerinde büyük tahribata yol açar. Bitkisel yağ atıklarının çöp içerisine atılması veya dökülmesi yasaktır. Çöpe dökülen atık yağlar çöp depolama alanında sık sık yangın çıkmasına neden olmaktadır. Çöp depolama alanı işleticileri kızartma yağlarının çöpe karışmamasını isterler. Kullanılmış yağlar yer altı sularının kirlenmesine neden olabilir. Kirlenen yer altı sularını temizlemek çok çok pahalı ve zordur. Yer altı suları her ülke için önemli bir içme suyu kaynağıdır. Köpekler, ayılar ve bazı kuş türleri bitkisel ve hayvansal yağ atıklarını severler. Bu durum hayvanların bu depolama alanına gelmesine neden olur.[8]

1.5.2. Kullanılmış Kızartmalık Yağın Geri Dönüşümü

Dünyada yaklaşık olarak 20 milyon ton bitkisel ve hayvani kökenli yağ gıda kızartma işlemlerinde kullanılmaktadır. Yağ ekonomik olarak bir değere sahip olduğu için geri çekilmesi ve geri dönüşümü çok kolay olmamaktadır. Çünkü bu yağlar yasal olmayan şekilde değerlendirilmektedir. Atık yağın toplanması ve depolanması sürecinde yetkili ve lisanslı firmalar yer almaktadır. Ülkemizde 2008 yılından beri atık yağların toplanması, depolanması ve halkı bilinçlendirme görevleri belediyeler tarafından yapılmaktadır. Dünyada atık yağların geri çekilmesinde temel alınan değerler ülkemizde de Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından uygulanmaktadır. Kullanılmış yağlarda yapılan ölçümlerde polar madde oranının %25'in altında olması gerektiği ve dumanlanma noktasının ise 170°C'den fazla olması gerekmektedir.

2004 yılı için dünyada biyodizel üretimi 1,6 milyon ton olarak bulunmuş ve kullanılan tüm hammaddeler içinde kullanılmış yağların oranı %1 olarak verilmiştir. Türkiye'de toplam 1,5 milyon ton bitkisel yağ tüketilmekte ve bunun 300-350 bin tonu geri kazanılabilir niteliktedir [9]

Tablo 1.3. Kızartma yağı, kızartma yağında elde edilen biyodizel ve dizel yakıtının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri [38,39]

Özellik	Atık yağ	Biyodizel	Dizel yakıtı
Isıl Değer (MJ/kg)	38,771	39.053	45,603
Yoğunluk 15°C'ta (kg/m ³)	37,08	5,8	2,83
Kinematik viskozite (mm ² /s) (40°C'ta)	37,08	5,8	2,83
pH	5	6	5
Bulutlanma noktası (°C)	-	2,5	-8
Akma noktası (°C)	-	-6,5	-18
Donma noktası (°C)	-	-9,5	-20
Parlama noktası (°C)	-	121	68
Su içeriği (mg/kg)	552,55	375,60	23
İyot sayısı	-	100,73	-

Mevcut dizel yakıtına benzer kimyasal ve fiziksel özellikler gösteren bitkisel veya atık yağlar, dizel motorlarında bazı değişiklikler ve ayarlamalar yapılarak kullanılabilir. Bu yağlar, direkt olarak dizel yakıtı yerine kullanılabileceği gibi, dizel yakıtıyla belli oranlarda karışım oluşturarak da kullanılabilmektedir. Bitkisel yağlar kükürt elementi içermedikleri için, fosil kökenli yakıtlara göre daha az emisyon üretmektedir. Dizel motorlarında hava-yakıt karışımı yanma odası içinde gerçekleştirilmekte, dolayısıyla karışım oluşturma yanma verimini ve motor performans parametrelerini etkileyen bir işlem olmaktadır. Bitkisel yakıtların içerdiği oksijen miktarı, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığı zaman %11 oranında daha fazla olduğu için bitkisel yakıtların kullanımında karışım oluşumu daha iyi olmakta, bunun sonucunda egzoz emisyonlarında azalma görülmektedir. Bazı bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1.4'de görülmektedir [6].

Tablo 1.4. Bitkisel Yağların Bazı Fiziksel Özelliklerinin kızartma yağı ile karşılaştırılması [7]

Özellik	Ayçiçek yağı	Pamuk yağı	Mısır yağı	Soya yağı	Kızartma yağı
Isıl değer (kJ/kg)	39500	39600	37850	39620	38771
Yoğunluk (kg/lt)	0.918	0.912	0.919	0.914	0.370
Viskozite (mm ² /s)	58	50	39	65	37
Parlama noktası (°C)	220	210	277	230	-
Setan sayısı	37	39	38	38	-

1.6. Biyodizel Yakıtı

Biyodizel yakıtı ayçiçek, aspir, soya, kanola gibi yağlı tohumlu bitkilerinden veya hayvansal kökenli yağların bir katalizör ile metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkoller ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşan ve alternatif yakıt olarak kullanılan bir yakıttır. Kullanılmış hayvansal ve bitkisel yağlar da biyodizel üretiminde kullanılabilir.

Biyodizel hem saf olarak hem de petrol kökenli dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilir. Saf biyodizel ve biyodizel-dizel yakıtı karışımı motorda herhangi bir değişiklik yapılmaksızın kullanılmaktadır. Biyodizel yakıtının da bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri dizel yakıtına benzerlik sağladığı için dizel yakıtı yerine kullanılabilir.

1.6.1. Isıl Değer

Bitkisel yağların ısı değeri hidrokarbonlarındaki çift bağ sayısı ve bağların uzunluğuna göre değişmektedir. Bitkisel yağlar, yağ asitlerinin ($R-COOH$), üç değerli bir alkol olan gliserinle meydana getirdiği esterlerdir. Yağ asitleri içerdikleri karbon atomu sayısına bağlı olarak farklı uzunlukta zincirler oluşturmaktadırlar. Yağ atomlarının çift bağ sayısı arttıkça ısı değeri azalmaktadır. [9]

Yağ asitleri doymuş ve doymamış olarak ikiye ayrılmaktadır. Karbon sayısı ve karbonlar arasındaki bağların çift veya tek oluşu doymuş veya doymamış yağ türlerini meydana getirir. Doymamışlık derecesi hidrojen atomlarının yerleşmemiş olmasına bağlıdır. Hidrojenin bütün atomları bağlanmış ise yani her karbon zinciri iki hidrojen atomuna bağlanmış ise bu oluşum doymuş bir yağ asididir. Karbon atomlarının arasındaki çift bağ sayısı ne kadar fazla ise o yağ asidi o derecede doymamış yani sıvı haldedir. Katı yani doymuş yağların elde edilmesi için karbona hidrojen eklenerek çift bağların sayısı bire indirilmek suretiyle yapılmaktadır.[9,10]

Bağ uzunluğu arttıkça ısı değeri de artış gösterir. Isıl değerdeki artış veya azalış hidrojen ve karbon sayılarının oksijen sayısı ile oranına bağlıdır. Petrol dizelinin ısı değeri 39,500-41.000 Kj/kg aralığındadır. Bitkisel yağların ısı değeri ise 37.000-42.000 Kj/kg aralığındadır [9].

1.6.2. Setan Sayısı

Bir dizel yakıtın tutuşma özelliği setan sayısı olarak ifade edilmektedir. Setan sayısının yüksek olması o yakıtın tutuşma kalitesinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Setan sayısı yüksek olan yakıtla çalışan motor daha sessiz çalışır. İdeal bir dizel yakıtta setan sayısının 45 ile 50 aralığında olması istenir. Bitkisel yağların setan sayısı ise ASTM standartlarına göre 32 ile 42 arasında değişiklik göstermektedir. Yağlar biyodizele dönüştürülürken setan sayısında artış olmaktadır. [10]

1.6.3. Yoğunluk

Yoğunluk genel olarak yakıtlar için önemli bir özelliktir. Sistemdeki akışı, depolanması, enjeksiyon işlemi yoğunluktan etkilenmektedir. Bir petrol dizel yakıtının yoğunluğu 0,851 kg/lt (40 °C’de), bitkisel yağların yoğunluğu ise 0,910 ile 0,940 kg/lt (15°C’de) aralığındadır. Bir biyodizel yakıtında yoğunluğun yüksek değerde olması üretim aşamasında meydana gelen gliserinin yakıt içerisinde kalmış olmasıdır [11].

1.6.4. Akış Özelliği

Biyodizelin akma noktası petrol dizeline göre daha yüksektir. Biyodizelin bu özelliği soğukta motorun çalışmasında sorun teşkil etmektedir. Motorun istenen düzende çalışmasına engel olmaktadır. Soğukta akış özelliği kötü olan bir biyodizelin kullanılması aracın yakıt sistemine zarar verebilmektedir [12].

1.6.5. Parlama Noktası

Parlama noktası bir sıvının veya bir yakıtın bir alev cephesi ile karşılaşması sonucu alev almaya başladığı nokta diye tanımlanır.

Bu özelliğin yakıtın motor içindeki yanmasına herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Bu özellik yakıtın depolanması ve taşınmasında önem taşımaktadır. Bir biyodizel yakıtın parlama noktası petrol dizel yakıtına göre daha yüksektir. Bu da biyodizel yakıtının depolanmasının ve taşınmasının emniyetli olduğunu ifade etmektedir [12]. Türkiye’deki biyodizel standart değerleri Tablo 1.5.’te verilmiştir.

Tablo 1.5. Türkiye’deki Biyodizel Standart Değerleri Tablosu [8]

Kriterler	TSE EN 14 214
Yoğunluk (815°C) (g/m ³)	0.86 – 0.90
Viskozite (mm ² /s) (40°C)	3.5 – 5.0
Parlama Noktası, (°C)	>101
Kükürt (m/m)	<0.01
Sülfatlanmış kül (m/m)	0.02
Su (mg/kg)	< 500
Karbon kalıntısı (m/m)	< 0.03
Toplam kirlilik (mg/kg)	< 24
Setan sayısı (-)	>51
Metanol (% kütle)	< 0.2
Ester içeriği (% kütle)	>96.5
Monoglisidler (% kütle)	< 0.8
Diglisidler (% kütle)	< 0.2
Triglisidler (% kütle)	< 0.4
Serbest gliserol (% kütle)	< 0.02
Toplam gliserol (% kütle)	< 0.25
Fosfor (% kütle)	< 10
Alkali metaller (Na. K) mg/kg	< 5

1.7. Biyodizel ve Dizel Standartları

Biyodizel için EN 14214 Avrupa birliği standardı ve ASTM D 6751 standardı uygulanmaktadır. Türkiye’de ise EN 14214 standardı esas alınarak TSE standardı hazırlanmıştır. Biyodizel Standartlarına uygun olarak Biyodizel saf ve dizel-biyodizel karışımları şeklinde kullanılmaktadır. Biyodizel ve dizel yakıtı karışım oranları aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

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

Normal bitkisel yağlarda olduğu gibi atık bitkisel ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtlarıyla benzerlik gösterdiği için hacimsel olarak karıştırılmasında her

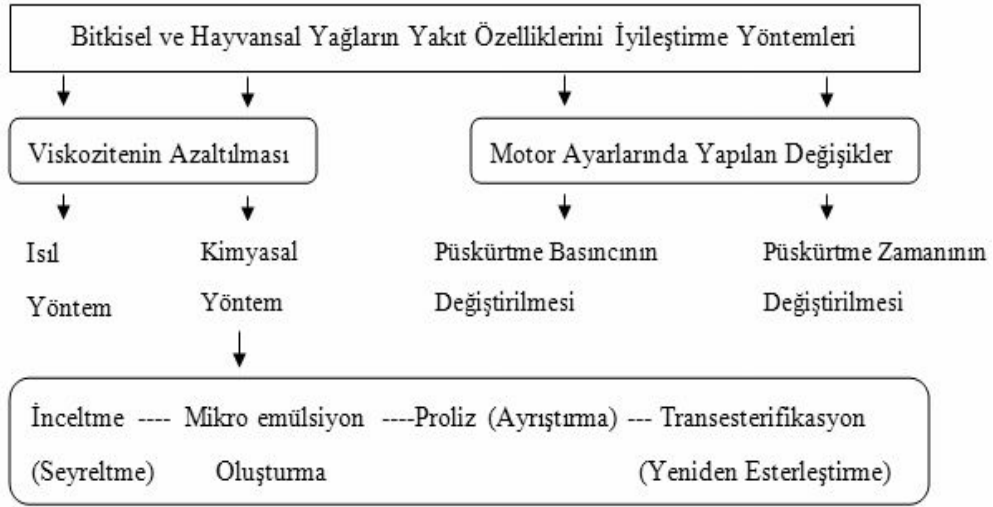
hangi bir olumsuzluk ortaya çıkmamaktadır. Bunun için biyodizel, dizel motorlarında saf olarak kullanıldığı gibi dizel yakıtlarıyla da karıştırılarak kullanılabilir. Yukarıda görüldüğü gibi saf olarak biyodizel kullanıldığında B100 olarak isimlendirilirken, %5 biyodizel ve %95 dizel yakıtı içeren bir karışım B5 olarak isimlendirilir. Diğer isimlendirmeler de buna benzer şekilde olmaktadır.

1.8. Bitkisel Yağlardan Biyodizel Elde Edilmesi

Bitkisel yağlar enerji kapasitesi yüksek petrol yakıtlarına benzer özellikler göstermektedir. Bu yüzden bitkisel yağlar önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Bitkisel yağların olumsuz yönü yüksek viskoziteye sahip olması ve yüksek akma noktasına sahip olması gösterilebilir. Bu iki olumsuz durum bitkisel yağların direkt olarak motorlarda yakıt yerine kullanılmasını engellemektedir. Çünkü bu özellikler yakıtın depolanması ve yakıt hattındaki hareketi ve püskürtülmesinde engel oluşturmaktadır. Yüksek viskozite yanma sorunlarına ve karbon birikimlerine neden olmaktadır [8].

Yağlardaki sakızlaşma yani katılaşma özelliği yağı ısıtma ya da bazı katkı maddeleri kullanmak suretiyle giderilebilir. Viskozite problemi ise modifikasyon prosesleri ile düzeltiler. Bitkisel yağların dizel yakıtı yerine kullanılabilmesi için birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Bu yöntemlerin en önemlileri aşağıdaki gibidir.

- 1) Seyreltme
- 2) Piroliz
- 3) Mikro Emülsiyon
- 4) Transesterifikasyon



Şekil 1.1. Bitkisel ve hayvansal yağların yakıt niteliklerinin iyileştirilmesi [8]

1.8.1. Seyreltme

Bu modifikasyon tekniğinin uygulamalarında bitkisel kökenli yağlara belli oranlar doğrultusunda dizel yakıtı ya da çeşitli organik bileşikler eklenerek yağın viskozitesi düşürülür. Dizel yakıtının başka seyreltme elemanı olarak viskoziteyi düşürmek için yağ, aseton, etanol ve bütanol belli oranlarda karıştırılmaktadır. Seyreltme uygulamasının hazırlanışı oldukça kolaydır. İşlem sonunda yağ ve dizel yakıt karışımının depolanmasında problem çıkmamaktadır. Depoda faz ayrışımı da olmamaktadır. Bu teknik diğerlerine göre uygulanması daha kolay bir yapıdadır [8].

1.8.2. Piroliz

Bu teknik uzun yıllardır kok kömürü üretmek için kullanılan termokimyasal bir işlemdir. Piroliz işlemi kömürün verimini artırmak için düşük sıcaklıkta yavaş bir reaksiyondur. Piroliz genel manada katı, sıvı ve gaz ürünler ortaya çıkarmak amacıyla oksijensiz bir ortamda organik maddelere termokimyasal süreç uygulamasıdır. Üretilen ürünün miktarı uygulamadaki metot ve reaksiyon değişkenlerine bağlıdır [13,14].

Katı ürün elde etmek için kullanılan ham madde, düşük sıcaklık ile yavaş bir şekilde reaksiyona sokulmaktadır. Flash veya hızlı piroliz tekniği ise sıvı ürün elde edilmesinde kullanılır [13].

Sıvı pirolizinin verimi reaksiyonun hızına bağlı olarak değişmektedir. 450 ile 650 °C aralığındaki sıcaklıklarda 1000-10000°C/s ısıtma hızı ile uygulanan pirolizin sıvı ürün

Üretim verimi yüksektir. Bu teknikle sıvı ürünlerin gaz ürünlere dönüşümü engellenmektedir. Dolayısıyla sıvı ürün çıkışının yüksek olması sağlanmıştır[13,14].

1.8.3. Mikro Emülsiyon

Bitkisel yağlardaki yüksek viskoziteyi aşağılara çekmek için mikro emülsiyon tekniği kullanılır. Uygulanması ise metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkoller ile mikro emülsiyon oluşturulmasından ibarettir. Bu şekilde hazırlanan yakıtlarda ısıl değer düşüktür. Sebebi ise içerisinde alkol içermesidir. Bu sebeple motor gücünde bir miktar azalma meydana gelmektedir [8].

1.8.4. Transesterifikasyon

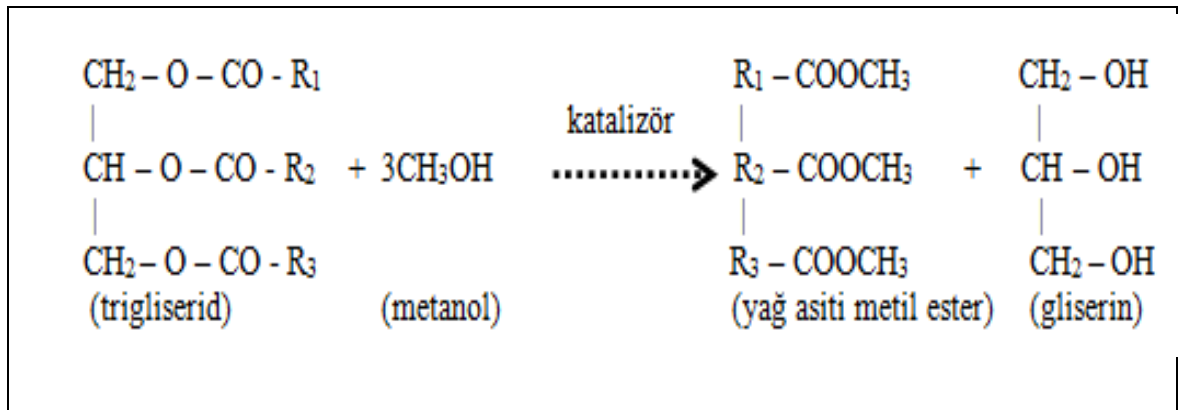
Bitkisel veya hayvansal yağların NaOH gibi bazik bir katalizör kullanılarak ile metanol ve etanol gibi alkollerle esterleştirme prosesine transesterifikasyon denir. İşlem basamakları aşağıdaki gibidir.

- **Alkol ve Katalizör Karıştırılması:** Katalizör olarak NaOH veya KOH kullanılır. Katalizör alkol içinde çözündürülür [15].
- **Reaksiyon:** İçinde katalizör çözündürülmüş karışım reaksiyonun yapılacağı kap içerisine konulur. Ardından kullanılacak hayvansal veya bitkisel yağ eklenir. Alkolün uçup kaybolmasını engellemek için kullanılan kap tümüyle atmosfere kapatılır. Reaksiyon için hazırlanan karışım reaksiyonu hızlandırmak adına belli bir sıcaklıkta tutulur. Yağların esterlere tam olarak dönüşmesi için alkol fazla olarak kullanılabilir [15,16].
- **Ayrırma:** Reaksiyonun bitmesinin ardından gliserin ve biyodizel olarak iki başlıca ürün oluşur. Oluşan iki üründe de reaksiyonun kalıntısı olarak metanol bulunur. Gliserin ürününün yoğunluğu biyodizelin yoğunluğundan fazla olduğu için, ayırma işlemi yoğunluk farkından yararlanılarak beklemek suretiyle ürünler birbirinden ayrılır. Yoğunluğu fazla olan gliserin aşağıya ker ve ayrılma kolayca sağlanır. Ayrırma işinin daha çabuk olması isteniyorsa santrifüj kullanılabilir.

- **Alkolün Ayrılması:** Yoğunluk farkından dolayı ayrılan gliserin ve biyodizel ürünlerindeki fazla bulunan alkol flaş buharlaştırma veya distilasyon işlemi ile uzaklaştırılır. Reaksiyon karışımı nötr hale getirilir. Gliserin ve ester halleri ayrılmış olur [15,16].
- **Gliserin Nötrleştirme İşlemi:** Reaksiyon sonunda yan ürün olarak oluşan gliserin içerisinde katalizör, asit ve nötrleşmiş sabun içerir. Bu ürün içindeki su ve alkol %80-88 arası bir saflıkta gliserin elde etmeyi sağlamak için uzaklaştırılır. Bu gliserin kozmetik ve ilaç sektörlerinde kullanılabilir [15,16].
- **Metil Ester Yıkama İşlemi:** Gliserin ile ayrılan biyodizel ürününden katalizör kalıntılarını ve oluşan sabunu ayırmak amacıyla ılık sayılabilecek su ile yıkanır. İşlem sonucunda su uzaklaştırılır ve depolama işlemine geçilir [15].

1.9. Biyodizel Üretim Reaksiyonu

Biyodizel her türlü bitkisel ve hayvansal kökenli trigliseridlerin alkol ve katalizör eşliğinde transesterifikasyon yöntemi ile üretilmektedir [15,16]. Bu yöntem şematik olarak Şekil 1.2’de gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Transesterifikasyon işlem şeması [25]

Alkoliz işlemi bir denge reaksiyonu olarak kabul edildiği için alkolün fazlalığı genel olarak reaksiyonu ürünün lehine döndürür. Alkoliz işlemi için uygun oran 3 mol alkol için

1 mol yağ olmasına karşın, pratik olarak uygulamalarda ürünün verimini artırmak amacıyla bu orandakinden daha fazla alkol kullanılmaktadır.

Alkoliz işlemini hızlandırmak amacıyla asit katalizör, alkali katalizör yada enzimatik katalizör kullanılabilirler. Alkali katalizörlere örnek olarak NaOH, KOH, sodyum metoksit, sodyum etoksit verilebilirler. Bunlar arasından NaOH'ın hem temini kolaydır hem de fiyat olarak diğerlerine kıyasla daha ekonomik bir durumdadır. Bu özelliklerinden ötürü NaOH en çok kullanılan alkali katalizördür. Alkali katalizörler asit katalizörlere kıyasla reaksiyonun daha hızlı gerçekleştirilmesini sağlarlar. Hızlı reaksiyon işlemini sağladığı için daha çok tercih edilmektedirler. Alkali katalizörlerin kullanıldığı reaksiyonlarda, kullanılan alkol ve gliserolün susuz olmasına özen gösterilmelidir. Bunun sebebi ise suyun sabun oluşumuna sebep olmasıdır. Buna ek olarak sabun oluşumunun ester ürününün miktarını azalttığı ve gliserolün ayrılmasında engel olduğu bilinmektedir [15,16].

Alkolizde asit katalizör olarak HCl, H₂SO₄ ve fosforik asit kullanılabilirler. Enzimatik katalizör olarak ise lipazlar örnek verilebilirler. Enzimatik katalizörlerin kullanıldığı reaksiyonlarda enzimin işlevini tam olarak sürdürmesi için reaksiyon şartlarının iyi bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir [17] .

Alkoliz reaksiyonu için en çok metanol ve etanol kullanılmaktadır. Alkali katalizörün kullanıldığı bir transesterifikasyon yapılacaksa eğer kullanılan alkol ve trigliserid içerisinde su bulunmamalıdır. Suyun reaksiyona engel olduğu bilinmektedir. Suyun varlığının reaksiyonda meydana getirdiği sabun, ester miktarını azaltır. Bunun yanında oluşan sabun ester ve gliserinin ayrılmasına zorlayıcı bir etki yapar. Trigliserid içinde düşük miktarda serbest yağ asidi bulunuyorsa alkali katalizörlü reaksiyon daha verimli olacak bir işlemdir. Trigliseridde yüksek miktarda serbest yağ asidi ve su bulunmakta ise asidik katalizörlü transesterifikasyon kullanılmaktadır. Asidik katalizör trigliseridleri sadeleştirme işini yaptığı için ardından alkali katalizör ile transesterifikasyon yapılabilinmektedir. Asidik katalizör ile yapılan transesterifikasyon reaksiyonun işlem süresi daha uzundur [16,17].

Baz katalizörün kullanıldığı transesterifikasyon işlemi daha verimli ve daha ekonomik bir işlemdir. Temel sebepleri düşük basınç ve sıcaklıkta işlemin gerçekleştirilebilmesi, reaksiyon süresinin kısa olması ve yaklaşık % 98 gibi yüksek bir

verime sahip olması ile farklı bir ara basamak işlemine gerek duyulmaksızın metil esterlere direkt dönüşümün olmasıdır.

1.10. Biyodizelin Çevresel Avantajları

Biyodizel çoğunlukla bitkisel kaynaklı yağlardan elde edilmesi sebebiyle, fotosentez ile CO₂ 'i dönüştürerek karbon döngüsünün hızlanmasını sağlar. Bu da sera etkisinin artmasına sebep olmamaktadır. Kullanılan biyodizelden çevreye verilen CO₂ bitkiler tarafından kullanılarak atmosferden geri alınacaktır. Biyodizel yakıtlar, fosil yakıtların çevreye verdiği zararların azaltılmasında önemli bir yer almaktadır [18].

Biyodizelin % 95'i 28 gün gibi bir sürede çözünmektedir. Ancak petrol kökenli dizelin bu süreçte yalnızca % 40'ı çözünmektedir. Bu neden dolayısıyla örneğin ABD'de nehir ve göl benzeri alanlarda kullanılan araçlarda biyodizelin kullanılması zorunlu hale getirilmiştir.

Biyodizelin içerdiği kükürt oranı dizel yakıtına oranla daha azdır. Bunun yanında biyodizel ekosistemdeki bakteriler tarafından kolay bir şekilde ayrıştırılmaktadır.

Biyodizelin petrol dizeline göre kıyasla daha az bir oranda CO ve HC salınımı yaptığı bilinmektedir. Saf olarak biyodizel ve biyodizel-petrol dizeli karışımının kullanılması sonucu CO, PM, HF, SO_x ve CH₄ gibi çevreye zararlı emisyonların azaldığı görülmüştür. HCl ve NO_x emisyonlarının bir miktar arttığı tespit edilmiştir.

Karbon döngüsü içinde yer alması sebebiyle sera gazı etkisinin artmasına neden olmamaktadır. %100 olarak biyodizel kullanımı ile sülfür emisyonları tam olarak yok edilmektedir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında biyodizel kullanımı ile sülfür oksit ve sülfat ile oluşan çevre kirliliği temizlenmektedir. Biyodizel kullanımı ile CO salınımı petrol dizeli ile kıyaslandığında %48 oranında azaldığı görülmüştür.

Tablo 1.6. B100 ve B20 biyodizel kullanımının emisyon değerleri [8]

B100 ve B20 oranında Biyodizel kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtlarla karşılaştırılması (EPA)		
Emisyonlar	B20 (%)	B100 (%)
Yanmamış Toplam Hidrokarbonlar	-20	-67
Karbonmonoksit (CO)	-12	-48
Partikül Madde (PM)	-12	-47
Sülfatlar	-20	-100
Polislik Aromatik Hidrokarbon (PAH)	-13	-80
Nitratlı PAH'lar (nPAH)	-50	-90
Hidrokarbonların Ozon Tabakasına Etkisi	-10	-50
Hidroflorik Asit (HF)	-2.10	-15.51
Kükürt Oksitler (SO _x)	-1.61	8.03
Metan (CH ₄)	-0.51	-2.57
Azot Oksitler (NO _x)	+/-2	+10
Hidroklorik Asit (HCl)	2.71	13.54

Tablo 1.6. incelendiği zaman biyodizel kullanımı ile PM salınımı dizel yakıtla karşılaştırıldığında %47 oranında azaldığı görülmektedir. Biyodizel kullanımı ile yanmamış hidrokarbonların oranı petrol dizeli ile kıyaslandığında %67 oranında bir azalma olduğu görülmüştür. Biyodizel kullanımı ile CO₂ emisyonu petrol dizeli ile karşılaştırıldığında %80 oranında azaldığı görülmüştür. Biyodizel kullanımı ile kanserojen etkiye sahip olan aromatik hidrokarbonların salınımında ise petrol dizeli ile kıyaslandığında %75-90 aralığında bir oranda azaldığı görülmüştür. Biyodizel yapısında kükürt bulundurmeyen bir yakıttır. Bu özelliğinden ötürü egzoz emisyonlarını azaltma sistemleri ve NO_x emisyonunu düzenleyici sistemler kolay bir şekilde kullanılabilir.



Şekil 1.3. Biyodizel Döngüsü [34]

Biyodizel yapısında kükürt bulundurmadığı için doğal olarak da SO_2 emisyonu meydana getirmemektedir. Bu çok önemli bir özellik olarak yer almaktadır. Kanserojen etkenlerin azalmasında önemli bir rol oynamaktadır. Asit yağmurlarının oluşmasında kükürt ve bileşenlerinin rolü büyüktür. Bu nedenle biyodizel kullanımı çevre açısından çok faydalı olabilmektedir.

1.11. Biyodizelin Depolama Koşulları

Dizel yakıtta uygulanan depolama ve dağıtım yöntem ve uygulamaları biyodizel için de kullanılmaktadır. Biyodizelin depolandığı ortam temiz, kuru ve ışsız olmalıdır. Bunun dışında depolanan alanın aşırı sıcak olmaması gerekmektedir. Biyodizelin depolarında yapım malzemeleri; paslanmaz çelik, yumuşak çelik ve florlanmış polietilen olmaktadır. [19,20]

Depolama ve taşıma malzemesi olarak çinko kullanılmamalıdır. Ayrıca biyodizel doğal ve butil kauçukların parçalanmasına neden olduğu için bu malzemeler de kullanılmamalıdır. Bu tarz hallerde biyodizelin depolanmasında sorun oluşturmeyen Viton B tipi elastomerik malzemeler kullanılmalıdır. Depolama tanklarının yapısında alüminyum, çelik ve teflon bulunabilir. Bakır, pirinç, kurşun, çinko ve kalayın tankların yapı malzemesinde bulunmaması gerekmektedir [19,20]

1.12. Biyodizelin Dizel Motorlarda Kullanımı

Biyodizelin alevlenme sıcaklığı dizel yakıtına kıyasla daha yüksek bir durumdadır. Bu özelliğinden dolayı depolanma ve taşınma işlemleri daha güvenlidir. Biyodizelin sahip olduğu ısı değeri petrol dizeline yakın bir seviyededir. Buna ek olarak biyodizelin setan sayısı petrol dizelinin setan sayısından daha fazladır.

Biyodizel kullanılan motorda özgül yakıt tüketimi dizel yakıtın özgül yakıt tüketiminin üzerindedir. Ayrıca güç ve moment değerleri de dizel yakıtına yakın değerlerdedir. Biyodizel ile motor daha az vuruntulu çalışabilmektedir. Bunlara ek olarak biyodizel motordaki zararlı birikintileri temizleme ve motoru daha iyi yağlama özelliğine sahiptir[36]

Dizel motorlar, sıkıştırılarak sıcaklık ve basıncı yükseltilmiş havanın üzerine yakıt püskürtülmesi prensibine göre çalışmaktadır. Benzinli motorlarda ise yakıt-hava karışımının ateşlenmesi sonucu çevrim oluşmaktadır. Dizel motorlarda ise sıcak havayı ateşlemek için yakıt püskürtülür. Dizel motorun bu yapısından ötürü kalın yakıtlar da kullanılabilir.

Biyodizel yakıtı yapısal özellikleri itibarıyla petrol dizeline çok benzemektedir. Bu yüzden dizel araçlarda depoya direkt olarak biyodizel de konulabilir. 1996 öncesinde üretilen bazı araçlarda kullanılmış olan doğal kauçuk ile biyodizel uyum sağlayamamaktadır. Sebebi ise biyodizelin doğal kauçuktan yapılan hortum ve conta gibi parçalara zarar vermesidir.

Buna ek olarak %20 biyodizel- %80 petrol dizeli karışımının kullanıldığı veya daha düşük oranda biyodizelin olduğu karışımlarda yakıtın hortum ve conta gibi parçalara zarar vermediği görülmektedir. Biyodizel yakıt deposunun duvarlarındaki ve yakıt sisteminin burularındaki tortuları çözebildiği için filtrelerin tıkanmaması için gerekli kontroller yapılmalıdır. Ek olarak petrol istasyonlarında da herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek yoktur [35].

1.13. Biyodizelin Toplumsal Faydası

Dizel araçlarından dizel yakıtı yerine biyodizelin kullanılması halinde toplumda birçok yararlar sağlanabilir. Biyodizel dizel yakıtı yerine kullanılabilen temiz ve yenilenebilir alternatif bir yakıttır. Biyodizel üretimi için yağ bitkileri tarımı yapılacağı için kırsal kesimlerde iş imkanı oluşturarak sosyo-ekonomik yapıya katkıda bulunabilir. Köyden

şehirlere olan göçlerin önlenmesine katkı sağlar. Yeni iş sahalarının oluşmasına katkıda bulunabilir. Petrol ürünlerinde dışa bağımlılığı azaltarak meydana gelen enerji krizlerinde etkilemeden ülke ekonomisine katkı sağlar. Temiz emisyon değerleri sayesinde dünya devletlerinde kabul edilen standartlara uygunluk içerisinde çevre ve toplum sağlığına katkı sağlar. Ülkemizin sınırlı enerji kaynaklarına alternatif olarak enerji sürdürülebilirliğini sağlar. Zararlı olan sera gazlarının azalmasında katkıda bulunur ve dışa bağımlılığı önlediği için ülke ekonomisinin iyileşmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

1.14. Biyodizelin Tüketim Alanları

Biyodizel yakıtı dizel motorları için alternatif bir yakıttır. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Dünyada biyodizel ile ilgili araştırmalar petrol krizleri çıktığı zamanlarda büyük önem arz etmekteydi. Dünya biyodizel üretimi Tablo 1.7.'de görülmektedir. Dizel motorları için alternatif bir yakıt olan biyodizel, dizel motorlarından kullanımı ile sınırlı değildir. Dizel motorları yanında birçok kullanım alanı mevcuttur. Biyodizel sahip olduğu özellikler ile dizel motorları dışında da yanma maddesi olarak kullanılabilir. Biyodizel elektrik üretimi için kullanılan jeneratörlerde ve kalorifer sistemlerinde de kullanılabilme imkanına sahiptir. Seralar, yer altı madenciliği ve gıda sanayisi de dahil olmak üzere birçok alanda kullanılabilir. Ayrıca biyodizel dizel yakıtı yerine kara ve deniz taşıtlarında, konutlarda belirli karışım oranlarında rahatlıkla kullanılabilmektedir.

Tablo 1.7. Dünya Biyodizel Üretim Tablosu(Milyon Litre) [49]

Yıl	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Almanya	3,181	3,408	3,106	3,307	3,808	3,350	3,350
Fransa	2,295	2,090	2,516	2,476	2,681	2,442	2,215
Hollanda	434	558	1,337	1,562	1,954	1,990	1,990
İspanya	1,041	787	545	668	1,016	1,070	1,070
Polonya	432	414	673	736	786	800	800
İtalya	908	704	326	521	658	665	665
Belçika	494	536	568	568	568	568	570
Portekiz	328	419	356	307	325	440	443
Finlandiya	375	253	320	399	409	409	440
A.B.D.	227	261	364	648	648	648	650
Diğer	992	1,611	971	791	488	1,126	1,487
Toplam	10,707	11,041	11,082	11,983	13,341	13,535	13,680

Tablo 1.7. incelendiği zaman biyodizel üretiminin en çok Almanya’da yapıldığı görülmektedir. Bunu takip eden ülke ise Fransa ve daha sonra Avrupa Birliği ülkeleri gelmektedir. Tablodan anlaşılabacağı üzere dünya devletleri son zamanlarda biyodizel üretimine büyük bir önem vermektedirler.

1.15. Literatür Araştırmaları

Cherng-Yuan ve Rong-Ji (2009) yaptıkları deneysel çalışmalarında atık balık yağlarından elde ettikleri biyoyakıtın motor performans ve emisyonuna etkisini incelemişlerdir.. Atık balıklardan, çeşitli işlemlerden ve filtrelemeden geçirilerek elde edilen yağ, metil alkol ile transesterifikasyon reaksiyonu oluşturulmuş ve elde edilen biyodizel deney yakıtı olarak kullanılmıştır. Atık balık yağından üretilen biyodizel, dizel ve atık mutfak yağlarından üretilen biyodizel karşılaştırılmıştır. Sonuçlar atık balık yağlarından üretilen biyodizelin, atık mutfak yağlarından üretilen biyodizele göre daha yüksek ısı değere, setan sayısına, NO_x ve O₂ emisyonlarına sahip olduğunu göstermiştir. Özgül yakıt tüketimi ve CO emisyonlarındaysa azalmaların olduğu görülmüştür. Atık yemeklik yağlardan elde edilen biyoyakıtlarla atık balık yağlarından üretilen biyoyakıt, dizel ile kıyaslandığında, biyoyakıtların daha düşük ısı değere, setan sayısına ve CO emisyonuna sahip olduğu görülmüştür. Özgül yakıt tüketimi ise ısı değerin düşük olması dolayısıyla dizel yakıtına göre artış gözlemlenmiştir.

EPA’nın (Amerikan Çevre Koruma Ajansı) (2002), yaptığı bir çalışma doğrultusunda biyodizel kullanımı ile dizel yakıtla CO emisyonunda % 50 oranında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Choi ve diğ. (1997), yapmış olduğu çalışmalar doğrultusunda soya biyodizeli ile tek silindirli bir dizel motorda düşük yük oranlarında CO emisyon ürününde bir azalış tespit etmemiş, yüksek yük oranlarında CO emisyon ürününde azalmanın olduğu görülmüştür.

Çanakçı ve Özsezen (2008), yapmış olduğu çalışmalarda atık yemeklik kızartma yağları ile elde ettikleri biyodizelin (metil ester) bir dizel motorda emisyon ve performans değerlerini incelemişlerdir. Tam yük ve sabit devir durumlarında ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçüm testleri ile motordaki döndürme momentinde, termik verimde ve efektif güçte düşüşlerin olduğu belirlenmiştir. Metil ester kullanımının özgül yakıt tüketimini artırdığı saptanmıştır. Metil ester ile CO ve HC emisyon ürünlerinde azalma olduğu belirlenmiştir.

Sugözü ve diğ. (2009) yapmış oldukları çalışmalarında atık motor yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. 1200 ile 2400 devir aralıklarında dizel yakıtı atık motor yağı eklenmesi suretiyle deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu motor performansında düşüşün olduğu, torkta düşüşün olduğu, özgül yakıt tüketiminde ise artışın olduğu tespit edilmiştir. CO ve NO_x değerlerinde ise dizel yakıtı kıyasla artışın meydana geldiği görülmüştür.

Jindal ve diğ. (2010) yaptıkları deneysel çalışmalarında jatropha'dan elde edilen metil esterinin dizel motorda kullanımını gözlemlemişlerdir. Deneyler farklı enjeksiyon basınçlarında ve farklı sıkıştırma oranlarında uygulanmıştır. Sıkıştırma oranının ve enjeksiyon basıncının artması sonucu termik verimde artış olduğu, is, HC ve NO_x emisyon değerlerinde azalış olduğu, ek olarak özgül yakıt tüketiminin de azaldığı belirlenmiştir.

Puhan ve diğ (2010) yapmış oldukları deney çalışmalarında keten tohumundan elde edilen metil esterinin kullanıldığı bir dizel motorda emisyon değerleri, motor performansının püskürtme basıncıyla değişimini incelemişlerdir. 200, 220 ve 240 bar basınç aralıklarında deneyler yapılmış olup en iyi püskürtme basıncının 240 bar olduğu tespit edilmiştir. Bu basınçta HC, CO ve is emisyon değerlerinde azalmaların olduğu, NO_x emisyonunda ise artışın olduğu görülmüştür. Termik verim anlamında ise dizel yakıtı yakın bir değerin elde edildiği belirtilmiştir.

Şimşek (2010), soya yağından elde ettiği metil esteri yakıt olarak kullandığı bir dizel motorda iki aşamada deneyler yapmıştır. İki kısım olarak test yapılmıştır. İlk kısımda orijinal püskürtme basıncı olan 200 bar'da dizel metil ester karışımı (B25) değişik püskürtme basınçlarında testler yapılmıştır. Testlerin sonucu en ideal basıncı 220 bar olduğunu göstermiştir. HC, CO ve is emisyon değerlerinde azalmaların olduğu NO_x emisyonunda artışın olduğu belirlenmiştir. Özgül yakıt tüketiminin ise arttığı görülmüştür.

Sekmen (2007), yapmış olduğu çalışmalarında keten tohumu yağından ve karpuz çekirdeğinin metil esterlerinin dizel motorda kullanılabilirliğini deneylemiştir. Farklı karışım oranları ve farklı motor devirleri şartlarında deneyler yapılmış olup efektif güç ve motor momentinde ısı değerinin düşük olmasından dolayı azalmalar görülmüştür. Egzoz gazlarının sıcaklığı dizel egzoz gazlarına oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. HC ve CO emisyonlarının azaldığı, NO_x emisyonunu arttığı görülmüştür.

Ulusoy ve diğ. (2004), yaptıkları çalışmalarında atık gıda yağlarından biyodizel elde ederek dizel motora sahip bir araçta şasi dinamometresi kullanmak sureti ile çeşitli

testler yapmışlardır. Yapılan testler neticesinde biyodizel kullanımı ile tekerlek gücü %2,03, tekerlek momenti %3,35 azalmıştır. İvmelenmede 40 km/saat'ten 100 km/saat'e %7,32 oranında azalma görülmüştür. Emisyon ürünlerinde ise CO %8,59, HC %30,66, PM %63,33 azalmıştır. CO₂ %2,62, NO_x %5,03 artmıştır. Testler neticesinde biyodizelin %2,43 oranında daha az yakıt tüketimi yaptığı belirlenmiştir.

Nye ve Southwell (1984), yaptıkları çalışmalarında kolza yağından metil ester elde edilmesinde %1 NaOH kullanılması ile en iyi ester dönüşümünü 6:1 oranında olduğunu belirlemişlerdir.

Dorado ve diğ. (2003), yapmış oldukları çalışmalarında %100 atık zeytinyağından elde edilen metil esteri 3 silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda yakıt olarak kullanarak testler yapmışlardır. Emisyon değerleri ölçülerek dizel yakıtla kıyaslanmıştır. CO emisyonunda %58,9, NO_x emisyonunda %37,5 oranlarında azalmanın olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak CO₂ emisyonunda %8,6 oranında azalmalar belirlenirken, NO₂ emisyonunda %8,1 oranlarında artışın olduğu gözlemlenmiştir.

Özsezen ve Çanakcı, (2011) atık palmiye ve kanola metil esterlerinin direk enjeksiyonlu bir dizel motorunun performans ve yanma karakteristikleri üzerindeki etkilerini karşılaştırmak amacıyla tam yük şartlarında ester yakıtlarını %100 oranında kullanmışlar ve referans yakıt olarak PTDY ile karşılaştırmışlardır. Deneyler süresince ester yakıtları kullanıldığında motor gücü bir miktar azalırken (PTDY için 68,3 kW, kanola yağı metil esteri için 66,6 kW ve atık palmiye yağı metil esteri için ise 65,8 kW) özgül yakıt tüketiminin ise arttığı (atık palmiye ve kanola yağı metil esterleri için sırasıyla %10 ve %9 daha fazla) tespit edilmiştir. Bu durumun, ester yakıtlarının ısı değerleri PTDY'ninkine göre daha düşük olduğundan (yaklaşık %9kadar), beklenen bir sonuç olduğu ifade edilmiştir. Metil ester yakıtlarının kullanımı ile yakıt hattı basıncı daha çabuk yükselmiş ve bunun sonucu olarak bu yakıtlar daha erken püskürtülmeye başlanmıştır (ortalama olarak, PTDY ÜÖN'den 16,35 °KA, palmiye yağı metil esteri 16,45 °KA ve kanola yağı metil esteri ise 16,75 °KA önce). Yakıt enjeksiyonundaki bu avans, ester yakıtlarının daha yüksek yoğunluğa sahip olmaları ve bulk modüllerinin daha fazla yani sıkıştırılabilirliklerinin daha düşük olmasıyla yorumlanmıştır.

Wyse-Mason ve Beckles, (2012) kızartma şartlarının atık kızartma yağlarının karakteristikleri ve bu atıklardan metil ester elde edilmesi üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında atık kızartma yağı oluşturan firmaları dört kategoriye (Çin

Lokantası, Hint Lokantası, Fast-food ve Pizza) ayırmışlar ve bunlardan toplam on bir adet atık kızartma yağı numunesi almışlardır. Karakterizasyon çalışmalarında atık yağların asit değerleri, SYA içerikleri, sabunlaşma sayıları, peroksit değerleri, su içerikleri ve yağ asidi dağılımları belirlenmiştir.

Tomasevic ve Siler-Marinkovic, (2003) ısıtılmış ve rafine edilmiş ayçiçek yağı ile kullanılmış kızartma yağlarından metil ester ürettikleri çalışmalarında, yağ kalitesi, molar alkol oranları ve farklı katalizör türleri ile yüzdesinin ester dönüşüm oranı ve özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Tüm reaksiyonlar 25°C’de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Alkol oranının etkisini görebilmek için, %1 KOH kullanılan reaksiyonlarda, 4,5:1, 6:1, 9:1 molar oranlar kullanılmıştır. Saf ayçiçeği yağı için 4,5:1’lik oran dahi tatmin edici sonuçlar vermiş; fakat kullanılmış kızartma yağından metil ester üretebilmek için bu oranın uygun olmadığı ifade edilmiştir. 6:1 molar oran ile de kabul edilebilir sonuçlar alınmış, 9:1’lik oranın ester dönüşümü ve kalitesi üzerinde, 6:1’lik orana göre, önemli bir artış sağlamadığı belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada, katalizör türünün ve yüzdesinin etkilerini görebilmek için ise 6:1 molar oran kullanılan reaksiyonlarda %0,5-%1,0-%1,5 NaOH ve KOH kullanılmıştır. Rafine yağ için %1’lik NaOH ve KOH katalizörlerinin her ikisi de olumlu sonuçlar vermişlerdir. Bununla birlikte, kullanılmış kızartma yağının transesterifikasyonunda kullanılan katalizör türünün önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. %1 KOH en iyi ester dönüşümleri ve viskozitelerini vermiştir. 6:1’lik oran ve %1 KOH miktarından daha fazla oranda alkol ve katalizör kullanılması, ester dönüşümü ve kalitesine ekstra bir katkı sağlamamıştır. Kullanılmış kızartma yağının kalitesinin, eğer optimum reaksiyon şartları kullanılırsa, üretilen metil esterlerin kalitesi üzerinde temel bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Encinar ve diğ, (2005) atık kızartma yağından (SYA içeriği %1,15) metil ester ürettikleri çalışmalarında, molar alkol oranı (3:1, 4:1, 5:1, 6:1 ve 9:1), baz katalizör türü (KOH, NaOH, CH₃ONa ve CH₃OK (potasyum metoksit)) ve miktarı (%0,5-1,0- 1,25 ve 1,50), reaksiyon sıcaklığı (25, 45 ve 65 °C) ve süresi gibi çeşitli reaksiyon parametrelerinin ürün miktarı ve üretilen yakıtın karakteristiği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 3:1 molar metanol oranında (%1 KOH ve 65 °C) iki saat sonunda ortaya çıkan ürün miktarı yaklaşık %70 civarındayken, alkol oranı arttıkça ürün eldesi de artmıştır. En yüksek ürün miktarı 6:1 oranda elde edilmiştir. 6:1’in altındaki oranlarda reaksiyonların tam olmadığı ve 9:1 oranında ise fazla alkolün gliserol ayrıştırmasını zorlaştırdığı ve bu nedenle ürün miktarında düşüşün olduğu belirtilmiştir. Katalizör türünün etkisini incelemek için KOH,

NaOH, CH₃OK ve CH₃ONa % 1'lik oranda (65 °C ve 6:1 molar metanol:yağ oranında) kullanılmışlardır. Potasyum katalizörlerinin sodyum katalizörlerine göre daha etkili olduğu ve ayrıca hidroksit katalizörlerin metoksit katalizörlerden daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Reaksiyon sonundaki ürün miktarı için KOH'un en iyi sonuçları vermesi üzerine bu katalizör için en iyi yüzdeyi belirleyebilmek amacıyla KOH miktarı %0,5-%1,0-%1,25 ve %1,50 şeklinde değiştirilmiştir. En yüksek ürün miktarı %1 KOH için elde edilmiştir. Diğer KOH yüzdelерinde düşük dönüşüm elde edilmesi %0,5 için reaksiyonun tam olmamasına, %1,25 ve %1,50 oranlarında ise fazla katalizörün sabunlaşmaya yol açtığı şeklinde yorumlanmıştır.

Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, (2004) molar olarak metanol oranı ve NaOH miktarının atık kızartma yağının (SYA içeriği %0,62) transesterifikasyonu üzerindeki etkileri üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmanın ikinci kısmındaysa yıkama sayısının üretilen ester yakıtının toplam gliserol içeriği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Metanol miktarının etkilerini tespit edebilmek için molar alkol: hammadde oranı 3:1, 4:1, 5:1 ve 6:1 olarak kullanırken, NaOH konsantrasyonu ise %1,0 ve %2,0 olarak seçilmiştir. Deneyler 55 °C sıcaklık, 40 d/d'da 4,5 saat zamanda gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi 50 °C'deki suyla 1:1 oranında gerçekleştirilmiştir. %1,0 NaOH miktarı için, metanol oranı 3:1, 4:1 ve 5:1 olarak değiştirildiğinde ürünlerin ester içerikleri 4,5 saat sonunda, sırasıyla, %35,06, %40,32 ve %75,17 olmuştur. Bununla birlikte, metanol/atık kızartma yağı molar oranı 6:1'e çıkarıldığında, ester içeriği 1 saatlik süre sonunda %100 olmuş ve reaksiyon sonuna kadar herhangi bir değişim göstermemiştir. Reaksiyon optimizasyonunun ikinci adımında NaOH konsantrasyonu %2,0'a çıkartılmış, diğer tüm şartlar sabit kalmıştır. Bu durumda; 4:1 metanol oranında ester içeriği 4,5 saat sonunda %46,84 olurken, 5:1 oranı için 2 saat sonunda %100 olmuş ve reaksiyon sonuna kadar sabit kalmıştır. Metanol oranı 6:1'e çıkartıldığında sadece 30 dakika sonunda ester içeriği %100 oranında olmuştur. Gliserol akıtıldıktan sonra ürünün toplam gliserol içeriği % 0,338 olarak ölçülmüştür. Yıkama çalışması sonunda optimum yıkama adımı sayısı yedi olarak belirlenmiştir.

Meng ve diğ. (2008) atık kızartma yağının 7,25 mg KOH/g olan asit değerini, H₂SO₄ kullanılan ön iyileştirme reaksiyonu ile düşürmenin ardından, NaOH kullanılan metanoliz reaksiyonunu optimize etmek gayesiyle deneyler yapmışlardır. En fazla ürün miktarı (%88,9) 7:1 metanol-hammadde molar oranında elde edilirken, alkol oranı 6:1 olduğunda reaksiyon sonundaki verim %88,4 olmuştur. Ürün miktarındaki bu çok küçük artış alkolün daha fazla artırılmasını gerektirmeyecek kadar küçük olduğu ifade edilmiştir.

NaOH konsantrasyonu %0,5'den %0,7 ve %1,0'a çıkartıldığında, ürün miktarı artarken, miktar %1,1 ve %1,2 olduğunda ise düşmüştür. Bu düşüş fazla katalizörün hidroliz ve sabunlaşmaya yol açtığı şeklinde yorumlanmıştır. Reaksiyon süresi, 30 dakikadan 45 dakika ve 60 dakikaya çıkarıldığında ürün miktarı artarken, süre daha da artırıldığında önemli bir değişim olmamıştır. Reaksiyon sıcaklığı, 30 °C'den 40 °C, 45 °C ve 50 °C'ye çıkartıldığında dönüşüm artarken, 60 °C ve 70 °C'ye çıkartıldığında ise düşmüştür.

Ghobadian ve diğ.(2009) atık yağlardan üretilen biyodizelin, dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin yapay sinir ağlarıyla analizleri üzerinde çalışmışlardır. Gerçekleştirilen deneylerde kullanılan atık yağlar bir yemek işletmesinden temin edilmiştir. Biyodizel üretiminde katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH), alkol olarak da metil alkol kullanılmıştır. Reaksiyon 1,8 gr. KOH, 33,5 cc methanol ve 120 gr. atık yağın kullanıldığı bir reaktörde herhangi bir ısı verilmeden bir saatlik sürede gerçekleştirilmiştir. Atık yağlardan üretilen biyodizelin özellikleri ASTM standartlarına uygun olarak ölçülmüştür. Atık yağlardan üretilen biyodizelin dizel motordaki tork, güç, egzoz emisyonları değerlerinin tespiti bir yapay sinir ağıyla sağlanmıştır. Test motoru olarak 2 silindirli ve 4 zamanlı bir dizel motoru kullanılmıştır. Değişik motor hızlarında ve tam yük şartlarında, atık yağlardan elde edilen biyodizel ve dizel yakıtı ile karışımları test edilmiştir. Yapay sinir ağıyla elde edilen veriler gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen biyodizelin dizel motorunda kullanılmasıyla motor performans ve emisyon değerlerinde iyileşmeler saptanmıştır.

Çetinkaya ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada kullanılmış yağlardan üretilen biyodizel, kış şartlarında motor performans ve 7500 km yol performans deneyleri yapılmıştır, elde edilen veriler 2 numaralı dizel yakıtı değerleri kıyaslanmıştır. Deney çalışmalarında 4 zamanlı, 4 silindirli, F9Q732 kodlu ve 75 KW gücündeki dizel motoruna sahip Renault Megane marka otomobil test için kullanılmıştır.. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir. Biyodizelin yakıt kalitesinin ve özelliklerinin iyileştirilmesi için viskozite ve akma noktası düşüren katkı maddeleri katılmıştır. Bu katkı maddelerinin eklenmesi biyodizelin özellikleri üzerinde olumlu etki göstermiştir.. Biyodizelin kullanımı, 2 numaralı dizel yakıtı değerleri ile karşılaştırıldığında motor tork ve gücünde azalmaya neden olmuştur. 2 numaralı dizel yakıtı değerlerine göre bütün motor devirlerinde biyodizel ile daha düşük egzoz gazı sıcaklıkları ölçülmüştür. Bunun sebebi biyodizelin silindir içerisinde daha iyi bir yanma performansı göstermesidir. Viskozitesi düşürülen

biyodizel ile enjektörlerde karbon birikintisi ve katalitik konvertörde ise tıkanma problemleri ile karşılaşılmasıdır.



2. MATERYAL VE METOT

2.1. Deneylerde Kullanılan Aracın Özellikleri

Deneyler 2013 model 1,6 lt hacminde, TDI, 4 silindirli motora sahip SEAT Toledo marka araç üzerinde yapılmıştır. Deneyler Oto Eksperm’de yapılmıştır. Deney aracına ait özellikler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 2.1. Deneylerde kullanılan aracının teknik özellikleri

OTOMOBİL	
Marka	SEAT
Model	TOLEDO
Motor Hacmi	1598 cm ³
Güç	90 bg/ 4200 dev/ dak / 66 kW
Maksimum Hız	184 km/saat
Hızlanma 0 - 100 km/saat	12.2 saniye
Tork	230 Nm /1500-2500 dev/dak
Yakıt Sistemi	Dizel- Cammonrail
Türbin	Turbo kompresör / Intercooler
Silindir Adedi	4
Silindir Çapı	79,5 mm
Silindir İçi Vuruş	80.5 mm
Sıkıştırma Oranı	16.5
Silindir Başına Düşen Valf	4
Çekiş	Ön
Vites Tipi	Otomatik (DSG 7 ileri)
Ağırlık	1285 kg
Yakıt Tüketimi (Ortalama)	4.6 L/100 km



Şekil 2.1. Aracın test esnasında dinamometre üzerindeki hali

2.2. Dinamometre / Dyno – Araç test cihazı

Deneylerde kullanılan araç test cihazı ile motor gücü, motor torku, tekerlek gücü ve tork ölçümlerini yapılmaktadır. Aracın dinamometre üzerine yerleştirilmesi ile ölçümler bu dinamometre bu dinamometre yardımıyla yapılmıştır. Dinamometrenin teknik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.2. Deneylerin yapılmasında kullanılan dinamometrenin teknik özellikleri

Maksimum Güç	300KW / 400 hp
Maksimum Hız	300 km/h
Maksimum Tork	750/1500 Nm
Elektriksel Güç	6 kW
Tekerlek Arası Mesafe	2-3 m

2.3. Gaz Analiz Cihazı

Deneylerde egzoz emisyonlarını ölçmede BOSCH BE250 marka egzoz emisyon cihazı, aracın egzoz çıkışına bağlanarak egzoz gazı emisyonlarının ölçümünün yapılmasında kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Gaz Analiz Cihazının Özelliklerini Gösteren Tablo

Ölçülen Bileşen	Ölçme Aralığı	Ölçme Hassasiyeti
CO	0.000 – 10.00 % vol	0.001 % vol
CO ₂	0.00 – 18.00 % vol	0.01 % vol
HC	0 – 9999 ppm vol	1 ppm vol
O ₂	0.00 – 22.00 % vol	0.01 % vol
λ	0.500 – 9.999	0.001
NOx	0 – 5000 ppm vol	< = 1 ppm vol



Şekil 2.2. Gaz Analiz Cihazı

2.4. Deneylerin Yapılışı

Deneylere öncelikle kullanılmış kızartmalık yağların temini ile başlanmıştır. Ardından literatürdeki yöntemlerden faydalanılarak transesterifikasyon işlemleri yapılmıştır. Transesterifikasyon işlemleri sonucunda kullanılacak yeterli miktarda biyodizel elde edilmiştir.

Deneylere başlamadan önce araç ve araç motorunun kontrolü yapılmış, yardımcı aparatlar yerlerine takılmış ve egzoz gazı emisyonlarının ölçümü için gaz analiz cihazının probu egzoz borusu çıkışına yerleştirilmiştir. Ayrıca deney öncesinde deney aracının bakımı için, motor yağı, soğutma suyu, yakıt filtresi, hava filtresi ve egzoz sisteminin kontrolü yapılmıştır. Sonuçta deney aracının deneylerin yapılmasına hazır olduğu ve çalışmasında engel olmadığı tespit edilmiştir.

Deneylere dizel yakıtı ile başlanmış ve çalışma sıcaklığına gelmesi için beklenmiştir. Deneyler esnasında alınan ölçüm sonuçları motor için ideal çalışma sıcaklığı olan 85°C - 95°C'de yapılmıştır. Deneyler süresince bu sıcaklık aralığı muhafaza edilmiştir. Motor devrinin değişimi yüklenmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Yükleme 500 d/d aralıklarında altı ayrı kademede yapılmıştır ve devir kademeleri 4000, 3500, 3000, 2500, 2000, 1500 ve 1000 d/d motor hızlarında olmuştur. Her devir sayısında motorun kararlı çalışma şartlarına ulaşmasından sonra ölçümler yapılmıştır. Deneyler standart enjektör basıncında yani 200 bar basınçta yapılmıştır. Yeni bir deneye başlamadan önce araç dinlendirilerek motorun soğuması sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan yakıtlar, bir sonraki deneye başlamadan önce araç çalıştırılarak bitirilmiştir. Daha sonrasında yeni deney başlangıcında yeni yakıt doldurularak deneylere devam edilmiştir. Deneyler ilk olarak dizel yakıtıyla yapılarak ardından atık yağlardan elde edilmiş biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtı ile yapılmıştır.

Deneylerde motor momenti, yakıt tüketimi, motor gücü, egzoz sıcaklığı ve egzoz emisyonları ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler ile motor gücü, motor momenti, özgül yakıt tüketimi ve verim değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca egzoz emisyonlarında karbon monoksit, karbondioksit, azot oksitler, hidrokarbonlar ve hava fazlalık katsayısı değerleri ölçülmüştür.

2.5. Hesaplanan Büyüklükler

2.5.1. Motorun Döndürme Momenti

Motorun döndürme momentini araç dinamometresinin ölçümleri sonucu alınan sonuçlar ile belirlenmiştir. Buna ek olarak ayrıca aşağıdaki formül kullanılarak efektif gücün de hesabı yapılmıştır.

$$Md = \frac{9549 \cdot Pe}{n} \rightarrow Pe = \frac{Md \cdot n}{9549}$$

Md = Döndürme momenti (Nm)

Pe = Efektif güç (kW)

n = Motorun devir sayısı (dev/dk)

2.5.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Aracın göstergesinden alınan ortalama yakıt tüketimi değeri alınarak aşağıdaki formül kullanılarak özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir.

$$be = \frac{B}{Pe}$$

be = özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

B = Motorun çalışma şartlarında birim saatte tüketilen yakıt miktarı (g/h)

2.6. DeneySEL Çalışmalar

Bu çalışmadaki asıl amaç atık kızartma yağlarından biyodizel elde ederek %5, %10, %15 etanol katkısı kullanmak suretiyle bir dizel motorda kullanılabilirliğini ve sonuçlarını incelemektir. Bu amaçla üretilen biyodizel yakıtı hacimsel olarak %5, %10 ve %15 oranlarında etanol ile karıştırılarak 4 silindirli bir dizel motorunda denenmiş, deney sonuçları dizel yakıtı ile karşılaştırılmış ve gerekli olan değerlendirmeler yapılmıştır.

2.6.1. Atık Kızartma Yağlarından Biyodizel Elde Edilmesi

Bu çalışmada kızartma işleminin yapıldığı atık kızartma yağları toplanarak bu yağlardan biyodizel üretimi yapılarak yeniden geri dönüşüme kazandırmak amacı hedeflenmiştir. Atık kızartma yağlarının biyodizele dönüştürmek için piroliz yöntemi seçilmiştir. Piroliz hava veya azot varlığında termal enerji uygulanması sonucu ortaya çıkan kimyasal değişim olarak tanımlanır. Bu güne kadar yapılan çalışmalar; sıcaklığın elde edilen ürün üzerindeki etkisi, katalizör kullanımı, çoğunlukla metalik tuzlar, hidrokarbon kökenli dizel yakıtında bulunanlara benzer parafin ve olefin elde etmek, termal ayrışma ürünlerinin tamamlanması gibi konuları içermektedir. Trigliceridlerin termal ayrışma ürünleri alkanlar, alkenler, alkadienler, aromatikler ve karboksilik asitler gibi bileşik sınıflarını içermektedirler. Farklı bitkisel yağların termal ayrışma ürünleri birbirlerinden çok farklıdır. Trigliceridler farklı moleküllerden oluştukları için termal ayrışma mekanizmaları da komplekstir. Piroliz yönteminde biyodizel üretim zorluğu bulunduğu için maliyeti de yüksektir. Ayrıca, elde edilen ürünler kimyasal olarak benzin ve dizel yakıtına benzemektedir. Piroliz sırasında oksijenin uzaklaştırılması oksijenlendirilmiş bir yakıtın kullanımının bazı çevresel faydalarını da yok etmektedir. Ancak bu yöntemi gerçekleştirmek için mevcut imkanların yeterli olmayışı, sağlıklı biyodizel dönüşümlerinin yapılamayacağını ve sonuçta hedeflenen çalışmaların hassasiyetinin ortadan kalkacağı için bu yöntemden vazgeçilmiştir. Bu yöntemin yerine transesterifikasyon yöntemi tercih edilmiştir. Atık kızartma yağlarının viskozitesi ve yoğunluğunu düşürmek ve yakıt özelliklerini iyileştirmek amacıyla literatür araştırmaları neticesinde ideal yöntem olarak transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile elde edilen atık kızartma yağı biyodizelinin hacimsel olarak %5, %10 ve %15 etanol karışımları hazırlanmıştır. Atık kızartma yağı biyodizelin üretimi için deneysel çalışmalar Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği ve Kimya Lisans Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Biyodizel üretiminde kullanılan transesterifikasyon yönteminde önemli olan nokta kullanılan katalizörün reaksiyonu en iyi şekilde gerçekleştirecek şekilde hazırlanmasıdır. Ester oluşturma işleminde etil veya metil alkol kullanılmaktadır. Etil ve metil alkolden elde edilmiş esterlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri yaklaşık olarak aynıdır ve aynı ısı değerlerine sahiptir. Etanolden elde edilmiş esterlerin viskozitesi biraz daha yüksek olup bulutlanma ve akma noktaları biraz daha düşüktür. Literatürde yapılan motor deneylerinde güç ve moment değerleri dizel yakıtına göre etil alkolden elde edilen esterlere kıyasla daha düşük çıkmaktadır [22].

Transesterifikasyon işleminde alkali ya da asit katalizörler kullanılabilirler. Alkali katalizörlerin reaksiyon süresinde kısalmayı sağladığı ve ester dönüşüm oranında daha yüksek olduğu uygulanan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir [23].

Transesterifikasyon reaksiyonunda alkali katalizörlü reaksiyonlar asit katalizörlü reaksiyonlara kıyasla birkaç kat daha hızlıdır. İdeal reaksiyon sıcaklığı asit katalizörlü reaksiyona göre daha düşük olup 60°C’de reaksiyon sıcaklığı olarak belirlenmektedir. Bitkisel yağ ile alkolün mol oranı 6:1 olarak önerilmektedir. Alkali katalizörlü reaksiyonlarda 90 dakika gibi bir zaman zarfında yağ asitleri %90-98 oranında metil estere yani biyodizele dönüşümü sağlanmaktadır [24].

1. Atık yağların içinde bulunan kırıntılardan temizlemek için kağıt filtreler kullanılmıştır. Yağ birkaç defa filtrelerden geçirildikten sonra içindeki atıklardan temizlendi. 1000 ml atık kızartma yağı 1500 ml’lik bir behere konuldu. Isıtma sürecinde beherin ağzı ısı kayıplarını önlemek amacıyla alüminyum bantla kaplandı. Ardından beher manyetik ısıtıcı üzerine konularak 85-90°C’ye kadar ısıtıldı. Isıtma süresince homojen ısınmayı sağlamak amacıyla yağın içerisine manyetik karıştırıcı bırakılarak 100 d/d’lık hızla dönmesi sağlandı ve yağ homojen bir şekilde karıştırılmış oldu. Ardından yağ ısıtıcı üzerinden alınarak 55-60°C’ye kadar soğumaya bırakıldı. Bu işlem Şekil 2.3.’de görülmektedir.



Şekil 2.3. Atık kızartma yağının ısıtma işlemi

2. Isıtılmış olan yağ 55-60°C'ye kadar soğumaya bırakıldığı süreçte yağın %20 hacminde metanol ile %0,5 NaOH 1000 ml'lik bir behere konuldu. Beher manyetik ısıtıcı üzerine alındı. Ardından manyetik karıştırıcı beherin içine bırakıldı. Katalizör çözülene kadar karışım manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Karışımın sıcaklığı ölçülmek suretiyle 30-40°C aralığında tutuldu. Bu işlem Şekil 2.4.'de görülmektedir.



Şekil 2.4. NaOH'ın ölçümü ve metanol içerisinde çözülmesi

3. Metanolün içinde çözülmüş olan NaOH karışımı 55-60°C'ye kadar soğumaya bırakılmış olan yağın içine katıldı. Beher manyetik ısıtıcı üzerine alındı ve içerisine manyetik karıştırıcı konuldu. Oluşan karışımın olduğu beherin ağzı tekrardan sızdırmazlığı sağlamak için bantlandı. Karışım 90 dakika boyunca 700 d/d'lık hızla manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Karıştırma işlemi boyunca karışımın sıcaklığı ölçülerek 55-60°C değerinde tutuldu. Reaksiyonun verimi karıştırma süresine ve karışımın sıcaklığına bağlıdır. Bu

sebeple bu değişkenlerin en uygun değerlerde tutulması gerekmektedir. Yapılan bu işlemler Şekil 2.5’te görölmektedir.



Şekil 2.5. Metanol NaOH çözeltisi ile yağın karıştırılması

4. 90 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılan yağ, katalizör karışımı işlem sonunda ağzı sızdırmaz olan bir cam kavanoz içerisine aktarıldı. Kavanozun ağzı sızdırmazlığı sağlamak için bantlanarak kaplandı ve 12 saat boyunca dinlendirilmeye bırakıldı. Dinlenmeye bırakılmadaki amaç alta gliserinin çökmesini sağlamak üstte ise biyodizel kalmasını sağlamaktır. Yapılan işlem Şekil 2.6’da görünmektedir.



Şekil 2.6. 12 saat boyunca bekletilmiş biyodizel gliserin karışımı

5. 12 saat bekleyen karışımın üzerinde kalan biyodizel kısmı boşaltıldı ve ayırma hunisine alındı. Ayırma hunisine alınan biyodizel kısmı içinde gliserin olma durumuna karşın ayırma hunisine aktarıldı ve 1 saat bekletildi. Bekleme işlemi sonunda biyodizel içindeki gliserini çözmek ve dibe çökmesini sağlamak amacıyla 30-35 C⁰' ye kadar ısıtılmış 100 ml saf su bir enjektör yardımıyla püskürtüldü. Çözülen gliserin artıkları dibe çöktü. Karışım 2 saat boyunca bekletildi. Bekleme sonunda dibe tam olarak çökmüş olan gliserin artıkları ayırma hunisinden alındı. Yapılan işlem Şekil 2.7.'de görünmektedir.



Şekil 2.7. Saf su ile yıkanmış biyodizelin ayırma hunisinde bekletilmesi

6. Ayırma hunisinden alınan biyodizel içerisinde su kalma ihtimaline karşı tekrardan behere alınarak 100°C 'ye kadar ısıtıldı ve içerisinde kalmış olan su buharlaştırıldı. 1 litre yağ 200 ml metil alkol ve yaklaşık 5 gr NaOH reaksiyonu ve fiziksel işlemleri sonucunda 900-950 ml hacminde biyodizel elde edilmiştir.

3. BULGULAR

Kimyasal işlemler sonucu kızartma yağlarında elde edilen biyodizel etil alkol ile karıştırılıp değişik üç yakıt daha elde edilmiştir. Bu yakıtlara ait bazı özelliklerin dizel yakıtı ile karşılaştırılması için bu özelliklerin bilinmesi gerekir. Bu özelliklerin tespit edilmesi için Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Laboratuvarından ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarından yararlanılmıştır. Tablo 3.1’de dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının kimyasal ve fiziksel bazı özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Dizel yakıtı, Biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Parametreler	Dizel yakıtı	Biyodizel yakıtı	BE5 yakıtı	BE10 yakıtı	BE15 yakıtı
Kinematik Viskozite (mm ² /s) (40°C’de)	3,66	4,81	4,63	4,49	4,22
Isıl Değer (kJ/kg)	43,350	37,759	36,578	35,996	35,074
Yoğunluk(gr/cm ³) (20°C)	0,8435	0,8991	0,895	0,8901	0,8897
Parlama noktası °C	62	122	118	116	112
Setan sayısı	49.8	51	49	47	45

Kimyasal ve fiziksel özellikler karşılaştırıldığı vakit yakıtların viskoziteleri, ısıl değerleri yoğunluk ve setan sayıları birbirlerine yakın görülmektedir.

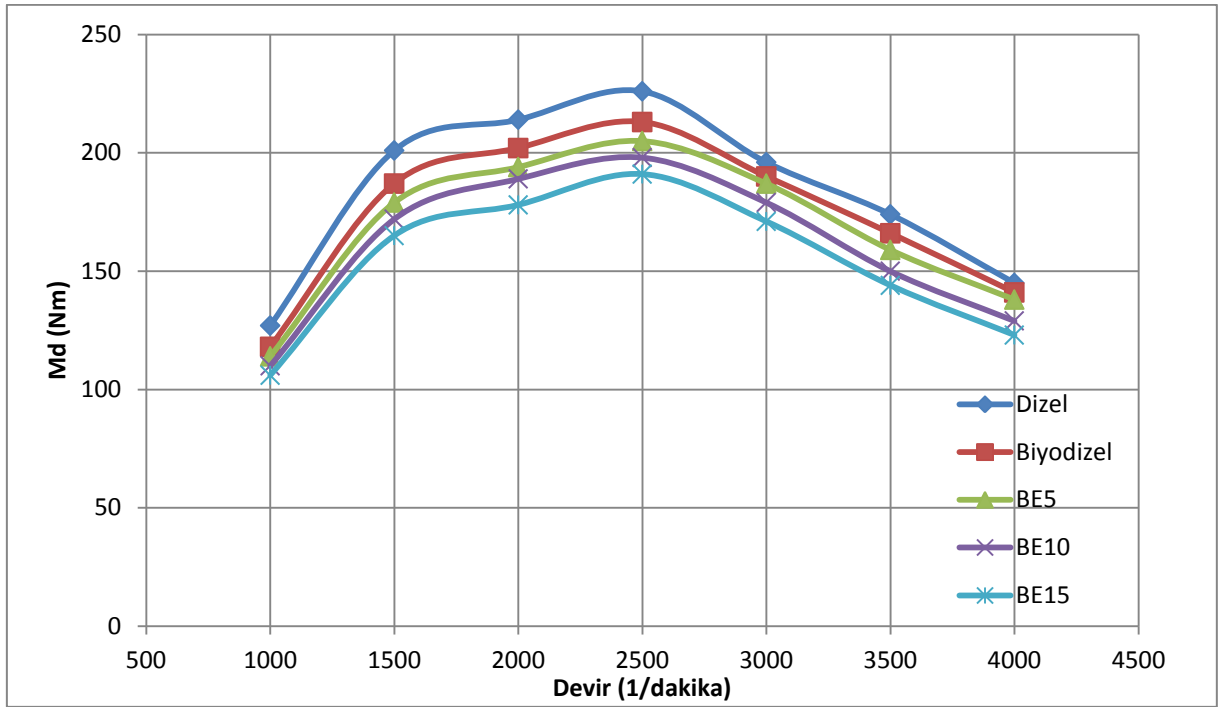
3.1. Motor Performansı

Bu çalışmada dizel, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının motor performans parametrelerine etkisi ve emisyon değerlerinin oluşturduğu değişimler incelenmiştir. Bu değişimlerin incelenebilmesi için motor devir sayıları 4000, 3500, 3000, 2500, 2000, 1500 ve 1000 d/d olarak ayarlanmıştır. Motor yüklenmek suretiyle söz konusu devirlerde çalıştırılmıştır. Motor momenti, özgül yakıt tüketimi, ve ortalama efektif güç değerleri tespit edilmiştir.

3.1.1. Motor Momenti (Tork)

Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen motor momenti değerlerinin devir sayıları ile değişim eğrileri Şekil 8.6'da ve elde edilen değerler Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Şekil 3.1. incelendiği zaman bütün yakıtlar için motorun düşük devir sayılarında motor momentinin düşük olduğu, devir sayısının yükselmesiyle beraber motor momentinin de yükseldiği, bir maksimumdan geçtiği ve sonra tekrar düştüğü görülmektedir. Bütün yakıtlar için devir sayısının artmasıyla motor momentinin artması birim zamandaki motor zamanlarının artışının bir sonucu olarak görülmektedir. Motorlarda ortalama efektif basıncının maksimum olduğu devirde motor momenti de maksimum olmaktadır. Bunun için motor momentini belirleyen değişken ortalama efektif basınçtır. Söz konusu devrin altına ve üstüne çıkıldığı zaman motor momenti düşmektedir. Ortalama efektif basınç motorun yapısı ile ilgili olmasına rağmen yanmanın bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir. Dizel motorlarında teorik hava oranından daha fazla hava kullanıldığı için homojen bir karışım hemen sağlanamaz. Alevin yayılma hızı karışımın yapısına da bağlı olarak değişmektedir. Motor devrinin yükselmesiyle hava hareketleri de artacağı için yanma iyileşir. Bundan dolayı yüksek devirlerde motor momenti de artmaktadır. Devir sayılarının artmasıyla beraber yanma odasına alınan yakıt miktarı da artar ve buna bağlı olarak piston hızı da artmaktadır. Pistonun iş süresinde yanma daha uzun süre devam eder ve sonuçta ortalama efektif basınç düşmektedir. Motorun belirli bir devir sayısında momentin maksimum olması ve sonra tekrar düşmesi ortalama efektif basınca göre değiştiği söylenebilir.



Şekil 3.1. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının motor momentine etkisi

Tablo 3.2. incelendiği zaman en yüksek motor momentinin dizel yakıtının kullanımı ile 2500 d/d motor hızında elde edildiği (226 Nm) görülmektedir. Dizel yakıtından sonra biyodizel yakıtı ile motorun aynı hızında elde edilen moment değeri 213 Nm olarak elde edilmiştir. Diğer üç yakıt incelendiği zaman BE5 yakıtı ile aynı devirde 205 Nm, BE10 yakıtı ile 198 Nm ve BE15 yakıtı ile 191 Nm’lik moment elde edilmiştir. Biyodizel yakıtı içindeki etil alkol oranı yükseldikçe bu yakıtlardan elde edilen motor momentleri de düşmektedir.

Tablo 3.2. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen motor momentleri değerleri (Nm)

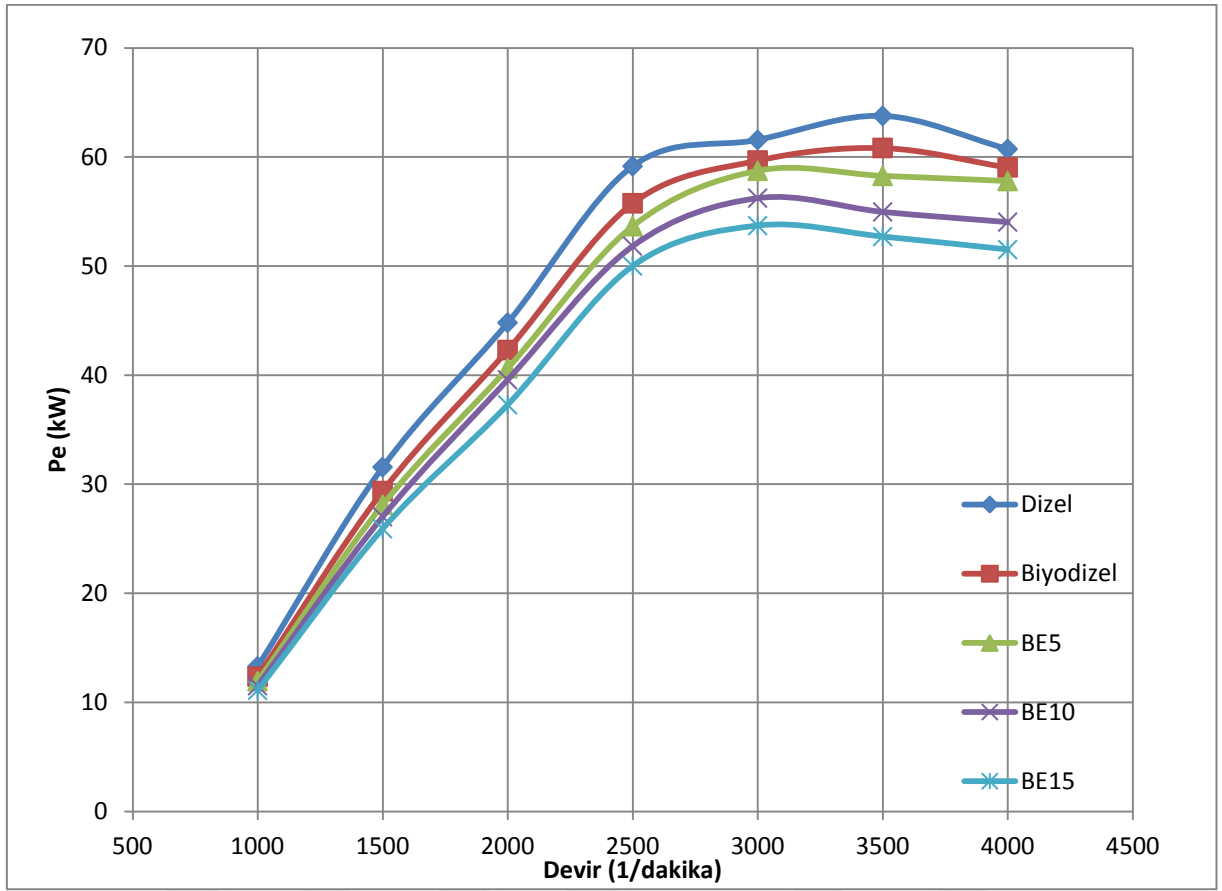
devir	Dizel	Biyodizel	BE5	BE10	BE15
1000	127	118	114	110	106
1500	201	187	179	172	165
2000	214	202	194	189	178
2500	226	213	205	198	191
3000	196	190	187	179	171
3500	174	166	159	150	144
4000	145	141	138	129	123

Dizel yakıtı ile biyodizel ve etil alkol karışımları karşılaştırıldığı zaman dizel yakıtının moment değerinin yüksek oluşu biyodizelin viskozitesinin dizel yakıtına göre biraz yüksek olmasından da kaynaklanabilir. Yüksek viskoziteden dolayı enjeksiyon sırasında daha küçük zerrelere ayrılamayan yakıtın hava ile homojen karışması da zorlaşacak, dolayısıyla yanma kötüleşmektedir. Yanmanın kötüleşmesi motor verimini etkilediği için verim düşmekte ve motor momenti de azalmaktadır. Yakıtların ısı değeri de moment artışının ve azalışını etkilemektedir.

3.1.2. Ortalama Efektif Güç

Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen motor momenti değerlerinin devir sayıları ile değişim eğrileri Şekil 3.2.'de gösterilmiş ve ayrıca elde edilen değerler Tablo 3.3'te verilmiştir.

Dizel motorlarında gücün artışı yakıt tüketiminin artmasıyla meydana gelmektedir. Tam gaz ve maksimum güçte iyi bir karışım elde edilemediği için egzoz gazı ıslı olmaktadır. Motor gücü ile yakıt tüketimi arasında bir bağıntı vardır. Düşük devirlerde bütün yakıtların güç değerleri bir birine yakın çıkmıştır. En düşük güç değeri BE15 yakıtının kullanılması ile elde edilmiştir. Bu durum ancak bu yakıtların dizel yakıtına göre yüksek vizkoziteli olduklarından püskürtme sırasında enjektörde daha iri damlalar şeklinde çıkması, bu durum ise yakıtın buharlaşması ve yanma süresinin uzaması ile tanımlanabilir. Ayrıca biyodizel ve karışımlarının ısı değerlerinin düşük oluşu da tork ve ortalama efektif güç değerlerini etkilemektedir. Yanmanın daha çok iş zamanında olması güç, moment ve termik verimin düşmesine sebep olmaktadır. Bundan dolayı biyodizel ve diğer yakıtlardan dizel yakıtına göre daha düşük güç elde edilmektedir.



Şekil 3.2. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının efektif güce etkisi

Tablo 3.3. incelendiği zaman maksimum güç devrinde dizel yakıtı için 63,77 kW elde edilirken diğer yakıtların bu devirdeki gücü 61 kW'ın altına düştüğü görülmektedir. Aynı deney şartlarında birim güç için tüketilen yakıt miktarının dizel yakıtı dışında yüksek olması yakıtların ısı değerleri ile açıklanabilir. Buradaki ısı değer sıralaması büyükten küçüğe doğru 43.350 kJ/kg dizel yakıtı, 37.759 kJ/kg biyodizel, 36.578 kJ/kg BE5 yakıtı, 35.996 kJ/kg BE10 yakıtı ve 35.074 kJ/kg BE15 yakıtı olarak görülmektedir. Dizel motorlarında güç artışı yakıt tüketiminin artmasıyla sağlanmaktadır. Belli bir motor devrine kadar gücün artışı ve sonra düşüşü motorun hareketli parçalarının atalet kuvvetlerinin artması ile mekanik sürtünmenin artması sonucu mekanik verimin düşmesi motor gücünün bu devirden sonra düşmesi ile açıklanabilir. Ayrıca yanma süresinin yüksek hızlarda kısalması ve hacimsel verimdeki düşüşten dolayı efektif basıncın düşmesi sonucu motor gücünde de düşüş meydana gelmektedir.

Tablo 3.3. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen motorun efektif güç değerleri (kW)

devir	Dizel	Biyodizel	BE5	BE10	BE15
1000	13,29	12,36	11,94	11,52	11,1
1500	31,57	29,37	28,12	27,02	25,91
2000	44,81	42,3	40,63	39,58	37,28
2500	59,16	55,76	53,66	51,83	50
3000	61,57	59,68	58,27	56,23	53,71
3500	63,77	60,83	58,74	54,97	52,7
4000	60,73	59,05	57,8	54,03	51,51

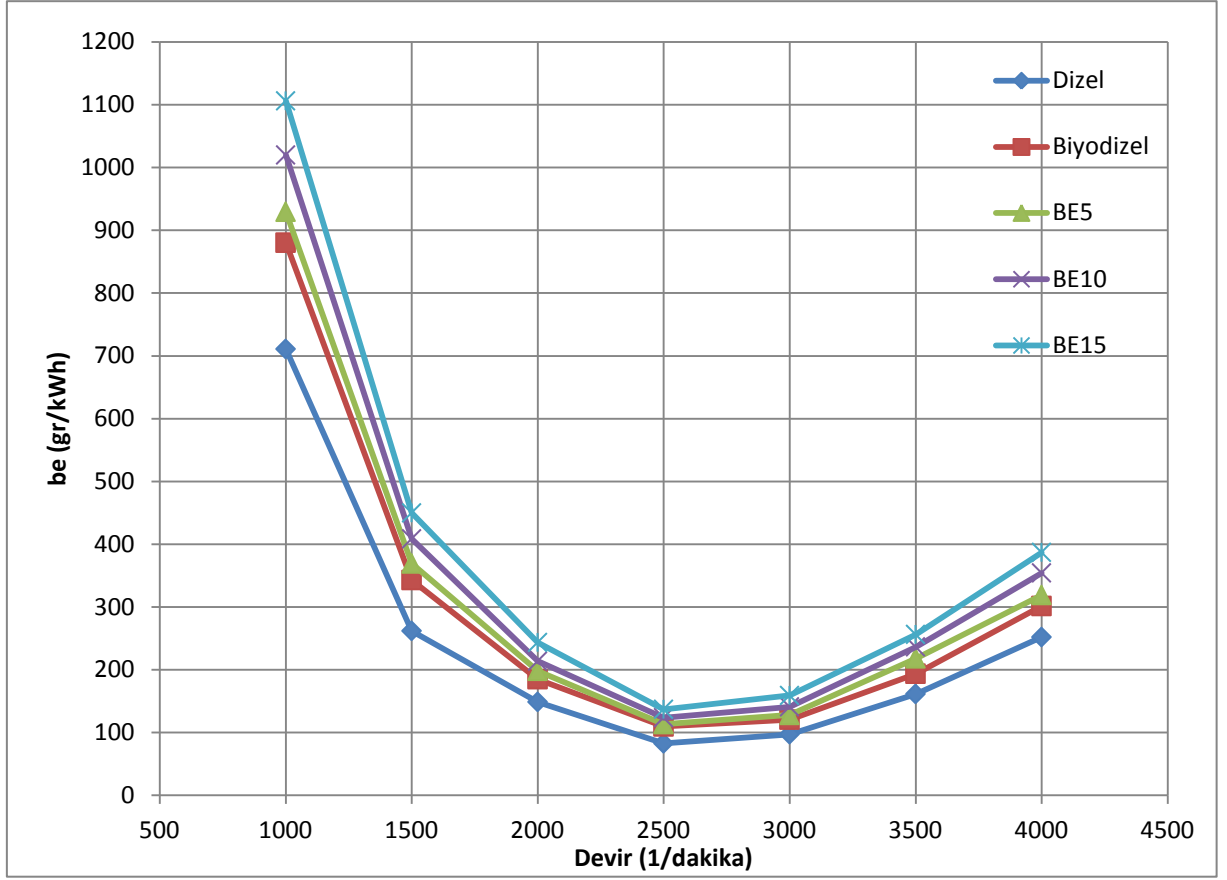
Tablo 3.3. incelendiği zaman en yüksek motor gücü motorun 3500 d/d hızında dizel yakıtı ile 63,77 kW güç elde edilmiştir. Dizel yakıtından sonra biyodizel yakıtı ile motorun aynı hızında elde edilen güç değeri 60,83 kW olarak elde edilmiştir. Diğer üç yakıt incelendiği zaman BE5 yakıtı ile aynı devirde 58,74 kW, BE10 yakıtı ile 54,97 kW ve BE15 yakıtı ile 52,7 kW'lık güç elde edilmiştir. Biyodizelin viskozitesinin yüksek oluşu ve ısı değeri düşük olması elde edilen gücü de etkilediği söylenebilir.

3.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen özgül yakıt tüketimi değerlerinin devir sayıları ile değişim eğrileri Şekil 3.3'te ve Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Bütün yakıtların içinde en düşük özgül yakıt tüketimi dizel yakıtında görülmektedir. Bütün yakıt türleri için özgül yakıt tüketimi motorun düşük devirlerinde yüksek ve motor devri artıkça düşmekte, daha sonra tekrar yükselmektedir. Şekil 3.3. incelendiği zaman motorun 1000 d/d hızında özgül yakıt tüketimi maksimum ve 2500 d/d'da minimum olduğu görülmektedir. Bütün eğriler bir minimumdan geçtikten sonra tekrar yükselmektedir. Minimum yakıt tüketiminden sonra yakıt tüketiminin tekrar yükselmesi sürtünme kayıplarının artması, ısı kayıplarının artması ve yanma şartlarının kötüleşmesi gibi olumsuz durumlardan sonra meydana geldiği söylenebilir. Yanma odasına püskürtülen yakıtın tane büyüklüğü ve parçalanması dizel motorlarında yanmayı etkileyen önemli faktörlerdir. Bu faktörlerin bağlı olduğu motorla ilgili birçok şart mevcuttur. Bunlar, yakıt püskürtme basıncı, yanma odasının şekli, sıkıştırma oranı dolayısıyla basıncı,

enjektör delik çapı, yakıtın viskozitesi ve püskürtülen yakıtın hüzme şekli olarak bilinmektedir.



Şekil 3.3. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının özgül yakıt tüketimine etkisi

Şekil 3.3 incelendiği zaman biyodizel ve diğer etanol karışımlı yakıtlar dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimleri daha fazladır. Bu durum yakıtların ısı değerleri ile açıklanabilir. Düşük güç elde edilen yakıtların tüketimi yüksek çıkmıştır. Yüksek devirlerdeki yanma süresinin kısalığı yakıt tüketimini artırdığı için bütün yakıtlar belli bir devirden sonra devrin yükselmesi ile özgül yakıt tüketimi artmıştır. Ayrıca dizel yakıt dışındaki diğer yakıtların viskozitelerinin yüksek oluşu da özgül yakıt tüketiminin yükselmesine sebep olmuştur.

Tablo 3.4. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri (g/kW.h)

devir	Dizel	Biyodizel	BE5	BE10	BE15
1000	710,85	880,18	929,48	1019,9	1106,11
1500	261,84	342,86	369,2	408,48	449,82
2000	148,7	184,92	198,25	213,64	243,42
2500	82,69	109,64	113,41	123,64	137,01
3000	97,26	120,52	127,98	140,88	159,02
3500	161,37	193,62	218,1	236,41	256,27
4000	251,99	301,47	318,97	354,19	386,9

Tablo 3.4. incelendiği zaman en yüksek özgül yakıt tüketimi motorun 4000 d/d hızında BE15 yakıtı ile 386,9 g/kW.h olarak elde edilmiştir. Aynı motor devrinde BE10 yakıtı ile 354,19, BE5 yakıtı ile 318,97, saf biyodizel ile 301,47 ve dizel yakıtı ile 251,99 g/kWh'lık özgül yakıt tüketimi elde edilmiştir. Etil alkol karışımlı biyodizel yakıtlarının ısı değerleri dolayısıyla etil alkolün ısı değeri diğer yakıtlara göre daha düşük olmalarından dolayı yaklaşık güç ve moment değerleri için daha fazla yakıt tükettikleri için özgül yakıt tüketimleri yüksek çıkmaktadır. .

3.2. Egzoz Emisyon Değerleri

Dizel yakıtı, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtların motor devir sayısına bağlı olarak yapılan deneylerle elde edilen emisyon değerleri tablo ve grafikler halinde gösterilerek açıklanmaya çalışılmıştır. Biyodizel ve biyodizel etil alkol karışımlarında elde edilen emisyonlar dizel yakıtının emisyonları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

3.2.1. Karbon Monoksit (CO) Emisyonu

Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen karbon monoksit (CO) değerlerinin devir sayıları ile değişim eğrileri Şekil 3.4.'te verilmiştir. Elde edilen değerleri de Tablo 3.5.'te verilmiştir.

Karbon monoksit (CO) benzinli ve dizel motorlarda bir çok parametreye bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu parametrelerin başında hava/yakıt gelmektedir. CO yanma sırasında yakıtın tam yanmamasından oluşan zararlı bir egzoz emisyonu ürünüdür. Yanma sırasında yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂'e dönüşüm süresinin kısa olmasından

dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarının yükselmesine sebep olmaktadır. Aynı zamanda CO miktarı yanma reaksiyonlarının hızı, yanma odasının dolgu içeriğinin enerji seviyesi ve bu içeriğin ekzotermik reaksiyon oluşturan moleküllerinin çarpışmalarının sıklığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Şekil 3.5. incelendiği zaman CO emisyonları bütün yakıtlar için motor devir sayısına bağlı olarak önce düşmüş ve sonra devir sayısı yükseldikçe tekrar yükselmeye başlamıştır. Düşük devirlerde hava/yakıt oranının yüksek olmasından dolayı dönüşüm daha hızlı gerçekleşmekte ve CO emisyonları da düşmektedir. Motorun devir sayısının yükselmesi ile hava fazlalık katsayısının düşmesi oksijen miktarını azalttığı için eksik yanma meydana geldiğinden dolayı yüksek devirlerde CO değeri bütün yakıtlar için yükselmektedir. Dizel yakıtından elde edilen CO miktarı diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bunu biyodizel ile biyodizel etil alkol karışımı yakıtların içeriğinde O₂'nin bulunması yanma sırasında dizel yakıtına göre az da olsa oksijen ihtiyacını karşıladığı ve bundan dolayı eksik yanmanın daha az olduğu şeklinde açıklanabilir. Dizel yakıtı ile biyodizel ve karışımları karşılaştırıldığında CO miktarı biyodizel yakıtlarda daha düşük çıkmaktadır.

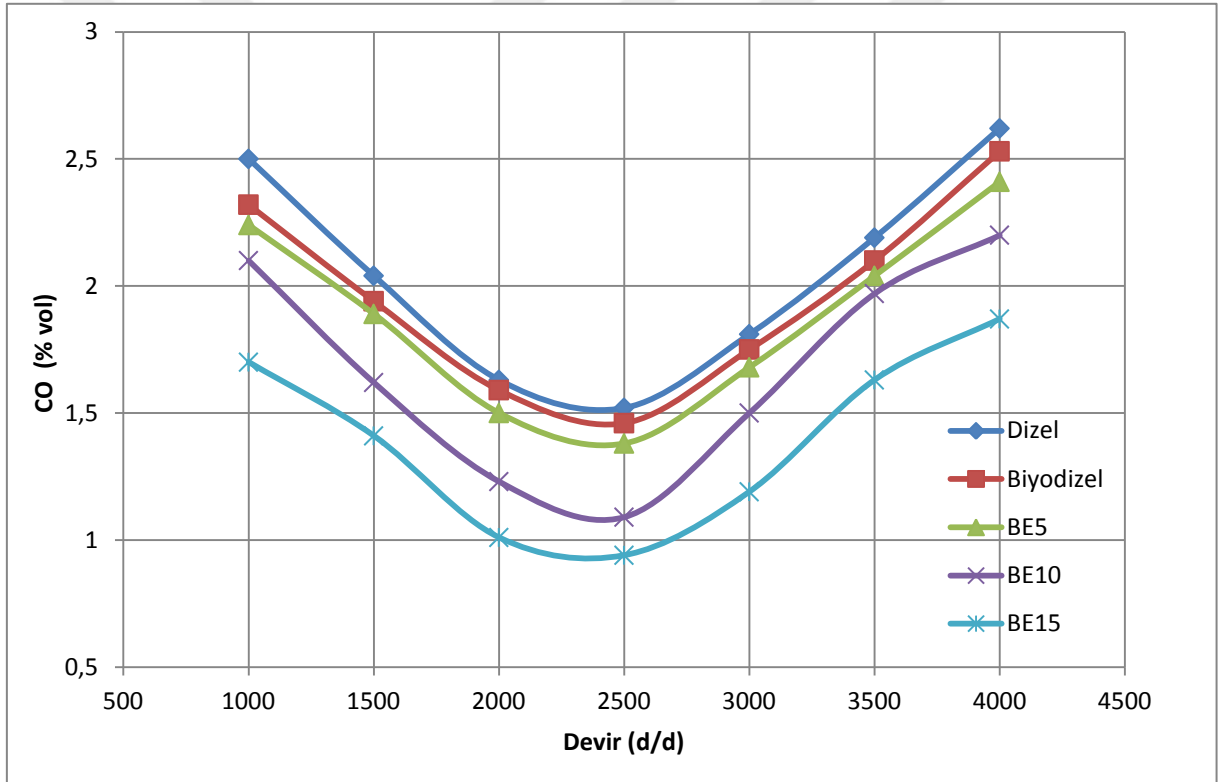
CO emisyonu yakıtın tam olarak yanmaması yani eksik yanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Eksik yanma olması durumunda, yanma sonucu oluşması gereken CO₂ oksijen yetersiz olduğu için CO olarak yanma sonucu dışarıya atılacaktır. Ayrıca motor devrinin de artması ile hava yakıt karışımının yanması için yetersiz sürenin olmasına sebep olarak eksik yanma ürününün CO'nun oluşmasına sebep olabilmektedir.

Tablo 3.5. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen CO emisyon değerleri (%)

Devir (dak ⁻¹)	Dizel Yakıtı	Biyodizel	BE5 Yakıtı	BE10 Yakıtı	BE15 Yakıtı
4000	2.62	2.53	2.41	2.20	1.87
3500	2.19	2.10	2.04	1.97	1.63
3000	1.81	1.75	1.68	1.50	1.19
2500	1.52	1.46	1.38	1.09	0.94
2000	1.63	1.59	1.50	1.23	1.01
1500	2.04	1.94	1.89	1.62	1.41
1000	2.50	2.32	2.24	2.10	1.70

Ölçümlerde en yüksek CO değeri dizel yakıtta görülmüştür. Biyodizelin ise CO değerleri dizel yakıtla kıyasla daha düşük değerlerde çıkmıştır. Bunun sebebi biyodizelin yapısında oksijen bulundurması ve bu oksijenin eksik yanmanın önüne geçerek CO emisyonlarında azalmayı sağladığı görülmüştür.

Ardından farklı oranlardaki etanol katkılı biyodizel yakıtlarının CO değerleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda etanol oranının artması ile CO emisyonunda düşüşlerin olduğu ölçülmüştür. Bunun sebebi ise etanolün yapısında daha az karbonun oluşu ve yapısında oksijen içermesidir. Genel manada tüm yakıtlar için 2500 devre kadar CO emisyonunda azalma olup 2500 devirden sonra artış yaşanmıştır.



Şekil 3.4. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının CO emisyonuna etkisi

3.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen karbon monoksit (HC) değerlerinin devir sayıları ile değişim eğrileri Şekil 3.6'da verilmiştir. Elde edilen değerleri de Tablo 3.6.' da verilmiştir.

Hidrokarbonlar, yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelirler ve yaklaşık olarak motora giren yakıt miktarının %1–1,5'ini oluştururlar. Yanma odasını çevreleyen dar boşlukların sıkıştırma esnasında yakıt-hava karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakaları içinde absorbasyonu, kalıntıların yağ filmi etkisi göstermesi, silindir içinde sıvı yakıt kalması ve supap yatak boşluklarında karışım sızması şeklindeki mekanizmalar en önemli HC kaynaklarıdır.

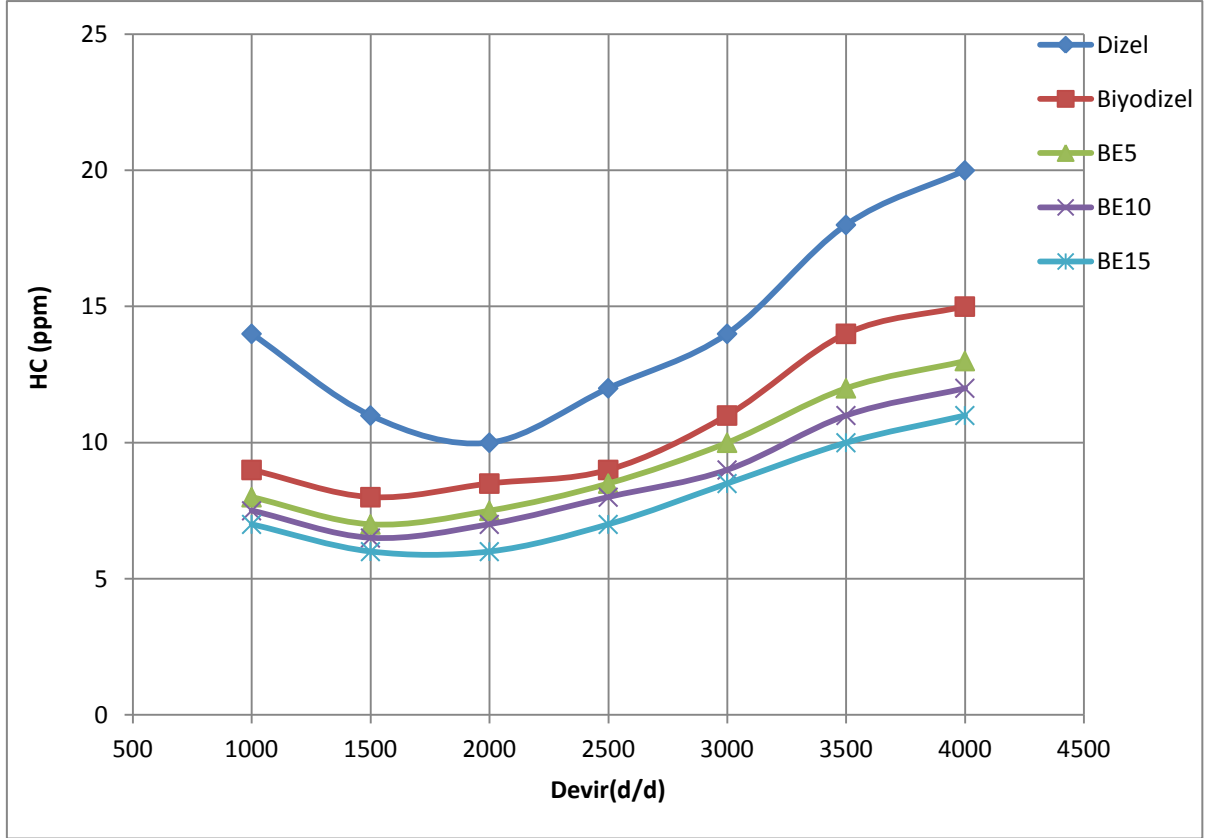
Değişken çalışma şartlarında hava/yakıt oranı, egzoz gazlarının tekrar çevrime gönderilme miktarı, ateşleme zamanlaması gibi faktörler tam olarak kontrol edilemediklerinden, yanma kalitesi düşer ve yakıtın bir kısmı yanmayabilir veya kısmen yanabilir. Bu gibi durumlarda HC emisyonları motordan dışarı atılan yanmamış gazlar olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 3.6. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen HC emisyon değerleri (ppm)

Devir (1/dakika)	Dizel Yakıtı	Biyodizel	BE5 Yakıtı	BE10 Yakıtı	BE15 Yakıtı
4000	20	15	13	12	11
3500	18	14	12	11	10
3000	14	11	10	9	8.5
2500	12	9	8.5	8	7
2000	10	8.5	7.5	7	6
1500	11	8	7	6.5	6
1000	14	9	8	7.5	7

Yanma odası içinde bulunan çok küçük hacimli bölgelere, hava ve atık gazlar girerek bu küçük hacimler içinde alevin ilerlemesi mümkün olmadığı için, bu boşlukların yanmamış HC oluşumuna önemli katkısı vardır. Supap bindirmesi esnasında oluşan gaz kaçakları ve silindir iç cidarlarında kalan yanmamış gazın egzoz çevrimi esnasında dışarı atılması HC emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca kötü yanma sonucu yanmamış gazların varlığı, alev cephesinin yanma odasının duvarlarına ulaşmasından önce alevin sönmesi,

yetersiz yanma zamanı veya hava-yakıt karışımının çok zengin veya çok fakir olması durumunda yanmamış gazlar hidrokarbonların oluşmasını etkilemektedir. Yanma odasına alınan karışım zenginleştikçe tam yanmanın gerçekleşebilmesi için yeterli oksijen bulunamadığından HC emisyonları artmaktadır. Karışım fakirleştikçe belirli noktadan sonra düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamı yanmadan dışarı atılarak HC emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3.5. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının HC emisyonuna etkisi

Şekil 3.5. incelendiği zaman HC emisyonlarının bütün motor devirlerinde devrin yükselmesi ile beraber bir yükselme gösterdiği görülmektedir. Motorun 2000 ve 2500 d/d hızlarında bütün yakıtlarda düşük seviyede görülmektedir. Bu devirlerde yanmanın iyileştiği ve dolayısıyla yüksek moment devirleri olduğu görülmektedir. En yüksek HC emisyonu değerleri dizel yakıtı kullanımından elde edilmiştir. Biyodizel ve karışımlarının kullanılmasında ise HC değerlerinde önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin biyodizelin içeriğindeki oksijenin oluşu olarak düşünülebilir. Biyodizeldeki oksijen içeriği yanma sırasında ek oksijen olarak yanmanın daha iyi gerçekleşmesine yardımcı olur HC emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Etanol katkılı biyodizel yakıtlarının HC

emisyonlarının biyodizele göre düşük oluşu da biyodizele etanolün ilave edilmesi ile etanolün içeriğinde oksijen bulundurması şeklinde ifade edilebilir.

3.2.3. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen azot oksit (NO_x) değerlerinin devir sayıları ile değişim eğrileri Şekil 3.7’de verilmiştir. Motorun devir sayılarına bağlı olarak elde edilen değerler de Tablo 3.7’ de verilmiştir.

Azot oksit (NO_x) emisyonları, değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren oldukça reaktif olan bir gazdır. NO_x emisyonları genellikle 1800°K üzerindeki sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Söz konusu sıcaklıkta kalma süresi de NO_x emisyonunun oluşumu için önemlidir. Azot oksitler (NO_x) terimi, azot ve oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile oluşan NO, NO₂, N₂O ve N₂O₃ gibi gazların ortak adı olarak bilinmektedir. Hava-yakıt karışımı içindeki NO_x, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800°K ye yükseldiğinde azot gazı (N₂) ve oksijen gazının (O₂) birleşmesinden oluşmaktadır. Eğer sıcaklık 1800°K’nin altında ise, N₂ ve O₂, NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılmaktadır.

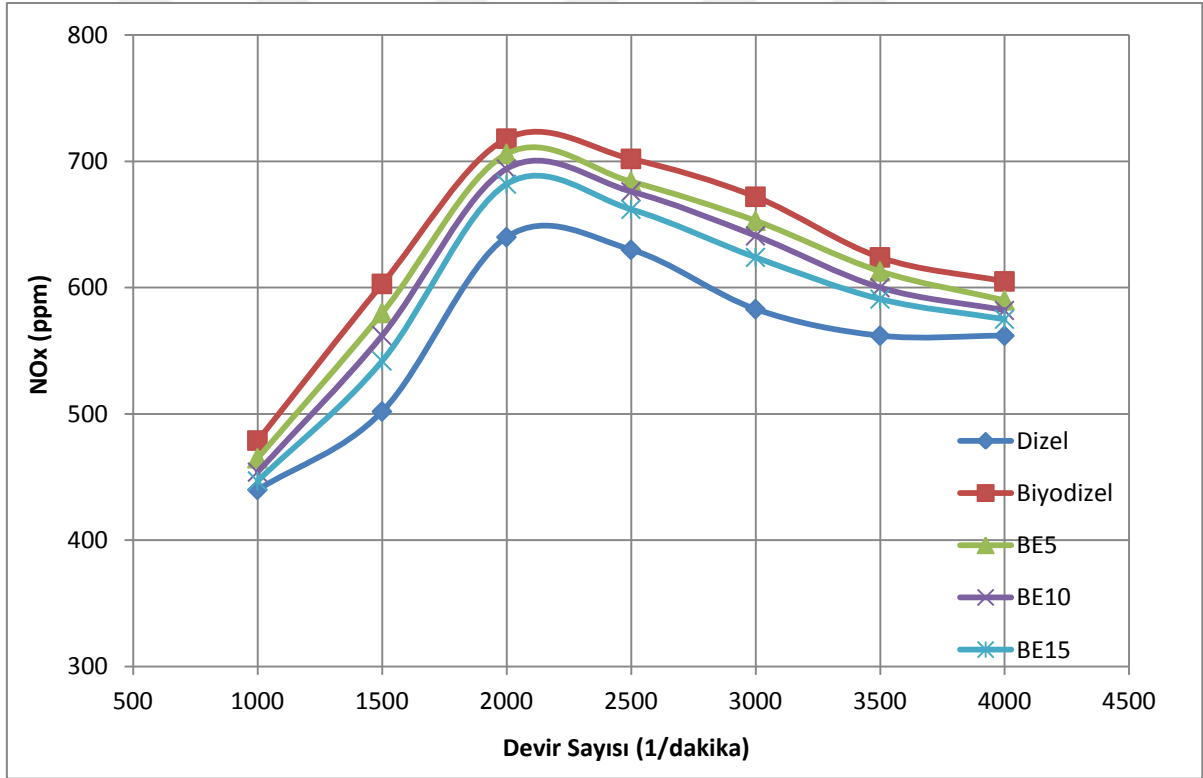
Tablo 3.7. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen NO_x emisyon değerleri (ppm)

Devir (1/dakika)	Dizel Yakıtı	Biyodizel	BE5 Yakıtı	BE10 Yakıtı	BE15 Yakıtı
4000	562	605	590	582	575
3500	562	624	613	600	591
3000	583	672	653	641	624
2500	630	702	684	676	662
2000	640	718	706	694	682
1500	502	603	580	562	542
1000	440	479	465	454	447

NO_x emisyonlarını azaltılması için; hem yanma odası içinde sıcaklığın 1800°K’ye ulaşmasını önlemek ve yüksek sıcaklıklara ulaşılan süreleri kısa tutmak, hem de oksijen konsantrasyonunun düşürülmesi gerekmektedir. Hava/yakıt oranının stokiometrik orandan daha zengin olmasıyla NO_x konsantrasyonunun düşmesinin nedeni oksijen

miktarının azalması, fakir karışımlarda düşmesinin nedeni ise yanmanın yavaş olması ve maksimum sıcaklığın düşük olmasıdır. Ateşleme zamanına avans veya rötör verilmesi, yanma odası içinde oluşan maksimum sıcaklığı değiştirdiğinden NO_x konsantrasyonu da değişmektedir. Teorik hava/yakıt oranı için NO_x konsantrasyonu ateşleme zamanına avans verdikçe yüksek yanma sıcaklığına bağlı olarak önemli derecede artmaya başlar.

Yanma esnasında alev cephesi silindir içinde ilerlerken NO'nun esas olarak alevin arkasında yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgesinde meydana geldiği kabul edilmektedir. Yine genişleme kursu süresince yanmış gazlar soğurken, NO'nun ayrışma reaksiyonları sona erdiğinden, egzoz koşullarındaki denge durumunda olması gerekenden daha yüksek NO oluşumu söz konusudur.



Şekil 3.6. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının NO emisyonuna etkisi

Şekil 3.6. incelendiği zaman, bütün deney yakıtlarında elde edilen NO_x miktarları düşük devirde düşük, devir sayısı yükseldikçe yükselmekte ve 2000 d/d'dan sonra tekrar düşüş göstermektedir. Düşük devirlerde hava yakıt oranının düşük çıkması NO_x değerlerinin de düşük olmasına sebep olmaktadır. Egzoz sıcaklığının yüksek devirlerde artacağı için maksimum moment devri civarında NO_x değerleri yüksek çıkmaktadır. Daha yüksek

devirlerde yanma süresinin kısaldığı ve dolayısıyla yüksek sıcaklıkta kalma sürelerinin de kısılması sonucu NO_x değerleri de düşüş eğilimi göstermektedir. Yakıtlar arasında en düşük NO_x emisyonları dizel yakıtı kullanımında görülmektedir. Diğer yakıtların içeriğinde oksijen ve hidrojen varlığı yanmayı dizel yakıtına göre biraz daha iyileştirdiği ve NO_x değerlerinin de yükseldiğini göstermektedir.

Genel olarak dizel yakıtının NO değerleri biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarından daha düşüktür. Biyodizel kullanımında NO değerleri dizel yakıttan daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür. Bunun sebebi ise biyodizelin yapısında oksijenin olması ve oksijenin yanmayı iyileştirerek silindir içi sıcaklığını artırmasıdır. Ayrıca biyodizellerin setan sayılarının yüksek oluşu tutuşma gecikmesinin daha kısa olmasını sağlayarak bunun sonucunda yüksek sıcaklıklara ulaşılmasını sağlar. Biyodizele etanol katkısı yapıldığında ise NO değerlerinde biyodizele göre azalmaların olduğu gözlemlenmiştir. Biyodizelin ardından sırasıyla BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının NO_x değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebinin ise etanolun ısıl değerinin düşük olması düşünülmektedir.

3.2.4. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen karbondioksit (CO₂) değerlerinin devir sayıları ile değişim eğrileri Şekil 3.8’de verilmiştir. Motorun devir sayılarına bağlı olarak elde edilen değerler de Tablo 3.9’da verilmiştir.

Motorlarda hava/yakıt oranı, yanmanın kalitesini belirlediği için CO ve CO₂ üretimini de önemli ölçüde etkilemektedir. Bu oranın küçük değerlerinde CO emisyonu maksimum seviyede olurken CO₂ miktarının da azalmasına sebep olmaktadır. Hava/yakıt oranının büyük değerlerinde ise bunun tersinin görüldüğü Strayer ve diğ.[52] ile Haq[53] tarafından da belirtilmektedir.

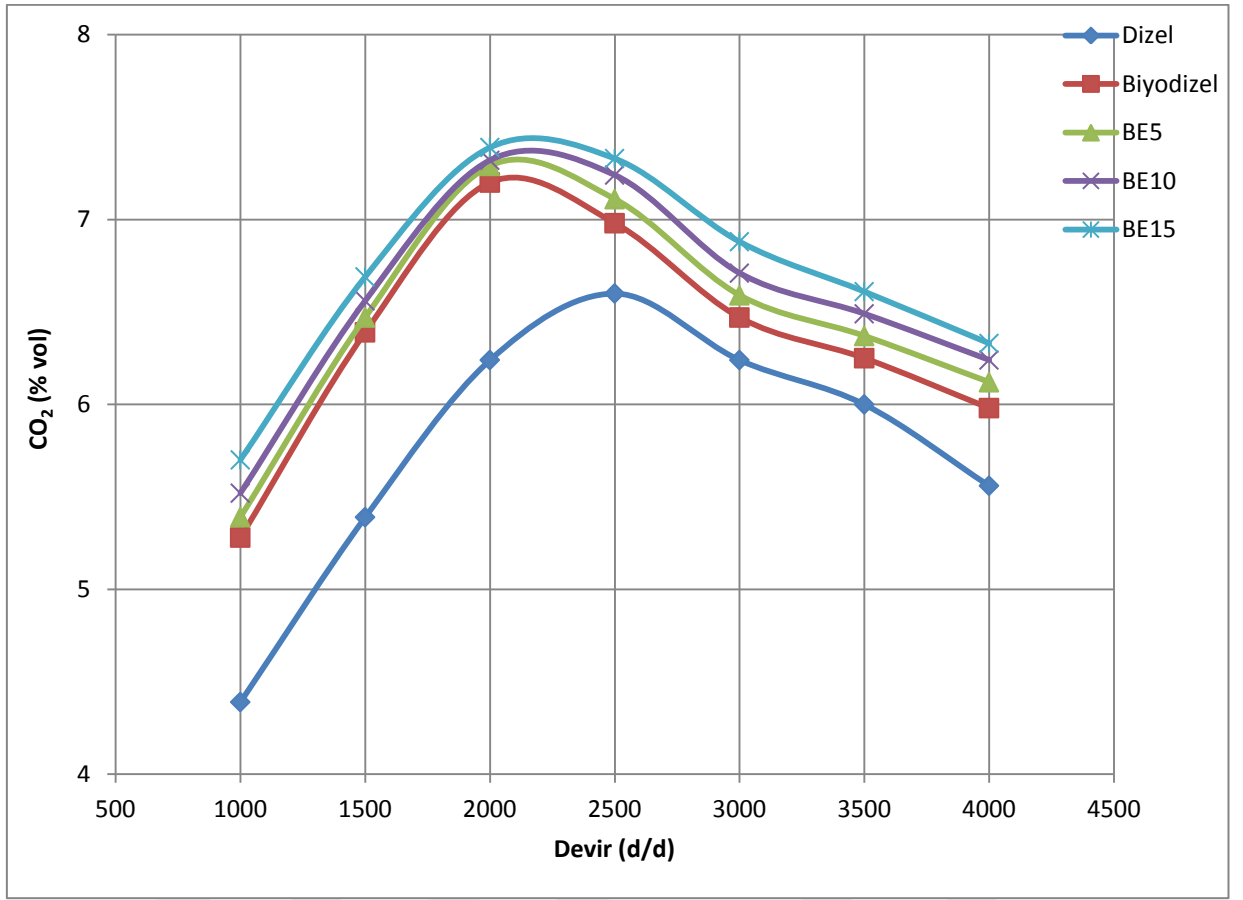
Yanma odasında sıkıştırılmış havanın içerisine yakıtın püskürtülmesi esnasında fakir karışımlarda CO₂ oluşumu tamamlandığı halde CO tamamlanmayıp sınırdan kalır. Sıcaklık ve basınç yükseldikçe oksidasyon reaksiyonlarına bağlı olarak CO konsantrasyonları artmaktadır. Alevin merkez noktasında ise yüksek miktarda CO gazı oluşmaktadır. Yakıt hava oranı kontrol altında tutulduğu oranda CO emisyonu azaltılabilir ve CO₂ oranı da buna bağlı olarak yükselir. Oksijenin parçalanarak CO₂’i oluşturmak için CO ile reaksiyona girmesi ile beraber yanma odası sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Motor hızının maksimum moment devrinde altında olması durumunda karbondioksit miktarı her iki yakıt için de yüksektir.

Tablo 3.8. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile elde edilen CO₂ emisyon değerleri (ppm)

Devir (1/dakika)	Dizel Yakıtı	Biyodizel	BE5 Yakıtı	BE10 Yakıtı	BE15 Yakıtı
4000	5.56	5.98	6.12	6.24	6.33
3500	6.00	6.25	6.37	6.49	6.61
3000	6.24	6.47	6.59	6.71	6.88
2500	6.60	6.98	7.11	7.24	7.33
2000	6.24	7.20	7.29	7.32	7.39
1500	5.39	6.39	6.47	6.56	6.69
1000	4.39	5.28	5.39	5.52	5.70

Emisyon ürünlerinden CO₂ miktarının fazla oluşu CO emisyonlarında azalmaların olduğunu ve iyi bir yanma işleminin gerçekleştiğini gösterir. CO₂ emisyonu dizel yakıtta biyodizel ve karışımlarına oranla genel manada daha düşük değerlerdedir. Bunun sebebi biyodizelin yapısında oksijen bulundurmasıdır. Biyodizele etanol katkısında etanol oranı arttıkça CO₂ oranında artış olmuştur. Bu etanolün yapısında oksijen bulundurmasından oluşmaktadır. Genel anlamda BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının CO₂ değerleri birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. 2000 devirden sonra CO₂ oranının azalmasının sebebi ise yanmanın kötüleşmesi, yanma için yeterli zamanın bulunmayışı ve bunun yerine eksik yanma ürünü olan CO'nun oluşmasıdır.



Şekil 3.7. Dizel, Biyodizel BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarının CO₂ emisyonuna etkisi

Şekil 3.8. incelendiği zaman, bütün yakıtlar için 2000 ve 2500 d/d motor hızlarında en yüksek CO₂ değerleri elde edilmiştir. Yakıtlar kendi aralarında kıyaslanırken dizel yakıtı kullanımı ile en düşük CO₂ değerleri elde edilmiştir. Diğer yakıtlar sırasıyla biyodizel yakıtı, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları gelmektedir. CO₂ emisyonunun en yüksek olduğu yakıt BE15 yakıtı olarak görülmektedir. Yanmanın iyileştiği motor devirlerinde CO'nun CO₂'ye dönüşümünün daha fazla olduğu için momentin maksimum olduğu devirlerde CO₂ emisyonu da yüksek çıkmıştır. Yakıtlardaki etil alkol oranının yükselmesi ile CO₂ emisyonunun da yükselmesi etil alkolün içindeki hidrojenin ve oksijenin yanmayı daha da iyileştirdiğinin sonucu olarak görülmektedir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada kızartma yağlarında biyodizel elde edilerek belli oranlarda elde edilen biyodizel yakıtına etil alkol katılmış ve bir dizel motorunda test edilmiştir. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin belirlenmesi amacıyla değişik motor devirlerinde test edilmiştir. Deneyler sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

1. Biyodizel ve biyodizel etil alkol karışimli yakıtların moment değerleri dizel yakıtına göre düşük çıkmışlardır. Bu sonuç dizel yakıtının ısıl değerinin yüksek oluşu ve parlama noktası ile viskozitenin diğer yakıtlara göre düşük olmasından dolayı yanma hızının yüksek olmasından kaynaklanabilir.
2. Biyodizel ve etil alkol ile karışım yakıtlarının güç değerleri dizel yakıtına oranla biraz düşük çıkmıştır. Bu durum yakıtların ısıl değerinden kaynaklanabilir. Ayrıca viskozite ve yoğunluklarının dizel yakıtına göre yüksek oluşları püskürtmenin iyi olmadığı ve atomizasyonun kötüleşmesi sonucunda yanmanın da kötüleşmesi ile açıklanabilir. Bu noktada yapılan çalışmalardan da benzeri sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir.
3. Dizel yakıtı ile kıyaslandığında biyodizel ve biyodizel etil alkol karışimli yakıtların özgül yakıt tüketimleri daha yüksek çıkmıştır. Yakıtların birbirine yakın güç ve moment değerlerini verebilmeleri için ısıl değer başta olmak üzere viskozite ve yoğunluklarının da birbirlerine yakın olmaları gerekmektedir. Dizel yakıtının ısıl değeri diğer yakıtlara göre yüksek oluşu, diğer yakıtların bu yakıtı yakın güç vermeleri için biraz daha fazla yanması gerektiğini göstermektedir. Bunun için karışımların özgül yakıt tüketimleri dizel yakıtına göre daha fazladır. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda da aynı durumun söz konusu olduğu görülmektedir.
4. Yapılan deneylerde motorun bütün devirlerinde NO_x emisyonları biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtlarında daha yüksek çıkmıştır. Dizel yakıtı söz konusu yakıtlara göre düşük bir seviyede çıkmıştır. Bütün yakıtlar arasında en düşük NO_x emisyonu veren yakıt dizel yakıtı olarak görülmektedir. Bu durum literatürde yapılan bazı çalışmalar ile karşılaştırıldığında bir uygunluk sağlamaktadır. HC emisyonları incelendiğinde dizel

yakıtında yüksek ve diğer yakıtlardan daha düşük çıkmıştır. CO₂ emisyonları en yüksek değerlere dizel yakıtı ile ulaşmıştır. En düşük CO₂ emisyonları BE15 yakıtının kullanımı ile elde edilmiştir. CO emisyonları incelendiği zaman CO₂'in tersi bir durum söz konusudur. En yüksek CO emisyonları dizel yakıtı kullanımı ile gerçekleşmiştir.

5. Sonuç olarak artık kızartma yağlarında elde edilen biyodizelin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinde düzeltmeler meydana gelmiş ve bu özellikler dizel yakıtına yakın değerler almıştır. Motorda kullanımı ile dizel yakıtına yakın güç, moment, özgül yakıt tüketimi ve termik verimi değerleri elde edilmiştir. Kullanılmayacak olan bir yakıtın geri dönüşümü ve yakıt haline getirilmesi oldukça faydalı bir çalışma olarak düşünülebilir. Ayrıca günümüzde hava kirliliğinin büyük bir problem haline gelmesi bakımından kullanılan biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile oluşan zararlı emisyon değerleri dizel yakıtına göre daha düşük bir seviyede elde edilmiştir.

6. Yapılan araştırma sonuçları kızartma yağlarında elde edilen biyodizel yakıtı dizel yakıtına alternatif bir yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Biyodizel yakıtına etil alkol ilavesi ile biyodizelin viskozitesi biraz daha düşürülerek dizel yakıtı ile hemen hemen aynı değere getirilmiştir

5. ÖNERİLER

Biyodizel yakıtının bazı özelliklerinin iyileştirilmesi açısından bazı kimyasal katkıların eklenmesi iyi sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Bunlardan biri etil alkol katkılı yakıtlara belli oranda dizel yakıtı veya metil alkol karıştırılabilir. Diğer tarafta motor ayarları etil alkol katkılı yakıtlara göre düzenlenip daha bir yanmanın sağlanması için araştırma çalışmaları yapılabilir. Örneğin enjektör püskürtme basıncı artırılabilir. Bu çalışmalara ek olarak atık yağlardan elde edilecek biyodizel yakıtı ve katkılı karışımlarının taşıtlarda uzun süreli kullanılması ile motor malzemelerine ve yakıt sistemine etkisi incelenebilir.

Sonuç olarak atık kızartma yağlarının piyasada değerlendirilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalı, hava kirliliği açısından bu yakıtın kullanım imkânları araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Pramanik, K.** (2003). Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renewable energy*, 28(2), 239-248.
- [2] **Azad, A. K., Uddin, S. A., & Alam, M. M.** (2012). Mustard oil, an alternative Fuel: An experimental investigation of Bio-diesel properties with and without Trans-esterification reaction. *Global advanced research journal of engineering, technology and innovation*, 1(3), 075-084.
- [3] **Altın, R., Cetinkaya, S., & Yücesu, H. S.** (2001). The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. *Energy conversion and management*, 42(5), 529-538.
- [4] **Chang, D. Y., Van Gerpen, J. H., Lee, I., Johnson, L. A., Hammond, E. G., & Marley, S. J.** (1996). Fuel properties and emissions of soybean oil esters as diesel fuel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(11), 1549-1555.
- [5] **Yucesu, H. S., Altın, R., & Cetinkaya, S.** (2001). Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi. *Turk J. Engin. Environ. Sci*, 25, 39-49.
- [6] **Sugözü, İ., Aksoy, F., & Baydır, Ş. A.** (2009). Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 49-56.
- [7] **Yavuz, H., Aksoy, F., Bayrakçeken, H., & Baydır, Ş. A.** (2008). Değişik Bitkisel Yağ Metil Esterlerinin Üretilmesi, Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(1), 23-30.
- [8] http://www.cygm.gov.tr/cygm/files/yayinlar/kitap/bitkisel_atik_yaglarin_yonetimi_kitapcigi.pdf
- [9] **Şahin, S.** (2013). *Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması* (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [10] **Canakci, M., & Özsezen, A. N.** (2005). Evaluating waste cooking oils as alternative diesel fuel. *Gazi University Journal of Science*, 18(1), 81-91.

- [11] **Pramanik, K.** (2003). Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renewable energy*, 28(2), 239-248.
- [12] **Alptekin, E., & Canakci, M.** (2009). Characterization of the key fuel properties of methyl ester–diesel fuel blends. *Fuel*, 88(1), 75-80.
- [13] **Zhang, Q., Chang, J., Wang, T., & Xu, Y.** (2007). Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy conversion and management*, 48(1), 87-92.
- [14] **Lu, Q., Li, W. Z., & Zhu, X. F.** (2009). Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils. *Energy Conversion and Management*, 50(5), 1376-1383.
- [15] **Van Kasteren, J. M. N., & Nisworo, A. P.** (2007). A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(4), 442-458.
- [16] **Dorado, M. P., Ballesteros, E., De Almeida, J. A., Schellert, C., Lohrlein, H. P., & Krause, R.** (2002). An alkali-catalyzed transesterification process for high free fatty acid waste oils. *Transactions-American Society Of Agricultural Engineers*, 45(3), 525-530.
- [17] **Meher, L. C., Sagar, D. V., & Naik, S. N.** (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(3), 248-268.
- [18] **Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., & Tiffany, D.** (2006). Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 103(30), 11206-11210.
- [19] **Bondioli, P., Gasparoli, A., Della Bella, L., & Tagliabue, S.** (2002). Evaluation of biodiesel storage stability using reference methods. *European journal of lipid science and technology*, 104(12), 777-784.
- [20] **Bondioli, P., Gasparoli, A., Della Bella, L., Tagliabue, S., & Toso, G.** (2003). Biodiesel stability under commercial storage conditions over one year. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 105(12), 735-741.
- [21] **Energy Information Administration (US).** (2012). *Annual Energy Outlook 2012: With Projections to 2035*. Government Printing Office.

- [22] **A. Demirbas.**, 2003. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey, *Energy Convers Manage* Vol. 44 , pp: 2093–2109.
- [23] **Heywood J.**, (1998) *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Mc. Graw-Hill Science, Newyork, 667s.
- [24] **Karahan, Ş.**, 2006."Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkisi",*Ulusal Biyodizel Sunuştaşı*, Ankara, 2006
- [25] **Srivastava, A. And Prasad, R.**, 2000 “Triglycerides-based Diesel Fuels” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 4, pp.111-113,
- [26] **Labeckas, G., & Slavinskas, S.** (2006). The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Energy Conversion and Management*, 47(13), 1954-1967.
- [27] **Nwafor, O. M. I.** (2004). Emission characteristics of diesel engine operating on rapeseed methyl ester. *Renewable Energy*, 29(1), 119-129.
- [28] **Choi, C. Y., Bower, G. R., & Reitz, R. D.** (1997). *Effects of biodiesel blended fuels and multiple injections on DI diesel engines* (No. 970218). SAE Technical Paper.
- [29] **Canakci, M., Ozsezen, A. N., Arcaklioglu, E., & Erdil, A.** (2009). Prediction of performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste frying palm oil. *Expert systems with Applications*, 36(5), 9268-9280.
- [30] **Behçet, R., & Çakmak, A. V.** (2011, May). Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılan Balık Yağı Metil Esteri Karışımlarının Motor Performans Ve Emisyonlarına Etkisi. In *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)* (pp. 16-18).
- [31] **Jindal, S., Nandwana, B. P., & Rathore, N. S.** (2010). Comparative evaluation of combustion, performance, and emissions of jatropha methyl ester and karanj methyl ester in a direct injection diesel engine. *Energy & Fuels*, 24(3), 1565-1572.
- [32] **Saravanan, N., Nagarajan, G., & Puhon, S.** (2010). Experimental investigation on a DI diesel engine fuelled with Madhuca Indica ester and diesel blend. *Biomass and Bioenergy*, 34(6), 838-843.
- [33] **Ulusoy, Y., Tekin, Y., Cetinkaya, M., & Karaosmanoglu, F.** (2004). The engine tests of biodiesel from used frying oil. *Energy Sources*, 26(10), 927-932.
- [34] http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx

- [35] **Verma, P., & Sharma, M. P.** (2015). Performance and emission characteristics of biodiesel fuelled diesel engines. *International Journal of Renewable Energy Research*, 5(1), 245-250.
- [36] **Encinar, J. M., Gonzalez, J. F., & Rodríguez-Reinares, A.** (2005). Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(15), 5491-5499.
- [37] **Ulusoy, Y., & Alibaş, K.** (2002). Diesel motorlarda biodiesel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 37-50.
- [38] **OĞUZ, H., & ÖĞÜT, H.** (2005). *Çiftçi Şartlarına Uygun Bir Biyodizel Üretim Tesisinin Tasarım ve İmalatı*.
- [39] **Ataç, Ö.** (2015). *Kızartma yağının ve biyodizelin adsorpsiyon yöntemi ile saflaştırılması* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [40] **Lin, Y. F., Wu, Y. P. G., & Chang, C. T.** (2007). Combustion characteristics of waste-oil produced biodiesel/diesel fuel blends. *Fuel*, 86(12), 1772-1780.
- [41] **Ozsezen, A. N., & Canakci, M.** (2011). Determination of performance and combustion characteristics of a diesel engine fueled with canola and waste palm oil methyl esters. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 108-116.
- [42] **Wyse-Mason, R. R., & Beckles, D. M.** (2012). An investigation of restaurant waste oil characteristics for biodiesel production in Trinidad and Tobago. *Energy for Sustainable Development*, 16(4), 515-519.
- [43] **Tomasevic, A. V., & Siler-Marinkovic, S. S.** (2003). Methanolysis of used frying oil. *Fuel Processing Technology*, 81(1), 1-6.
- [44] **Encinar, J. M., Gonzalez, J. F., & Rodríguez-Reinares, A.** (2005). Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(15), 5491-5499.
- [45] **Cetinkaya, M., & Karaosmanoğlu, F.** (2004). Optimization of base-catalyzed transesterification reaction of used cooking oil. *Energy & fuels*, 18(6), 1888-1895.
- [46] **Meng, X., Chen, G., & Wang, Y.** (2008). Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test. *Fuel processing technology*, 89(9), 851-857.

- [47] **Borat, O., Balci, M., Sürmen, A.** (1995), *İçten yanmalı Motorlar*, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, Ankara.
- [48] **Oğuz, H., Ögüt, H., Eryılmaz, T., Mengeç, H.O.** (2007) *Yağ tutuculardan elde edilen yağlardan biyodizel eldesi ve kalitesi*, Seçuk Üniversitesi
- [49] [https://gain.fas.usda.gov/Recent GAIN Publications/Biofuels Annual The Hague EU-28 6-29-2016.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual%20The%20Hague/EU-28/6-29-2016.pdf)
- [50] Ghobadian, B., Rahimi, H., Nikbakht, A. M., Najafi, G., & Yusaf, T. F. (2009). Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. *Renewable Energy*, 34(4), 976-982.
- [51] **Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y., & Karaosmanoğlu, F.** (2005). Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 46(7), 1279-1291.
- [52] **Pryde, E. H.** (1983). Vegetable oils as diesel fuels: overview. *Journal of the american oil chemists' society*, 60(8), 1557-1558.
- [53] **Haq, Z.** (1995). Study of the Properties of Vegetable Oil as an Alternative to Diesel fuel.
- [54] **Lin, C. Y., & Li, R. J.** (2009). Engine performance and emission characteristics of marine fish-oil biodiesel produced from the discarded parts of marine fish. *Fuel Processing Technology*, 90(7), 883-888.
- [55] **Boog, J. H. F., Silveira, E. L. C., De Caland, L. B., & Tubino, M.** (2011). Determining the residual alcohol in biodiesel through its flash point. *Fuel*, 90(2), 905-907.
- [56] **Kaul, S., Saxena, R. C., Kumar, A., Negi, M. S., Bhatnagar, A. K., Goyal, H. B., & Gupta, A. K.** (2007). Corrosion behavior of biodiesel from seed oils of Indian origin on diesel engine parts. *Fuel processing technology*, 88(3), 303-307.