

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



TAVUK KESİM HANESİ RENDERİNG YAĞINDAN
BİYODİZEL ÜRETİLMESİ VE DİZEL MOTORU
PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA
KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERSİN ULUTÜRK

BOLU, EYLÜL - 2020

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



TAVUK KESİMhanesi RENDERİNG YAĞINDAN
BİYODİZEL ÜRETİMİ VE DİZEL MOTORU PERFORMANS,
EMİSYON VE YANMA KARAKTERİSTİKLERİ
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERSİN ULUTÜRK

BOLU, EYLÜL - 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ersin ULUTÜRK tarafından hazırlanan “**TAVUK KESİMHANESİ RENDERİNG YAĞINDAN BİYODİZEL ÜRETİLEREK DİZEL BİR MOTORDA PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA KARAKTERSİTİKLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 4.09.2020 tarihinde savunularak **Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü** Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç.Dr. Alaattin Osman EMİROĞLU
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof.Dr. Suat SARIDEMİR
Düzce Üniversitesi

.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Kadir GELİŞ
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Osman GÖRÜR

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

1. Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 2. Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 3. Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 4. Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 5. Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ersin ULUTÜRK

ÖZET

**TAVUK KESİM HANESİ RENDERİNG YAĞINDAN BİYODİZEL
ÜRETİLMESİ VE DİZEL MOTORU PERFORMANS, EMİSYON VE
YANMA KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ERSİN ULUTÜRK
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ALAATTİN OSMAN EMİROĞLU)
(İKİNCİ DANIŞMAN: DOÇ. DR. AHMET KESKİN)
BOLU, EYLÜL - 2020**

Biyodizel, günümüzde dizel yakıtlarına alternatif olarak kullanılabilen bir enerji kaynağıdır. Bu alternatif yakıt bitkisel, hayvansal ham ve atık yağlardan üretilmektedir. Biyodizelin günümüzde bu kadar önem kazanmasının sebebi ise fosil kökenli yakıtların giderek azalması, çevreciliğin öneminin artmasıyla birlikte motorlu taşıt kaynaklı zararlı emisyonları azaltma çalışmalarının öne çıkmasıdır. Bu sebepten dolayı, biyodizel alanında yapılan bilimsel çalışmalar günümüzde hız kazanmıştır. Bu çalışmada, atık hayvansal yağlardan olan tavuk rendering yağı kullanılmıştır. Bu yağın serbest yağ asidi (SYA) değeri yüksek olması sebebiyle, biyodizel elde edilmesinde iki adımlı transesterifikasyon yöntemi tercih edilmiştir. SYA değerinin yüksek olması reaksiyonda sabunlaşmaya sebebiyet vereceği için ilk aşamadaki reaksiyonda asidik katalizör, ikinci aşamada ise bazik katalizör kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, elde edilen tavuk rendering yağı biyodizeli (TRYB)'nin, biyodizel yakıt standartlarını karşıladığı görülmüştür. TRYB, referans yakıt olarak da kullanılan petrol kökenli dizel yakıtı (B0) ile hacimsel olarak %10, %20, %50 değerlerinde karıştırılarak B10, B20, B50 yakıt karışımları elde edilmiş ve tek silindirli bir dizel motorunda 2000 dev/dak sabit devirde, 5 Nm ve 10 Nm kısmi yükler altında motor testlerine tabi tutularak yanma, performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; TRYB'nin setan sayısının petrol kökenli dizel yakıtına göre daha düşük olması tutuşma gecikmesi süresini arttırmakta ve buna bağlı olarak da karışımlardaki biyodizel miktarı arttıkça maksimum silindir basıncının ve ısı salınımının arttığı belirlenmiştir. Özgül yakıt tüketiminin ise referans dizel yakıtına oranla tüm biyodizel-dizel yakıtı karışımlarında daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca biyodizel karışımlarının petrol kökenli dizel yakıtına oranla daha düşük termal verime sahip olduğu ve motora uygulanan yük arttığında biyodizel-dizel karışımlarının termal verimlerinin arttığı gözlemlenmiştir. İs emisyonları incelendiğinde karışımlardaki biyodizel oranları arttıkça is emisyonlarında azalma olduğu saptanmıştır ve 10 Nm kısmi yükteki is emisyon değerlerinin 5Nm kısmi yüke göre belirgin bir oranda fazla olduğu gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Biyodizel, Tavuk yağı, Serbest yağ asidi, İki adımlı biyodizel üretimi, Motor deneyleri

ABSTRACT

PRODUCTION OF BIODIESEL FROM CHICKEN SLAUGHTERHOUSE RENDERING FAT AND INVESTIGATION OF EFFECT ON PERFORMANCE, EMISSION AND COMBUSTION CHARACTERISTICS OF DIESEL ENGINE

MSC THESIS

ERSİN ULUTÜRK

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

**(SUPERVISOR: ASSOCIATE PROFESSOR, ALAATTİN OSMAN
EMİROĞLU)**

**(CO-SUPERVISOR: ASSOCIATE PROFESSOR, AHMET KESKİN)
BOLU, SEPTEMBER 2020**

Biodiesel is a source of energy that can be used today as an alternative to diesel fuels. This alternative fuel is produced from vegetable, animal raw and waste oils. The reason biodiesel has become so important today is that with the gradual decline of fossil fuels and the increasing importance of environmentalism, efforts to reduce harmful emissions from motor vehicles have come to the fore. Therefore, today's scientific studies in the field of biodiesel have gained momentum. In this study, one of the waste animal fats, chicken processing oil, was used. Due to the high free fatty acid (SYA) value of this oil, two-stage transesterification method was preferred for biodiesel uptake. Since the high value of sya would cause soap in the reaction, an acidic catalyst was used in the first phase and a basic catalyst in the second phase. The analysis showed that chicken processing oil biodiesel (CRFB) meets biodiesel fuel standards. (J) 10% as reference diesel fuel, B. 10 mixed values 20% to 50% by volume CRFB is used with petroleum-based fuel, B20, B50 fuel mixtures, single cylinder diesel engine hard to rev over 2000 rpm were obtained, combustion, performance and emission characteristics, of course, under partial load engine tests 5 nm and 10 nm were examined. As a result of the experiments conducted; The fact that the cetane number of CRFB is lower than that of petroleum-based diesel fuel increases the ignition delay time, and as a result, the maximum cylinder pressure and heat release increases as the amount of biodiesel in mixtures increases. Specific fuel consumption is higher in all biodiesel-diesel fuel mixtures compared to reference diesel fuel. It has been observed that biodiesel mixtures have lower thermal efficiency compared to petroleum-based diesel fuel and that the thermal efficiency of biodiesel-diesel mixtures increases as the load applied to the engine increases. When smoke emissions were examined, it was determined that there was a decrease in smoke emissions as biodiesel rates increased in mixtures and it was observed that soot emission values at 10 Nm portion load were significantly higher than 5nm partial load.

KEYWORDS: Biodiesel, Chicken fat, Free Fatty Acids, Two-step biodiesel production, Engine tests

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xii
TEŞEKKÜR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. BİYODİZEL VE İMALAT ÇEŞİTLERİ.....	11
3.1 Biyodizel	11
3.1.1 Bitkisel ve Hayvansal Yağların Özellikleri	11
3.1.2 Bitkisel ve Hayvansal Yağlardan Biyodizel Elde Etme Yöntemleri.....	14
3.1.2.1 Transesterifikasyon	14
3.1.2.2 Piroliz	17
3.1.2.3 İnceltme.....	17
3.1.2.4 Mikroemülsiyon Oluşturma	17
3.1.2.5 Süper kritik Yöntem.....	18
3.1.3 Biyodizel Standartları	18
3.1.4 Dünyada Biyodizel	20
3.1.5 Türkiye’de Biyodizel	21
4. MATERYAL VE YÖNTEM	23
4.1 Tavuk Yağından Biyodizel Üretilmesi, Üretimde Kullanılan Materyaller ve Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi	23
4.1.1 Hassas Terazı	23
4.1.2 Manyetik Karıştırıcı, Sıcaklık Kontrollü Isıtıcı (Hot Plate)	24
4.1.3 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Kimyasal Malzemeler	25
4.1.4 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Tavuk Rendering Yağı ve Özellikleri	25
4.1.5 Biyodizel Üretim Şekli	26
4.1.5.1 Ön İyileştirme.....	26
4.1.5.2 Transesterifikasyon	29
4.1.6 Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi	31
4.2 Motor Performans, Egzoz Emisyon ve Yanma Karakterizasyonu Testleri	32
4.2.1 Test Motoru.....	34
4.2.2 Dinamometre	35

4.2.3	Tork Ölçüm Ünitesi	35
4.2.4	Egzoz Emizyon Analiz Cihazı ve İş Ölçer	36
4.2.4	Silindir Basınç Sensörü.....	38
4.2.5	Yakıt Hattı Basınç Sensörü.....	38
4.2.6	Enkoder.....	39
4.2.7	Veri Toplama Sistemi (Kistler KiBox).....	39
4.2.8	Bilgisayar	40
4.3	Elde Edilen Sonuçlara Göre Motor Performans Parametrelerinin Hesaplanması.....	40
4.3.1	Motor Torkunun (Momentinin) Belirlenmesi	40
4.3.2	Efektif Gücün Hesaplanması	41
4.3.3	Isıl Verimin Hesaplanması.....	41
4.3.3.1	Özgül Yakıt Tüketiminin Hesaplanması.....	42
4.3.3.2	Isı Salınım Oranının Hesaplanması.....	43
5.	BULGULAR VE TARTIŞMA	46
5.1	Motor Deney Sonuçları	46
5.1.1	Püskürtme Başlangıcı ve Tutuşma Gecikmesi.....	46
5.1.2	Silindir Gaz Basıncı	48
5.1.3	Isı Salınım Oranı	50
5.1.4	Motor Performansı	52
5.1.4.1	Özgül Yakıt Tüketimi	52
5.1.4.2	Termal Verim	53
5.1.5	Egzoz Emisyonları	53
5.1.5.1	NO _x Emisyonları	54
5.1.5.1	İş Emisyonları	55
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	56
7.	KAYNAKLAR.....	58
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	61

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi	12
Şekil 3.2. Yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi	14
Şekil 3.3. Bitkisel yağın transesterifikasyonu.....	15
Şekil 3.4. Ön iyileştirme reaksiyonu.....	15
Şekil 3.5. Trigliserit molekülü	16
Şekil 3.6. Süperkritik yöntemin prensip şeması	18
Şekil 4.1. Ohaus pioneer hassas terazi	23
Şekil 4.2. Manyetik karıştırıcılı, sıcaklık kontrollü ısıtıcı	24
Şekil 4.3. Manyetik karıştırıcı (Balık)	25
Şekil 4.4. Tavuk Yağından Suyun Uzaklaştırılması	27
Şekil 4.5. Asit katalizörlü esterifikasyon (1.Adım)	28
Şekil 4.6. Transesterifikasyon reaksiyonu	29
Şekil 4.7. Transesterifikasyon sonrası faz ayrışımı	30
Şekil 4.8. Transesterifikasyon sonrası yıkama işlemi.....	30
Şekil 4.9. Motor test düzeneği fotoğrafı	33
Şekil 4.10. Motor test düzeneği şematik görünümü	34
Şekil 4.11. Lombardini marka test motoru	34
Şekil 4.12. Tork ölçüm ünitesi.....	36
Şekil 4.13. Egzoz gaz emisyon cihazı.....	37
Şekil 4.14. Silindir basınç sensörü ve amplifikatörü	38
Şekil 4.15. Yakıt hattı basınç sensörü ve yükseltici.	38
Şekil 4.16. Enkoder.....	39
Şekil 4.17. . Veri toplama cihazı (Kistler KiBox).....	40
Şekil 5.1. 5 Nm kısmi yük altında krank mili açısına göre silindir basıncı değişimleri	49
Şekil 5.2. 10 Nm kısmi yük altında krank mili açısına göre silindir basıncı değişimleri.....	49
Şekil 5.3. 5 Nm kısmi yük altında ısı salınımı değişimi.....	51
Şekil 5.4. 10 Nm kısmi yük altında ısı salınımı değişimi.....	51
Şekil 5.5. Kısmi yüklerde özgül yakıt tüketimi.....	52

Şekil 5.6. Kısmi yüklerde termal verim değişimi.....	53
Şekil 5.7. Kısmi Yüklerde NO _x emisyonları değişimi.....	54
Şekil 5.8. Is emisyonları.....	55



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Bazı yağ asitlerinin özellikleri	13
Çizelge 3.2. Bazı bitkisel yağların yağ asidi içerikleri	13
Çizelge 3.3. Amerika (ASTM D6751) ve Avrupa (EN 14214) biyodizel standartları.....	19
Çizelge 4.1. Tavuk rendering yağı özellikleri.....	26
Çizelge 4.2. Tavuk rendering yağı biyodizeli yakıt özellikleri.....	31
Çizelge 4.3. Petrol dizeli yakıt özellikleri.....	32
Çizelge 4.4. Test motorunun teknik özellikleri.....	35
Çizelge 4.5. Egzoz gaz analiz cihazı ve is ölçerin özellikleri.....	37
Çizelge 5.1. Püskürtme ve Yanma Karakteristikleri.....	47
Çizelge 5.2. Maksimum silindir basıncı ve ısı salınımı değerleri ve yerleri.....	50

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

$^{\circ}\text{C}$	:Santi grad derece
be	:Özgöl yakıt tüketimi
cs	:Senti stokes
dev/dak	:Devir/dakika
g	:Gram
H_u	:Alt ısııl değeri
kW	:Kilo watt
mL	:Mili litre
m_y	:Yakıt tüketimi
n	:Motor devri
Nm	:Newton metre
P_e	:Efektif güç
ppm	:Milyonda bir
η_t	:Isıl verim
ω	:Açısal hız
h/h	:Hacim/hacim
ASTM	:Amerikan Malzeme ve Test Birliği
B0	:%100 motorin
B10	:%10 Biyodizel %90 Motorin
B20	:%20 Biyodizel %80 Motorin
B50	:%50 Biyodizel %50 Motorin
B100	:%100 Biyodizel %0 Motorin
C₆H₅CH₃	:Toluen
CH₃OH	:Metil Alkol
CO	:Karbonmonoksit
COOH	:Karboksil Asit
EN	:Avrupa Birliği Standartları
H₂SO₄	:Sülfürik Asit

TRYB	:Tavuk Rendering Yağı Biyodizeli
KOH	:Potasyum Hidroksit
KOMe	:Potasyum Metoksit
NaOH	:Sodyum Hidroksit
NaOMe	:Sodyum Metoksit
NO_x	:Azot Oksitler
°KMA	:Krank Mili Açısı
ODTÜ	:Orta Doğu Teknik Üniversitesi
ÖYT	:Özgöl yakıt tüketimi (g/kWh)
PKDY	:Petrol kökenli dizel yakıtı
PM	:Partikül Madde
SYA	:Serbest yağ asidi
TG	:Tutuşma gecikmesi
ÜÖNÖ	:Üst ölü nokta öncesi
AÖNS	:Alt ölü nokta sonrası

TEŞEKKÜR

Bu tezin yazımı sürecinde bana desteklerini esirgemeyen bilgi birikimleri ve tecrübelerinden yararlandığım başta danışmanım sayın Doç. Dr. Alaattin Osman EMİROĞLU'na, ikinci danışmanım sayın Doç. Dr. Ahmet KESKİN'e ve Doç. Dr. Mehmet ŞEN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca sevgili eşim Nurcan ULUTÜRK, annem Nebahat ULUTÜRK ve babam Mehmet ULUTÜRK'e maddi ve manevi desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Ersin ULUTÜRK

Saygılarımla

1. GİRİŞ

Dünyanın varoluşundan günümüze kadar olan süreçte, enerji toplumların vazgeçilmez ihtiyaçlarından birisi olmuştur. Bugün ülkelerarası savaşların en önemli nedenlerinden birisi şüphesiz enerji ihtiyacıdır. Bu sebeptendir ki alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyaç bir kat daha artmıştır. Bu artan ihtiyaçla orantılı olarak da alternatif enerji kaynaklarıyla ilgili bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır.

Ülkeler alternatif enerji kaynaklarının türlerini belirlerken enerji kaynağının sürekliliğine, ısı değerine, emisyon değerlerine, kolay ulaşılabilir olmasına ve insan ihtiyaçlarını ne denli karşıladığına bakmaktadır. Bu sebepten ötürüdür ki alternatif enerji kaynaklarının üretimi konusunda yapılan bilimsel deney ve araştırmalarda bilim insanları yukarıdaki saydığımız bu özellikleri dikkate alarak çalışmalarını yürütmektedirler. Bu yöndeki yapılan çalışmalardan en önemlisi olan biyodizel, fosil kökenli yakıtlardan olan dizel yakıtına en yakın özelliklere sahip yakıt çeşididir. Tabi ki bu yakıt çeşidi de kendi içerisinde kategorize edilip çeşitlendirilebilmektedir.

Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik ürünlerden üretilen yakıtlar biyodizel olarak adlandırılır. Biyodizel saf olarak kullanılabileceği gibi petrolden kökenli dizel yakıtlarla karıştırılarak da kullanılabilmektedir.

Rudolph Diesel ilk olarak 1893'te Almanya'da dizel motorun testini gerçekleştirmiş ve 1898'te Paris Dünya Fuarı'nda yer fıstığı yağının yakıt olarak kullanıldığı motoru sergilemiştir. 1911 yılında bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının ülkelerin tarım sektörünün gelişimine ciddi bir katkısı olacağını ifade etmiştir ve 1912'de "Bitkisel yağların motorlarda kullanımı şu an için önemsiz görünebilir, fakat bitkisel yağlar zamanla petrol ve kömür kadar önem kazanacak" demiştir (Artukoğlu, 2006).

Günümüzde biyodizel büyük bir oranda kalitesi yüksek bitkisel yağlardan elde edilmektedir. Bununla birlikte; yiyecek kalitesindeki bitkisel yağların yüksek fiyatlı olmaları, biyodizel maliyet fiyatı çok büyük ölçüde hammadde fiyatına bağlı olması sebebiyle, biyodizel birim maliyetini artırmakta ve yukarıda belirtilen bütün

avantajlarına rağmen sık olarak kullanımını oldukça önemli bir ölçüde engellemektedir. Biyodizelin yüksek fiyatını düşürmek ve ticari olarak motorinle rekabet edebilmesini sağlamak için atık yemeklik kızartma yağları, hayvansal yağlar, çeşitli atık yağlardan oluşan sarı gres, yeşil gres gibi düşük maliyetli hammaddeler kullanılabilir (Şanlı H ve Çanakcı, 2008). Ayrıca biyodizel üretimi aşamasında alkoller (metanol, etanol, propanol v.s.), asitler (sülfirik asit, hidroklorik asit, sülfamik asit v.s), bazlar (potasyum hidroksit, sodyum hidroksit, çinko oksit v.s) kullanılmaktadır.

Biyodizel üretiminde genelde tercih edilen yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Bu yöntem hem bitkisel hem de hayvansal yağlardan biyodizel üretiminde kullanılmaktadır. Ancak hayvansal yağlarda yüksek SYA ve bununla birlikte sabunlaşma problemiyle karşılaşıldığından, hayvansal yağlardan biyodizel üretiminde genelde iki aşamalı transesterifikasyon yöntemi tercih edilmektedir. Bu yöntemde 1.aşamada asit katalizörlü esterifikasyon yöntemi kullanılır ve yağın SYA değeri %1'in altına düşürülür. İkinci aşamada klasik transesterifikasyon yöntemi yani baz katalizörlü yöntem kullanılır ve biyodizel yani alkol esteri elde edilmiş olur.

Biyodizel fosil kökenli dizel yakıtına göre emisyon değerleri bakımından çevreyi daha az kirletici pozisyonundadır. Ayrıca biyodizelin üstün yağlama yeteneği, emisyon değerlerinin daha iyi olması, toksik etkisinin olmaması fosil kökenli dizele göre üstün yanlarındandır.

Bu yüksek lisans tezinde, SYA içeren hayvansal yağlardan olan tavuk rendering yağı kullanılmıştır. Kullanılan bu yağ Bolu Erpiliç A.Ş'den temin edilmiştir. İlk olarak bu çalışmada hayvansal yağın (tavuk rendering yağı) SYA değerini %1'in altına düşürmek amaçlanmıştır. SYA değerini düşürmekteki amaç reaksiyon esnasında sabunlaşmayı engellemektir. SYA düşürüldükten sonra ana reaksiyon olan transesterifikasyon reaksiyonuna geçilmiştir. Son olarak da elde edilen biyodizel yıkanıp kurutulduktan sonra motor deneylerine geçilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve yüksek SYA değerine sahip yağlardan iki adımlı yöntemle farklı alkol, asit ve yağ oranlarında biyodizel üretimiyle alakalı literatür araştırmalarına yer verilmiştir. Son kısımlarda ise bu yağlardan elde edilen biyodizel yakıtından motor performansına, emisyon değerlerine, yanma karakteristiklerine etkileriyle alakalı literatür araştırmalarına yer verilmiştir.

Dizel motoru bildiğimiz gibi 1898 yılında Rudolph Diesel icat etmişti. Aynı zamanda bu dizel motoru yer fıstığı yağı ile çalıştırmıştı. Bu süreçten sonra petrol kökenli dizel yakıtına geçilmişti. Fakat 1970'lerdeki petrol krizinin ardından alternatif yakıt olan biyodizele ihtiyaç artmış ve biyodizelle ilgili bilimsel çalışmalar başlamıştır.

Dias ve ekibi, domuz yağının yağ asidi değerini ölçmüşlerdir (Dias, 2009). Domuz yağının asit değeri 14 mg KOH/g olarak ölçülmüş ve reaksiyonun sabunlaşmasını öngördükleri için yağa ön iyileştirme reaksiyonu uygulamışlardır. Ön iyileştirme reaksiyonu için yağa konulacak asit miktarı yağın ağırlık oranına göre oluşturulmuştur. Asit katalizör olarak da genelde kullanılan H_2SO_4 (sülfirik asit) kullanılmıştır. %3 asit katalizör eşliğinde 6:1 alkol/yağ oranında 65 °C'de ve 3 saatlik reaksiyon sonucunda optimum SYA değerine ulaşılmıştır. SYA değeri 3 mgKOH/g olarak ölçülmüş bu da %1,5 asit değerine tekabül etmiştir. Ardından ikinci adım olan transesterifikasyon yönteminde 6:1 alkol/yağ oranında %1 NaOH (sodyumhidroksit) ile reaksiyon tamamlanmıştır. Transesterifikasyon sonrası ürün eldesi 3 saat sonunda %46 olmuştur.

Çanakçı ve arkadaşları, rendering tesislerinden elde edilen tavuk yağından biyodizel üretmişlerdir. Öncelikle tavuk yağına ön iyileştirme reaksiyonu uyguladıktan sonra SYA miktarını istenilen değere düşürmüşlerdir. Bu aşamadan sonra ana reaksiyona geçilmiştir. Çalışmalarında kullandıkları tavuk yağının SYA değeri yaklaşık olarak %13,5'tir. Tavuk yağının SYA değerinin çok fazla olması sebebiyle ön iyileştirme reaksiyonu uygulamışlardır. Ön iyileştirme reaksiyonu için 3 farklı asit katalizör kullanmışlardır (sülfirik asit, hidroklorik asit, sülfamik asit) ve farklı asit katalizörlerin SYA değeri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen

sonuçlarda sülfirik asit ve hidroklorik asit benzer değer verirken sülfamik asit istenilen sonucu vermemiştir. Ön iyileştirme reaksiyonunda optimum değeri %20 sülfirik asit ve 40:1 metanol/yağ molar oranında 60°C sıcaklıkta 80 dakikada elde etmişlerdir(Çanakçı, 2010).

Berchmans ve Hirata, yüksek serbest yağ asidi içeriğine sahip jatropha (hint fıstığı) yağından (%14,9 SYA) buna ek olarak palmiye (%6,1 SYA) ve fındık yağından (%1,2 SYA) biyodizel üretmişlerdir. Öncelikle tek adımlı transesterifikasyon yöntemi kullanılmış, katalizör olarak baz katalizörlü NaOH'lı reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Bunun için kullanılan yağın miktarı esas alınarak, farklı katalizör miktarlarında (%0,5, %1, %1,5, %2, %2,5 ve %3) ve farklı alkol (metanol) oranlarında (%10, %15, %20, %25, %30 ve %40) reaksiyonlar yapılmıştır. Reaksiyon sıcaklığı 65°C ve reaksiyon zamanı ise 2 saat olarak seçilmiştir. Çok düşük yağ miktarlarında (15 cm³) çalışmaları için, ester yıkama işlemi bu çalışma dışında bırakılmıştır. Fındık yağı ve palmiye yağı için en yüksek ürün eldesi, %1 NaOH ve %28 metanol miktarı şartlarında gerçekleşmiş ve ürün eldeleri sırasıyla %85 ve %80 olmuştur. Bizim için önemli olan yüksek SYA içeriğine sahip jatropha yağı için daha yüksek katalizör miktarlarına ihtiyaç duyduklarını belirtmişlerdir. Jatropha yağı için en iyi reaksiyon şartları, %3,3 katalizör ve %70 alkol miktarı olarak belirlenmiştir. Bu durumda bile ürün eldesi %55 olarak görülmüştür. Ürün eldesinin çok düşük olması ile birlikte, jatropha yağının içerisindeki SYA analiz edilmiştir. Buna göre %14,9 SYA içeren jatropha yağının, SYA dağılımı şu şekilde tespit edilmiştir; %2,4 palmitik, %6,9 linoleik, %5,4 oleik ve %0,2 stearik asit. Ürün eldesinin artırılması için bu aşamada iki adımlı üretime geçilmiştir. Öncelikle jatropha yağına ön iyileştirme uygulanmış ve yağın SYA değeri düşürülmüştür. Ön iyileştirme reaksiyonu için yağın ağırlığının %1'i kadar H₂SO₄ ve farklı metanol miktarları kullanılmış, reaksiyon sıcaklığı 50°C ve reaksiyon zamanı ise 1 saat olarak seçilmiştir. Ancak %70 alkol miktarında SYA değeri %1 seviyesine indirilmiştir. SYA değeri %1 seviyesine indirildikten sonra baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu olan ana reaksiyona geçilmiştir. Bu reaksiyon için reaksiyon sıcaklığı 65°C ve reaksiyon zamanı ise 2 saat olarak sabit tutulduğunda, en iyi reaksiyon şartları %1,4 NaOH (baz katalizör) ve %24 metanol (alkol) miktarı olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda ürün eldesi %90 olarak tespit edilmiştir (Berchmans HJ ve Hirata S, 2007).

Nelson ve Schrock, dizel yerine kullanmak için gıda olarak kullanılabilen ve kullanılmayan hayvansal iç yağının biyodizele dönüşümde hammadde olarak uygunluğunu, enerji ve ekonomi yönünden verimliliğini araştırmışlardır. Biyodizel geniş bir çapta kabul edilen bir sıvı alternatif yakıt olduğunu, çeşitli hayvansal, bitkisel ve atık yağ hammaddelerinden üretilebilir ve herhangi bir modifiye gerektirmeden dizel motorlarda başarılı bir şekilde kullanılabildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca; biyodizel sahip olduğu enerjik uygunluk, geleneksel petrol dizeline göre çevreci olması, artan enerji güvenliği ve ultra düşük kükürtlü dizele göre yağlamayı geliştirmesi gibi fiziksel özelliklerinin avantajlarını artırdığı da belirtilmektedir. Sonuç olarak hayvansal iç yağından biyodizel üretilebilirliğini göstermişlerdir. Ek olarak çevresel ve ekonomik katkılarda da bulunduğu sonucuna varmışlardır (Nelson RG ve Schrock, 2006).

Reyes ve Sepúlveda somon balığı yağından ürettikleri biyodizeli bir dizel motorunda motor testi sonucunda, özgül yakıt tüketiminin diğer literatür çalışmalarının aksine, düşük orandaki saf biyodizel karışımlarında standart dizel yakıtına göre düştüğü, artan oran ile de arttığını ifade etmişlerdir (Reyes JF ve Sepúlveda, 2006).

Üstün, hayvansal yağlardan biyodizel elde edilmesi adlı çalışmasında hayvansal yağdan elde edilen biyodizelin %65:35 h/h oranında etanolle karıştırıldığında bu karışımın viskozitesinin, petrol kökenli dizel yakıtın viskozite değeriyle benzer olduğunu, hayvansal yağ / etanol karışımının viskozitesinin sıcaklığın değerini artmasıyla düştüğünü ve hayvansal yağ biyodizelinin etanol ile karışımının yoğunluğunun petrol kökenli dizel yakıtı ile aynı değerlerde olduğunu ifade etmiştir (Üstün, 2006).

Ülker, hayvansal yağlardan üretilen biyodizel ile ve petrol kökenli dizel yakıtı ile yaptığı deneylerde tek silindirli dört zamanlı bir dizel motor kullanmıştır. En yüksek devirde iken biyodizel kullanımının dizel yakıtına göre %36'lık güç kaybına ve %27'lik moment kaybına sebep olduğunu gözlemlemiştir. Özgül yakıt tüketimine baktığında ise %59'luk bir artış olduğunu belirtmiştir (Ülker B, 2007).

Gürü ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, dizel yakıtını ve atık tavuk yağından elde ettikleri biyodizeli %10 oranında (%10 biyodizel + %90 standart dizel) dizel yakıtına karıştırarak tek silindirli bir dizel motorda test etmişlerdir. İki yakıtında tork ve güç değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğunu bildirmişlerdir. Fakat, özgül yakıt tüketimi, bütün motor hızlarında standart petrol kökenli dizel yakıtına göre artış göstermiş ve maksimum artışın %5,2 olarak ölçüldüğünü ifade etmişlerdir (Gürü M, 2010).

Artukoğlu, hayvansal atık yağın yüksek miktarda serbest yağ asidi içermesi sebebiyle ilk olarak asit katalizörlü son olarak da baz katalizörlü olmak üzere iki aşamalı transesterifikasyon reaksiyonu uygulamış ve yağın %8'i miktarında sülfirik asit (H_2SO_4) kullanımının uygun olduğunu belirtmiştir. Sadece H_2SO_4 kullanıldığında ise biyodizel üretiminin gerçekleşmediği ve bu nedenle ikinci aşamada NaOH kullandığını belirtmiştir (Artukoğlu, 2006).

Wyatt ve arkadaşları domuz yağı, iç yağı ve tavuk yağından baz katalizörlü transesterifikasyon ile yağ asidi metil esterlerini biyodizel olarak kullanmak için hazırlamışlardır. Domuz yağı, iç yağı ve tavuk yağı metil esterlerinin soya metil esterinden daha kötü düşük sıcaklık özelliklerine sahip olduğunu ama bu farkın esterlerin petrol kökenli dizel yakıtı ile %20 miktarında karıştırılmasıyla en aza indirildiğini belirtmişlerdir. Motor deneylerinde iç yağı metil esteri ile çalışmada, petrol kökenli dizel yakıtı ile ölçülen NO_x emisyonu seviyesinin üstünde bir artışın olmadığını belirtmişlerdir (Wyatt VT, 2005).

Çanakçı ve Garpen, yağın içerisindeki SYA'ların alkali katalizör kullanımı sırasında sabunlaşmaya neden olduğunu ve bunun da biyodizelin gliserinden ayrışmasını engellediğini belirtmişlerdir. Biyodizel üretiminde genellikle metanol, etanol, propanol ve bütanol gibi kısa zincirli alkoller kullanıldığını belirtmişlerdir (Çanakçı ve Garpen, 1999).

Ramadhass ve arkadaşları yüksek serbest yağ asidine sahip olan kauçuk tohumu yağından biyodizel üretimini deneysel olarak incelemişlerdir. Viskozitesinin petrol kökenli dizel yakıtın çok benzer olduğunu görmüşlerdir. Çok miktarda yüksek yağ asidi içeren yağları monoesterlerine dönüştürmek için iki basamaklı bir transesterifikasyon işlemi geliştirip kauçuk tohumu yağında uygulamışlardır. İlk

adımında asit katalizörlü esterifikasyon ile serbest yağ asidi bileşimini %2'nin altına düşürmekte; ikinci adımda transesterifikasyon ile ilk adımda elde edilen ürünleri monoesterlerine ve gliserine dönüştürmektedir. İşlemin dönüşüm etkinliğini en fazla etkileyen parametrelerin ise molar oran, katalizör oranı, tepkime sıcaklığı ve tepkime süresi olduğunu savunmuşlardır (Ramadhas AS, 2005).

Foglia ve ekibi iç yağından üretilen biyodizelin ve petrol kökenli dizel yakıtı ile %20 oranındaki karışımlarının düşük sıcaklık özelliklerini belirlemişlerdir. İç yağı biyodizelinin sahip olduğu özelliklerin onların saf dizel yakıtı olarak kullanılmalarını kısmen engelleyeceğini, bununla beraber dizel yakıtı ile karıştırıldığında sahip oldukları düşük sıcaklık değerlerinin onların dizel yakıt katkısı olarak kullanılmalarına müsaade ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca restoran artığı iç yağlardan elde edilen biyodizelin daha iyi düşük sıcaklık özelliklerine sahip olduklarını belirtmişlerdir (Foglia, 2002).

Al Widyan ve arkadaşları, hayvansal atık yağların, etil ve metil alkol kullanılarak biyodizele dönüşümlerinin iyileştirilmesi ve değerlendirilmesi üzerinde çalışma yapmışlardır. Elde edilen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, bitkisel yağ esaslı biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre dizel yakıtı değerlerine daha benzer olduğu görülmüş ve elde edilen ürünün iyi bir dizel yakıtı alternatifi olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmada, reaksiyon sıcaklığı, alkol/yağ molar oranı, alkol cinsi ve katalizör cinsi gibi parametreler incelenerek esterleşme reaksiyon veriminin en iyi olduğu koşullar belirlenmiştir. Saf etil alkol kullanılan esterleşme reaksiyonu veriminin bütün miktarlarda, saf metil alkol ile yapılan çalışmalardan daha yüksek olduğu ve en iyi verimin %100 alkol fazlalığının olduğu oranlarda elde edildiği gözlenmiştir. Reaksiyon sıcaklığının, esterleşme verimi ve viskozite üzerinde bir etkiye sebep olmadığı fakat yüksek sıcaklıklardaki reaksiyonlarda maksimum esterleşme için gerekli zamanın azaldığı deneysel olarak görülmüştür. Hayvansal atık yağların esterleşmesinde en uygun sıcaklığın 50 °C olduğu, en uygun reaksiyon zamanının ise 2 saat olduğu deneysel olarak belirlenmiştir (Tashtoush, 2002).

Demirbaş ve Karşlıoğlu, konuyla ilgili şu hususları belirtmişlerdir: Bitkisel ve hayvansal yağların dizel motorlarında kullanılması için piroliz, seyreltme, emülsiyon

ve transesterifikasyon olmak üzere dört farklı yöntem vardır. Bunların arasında bitkisel ve hayvansal yağların transesterifikasyonu çoğunlukla kullanılan yöntemdir. Transesterifikasyon reaksiyonu, katalizör, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi, alkol ve yağın molar oranı, bitkisel ve hayvansal yağın içindeki su ve serbest yağ asitleri miktarından etkilenmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunda serbest yağ asitleri ve su daima katalizör etkinliğinin azalması, katalizörün tükenmesi ve sabun oluşumu gibi olumsuz etkiler yapmakta ve bu da düşük dönüşümler ile sonuçlanmaktadır (Demirbaş A ve Karslıoğlu, 2007).

Behçet ve Çakmak yaptıkları çalışmada dizel bir motorda balık yağı metil esteri karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Yapılan incelemelerde biyodizel miktarı arttıkça dizel yakıtına göre motor momenti, motor gücü, SO₂ ve CO emisyonunda azalma meydana gelirken özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ve NO_x emisyonunda artış meydana geldiği gözlemlenmiştir (Behçet ve Çakmak, 2011).

Altun, hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimini ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ortalama olarak dizel yakıtı kullanıldığında biyodizel ve karışımlarına göre yaklaşık %1 daha yüksek moment elde edildiğini belirtmiş ve bunun nedeninin dizel yakıtının ısı değeri biyodizel ve karışımlarına göre yüksek olmasını sebep göstermiştir. 1000 dev/dak motor devrinde ise en düşük moment değerleri elde edilmiş ve dizel yakıtı kullanıldığında biyodizel ve karışımlarına göre daha düşük moment elde edilmiştir. Düşük motor devirlerinde biyodizel ve karışım yakıtların motor momenti değerlerinin dizel yakıtına göre yüksek olmasının sebebi olarak ise düşük devirlerde biyodizelin yanması için yeterli bir zaman olduğunu belirtmiştir (Altun Ş, 2009).

Özkan M. tarafından yapılan çalışmada atık yağlardan elde edilmiş biyodizelin tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorundaki tork, güç ve yakıt tüketim değerleri belirli çalışma koşulları altında test edilmiştir. Motorun biyodizel ile hiçbir sorun çıkarmadan düzgün şekilde çalıştığı görülmüştür. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında biyodizel %25 enerji kaybına neden olmaktadır. Biyodizelin performans karakteristikleri dizel yakıtına yakın çıkmıştır ve yakıt sistemlerinin yüksek yoğunluk ve yapışma özellikleri nedeniyle biyodizel yakıtları için en uygun hale getirilmesi gerektiği belirtilmiştir (Özkan M, 2005).

Çengelci, tek silindirli hava ile soğutmalı bir dizel motorunda hayvansal yağ metil esteri kullanımının motor performansı ve emisyonlara etkisini incelemiştir. Hayvansal yağların yiyecek sektöründe kullanılması insan sağlığı açısından zararlı olduğunu ve buna ek olarak hayvansal yağlar atık olduğundan biyodizel üretiminde oldukça ekonomik olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada, hayvansal yağların yüksek serbest yağ asidi içermesi sebebiyle ilk olarak asit katalizörlü ve sonrasında bazik katalizörlü olmak üzere iki aşamalı transesterifikasyon yöntemi uygulamışlar ve sonucunda maksimum motor gücünün dizel yakıtı ile 3000 1/min motor devrinde elde edildiğini. 3000 dev/dak motor devrinde, biyodizel kullanımı ile motor gücünde dizel yakıtına göre B100, B50 ve B20’de sırasıyla orantısal olarak %6,27- %1,67 arasında azalma gözlemlendiğini belirtmiştir (Çengelci E, 2011).

Bhatti ve arkadaşları, atık tavuk yağı ve koyun yağından biyodizel üretimi için en iyi şartları araştırmışlardır. Bunun için reaksiyonlarda asit katalizör olarak H_2SO_4 , baz katalizör olarak ise KOH kullanmışlardır. Asit katalizörlü reaksiyonlar için kullanılan yağın ağırlığının %25, %50 ve %100’ü kadar H_2SO_4 , kullanılan yağın ağırlığının 30 katı hacimsel metanol (5 g yağ için 150 mL metanol) kullanmışlar ve dört farklı reaksiyon sıcaklığı ($30^{\circ}C$, $40^{\circ}C$, $50^{\circ}C$ ve $60^{\circ}C$) seçmişlerdir. Baz katalizörlü reaksiyonlar için ise üç farklı metot kullanmışlardır. Birinci metotta, 120 g yağ, 1,8 g KOH ve 33,5 mL metanol kullanılmış ve $30^{\circ}C$ reaksiyon sıcaklığında 1 saat reaksiyon gerçekleştirilmiştir. İkinci metotta, 120 g yağ, 2,5 g KOH ve 24 ml metanol kullanılmış ve oda sıcaklığında 1 saat reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Üçüncü metotta ise 50 gram yağ, 0,5 g KOH ve 11,25 g metanol kullanılmış ve oda sıcaklığında 2 saat reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretiminde 5 g tavuk yağı için en iyi şartlar; reaksiyon sıcaklığı $50^{\circ}C$, yağ/alkol oranı 1:30 ve H_2SO_4 miktarı 1,25 g olarak, aynı şekilde 5 g koyun yağı için optimum şartlar; reaksiyon sıcaklığı $60^{\circ}C$, alkol-yag molar oranı 1:30 ve H_2SO_4 miktarı 1,25 g olarak, Optimum şartlar altında, 24 saatte tavuk ve koyun yağı için sırasıyla $99,01 \pm 0,71$ ve $93,21 \pm 0,71$ ürün eldesi sağlamışlardır. $60^{\circ}C$ sıcaklığın üzerindeki reaksiyon için H_2SO_4 kullanılmamasını önermişlerdir. Çünkü bu sıcaklığın üzerinde sülfürik asidin yağı yakarak ürün eldesini düşürdüğü ifade edilmiştir. Baz katalizörlü reaksiyonlarda ise birinci metot en yüksek ürün eldesini sağlamıştır ($88,14$ tavuk yağı için ve $78,33$ koyun yağı için). Üretilen biyodizellerin bazı özelliklerini ölçmüşler ve bu

özelliklerin uluslararası biyodizel standartlarında olduğunu belirlemişlerdir (Bhatti, 2008).



3. BİYODİZEL VE İMALAT ÇEŞİTLERİ

Biyodizel son dönemlerde Türkiye ve dünyada önemi giderek artan alternatif yakıtların başında gelmektedir.

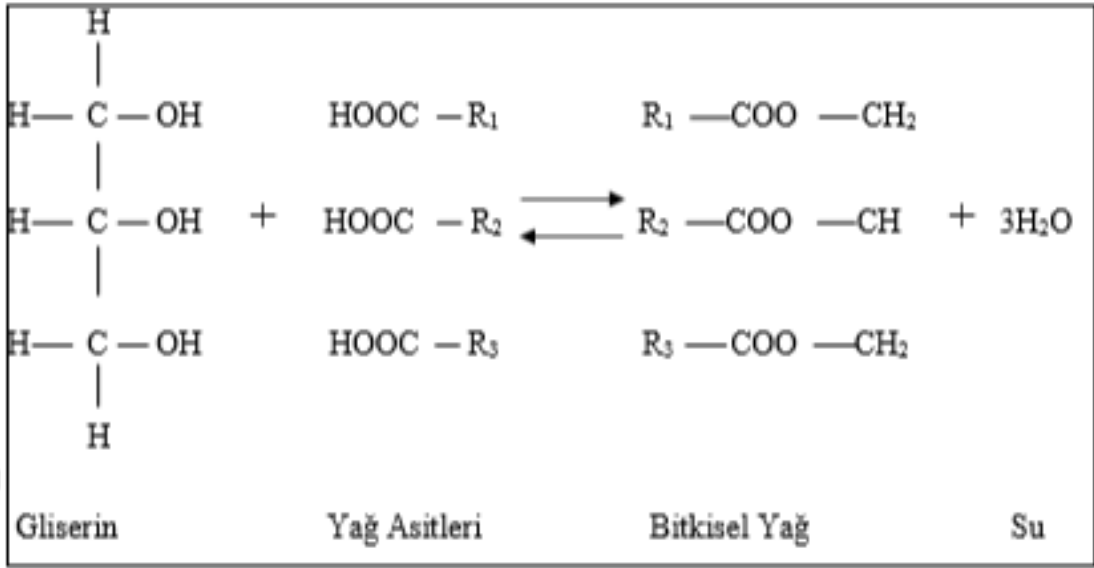
Bu bölümde biyodizelin detaylı tanımına, bitkisel ve hayvansal yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerine, Türkiye ve dünyadaki yağ potansiyellerine ve biyodizel üretim yöntemlerine yer verilmiştir.

3.1 Biyodizel

Biyodizel, kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir, gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde bir alkol ile (metanol, etanol,propanol v.s) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf biyodizel kullanıldığında B100 olarak isimlendirilirken, %20 biyodizel ve %80 dizel yakıtı içeren bir karışım B20, %40 biyodizel ve %60 dizel içeren bir karışım B40 olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca hayvansal ve bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri biyodizelin yakıt özelliklerini etkileyeceğinden önem arz etmektedir.

3.1.1 Bitkisel ve Hayvansal Yağların Özellikleri

Bitkisel ve hayvansal yağlar genellikle %97 trigliseritlerden, %3 monogliserit ve digliseritlerden meydana gelmektedir. Trigliseritler, yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bir başka deyişle trigliserin olarak da adlandırılmaktadırlar (Kafadar,2010).Şekil 3.1’de yağ asitlerinin gliserinle esterleşerek bir yağ molekülünü meydana getirme reaksiyonuna yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi(Kafadar , 2010).

Trigliseritler aynı cins yağ asitlerinden oluşmuşlarsa basit trigliserit, farklı cins yağ asitlerinden oluşmuşlarsa karışık trigliserit olarak adlandırılmaktadır. Yağlar çok büyük oranda trigliseritten oluşmakla birlikte, bünyelerinde az miktarda da olsa monogliserit ve digliserit ihtiva etmektedirler (Artukoğlu, 2006). Yağların fiziksel ve kimyasal yapılarını çok büyük oranda bünyelerindeki yağ asitlerinin cinsileri ve miktarları belirler. Yağ asitlerinin genel formülü $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ şeklindedir. Yağ asitleri, bağ şekillerine göre üç tipe ayrılmaktadır.

- Doymuş yağ asitleri
- Tekli doymamış yağ asitleri
- Çoklu doymamış yağ asitleri

Doymuş yağ asitlerinin yapılarında çift bağlar bulunmayıp sadece tekli bağlar bulunmaktadır. Genel formülleri $\text{R}-\text{COOH}$ 'tır. R hidrokarbon zinciri ve radikal grupları da denilmektedir. Doymamış yağ asitleri yapılarında bir ya da daha fazla çift bağ içeren yağ asitleridir. Yağ asitleri bir tane tek çift bağ içerdikleri zaman tekli doymamış yağ asitleri, birden fazla çift bağ içerdikleri zaman çoklu doymamış yağ asitleri olarak adlandırılır. Bazı yağ asitlerinin karbon ve çift bağ sayıları Çizelge

3.1’de verilmiştir. Ayrıca bazı bitkisel yağların yağ asidi içerikleri Çizelge 3.2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Bazı yağ asitlerinin özellikleri (Artukoğlu, 2006).

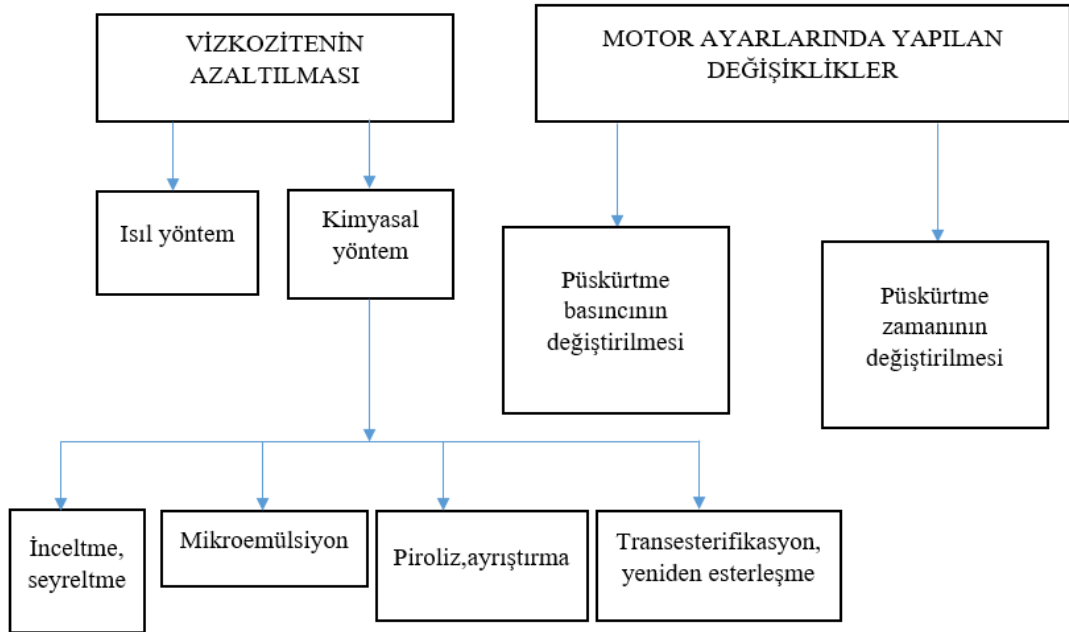
Yağ Asitleri	Karbon ve Çift Bağ Sayısı	Kimyasal Formül	Molekül Ağırlık (g)	Erime Noktası (°C)	Kaynama Sıcaklığı (°C)
Kaprilik	8:0	C ₈ H ₁₆ O ₂	144,23	16,5	239
Kaprik	10:0	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172,27	31,5	269
Laurik	12:0	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200,32	44,0	304
Miristik	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228,38	58,0	332
Palmitik	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256,43	63,0	349
Palmitoleik	16:1	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	254,41	33,0	-
Stearik	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284,43	71,0	371
Oleik	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282,47	16,0	286
Linoleik	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280,45	-5,0	202
Linolenik	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278,44	-11,0	230
Arachidic	20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312,53	75,2	-
Eicosenoic	20:1	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	310,52	23,0	-
Behenik	22:0	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	340,59	80,0	-
Ertisik	22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂	338,58	34,0	-

Çizelge 3.2. Bazı bitkisel yağların yağ asidi içerikleri (Akçay, 2006)

Yağ asidi (X:Y)*	Soya yağı (%)	Zeytin yağı (%)	Fındık Yağı (%)	Mısır yağı (%)	Kolza yağı (%)
Palmitik (16:0)	11,75	13,0	5,9	11,67	3,49
Stearik (18:0)	3,15	3,0	1,27	1,85	0,85
Oleik (18:1)	23,26	71,0	86,32	25,16	64,9
Linoleik (18:2)	55,53	10,0	5,97	60,60	22,30
Linolenik (18:3)	6,31	1,0	0,07	0,48	8,46
Diğer	0	2,0	0,47	0,24	0

* X: Yağ asidinde bulunan karbon sayısını, Y zincirdeki çift bağ sayısı

Bitkisel ve hayvansal yağlardan biyodizel elde etme yöntemleri Şekil 3.2’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Biyodizel elde etme yöntemleri (Akgün, 2009).

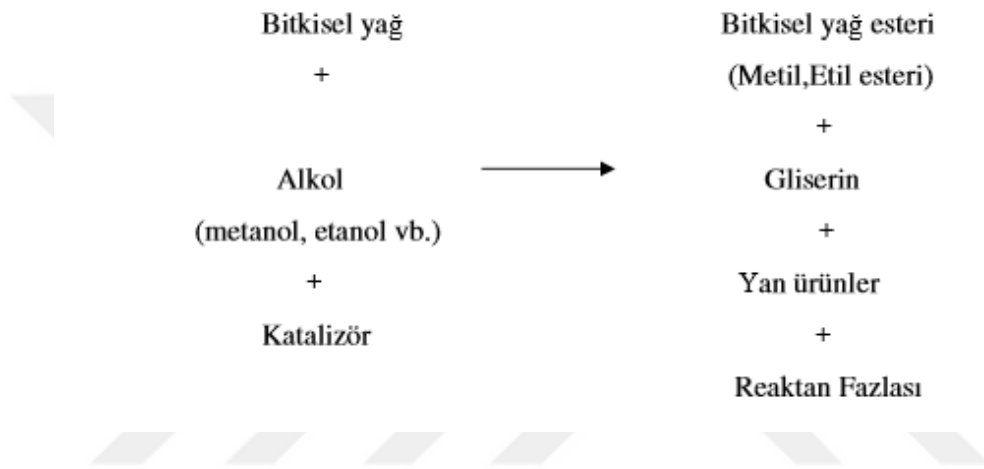
3.1.2 Bitkisel ve Hayvansal Yağlardan Biyodizel Elde Etme Yöntemleri

3.1.2.1 Transesterifikasyon

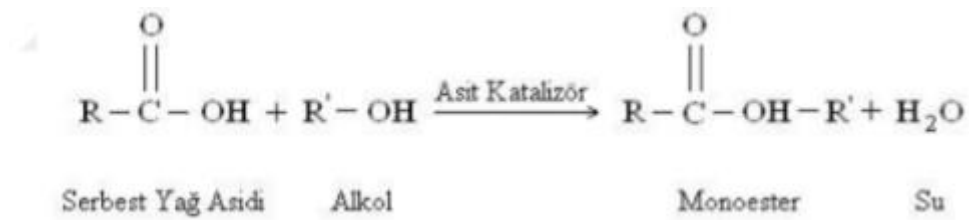
Bitkisel ve hayvansal yağlardan biyodizel üretiminde en çok kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon yöntemi, bir bitkisel ve hayvansal yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkolle asit veya baz katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asidi alkol esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Bitkisel yağlarla transesterifikasyon uygulanması Şekil 3.3'te verilmiştir. Hayvansal yağlardan transesterifikasyon uygulaması genelde iki adımlıdır. İlk adım ön iyileştirme reaksiyonu olarak geçmektedir ve Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

Bir ester molekülünün bir alkol ile etkileşime girerek yeni bir ester molekülü oluşturmaya ester değişimi denir. Bitkisel ve hayvansal yağların içeriğinde bulunan

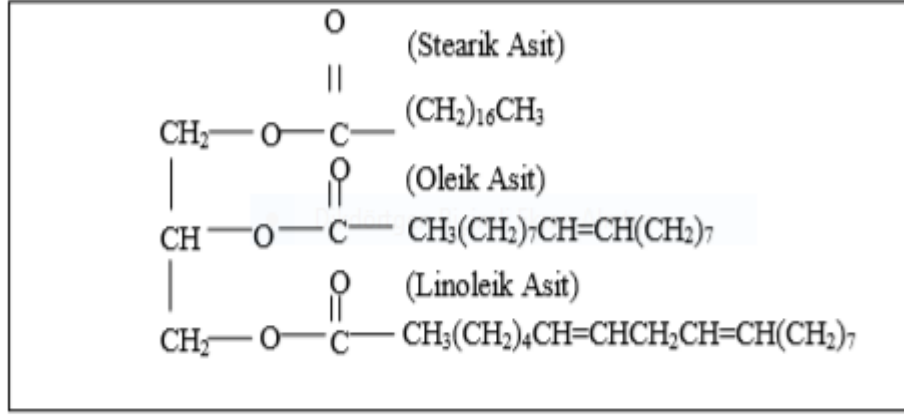
trigliseritler ester yapılı elementlerdir. Trigliseritlerin alkollerle etkileşimi sonucu yeni alkil esterleri oluşur ve bu alkil esterlere biyodizel adı verilir. Trigliserit bileşiminin yapısı Şekil 3.5'te verilmiştir. Katalizör reaksiyon verimini arttırmak için kullanılır. Ester değişimi reaksiyonu bir denge reaksiyonudur. Bu sebeple reaksiyonun yönünü ürünler tarafına kaydırmak için alkol stokiyometrik miktarın üzerinde kullanılır (Ma ve Hanna MA, 1999).



Şekil 3.3. Bitkisel yağın transesterifikasyonu



Şekil 3.4. Ön iyileştirme reaksiyonu.



Şekil 3.5. Triglicerit molekülü

Yapılan denemelerde serbest yağ asidi değeri %1,5- 2’den daha fazlaysa asit giderme işlemi veya asit katalizör (genellikle HCl, H₂SO₄) kullanılmalıdır. Eğer söz konusu miktar belirtilen oranlardan düşükse alkali katalizör (genellikle NaOH, KOH) ile reaksiyon gerçekleştirilir. Yüksek SYA içeren yağlarda ilk olarak asit katalizörün kullanılmasının sebebi SYA değerini %1’in altına düşürerek bazik reaksiyon esnasında sabunlaşmayı önlemektir.

Asit katalizörler baz katalizörlere göre çok daha yavaşlardır. Örneğin; reaksiyon aynı miktarda asit ve baz katalizör kullanıldığında baz katalizör için 4000 kat daha hızlı ilerler. Baz katalizör kullanıldığında oda sıcaklığı yeterli iken asit katalizör kullanıldığında reaksiyon sıcaklığının artırılması gerekir. Baz katalizör için kütleli olarak reaksiyona sokulan yağın %0,1-1’i yeterli iken, bu oran asit katalizör için %3-5’e düzeylerinde olmaktadır. Ayrıca, asit katalizör kullanıldığında kullanılması gereken alkol miktarının da artması gerekir. Baz katalizör ile 6:1’lik oranında elde edilen ester dönüşümünü aynı süre içinde asit katalizör ile elde etmek için 30:1’lik bir oran gerekebilir. Yukarıda anlatılan bu olumsuz özellikler sebebiyle biyodizel üretiminde genellikle baz katalizör tercih edilir (Çildir O ve Çanakçı, 2006).

Hayvansal yağlarda SYA değeri genelde %1’in üzerinde olduğundan iki adımlı transesterifikasyon yöntemi tercih edilir. Yöntemde ilk adımda asit katalizör kullanılırken ikinci adımda baz katalizör kullanılmaktadır. İlk adıma literatürde genel olarak ön hazırlık ve ön iyileştirme denilmektedir. Ön hazırlık işleminde yağ ve alkol asit katalizör eşliğinde reaksiyona sokulduktan sonra, reaksiyon sonucunda monoester ve su oluşmaktadır. Su oluşumu sebebiyle ikinci adıma geçmeden önce karışım belirli bir sıcaklıkta belirli bir süre suyu uzaklaştırmak için ısıtılmalıdır.

3.1.2.2 Piroliz

Piroliz yönteminde, moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere ayrıştırılmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite azalmakta, fakat işlemler ilave masraflar gerektirmektedir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birisi, bitkisel yağları ısı etkisiyle kapalı bir kapta parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile bitkisel yağları ısı parçalanma etkisinde tutmaktır. Isı etkisiyle parçalanmış bitkisel yağın özellikleri dizel yakıtıninkine daha yakındır (Çengelci E, 2011).

3.1.2.3 İnceltme

Bu yöntemde bitkisel yağlar veya atık kızartma yağları belirli miktarlarda petrol kökenli dizel yakıtı ile karıştırılır. Bir yandan kullanılan yağın viskozitesi düşürülmüş olurken, diğeri yandan da petrol kökenli dizel yakıtı kullanımı azaltılmış olur. Uygulamalarda yaygın olarak kullanılan B20 yakıtı, dizel yakıtı içerisine %20 miktarında bitkisel yağ eklenerek elde edilir. Bu şekilde elde edilen yakıtın petrol kökenli dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performansının da dizel yakıtına eşdeğer olduğu saptanmıştır.

Seyreltme yöntemi uygulamalarında en çok kullanılan bitkisel yağlara örnek olarak ayçiçeği, soya, aspir, kolza, yerfıstığı yağı ve kullanılmış kızartma atık yağları verilebilir (Altun Ş, 2005).

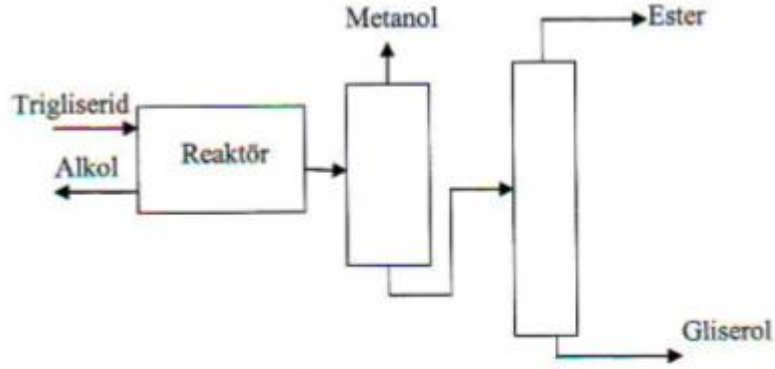
3.1.2.4 Mikroemülsiyon Oluşturma

Mikroemülsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bitkisel yağların viskozitesini azaltmak için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturulmaktadır.

Böylece viskozite değeri düşmektedir. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları üretmek mümkün olabilmektedir (Altun Ş, 2005).

3.1.2.5 Süper kritik Yöntem

Süper kritik yönteminde Şekil 3.6’da görüldüğü gibi işlem, transesterifikasyon yönteminden farklı olarak katalizör kullanmadan 350°C gibi yüksek sıcaklık değerlerinde, 240 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşmektedir (Öğüt, 2006).



Şekil 3.6. Süperkritik yöntemin prensip şeması (Öğüt, 2006)

3.1.3 Biyodizel Standartları

Biyodizel saf ve petrol dizeli-biyodizel karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki paragraftaki gibi adlandırılmaktadır.

B5: %5 biyodizel + %95 dizel, B20: %20 biyodizel + %80 dizel, B50: %50 biyodizel + %50 dizel, B100: %100 biyodizel

Petrol kökenli dizel ve biyodizel yakıtlar için mevcut 4 standart bulunmaktadır. Bunlar Çizelge 3.3’te verilen EN 590, DIN 51606, EN 14214, EN 14213 standartlarıdır (Erdoğan, G. 2003).

Biyodizel için EN 14214 Avrupa Birliği Standardı ve ASTM D 6751 Amerikan D Standardı yürürlüktedir. Türkiye’de EN 590, EN 14214 ve EN 14213 standartları temel alınarak Türk Standartları hazırlanmıştır. Bu standartlar kısaca Çizelge 3.3’te açıklanmıştır.

Çizelge 3.3. Amerika (ASTM D6751) ve Avrupa (EN 14214) biyodizel standartları

Özellikler	Birim	(EN 14214)	ASTM D6751-11b	Standartlar
Yoğunluk (15°C)	kg/m ³	860 – 900	-	EN ISO 12185
Parlama Noktası	°C	101 dak.	93 min.	EN ISO 3679 D93
Viskozite (40°C)	mm ² /s	3,5 – 5,0	1,9 – 6,0	EN ISO 3104 D445
Setan Sayısı		51 dak.	47 min.	EN ISO 5165 D613
Sülfür İçeriği S15 S500		-	15 mak. 500 mak.	D5453 D5453
Soğuk Filtreleme -12°C altında	saniye	-	360 mak. 200 mak.	D7501 D7501
Serbest Gliserin	% (kütleli)	0,02 mak.	0,02 mak.	EN 14105 D6584
Asit Değeri	mgKOH/g	0,50 mak.	0,50 mak.	EN 14104 D664
Fosfor İçeriği	mg/kg	4 mak.	10 mak.	EN 14107 D4951
Distilasyon %90 Geri Kazanım	°C	-	360 mak.	D1160
Toplam Gliserin	% (kütleli)	0,25 mak.	0,24 mak.	EN 14105 D6584
Sülfat Külü İçeriği	% (kütleli)	0,020 mak.	0,020 mak.	EN ISO 3987 D874
Karbon Kalıntısı (%100 Biyodizel)	% (kütleli)	0,30 mak.	0,050 mak.	EN ISO 10370 D4530
Bakır Şerit Korozyon (3h,50°C)	korozyon derecesi	No 1 mak.	No 3 mak.	EN ISO 2160 D130
Oksidasyon Stabilitesi (110°C)	saat	8 min.	3 min.	EN 15751 EN1112
Gurup I Metaller (Na+K)	mg/kg	5 mak.	5 mak.	EN14538
Gurup II Metaller (Ca+Mg)	mg/kg	5 mak.	5 mak.	EN 14538
Bulutlanma Noktası	°C		Bölgesel	D 2500
Monoglisarit	% (kütleli)	0,80 mak.	-	EN 14105
Metanol İçeriği	% (kütleli)	0,20 mak.	-	EN 14110
Diglisarit	% (kütleli)	0,20 mak.	-	EN 14105
Triglisarit	% (kütleli)	0,20 mak.	-	EN 14105
Ester İçeriği	% (kütleli)	96,5 min.	-	EN 14103
(≥ 4 Çift Bağ) Metil Ester içeriği	% (kütleli)	1 mak.	-	EN 15779
Linolenik asit metil ester içeriği	% (kütleli)	12,0 mak.	-	EN 14103
İyot Değeri	g I.100/g	120 mak.	-	EN 14111
Toplam Kirlilik	mg/kg	24 mak.	-	EN 12662
Su İçeriği	mg/kg	500 mak.	-	EN ISO 12937

3.1.4 Dünyada Biyodizel

1980'li yıllara girdiğimizde özellikle Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde küçük çapta da olsa biyodizel üretimine başlanmıştır. İlk olarak biyodizel için belli bir norm olmaması ve üretimin şimdiki tekniklere göre ilkel sayılabilecek şekilde yapılması sonucunda çok kaliteli olmayan biyodizel üretilmiştir. Daha sonra gelişen biyodizel teknolojisi ve biyodizele bir standart getirilmesi ile iyi kalitede biyodizel üretimine başlanmıştır. Günümüzde yapılan araştırmalar ve deneyler sonucunda biyodizel için Almanya'da DIN 51606 ve ABD'de soya bitkisinden elde edilen biyodizel için ASTM'nin normları mevcuttur. Bu normlara uygun üretilmiş biyodizel sorunsuz bir şekilde kullanılmaktadır. Şu an itibariyle, çoğu büyük ülkeler başta olmak üzere 36'yı aşkın ülkede biyodizel üretimi söz konusudur.

Almanya'da yıllık biyodizel üretimi 1.200.000 ton civarındadır ve hali hazırda %100 biyodizel içeren araç yakıtı 1900'ü aşkın benzin istasyonunda kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Almanya için geçerli norm DIN 51606 sayılı normdur. 1996 yılından itibaren piyasaya sürülen VW ve AUDI motorlu araçların hepsinde ve Mercedes kamyonlarında biyodizel kullanımı tamamıyla serbest bırakılmıştır. Taksi amaçlı kullanılan Mercedes otomobillerde de kullanımı serbesttir. Bunu takip ederek diğer markalar da biyodizel kullanımını onaylamış ve serbest bırakmıştır.

Avusturya'da yıllık biyodizel üretimi 850.000 ton seviyelerine yaklaşmıştır. Biyodizelin petrol kaynaklı dizel ile %2 oranında karıştırılması devlet tarafından tavsiye edilmektedir. Ayrıca Avusturya ve Almanya'da da biyodizel için fosil yakıt vergisi alınmamaktadır.

Çek Cumhuriyeti'nde irili ufaklı işletmelerde toplam 200.000 ton/yıl civarında biyodizel üretimi söz konusudur. Benzin istasyonlarında %30 biyodizel + %70 motorin karışımı bionafta adı ile daha ucuza satışa sunulmaktadır.

Fransa'da ise biyodizel üretimi 600.000 ton/yıl üzerindedir. Benzin istasyonlarında %5 biyodizel + %95 motorin karışımı kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu %5'lik kısım fosil yakıt vergisinden muaftır ve her yıl bu oran arttırılmaktadır. İtalya'da 1999 yılına kadar 125.000 ton 7 yıl vergiden muaf bir

kota bulunmaktaydı. Şu anda biyodizel üretim kapasitesinin ancak %15'i değerlendiriliyor. Bu kotanın kalkmasıyla birlikte biyodizel üretiminde artış olacağı kesindir. Ayrıca, İtalyan hükümetinin 100.000'den fazla nüfuslu belediyelerinin kullandığı araçlarda alternatif enerji kaynaklı yakıtlarının kullanımı tavsiyesi bulunmaktadır.

ABD'de özellikle soya bitkisinin yağından biyodizel üretimi söz konusudur. ASTM kuruluşunun normlarına uygun biyodizel araçlarda yakıt olarak sorunsuz bir şekilde kullanılabilir.

Belçika'da ise yıllık olarak biyodizel üretimi 400.000 ton civarındadır. Danimarka'da 30.000 ton/yıl kapasiteli, İspanya'da ise 50.000 ton/yıl kapasiteli birer işletme plan aşamasındadır.

Ülkemizde ise petrol kaynaklarının yetersiz olması ve sık sık yaşanan enerji krizleri, alternatif enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Biyodizelin ülkemizde kullanılır hale getirilmesi gerek tarım gerekse otomotiv sektörümüzü ekonomik olarak iyileştirecektir. Bunlar göz önüne alınarak, bu konuda bilinçli politikalar oluşturulmalı ve biyodizel üretimi devreye alınmalıdır. Türkiye'de biyodizel lisansı olan kayıtlı 34 adet firma bulunmaktadır.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), tekrar bir karar alarak 16 Haziran 2017 tarih ve 30098 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan tebliği ile motorine binde 5 biyodizel harmanlanmasına ilişkin bir tebliği yayımlamıştır. Tebliğ uyarınca, petrol kökenli dizel yakıtına 1 Ocak 2018'den itibaren binde 5 oranında yerli tarım ürünlerinden ve bitkisel atık yağlardan elde edilmiş biyodizel (YAME yağ asidi metil ester) ilave etmek zorunluluğu getirilmiştir (Öztürk M, 2018).

3.1.5 Türkiye'de Biyodizel

Biyomotorin Türkiye'de mevcut imkanlarla uygulamaya konulabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biridir. Ülkemizde kara taşımacılığının büyük bir bölümünde ve deniz taşımacılığında dizel motorlu taşıtlar tercih edilmektedir. Ayrıca endüstride jeneratörler için ciddi bir miktarda petrol kökenli dizel yakıtı

kullanılmaktadır. Buna rağmen petrol tüketimimizin ancak %15'i yerli üretimle karşılanabilmektedir. Petrol ürünleri tüketimi için de ise en büyük payı %34 ile dizel yakıtı almaktadır. Biyomotorin kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleşecektir. Biyomotorin üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye biyomotorin üretimi gerçekleştirecek teknolojiye ve yakıtın kullanımına kolaylıkla uyum sağlayabilir bir ülke konumundadır (Ülker B, 2007).

Çeşitli kapasitelerde biyodizel üretim tesisleri öncelikle kırsal kesimde konumlandırılarak, tarım makinelerinin, kamyonların biyodizel yakıtını kullanmalarını sağlanabilir. Ayrıca taşıt kaynaklı hava kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerde toplu taşımacılıkta biyodizel kullanımı tercih edilmesi çok yararlı olacaktır. İlk aşamada petrol kökenli dizel yakıtına, %5-20 değişen oranlarında biyodizel katılarak kullanmak yakıtı kademeli geçişi sağlayacaktır (Çengelci E, 2011).

Biyodizel üretiminde bitkisel yağlar, hayvansal ve bitkisel atık yağlar kullanılmaktadır. Bitkisel ve hayvansal atık yağlar geri kazanılabilir önemli enerji kaynaklarıdır. Türkiye'de yaklaşık olarak yılda 300 000 ton bitkisel ve hayvansal atık yağ oluşmaktadır. Bir litre atık yağdan bir litre biyodizel üretilabilmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Tavuk Yağından Biyodizel Üretilmesi, Üretimde Kullanılan Materyaller ve Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi

Bu kısımda tavuk yağından biyodizel üretimi için kullanılan kimyasallardan bahsedilmiş ve üretilen biyodizelin yakıt özellikleri belirlenmiş, ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğu araştırılmıştır.

4.1.1 Hassas Terazi

Biyodizel üretim deneyleri sırasında kullanılan kimyasalların oranlara uygun olarak hassas bir şekilde tartılması için, Şekil 4.1 de fotoğrafı görülen Ohaus-Pioneer markalı hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Ohaus-Pioneer hassas terazi

4.1.2 Manyetik Karıştırıcı, Sıcaklık Kontrollü Isıtıcı (Hot Plate)

Biyodizel elde etmek için çözelti hazırlama aşamasında çözeltileri ısıtmak ve sıcaklıklarını belirli değerde sabit tutmak için Şekil 4.2’de fotoğrafı görülen Heidolph marka, MR Hei-Tec model ısıtıcıly manyetik karıştırıcıly, % ± 2 hız hassasiyetly, 30-1400 d/dak hız aralığında çalışabilyen, sıcaklık kontrollü ısıtıcı kullanılmıştır. Şekil 4.3’te manyetik karıştırıcı (balık) verilmiştir.



Şekil 4.2. Manyetik karıştırıcıly, sıcaklık kontrollü ısıtıcı



Şekil 4.3. Manyetik karıştırıcı (Balık)

4.1.3 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Biyodizel üretim aşamasında alkol olarak metanol (CH_3OH , Merck, %99,9 saflık), katalizör olarak sülfürik asit (H_2SO_4 , SIGMA-ALDRICH, %95-97 saflık), toluen ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$), fenoltalein (CARLO ERBA), 2-Propanol (SIGMA-ALDRICH), Potasyum hidroksit (KOH) ve yıkama suyu olarak damıtılmış saf su kullanılmıştır.

4.1.4 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Tavuk Rendering Yağı ve Özellikleri

Biyodizel üretiminde kullanılan tavuk rendering yağı Bolu’da bulunan Erpiliç Etlik Piliç Kesimhanesi Rendering tesislerinden temin edilmiştir. Temin edilen tavuk yağı içerisinde olabilecek reaksiyona etki edebilecek suyun uzaklaştırılması için 110°C ’de 1 saat ısıtılmıştır. Sonrasında ise içerisinde herhangi bir çözünmeyen madde (kemik, et parçaları v.s) kalmaması için filtre edilmiştir. Rendering tesislerinden elde edilen hayvansal yağların serbest yağ asit değeri genellikle %5 ile %25 arasındadır (Canakci, 2001). Hayvansal yağların SYA değerinin yüksek olması baz katalizörle reaksiyona girdiğinde sabunlaşmaya neden olmakta bu da ester elde edilmesini etkilemektedir. Bu nedenle araştırmacılar baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılacak yağların SYA değerinin %1’in altında olmasını önermektedirler (Freedman B, 1984).

Tavuk rendering yağı içerisindeki su uzaklaştırıldıktan ve filtre edildikten sonra bazı özellikleri (yoğunluk, vizkozite, SYA değeri) ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Tavuk rendering yağı özellikleri

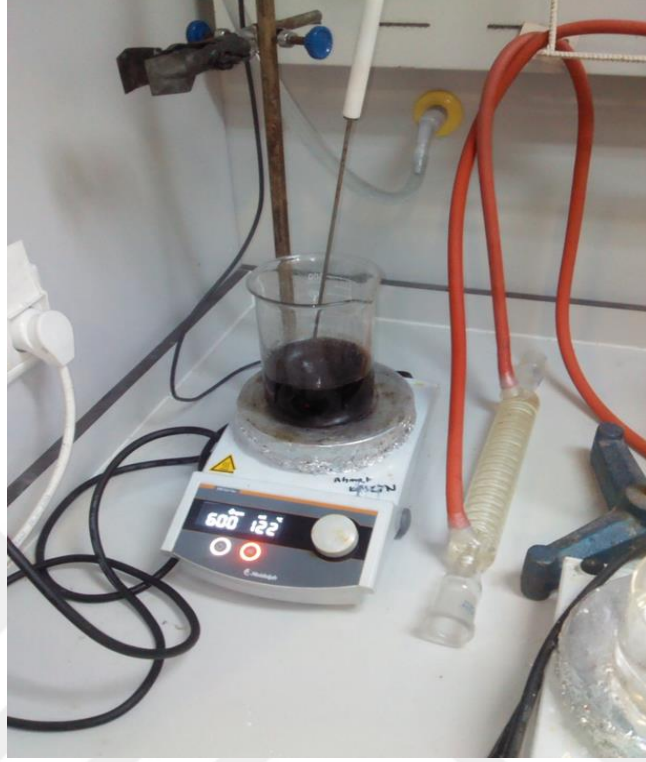
Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	kg/m ³	899,6
Vizkozite(40°C)	mm ² /s	37,4
Asit Değeri	mg KOH/g	5,2

4.1.5 Biyodizel Üretim Şekli

Bu yüksek lisans tezinde tavuk rendering yağının SYA değerinin %1’den fazla olması sebebiyle iki aşamalı esterifikasyon yöntemi tercih edilmiştir. İlk aşamada tavuk rendering yağının SYA miktarını %1’in altına düşürmek için asit katalizörlü H₂SO₄ esterifikasyon yöntemi tercih edilmiştir. İkinci aşamada ise KOH transesterifikasyon yöntemiyle reaksiyon tamamlanmıştır.

4.1.5.1 Ön İyileştirme

Ön iyileştirme reaksiyonunda katalizör olarak asit katalizör H₂SO₄ ve alkol olarakta metanol (metil alkol) kullanılmıştır ve deneyler laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir. Katalizör miktarı, alkol-yağ molar oranı yağın içerdiği SYA değerine göre hesaplanmıştır. İlk olarak tavuk yağı içindeki suyun uzaklaştırılması için 110°C’de 1 saat kaynatılmıştır. Şekil 4.4’te yağın içinden suyun uzaklaştırılması işlemi, Şekil 4.5’te ise asit katalizörlü esterifikasyon gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Tavuk Yağından Suyun Uzaklaştırılması



Şekil 4.5. Asit katalizörlü esterifikasyon (1.Adım)

Sülfirik asit ve metanol çözeltisi 40°C’de 30 dakika karıştırılmıştır. Sonrasında tavuk rendering yağı reaksiyon kabına konulmuştur ve 63°C’ye gelene kadar 600d/dk.’da karıştırılmıştır. İstenilen dereceye ulaşıldıktan sonra sülfirik asit-metanol karışımı 63°C’deki yağa eklenmiştir. Daha sonra karışım aynı sıcaklıkta 1 saat karıştırılmaya devam edilmiştir ve bir gün ayırma hunisinde bekletilmesinin neticesinde iki faza ayrılmıştır. Alt faz alkol-asit-su karışımı iken üst faz ise reaksiyona girmemiş yağlardan ve esterleşmiş yağ asitlerinden oluşmuştur. Daha sonra üst faz ayrıldı ve örnekler katalizör kalıntılarını çıkarmak için 4 kez 65 °C’de saf su ile yıkanmıştır. Bu adımda ağırlıkça yağın %2’si kadar sülfirik asit ve 11:1 metanol/yağ oranında 1 saat süreyle 63°C’de reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Bu aşamanın sonrasında, tavuk rendering yağı SYA oranı %0,49 seviyesine düşürülmüştür ve bu değerin alkali katalizörle reaksiyonun tamamlanması için uygun şekli aldığı görülmüştür.

4.1.5.2 Transesterifikasyon

Transesterifikasyon yöntemi olan ana reaksiyonda ise yağın içerdiği SYA değerine göre 6:1 molar oranda alkol:yağ oranı seçilmiştir. Bu reaksiyon KOH baz katalizör ile devam ettirilmiştir. Katalizör miktarı olarak ağırlıkça %1 KOH tercih edilmiştir. Reaksiyon 1 saat 63°C’de gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6).

Transesterifikasyon reaksiyonu için takip edilen işlem, kullanılan katalizör dışında ön iyileştirme reaksiyonundaki işlem ile aynıdır.

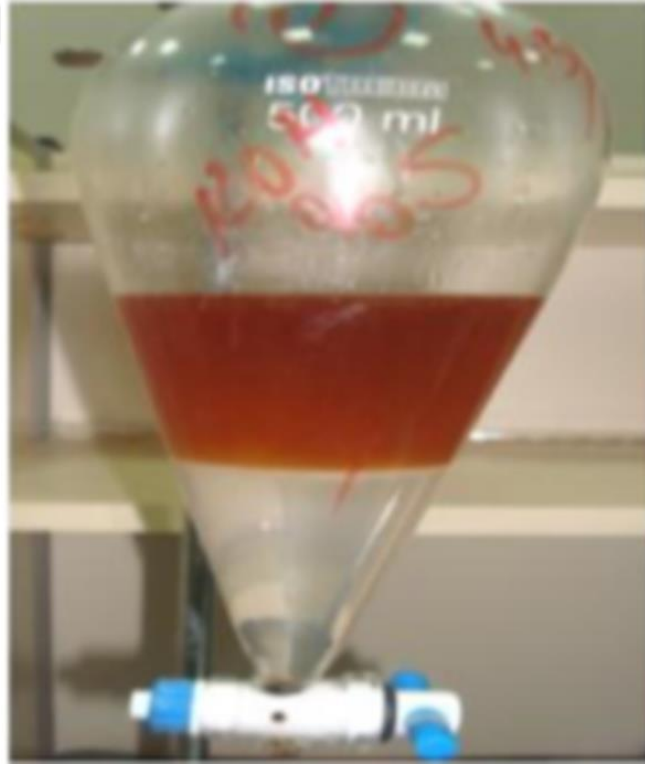
Daha sonra ise gliserin ayırma hunisi kullanılarak ayrıldı ve ester, transesterifikasyon reaksiyonunun sonunda dört kez 65°C’de saf suyla yıkanmıştır (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). Metil ester daha sonra 110°C’de karışımındaki fazla alkolleri ve suyu çıkarmak için ısıtma işlemine maruz bırakılmıştır.



Şekil 4.6. Transesterifikasyon reaksiyonu



Şekil 4.7. Transesterifikasyon sonrası faz ayrışımı



Şekil 4.8. Transesterifikasyon sonrası yıkama işlemi

4.1.6 Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi

Üretimi yapılan metil esterin yakıt özellikleri biyodizel standartlarından EN 14214 ve ASTM D6751'e göre karşılaştırıldı. Biyodizelin karbon içeriği, su içeriği, ester içeriği, metanol içeriği, monogliseric, digliseric ve trigliseric, serbest gliserin ve toplam gliserin değerleri Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Petrol Araştırma ve Analiz Laboratuvarlarında ölçülmüştür. Metil esterin diğer değerleri ise Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK-MAM)'da belirlenmiştir. Metil esterin yakıt özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tavuk rendering yağı biyodizeli yakıt özellikleri

Özellikler	Birim	EN 14214	ASTM D671-15	Test Metodu	TRYB(B100) Sonuçları
Setan Sayısı	-	51<	47 <	-	53,2
Parlama Noktası	°C	101<	130<	EN ISO 3679	182,5
Sülfür İçeriği	mg/kg	<10,0	<15,0	EN ISO 20846	6,2
Yoğunluk (15°C'de)	kg/m ³	860-900		EN ISO 12185	882,1
Fosfor İçeriği	mg/kg	<4	<10	EN 14107	<4
Asit içeriği	mg KOH/g	<0,50	<0.50	EN 14104	0,23
Su İçeriği	mg/kg	<500		EN ISO 12937	465
Metanol İçeriği	% (kütle)	<0,20	<0,20	EN 14110	<0,01
Kinematik viskozite (40°C'de)	mm ² /s	3,5–5,0	1,9–6,0	EN ISO 3104	4,294
Serbest Gliserin	% (kütle)	<0,02	<0.02	EN 14105	<0,001
Sülfat İçeriği	% (kütle)	<0,020	<0,020	ISO 3987	0,0021
Toplam Gliserin	%(kütle)	<0,25	<0.24	EN 14105	0,062

4.1.8 Testlerde Kullanılan Dizel Yakıtının Özellikleri

Testlerde kullanılan dizel yakıtı bir yakıt istasyonundan temin edilmiş olup petrol dizeli yakıtına ait bazı özellikler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Petrol dizeli yakıt özellikleri

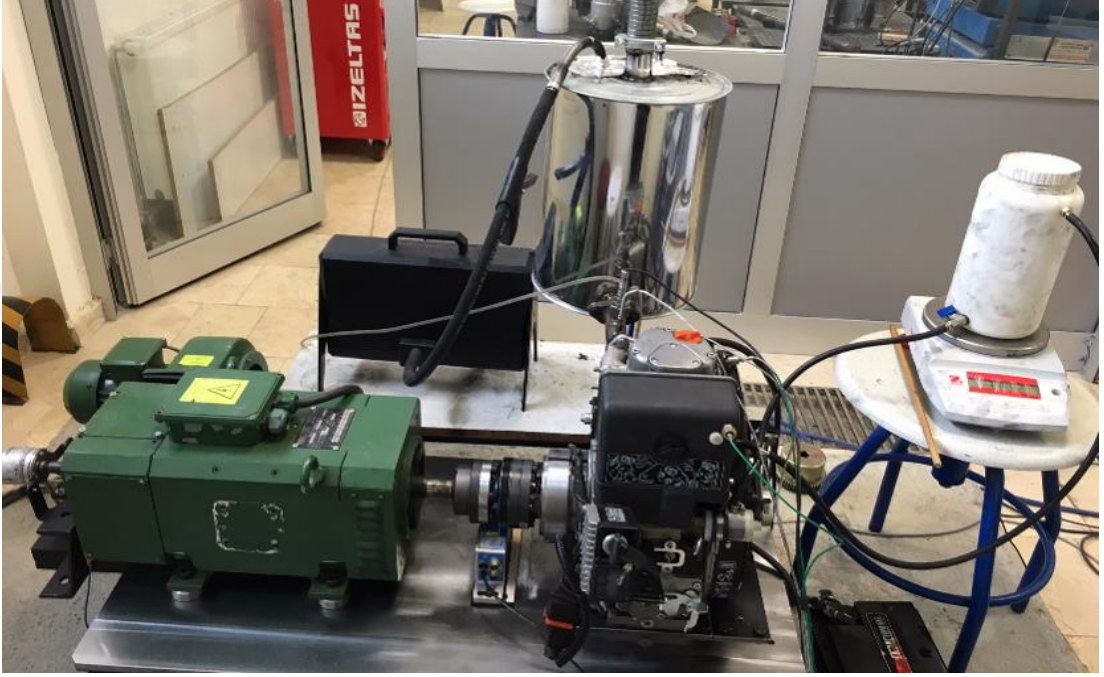
Özellikler	Birim	Değerler
Setan Sayısı	-	58,8
Yoğunluk	kg/m ³	831,5
Kinematik vizkozite	mm ² /s	2,4
Alt Isıl Değer	MJ/kg	43,2

4.2 Motor Performans, Egzoz Emisyon ve Yanma Karakterizasyonu Testleri

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında üretilen tavuk rendering yağı biyodizeli (TRYB) normal dizel ile, bir silindirli bir dizel motorda egzoz emisyon, performans ve yanma karakterizasyon testlerine tabi tutulmuştur.

Elde edilen tavuk rendering yağı biyodizeli (TRYB), referans yakıt olarak da kullanılan petrol kökenli dizel yakıtı (B0) ile hacimsel olarak %10, %20, %50 değerlerinde karıştırılarak B10, B20, B50 yakıt karışımları elde edilmiş ve motor testlerine tabi tutulmuştur.

Elde edilen biyodizelin yanma karakteristikleri, motor performans ve emisyon değerlerinin belirlenebilmesi için Şekil 4.9’da fotoğrafı ve Şekil 4.10’da Şematik görünümü verilen motor test düzeneği kullanılmıştır. Yakıt karışımlarının motor testleri kısmi yükler altında 5 Nm ve 10 Nm değerlerinde 2000 dev/dak sabit devirde teste tabi tutulmuştur.



Şekil 4.9. Motor test düzeneği fotoğrafı (Türk Ő,2018)

Çizelge 4.4. Test motorunun teknik özellikleri

Model	Lombardini 15 LD 350
Maksimum güç	5,5 kW/3600 dev/dak
Maksimum tork	16,6 Nm/2400 dev/dak
Çap x kurs	82 mm x 66 mm
Silindir hacmi	349 cm ³
Sıkıştırma oranı	20,3/1
Enjeksiyon pompa tipi	QLC tipi
Enjektör memesi	0,22 x 4 delik x 160°
Enjektör iğnesi kalkma basıncı	207 bar
Yakıt püskürtme avansı(°KMA)	20° ÜÖNÖ
Emme supabı açık/kapalı(°KMA)	10° ÜÖNÖ/42° AÖNS

4.2.2 Dinamometre

Dinamometre kuvvet ölçmeyi sağlayan ölçüm cihazlarına verilen addır. Deney setinde motor çıkışından sonra hemen torkmetrenin ardındadır ve deney setinde kısmi yüklerde çalışma yapabilmek için motora yükünü ayarlamak ve kuvvet ölçebilmek için kullanılmıştır. Deneylerde KEMSAN marka 15 kW güce sahip eddy-current dinamometresi kullanılmıştır. Frenleme özelliği elektriksel indüksiyon işlemi ile sağlanır.

4.2.3 Tork Ölçüm Ünitesi

Tork, kuvvet momenti veya dönme momentidir. Bir kuvvetin nesnenin ekseninde dönme eğilimidir. Uygulanan kuvvet itme veya çekme olabilir. Deneylerde 20 Nm ve 200 Nm olarak ölçüm sınırları değiştirilebilen, flanşla motor

mili üzerine monte edilebilen, rotor ve statörden oluşan Şekil 4.12’de resmi görülen Kistler marka, 4550 A model tork ölçüm ünitesi kullanılmıştır.



Şekil 4.12. Tork ölçüm ünitesi.

4.2.4 Egzoz Emizyon Analiz Cihazı ve Is Ölçer

Deneylerde, egzoz gaz emisyonlarını ve is emisyonlarını ölçmek için, Şekil 4.13’de fotoğrafı ve Çizelge 4.5’te özellikleri görülen Mobydick marka 5000 Kombi model egzoz gazı analizörü ile Mobydick marka is ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.13. Egzoz gaz emisyon cihazı

Çizelge 4.5. Egzoz gaz analiz cihazı ve is ölçerin özellikleri

	Aralık	Hassasiyet
NOX (ppm)	0-5000	1
İs Emisyonu(%)	0-100	0,1

4.2.4 Silindir Basınç Sensörü

Silindir basıncını ölçmek için Şekil 4.14'te resmi görülen Kistler marka A3 6052C model basınç sensörü ve 5064 şarj amplifikatörü kullanıldı.



Şekil 4.14. Silindir basınç sensörü ve amplifikatörü

4.2.5 Yakıt Hattı Basınç Sensörü

Yakıt hat basıncını ölçmek için bir Kistler 4065B piezorezistiv sensör ve bir 4665 yükseltici kullanıldı (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Yakıt hattı basınç sensörü ve yükseltici.

4.2.6 Enkoder

Krank açısını, üst ölü noktayı ve motor devrini belirlemek için kullanılan cihaza enkoder denir. Şekil 4.16’da resmi görülen Kistler marka 2614B model enkoder krank miline bağlandı ve ölçümler yapıldı.



Şekil 4.16. Enkoder

4.2.7 Veri Toplama Sistemi (Kistler KiBox)

Yakıt hattı basınç ve silindir basıncı verileri 0,1 derece krank açısı ile kaydedildi. Tüm sinyaller, Şekil 4.17’de resmi görülen Kistler KiBox veri toplama sistemi kullanılarak işlendi ve kaydedildi.



Şekil 4.17. Veri toplama cihazı (Kistler KiBox)

4.2.8 Bilgisayar

Cihazların birbirleriyle koordineli bir şekilde çalışmasını sağlamak ve kontrol etmek amacıyla HP marka bilgisayar kullanılmıştır.

4.3 Elde Edilen Sonuçlara Göre Motor Performans Parametrelerinin Hesaplanması

Biyodizel karışımlarının dizel motorda performans, yanma ve emisyon karakteristiklerini belirleyebilmek için testlerde elde edilen veriler ile efektif güç, özgül yakıt tüketimi (ÖYT), efektif verim, sıcaklık değişimleri, silindir basıncı, ısı salınımı verileri ölçülmüş ve grafikler haline getirilmiştir. Bunun için aşağıdaki başlıklarda verilen yöntem ve formüller kullanılmıştır.

4.3.1 Motor Torkunun (Momentinin) Belirlenmesi

Moment ya da diğer adıyla tork, motor devriyle birlikte bir motorun iş yapabilme kabiliyetini belirleyen bir parametredir. Motor momenti, motorun krank miline uygulanan döndürme momenti olarak tanımlanmaktadır.

Deneylerde 20 Nm'ye kadar ve 200 Nm'ye kadar opsiyonlu olarak ölçüm yapılabilen, flanşla motor mili üzerine monte edilebilen, rotor ve statörden oluşan Kistler 4550 A model tork ölçüm ünitesi kullanılmıştır. Tork ölçüm ünitesinden veri toplama sistemi aracılığıyla bilgisayara aktarılarak motor tork değeri bilgisayardan doğrudan okunup kaydedilmiştir.

4.3.2 Efektif Gücün Hesaplanması

Efektif güç motor volanından alınan faydalı güçtür. Motor momenti ve açısal hıza bağlı olarak değişmektedir. Efektif güç aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$P_e = \omega \times M_d \quad (4.1)$$

Motor devri (n), (d/d) biriminden olduğu için açısal hız şu şekildedir;

$$\omega = (2 \times \pi \times n / 60) = \pi \times n / 30 \text{ (1/s)} \quad (4.2)$$

Açısal hız, Denklem (4.1)'de yerine koyulur ve birim kW olarak hesaplanırsa;

$$P_e = (\pi \times n / 30) \times (M_d \times 10^{-3}) \quad (4.3)$$

$$P_e = n \times M_d / 9549,58 \text{ (kW)} \quad (4.4)$$

olarak elde edilir.

Burada; P_e : Efektif güç (kW) ω : Açısal hız (rad/s) n : Motor devri (dev/dak) olarak ifade edilmektedir.

4.3.3 Isıl Verimin Hesaplanması

İçten yanmalı motorlarda bir çevrimde motora sürülen yakıtın bir kısmı yanmamakta ve egzoz yoluyla atılmaktadır. Isıl verim, motordan alınan faydalı gücün motora sürülen enerji miktarına oranı olarak ifade edilmektedir. Buna göre ısı verim aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$\eta_t = P_e / Q_g \quad (4.5)$$

Bu formülde Q_g , motora sürülen enerji miktarıdır. Denklem (4.5) birim zaman için yazılacak olursa ve yakıtın alt ısı değeri (H_u) dikkate alınır aşağıdaki formül elde edilmektedir;

$$\eta_t = P_e / Q_g = P_e / m_y \times H_u \quad (4.6)$$

Bu formülde;

η_t : Isıl verim

m_y = Yakıt tüketimi (g/s)

olarak ifade edilir.

4.3.3.1 Özgül Yakıt Tüketiminin Hesaplanması

Özgül yakıt tüketimi, motorun birim enerji için harcadığı yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. Motor testlerinde yakıt deposu dijital terazinin üzerine konulmuş ve test esnasındaki yakıt tüketimi dijital teraziden gram olarak kaydedilmiştir. Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$b_e = m_y / P_e \times 3600 \quad (4.7)$$

Bu formülde;

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

$m_y = \text{Yakıt tüketimi (g/s)}$

$P_e = \text{Efektif güç (kW)}$

olarak ifade edilir.

4.3.3.2 Isı Salınım Oranının Hesaplanması

Krank açısına bağlı olarak silindir basıncını elde etmek silindirdeki yanma hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır (Heywood JB, 1988). Dizel motorlarda silindir basınç verileri kullanılarak ısı salınımı analizi yapılabilmektedir. Böylelikle aynı şartlarda farklı yakıtların performansları karşılaştırılabilmektedir. Bu tez çalışmasında, silindir basınç verileri kullanılarak ısı salınımı analizi yapılmış ve ısı salınımı verileri kullanılarak tutuşma gecikmesi ve yanma karakteristikleri hesaplanmıştır.

Tutuşma gecikmesinin hesaplanabilmesi için yakıt hattı basınç eğrilerinden enjektörün açılma zamanı belirlenmiştir. Isı salınımı sonuçlarına bakılarak da yanma başlangıcı tespit edilmiştir. Yanma başlangıcı, ısı salınım eğrisindeki yükselmenin başladığı nokta olarak kabul edilmiştir. Belirlenen bu iki nokta arası da krank açısı cinsinden tutuşma gecikmesi olarak tespit edilmiştir. Enjektör açılma basıncı değeri kullanılarak enjeksiyon başlangıcı belirlenmiştir.

Isı salınımı analizi termodinamiğin birinci kanunundan yararlanılarak hacmi bilinen bir silindirden alınan basınç verileriyle analiz edilebilmektedir. Isı salınım analizinde bazı kabuller yapılmıştır. Silindir içinde yanma esnasında termodinamik dengenin olduğu kabul edilmiş, ani sıcaklık değişimleri ve basınç dalgalanmaları göz ardı edilmiş, dengede olmayan şartlar (yakıtın buharlaşması, karışım oluşumu vb. durumlar) ihmal edilmiştir.

Termodinamiğin I. Kanununa göre:

$$dU / dt = Q_t - W \quad (4.8)$$

$$dQ_n/dt = dQ_t/dt - dQ_d/dt = P \times dV/dt + dU/dt \quad (4.9)$$

denklemini yazılır.

Bu denklemde U sistemdeki iç enerjiyi ifade etmektedir. Net ısı salınımı (Qn), toplam ısı salınımı (Qt) ile silindir duvarlarına olan ısı transferi (Qd) arasındaki farktır ve piston üzerine yapılan iş ile iç enerji değişiminin toplamına eşittir.

İç enerji değişimi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\frac{dU}{dt} = m \times c_v \frac{dT}{dt} \quad (4.10)$$

W ise pistonun yer değiştirmesi ile karşılık yapılan iş:

$$W = P \frac{dV}{dt} \quad (4.11)$$

Silindir içerisindeki dolgu ideal gaz kabul edildiğinde:

$$dQn/dt = P \cdot dV / dt + m \cdot C_v \cdot dT/dt \quad (4.12)$$

İdeal gaz denkleminde, R katsayısının sabit olduğu kabul edilirse ve türev alınırsa:

$$PV = mRT \quad (4.13)$$

$$dT/T = dV/V + dP/P \quad (4.14)$$

$$dT/dt = 1/mR [P dV/dt + V dP/dt] \quad (4.15)$$

denklemini elde edilir. Denklem (4.12) ile Denklem (4.15) birleştirilirse:

$$Qn = [C_v/R + 1] P dV/dt + (C_v dt)/(R V dP) \quad (4.16)$$

Denklem (4.16)'da zaman yerine (t) krank açısı (θ) konulursa ve özgül ısılar oranı (k) denkleme eklenirse ısı dağılımı aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$Q_n = (k/k-1).P.(dV/d\theta) + 1/(k-1).V.(dP/d\theta) \quad (4.17)$$

Isı transferi alt modeli hesaplandıktan sonra toplam ısı dağılımı olan Q_d , net ısı salınımı (Q_n) ile silindir duvarlarına olan ısı transferinin (Q_d) toplamına eşittir. Bu durumda aşağıdaki denklem elde edilmiştir:

$$Q_t = (k/k-1).P.(dV/d\theta) + 1/(k-1).V.(dP/d\theta) + Q_d \quad (4.18)$$

Isı salınımı, denklem (4.18)'de verildiği gibi hesaplanmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında ilk olarak laboratuvar ortamında tavuk rendering yağından biyodizel üretilmiş ve sonrasında üretilen biyodizelin yakıt özellikleri belirlenerek standartlara uygunluğu test edilmiştir. Standarda uygun olduğu anlaşılan biyodizel belirli oranlarda petrol kökenli dizel yakıtı ile karıştırılarak motor testlerine tabi tutulmuş ve motor performans, emisyon ve yanma karakteristikleri incelenmiş ve yorumlanmıştır.

5.1 Motor Deney Sonuçları

Bu kısımda biyodizel-dizel karışımlarının motor performans, emisyon ve yanma karakteristik sonuçları incelenmiştir.

5.1.1 Püskürtme Başlangıcı ve Tutuşma Gecikmesi

Yoğunluk, viskozite ve sıkıştırılabilirlik gibi yakıtların fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişikliklerden etkilenen püskürtme başlangıcı, motorun yanma özelliklerini, performansını ve egzoz emisyonlarını etkiler (Shahabuddin M, 2013). Yakıt püskürtme zamanlamasındaki değişimler, tutuşma gecikmesini, silindir basıncını ve ısı yayılımı oranını değiştirir. Çizelge 5.1’de, test yakıtlarının yakıt hattı basıncı bilgilerinden yararlanarak hesaplanan yakıt püskürtme başlangıcı ile yanma safhalarının değişimi görülmektedir.

Çizelge 5.1. Püskürtme ve yanma karakteristikleri

Motor Yüğü	Yakıt	Püskürtme başlangıcı (°KMA)	Tutuşma gecikmesi (°KMA)	Yanma başlangıcı (°KMA)	Yanma sonu (°KMA)	Yanma süresi (°KMA)
5 Nm	B0	-12,4	9,43	-2,97	28,95	31,92
	B10	-12,4	9,53	-2,86	25	27,86
	B20	-12,7	9,71	-2,98	23,98	26,96
	B50	-12,3	9,49	-2,8	24,51	27,31
10 Nm	B0	-12,1	9,01	-3,09	39,3	42,39
	B10	-12,5	9,39	-3,1	34,04	37,14
	B20	-12,2	9,09	-3,1	33,09	36,19
	B50	-12,5	9,48	-3,01	33,31	36,32

Yakıtların daha yüksek viskoziteye sahip olması ve düşük sıkıştırılabilirlik oranı, yakıt hattında daha hızlı bir basınç artışına ve daha erken bir püskürtme başlangıcına sebep olur (Öztürk E, 2015). TRYB karışımlarının püskürtme başlangıcı değerleri 0,2-0,3 °KMA kadar erken krank mili açılarında oluşmuştur. Daha erken püskürtme başlangıcının sebepleri, TRYB karışımlarının yüksek yoğunluğa ve viskozitesiye sahip olmasıyla açıklanabilir (Can Ö, 2014).

Tutuşma gecikmesi, sıkıştırma ile ateşlemeli motorların yanma özelliklerini, performanslarını ve emisyonlarını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Test yakıtlarının tutuşma gecikmesi sayısal değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Yüksek setan sayısı genellikle tutuşma gecikmesinin kısılmasına neden olur. Motor yükünün artmasıyla da tutuşma gecikmesinin azaldığı görülmektedir. Çünkü motor yükünün artırılmasının silindirdeki gaz sıcaklığını arttırması nedeniyle tüm yakıtlar için kısa tutuşma gecikmesine sebep olur (Anand K, 2011).

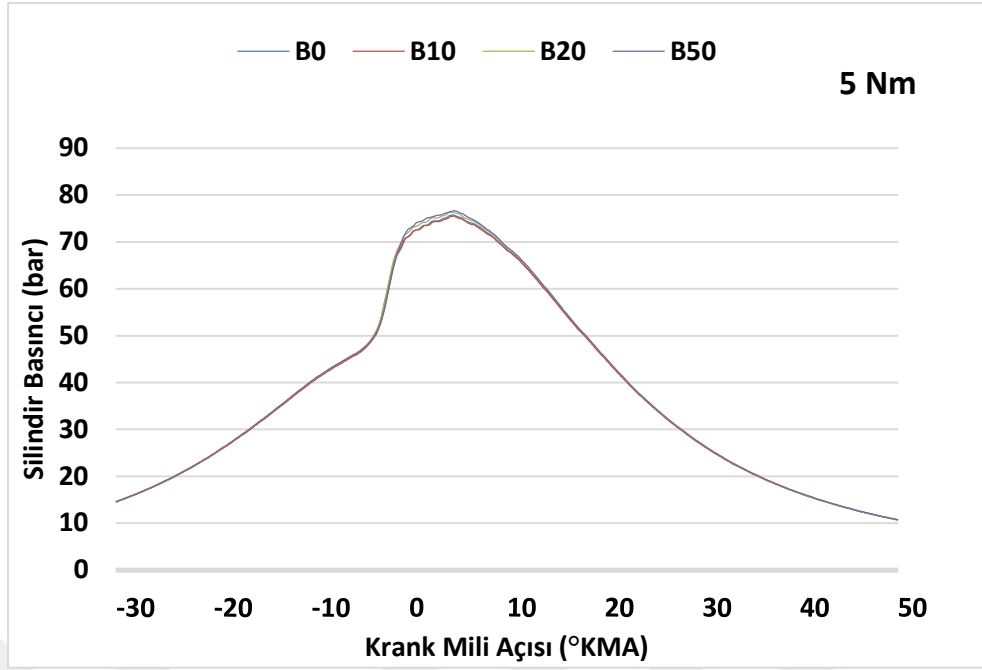
Yanma başlangıcı değerleri incelendiğinde motor yükü arttığı zaman yanma başlangıcının daha düşük krank mili açılarında başladığı görülmektedir. Bunun sebebi daha yüksek motor yüklerinde istenilen gücü elde edebilmek için yanma odasına daha çok yakıtın püskürtülmesi ve akabinde yanmanın daha erken başlaması olarak gösterilebilmektedir.

Yanma sonu değerleri de incelendiğinde motor yükünün artmasıyla yanmanın sonunun daha yüksek krank mili açılarından olduğu görülmektedir. Bunun sebebi de yine bir önceki paragrafta bahsedildiği gibi daha yüksek motor yüklerinde istenilen gücü elde edebilmek için yanma odasına daha çok yakıtın püskürtülmesi gerektiği ve daha çok yakıt enjekte edildiği için bu yakıtın yanmasının daha geç tamamlandığı söylenilebilir. Ek olarak yine aynı sebepten daha yüksek motor yükünde yanma süresinin de arttığı belirgin olarak görülebilmektedir.

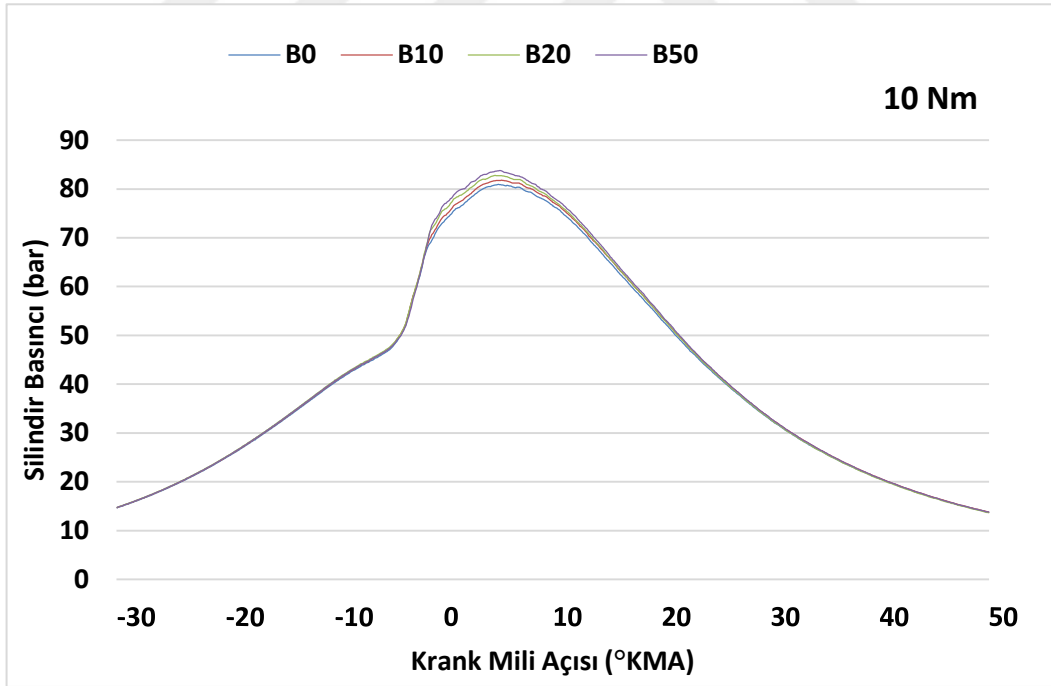
5.1.2 Silindir Gaz Basıncı

Silindir basıncının krank açısına göre değişimini gösteren grafikler Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterilmektedir.

Her iki yükte de yakıt karışım içerisindeki biyodizel miktarı arttıkça silindir içi maksimum basıncının da arttığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak, biyodizel karışımının tutuşma gecikmesinin petrol kökenli dizel yakıtla daha uzun sürmesi gösterilebilir. Çünkü uzun tutuşma gecikmesi süresince silindir içerisinde birken yakıt birden tutuşmakta ve ani basınç yükselmesine neden olmaktadır. Çizelge 5.2’de ise test yakıtlarının maksimum silindir basınçları ve bu basınçların krank açısı cinsinden elde edilme yerlerinin sayısal olarak değerleri görülmektedir. Beklendiği gibi, maksimum silindir basıncı en yüksek B50 yakıtıyla elde edilmektedir. Yine, motor yükünün artmasıyla birlikte silindir içi basıncının arttığı da açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.1. 5 Nm kısmi yük altında krank mili açısına göre silindir basıncı değişimleri



Şekil 5.2. 10 Nm kısmi yük altında krank mili açısına göre silindir basıncı değişimleri

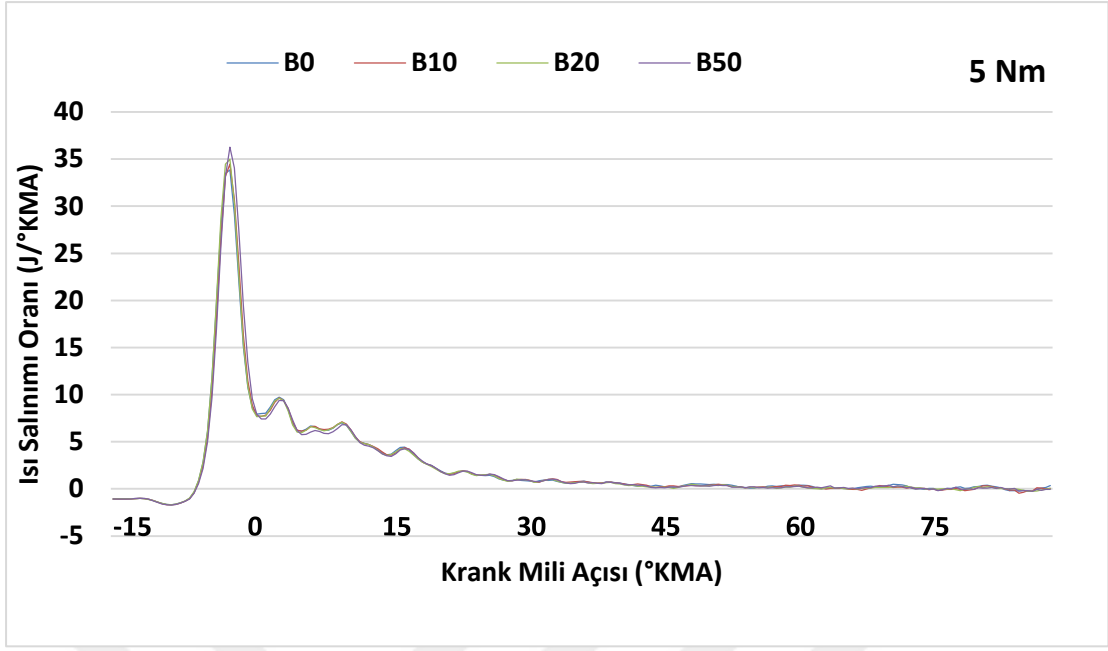
5.1.3 Isı Salınım Oranı

Test yakıtlarının, kısmi yüklerde ve sabit motor devrinde (2000 dev/dak) ısı salınım oranı değişim grafikleri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmektedir. Ayrıca maksimum ısı salınımının sayısal değerleri de Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

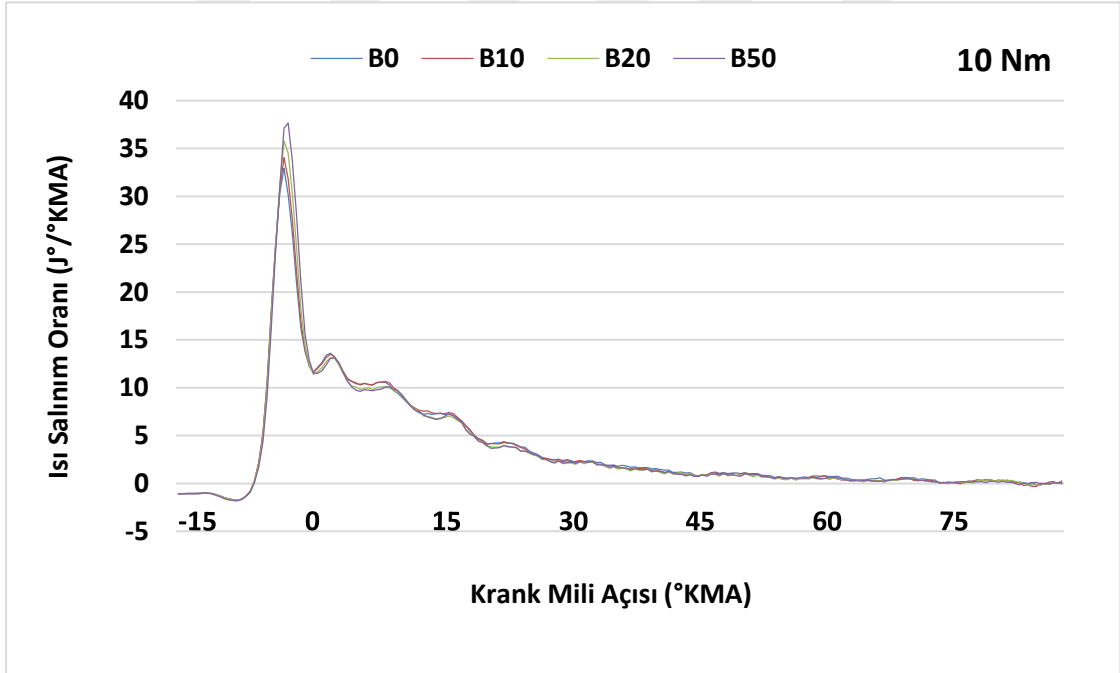
Çizelge 5.2. Maksimum silindir basıncı ve ısı salınımı değerleri ve yerleri

Motor Yüğü	Yakıt	Maksimum Silindir Basıncı	Maksimum Silindir Basıncı Yeri	Maksimum Isı Salınımı	Maksimum Isı Salınımı Yeri
		(bar)	(°KMA)	(J/°KMA)	(°KMA)
5 Nm	B0	75,12	3,1	32,39	-1,53
	B10	75,33	4,49	34,04	-1,56
	B20	76,24	4,46	35,3	-1,7
	B50	76,53	4,51	36,2	-1,49
10 Nm	B0	80,94	5,2	32,95	-1,87
	B10	81,7	5,17	34,479	-1,99
	B20	82,7	4,97	35,9	-1,89
	B50	83,6	5	38	-1,61

Grafiklerden de görüleceği üzere saf dizel yakıtla yakıt karışımlarının içindeki biyodizel oranı arttıkça maksimum ısı salınım oranının da arttığı görülmüştür. Bu durumun nedeni, uzun tutuşma gecikmesi sırasında silindirde biriken düşük setan sayısına sahip biyodizelin hızlı yanması ve bir anda açığa çok fazla ısı salınmasına bağlanabilirken ek olarak biyodizelin dizel yakıtına kıyasla daha fazla oksijen içermesi de sebep olarak gösterilebilir. Çizelge 5.2'den görüleceği gibi her iki motor yükü için de, B0 yakıtı en düşük, B50 yakıtı ise en yüksek maksimum ısı salınım oranı değerlerine sahiptir.



Şekil 5.3. 5 Nm kısmi yük altında ısı salınımı değişimi

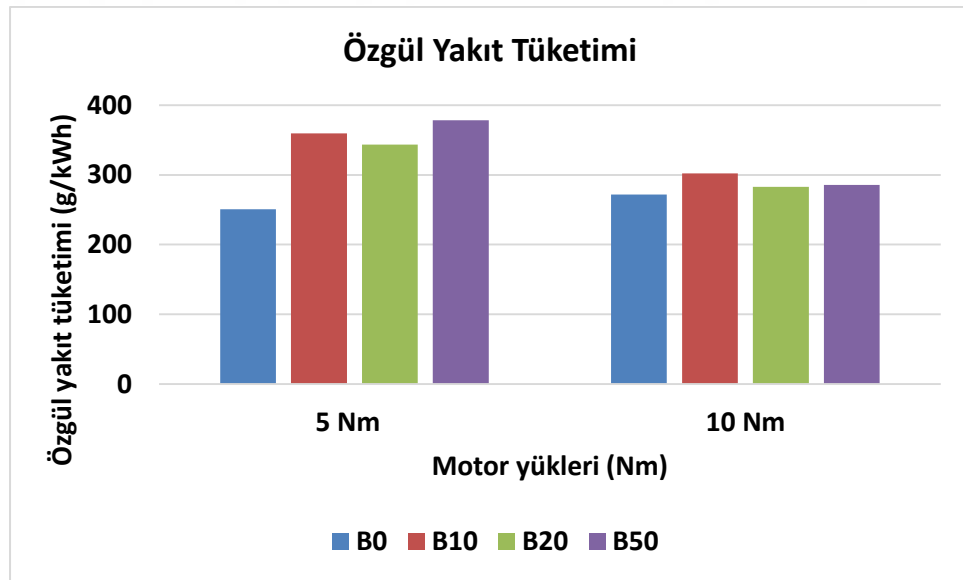


Şekil 5.4. 10 Nm kısmi yük altında ısı salınımı değişimi

5.1.4 Motor Performansı

5.1.4.1 Özgöl Yakıt Tüketimi

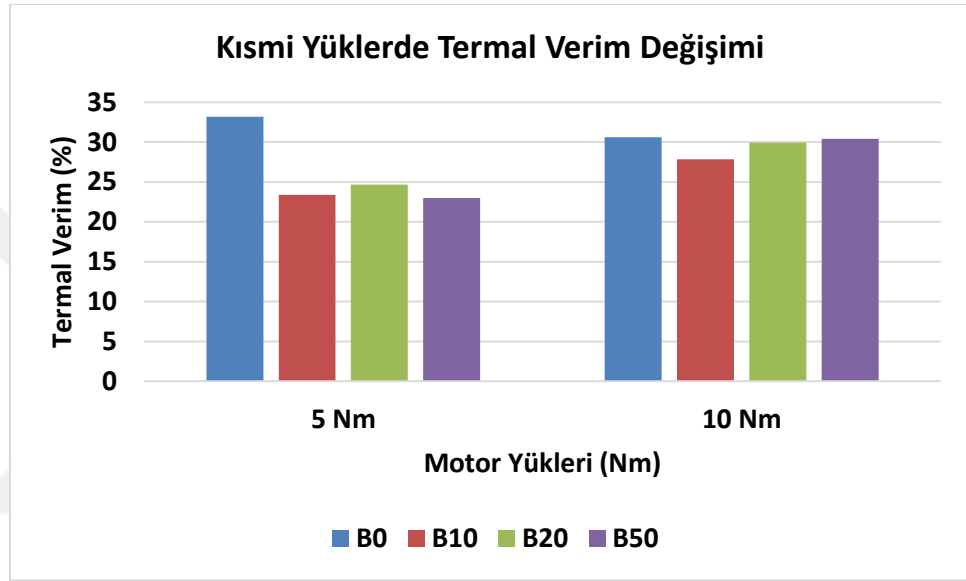
Motor deneylerinde performans açısından sonuçlar değerlendirildiğinde en önemli parametrelerden birisinin de özgöl yakıt tüketimi olduğu belirlenmiştir. Deneyler kısmi yüklerde (5 Nm ve 10 Nm) gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 5.5'te verilmiştir. Yakıtların ısı değerlerinin ÖYT'nin artması veya azalmasında önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Biyodizelin ısı değeri petrol kökenli dizel yakıtından düşük olduğundan, biyodizel karışımları daha yüksek ÖYT değerlerine sahiptir. Çünkü, biyodizel gibi düşük ısı değerli yakıtlar kullanıldığında, eşit güç çıkışı elde etmek için daha fazla yakıt enjekte edilmelidir. Şekilden de görülebileceği gibi, tüm yakıtlar için benzer bir eğilim izleyerek, artan motor yükü ile ÖYT değerleri düşmektedir. Ayrıca, en yüksek ısı değere sahip B0 yakıtının en düşük özgöl yakıt tüketimi değerine sahip olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.5. Kısmi yüklerde özgöl yakıt tüketiminin değişimi

5.1.4.2 Termal Verim

Sabit motor hızında (2000 dev/dak) motor yüküne göre test yakıtlarının termal verimi Şekil 5.6’da gösterilmektedir. Dizel yakıtı, TRYB harmanlarına kıyasla tüm motor yüklerinde en yüksek termal verime sahiptir. TRYB karışımlarının yüksek oksijen içeriğine rağmen, dizele kıyasla daha düşük bir termal verime sahip olmasının nedeni, TRYB karışımlarının ısıl değerindeki düşüşün fren termal verimi üzerinde daha etkili olmasıdır.



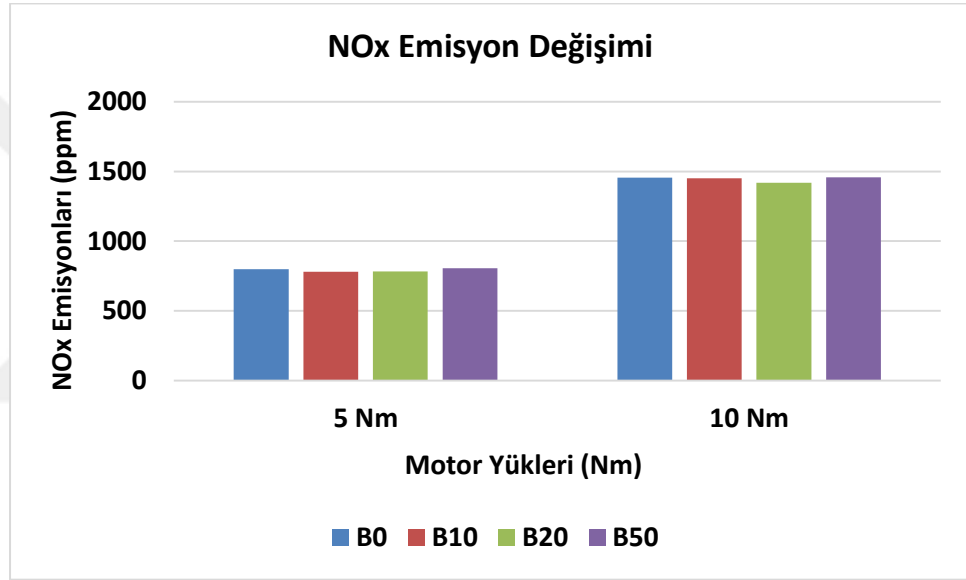
Şekil 5.6. Kısmi yüklerde termal verim değişimi

5.1.5 Egzoz Emisyonları

Bu bölümde, motor testleri sonunda test yakıtlarının NO_x ve is emisyon değerlerindeki değişim grafikleri eklenmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

5.1.5.1 NO_x Emisyonları

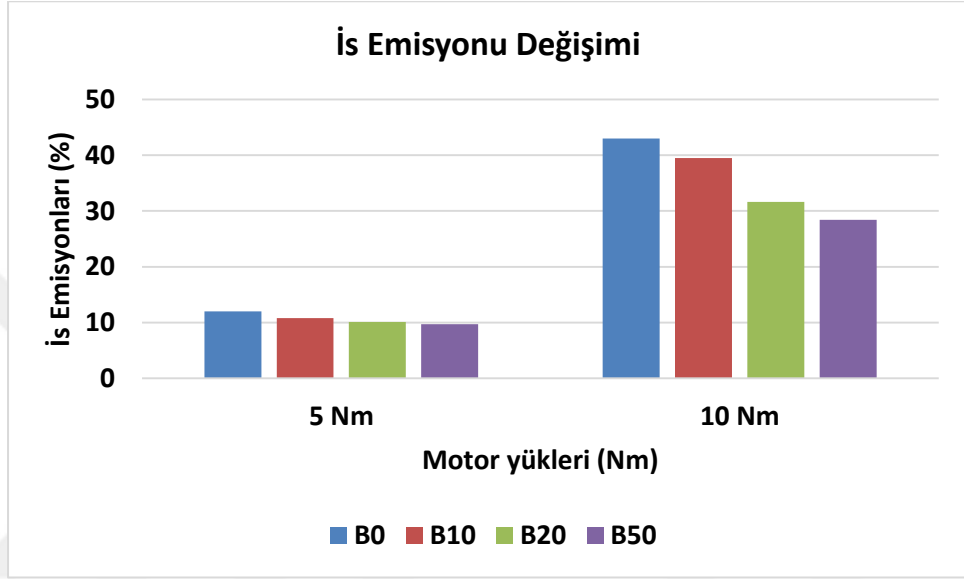
Şekil 5.7’de, B0 ile B10, B20 ve B50 dizel ve dizel-biyodizel karışımlarının kullanımı durumunda elde edilen NO_x emisyonlarının motor yüklerine göre değişim grafikleri görülmektedir. Grafikler incelendiğinde petrol kökenli dizel yakıtta biyodizel ilavesinin NO_x emisyonlarında çok büyük bir değişime neden olmadığını göstermektedir. Ancak, motor yükündeki artış NO_x emisyonlarında belirgin bir artışa sebep olmuştur. Bunun sebebi, daha yüksek motor yüklerinde istenilen gücü elde edebilmek için daha fazla yakıtın yanma odasına enjekte edilmesi gerektiğinden NO_x emisyonlarında artış görülmüştür.



Şekil 5.7. NO_x emisyonlarının değişimi

5.1.5.1 İs Emisyonları

B0, B10, B20, B50 dizel ve dizel-biyodizel karışımlarının motor deneyleri sonucunda is (duman koyuluğu) emisyon değerleri Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8. İs emisyonlarının değişimi

İs, yakıttaki hidrokarbonların ve karbon partiküllerinin tam yanmaması nedeniyle oluşur. Yakıtın oksijen içeriği yanmayı iyileştirdiğinden, is emisyonlarının azalmasını olumlu yönde etkiler. Tüm test yakıtların is emisyonlarının, yükün artması ile arttığı görülmüştür. TRYB'nin dizele eklenmesiyle, yüksek oksijen içeriği ve TRYB'nin düşük C/H oranı nedeniyle tüm motor yüklerinde duman emisyonları azalır. Yüksek oksijen içeriği yanmayı iyileştirir ve egzoz gazında kurum oluşumunu azaltır. Şekil 5.8'de gösterildiği gibi, B50 karışımı, tüm yüklerde duman koyuluğunda maksimum bir düşüşe neden olmaktadır. Bunu sırasıyla, B20 ve B10 takip eder.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezinde atık olarak nitelendirilebilecek ve maliyeti çok düşük olan tavuk rendering yağından biyodizel üretilmiştir. Üretilen bu biyodizel petrol kökenli dizel yakıtı ile %10, %20, %50 oranlarında karıştırılarak tek silindirli hava soğutmalı bir dizel motorda deneylere tabi tutulmuş ve referans petrol kökenli dizel yakıtı (B0) ile karşılaştırılmıştır. Motor deneyleri 5 Nm ve 10 Nm kısmi yüklerde 2000 dev/dak sabit motor devrinde yapılarak egzoz emisyon, motor performans ve yanma karakteristikleri belirlenmiş ve petrol kökenli dizel yakıtıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda;

- Tavuk rendering yağının biyodizel olarak kullanımı hem tavuk yağının çevreyi kirletici etkisini ortadan kaldırmakta, hem de biyodizel üretim maliyetlerini düşürmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır.
- TRYB'nin setan sayısının petrol kökenli dizel yakıtına göre daha düşük olması tutuşma gecikmesi süresini arttırmakta ve buna bağlı olarak da biyodizel karışımlarının maksimum silindir basıncının ve ısı salınımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Biyodizel karışımlarının NO_x emisyonlarında petrol kökenli dizel yakıtına göre belirgin bir değişim görülmemiştir. Ancak motor yükü arttıkça ısı emisyonlarında belirgin bir artış görülmektedir bunun sebebi olarak daha yüksek motor yüklerinde istenilen gücü elde edebilmek için yanma odasına daha çok miktarda yakıt enjekte edilmesi gösterilebilmektedir.
- ısı emisyonlarında ise karışımdaki biyodizel oranı arttıkça bariz bir azalma saptanmıştır. Çünkü biyodizel petrol kökenli dizel yakıtına oranla daha yüksek oksijen içeriğine sahipken daha düşük C/H içermektedir.
- Biyodizel karışımlarının daha düşük termal verime sahip olduğu ancak karışımlar kendi içlerinde değerlendirildiğinde ise biyodizel oranı arttıkça termal verimin arttığı anlaşılmıştır. Biyodizel karışımlarının termal verimlerinin petrol dizeline göre daha az olmasının sebebi olarak petrol dizelinin ısı değeri biyodizele göre daha yüksek olduğu gösterilebilmektedir.

- Yanma başlangıcı değerleri incelendiğinde motor yükü arttığı zaman yanma başlangıcının daha düşük krank mili açılarında başladığı görülmektedir. Yine yanma sonu değerlerine bakıldığında ise motor yükü arttığı zaman yanma sonu krank mili açısı değerlerinin arttığı ve buna ek olarak yanma süresinin uzadığı görülmüştür. Bunun sebebi motor yükü artığında yanma odasına daha fazla yakıt enjekte edilmesi gerektiği ve bu enjekte olan yakıtında daha uzun sürede yanmasını tamamlaması gösterilebilmektedir.
- Üretilen biyodizelin motorda herhangi bir ayar ve değişiklik yapılmadan dizel yakıtıyla karıştırılarak veya saf halde kullanılabileceği ve dizel motorlar için alternatif bir yakıt olabileceği görülmüştür.



7. KAYNAKLAR

- Artukoğlu DB (2006) Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altun Ş (2009) Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- Akçay HT (2006) Bazı bitkisel yağlardan biyodizel üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Al Widyan MI, Tashtoush G, Abu Qudais M (2002), "Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engines.", Fuel Processing Technology, 76: 91-103.
- Altun Ş and Gür AM (2005) "Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanılması" , Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 35-42.
- Anand K, Sharma RP, Mehta PS (2011) "Experimental investigations on combustion, performance and emissions characteristics of neat karanji biodiesel and its methanol blend in a diesel engine", Biomass and Bioenergy, 35:533–541.
- Behçet R ve Çakmak A (2011) "Bir dizel motorda yakıt olarak kullanılan balık yağı metil esteri karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisi.", 6th International Advanced Technologies Symposium , 16-18 Mayıs, Elazığ.
- Berchmans HJ ve Hirata S (2007) "Biodiesel production from crude Jatropha curcas L. seed oil with a high content of free fatty acids.", Bioresour Technol. 99(6):1716-21.
- Bhatti HN, Hanif MA, Qasim M, Rehman A (2008) "Biodiesel production from waste tallow, Fuel," 87: 2961-2966.
- Can Ö (2014) "Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture", Energy Conversion and Management, 87: 676-686.
- Canakci M and Van Gerpen (2001) "Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids," Transactions of the American Society of Agricultural Engineers , 44:1429-1436

- Çanakçı M and Van Gerpen (1999) “Biodiesel Production via Acid Catalysis Transactions of the ASAE”, 42, 5:1203-1210.
- Çengelci E (2011) Hayvansal yağlardan elde edilen biyodizelin motor performans ve emisyonlarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Çıldır O, Çanakçı M (2006) “Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör ve Alkol Miktarının Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi. “,Devlet İstatistik Enstitüsü Verileri
- Demirbaş A, Karşlıoğlu S (2007) “Biyodizel Production Facilities from Vegetable oils and Animal Fats.”, Energy Sources, Part A, 29:133-141.
- Dias JM, Alvim-Ferraz MCM, Almeida MF (2009) “Production of biodiesel from acid waste lard”, Bioresource Technol, 100: 6355-6361.
- Freedman B, Pryde EH, Mounts TL (1984) “Variables affecting the yields offatty ester from transesterified vegetable oils”, J. Am. Oil Chem. Soc. , 61: 1638-1643
- Gürü M, Koca A, Can Ö, Çınar C, Şahin F (2010) “Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine” Renewable Energy 35 (3): 637-643.7
- Heywood JB (1998) Internal combustion engines Fundamentals, 1st ed., McGraw Hill Book Company, New York.
- Kafadar AB (2010) Yağlardan biyodizel eldesine etki eden faktörlerin araştırılması, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Ma F, Hanna MA (1999) “Biodiesel Production: a Review”, Bioresource Technology, 70:1-15.
- Nelson RG, Schrock MD (2006) “Energetic and economic feasibility associated with the production,processing and conversion of beef tallow to a substitute diesel fuel.” ,30(6): 584-591.
- Öztürk E (2015) “Performance, emissions, combustion and injection characteristics of a diesel engine fuelled with canola oil-hazelnut soapstock biodiesel mixture”, Fuel Process Technol, 129:183–191.
- Öztürk M (2018) Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Özkan M, Ergenç TA, Deniz O (2005) “Experimental Performance Analysis of Biodiesel, Traditional Diesel and Biodiesel with Glycerine”, Turkish J. Eng. Envir Sci. ,29:89-94.

- Ramadhass AS, Jayaraj S, Muraleedharan C (2005) "Biodiesel production from high FFA rubber seed oil", Fuel, Cilt 84 (4).
- Reyes JF, Sepúlveda MA (2006) "Pm-10 emissions and power of a diesel engine fueled with crude and refined biodiesel from salmon oil", Fuel, Cilt 85: 12-13, 1714-1719
- Shahabuddin M, Liaquat AM, Masjuki HH, Kalam MA, Mofijur M (2013) "Ignition delay, combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel", Renew Sustain Energy Rev, 21: 623-632.
- Şanlı H ve Çanakcı M (2008) "Biyodizel hammaddesinin bazı kritik yakıt özellikleri üzerindeki etkileri.", 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 8-10 Ekim 2008, Sakarya.
- Türk Ş (2018) Hindi kesimhanesi rendering yağından biyodizel üretimi ve dizel motoru performans, emisyon ve yanma karakteristikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.
- Ülker B (2007) Hayvansal yağ esaslı biyodizel yakıtının motor performansına etkisinin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Wyatt V T, Hess MA, Dunn RO, Foglia TA, Haas M J and Marmer W N (2005) "Fuel properties and nitrogen oxide emission levels of biodiesel produced from animal fats", J Am Oil Chem Soc, 82:585-91.

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ersin ULUTÜRK

Doğum Yeri ve Tarihi : BOLU - 21.11.1990

Lisans Üniversite : Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta : ersinuluturk14@gmail.com

İletişim Adresi : Bahçelievler mah. Yunus Emre Sokak No:84/2
Merkez/BOLU