

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

**ATIK BİTKİSEL YAĞ METİL ESTERİ KULLANILAN DİZEL  
MOTORUNDA AŞIRI DOLDURMA UYGULAMASININ  
MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Celal BULUT**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. İsmet ÇEVİK**

**Haziran 2008**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK BİTKİSEL YAĞ METİL ESTERİ KULLANILAN DİZEL  
MOTORUNDA AŞIRI DOLDURMA UYGULAMASININ  
MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

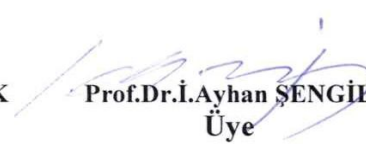
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


**Celal BULUT**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ**

Bu tez 04/06/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. İsmet ÇEVİK  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr. İ. Ayhan ŞENGİL  
Üye

  
Yrd. Doç. Dr. Can HAŞİMOĞLU  
Üye

## TEŞEKKÜR

Dünya nüfusundaki artış ve hayat standartlarının yükselmesi ile enerji kaynaklarına olan ihtiyaçta büyük oranda artmaktadır. Ancak dünyada petrol rezervlerinin belirli bölgelerde toplanması ve ülkemizin de dahil olmak üzere pek çok ülkenin petrol ithalatçısı konumunda olması sonucunda dışa bağımlılığı azaltmak ve petrolün bir gün biteceği gerçeğinden hareketle, yenilenebilir alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmak kaçınılmaz olmuştur.

Günümüzde alternatif yakıtlar içerisinde en çok tercih edilen bitkisel yağlardan elde edilen biyodizeldir. Biyodizel üretiminde bitkisel yağların kullanılabilirliğini maliyetin yüksekliği büyük oranda düşürmektedir. Dizel yakıtına alternatif olması ve çevresel faktörleri de ele aldığımızda kullanılabilir gerçekçi bir üretim için maliyeti çok düşük olabilecek atık kızartma ve hayvansal yağlar ön plana çıkmaktadır. Ülke ekonomileri için de en avantajlı durum atık yağları biyodizel olarak değerlendirmek olacaktır.

Çalışmamda, AKY'dan üretilen AKYME'nin normal şartlarda ve aşırı doldurma uygulayarak motor performans parametrelerindeki oluşumlarının belirlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Prof.Dr. İsmet ÇEVİK, Yrd.Doç.Dr. Murat KARABEKTAŞ, Arş.Gör. Gökhan ERGEN, ve Teknisyen Hasan GÜREL'e teşekkürü bir borç birilim.

Celal BULUT

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
DİZEL MOTORLARDA YANMA.....	7
2.1. Hidrokarbon Esaslı Dizel Yakıtı.....	7
2.2. Doymuş Hidrokarbonlar.....	7
2.2.1. Parafinler .....	7
2.2.1.1. Normalparafinler .....	7
2.2.1.2. İzoparafinler.....	8
2.2.2. Naftenler.....	8
2.3. Doymamış Hidrokarbonlar .....	8
2.3.1. Olefinler .....	8
2.3.2. Aromatlar.....	9
2.4. Dizel Yakıtların Genel Özellikleri .....	10
2.4.1. Setan sayısı.....	10
2.4.2. Viskozite .....	10
2.4.3. Isıl değer .....	11

2.4.4. Alevlenme noktası.....	11
2.4.5. Parlama noktası .....	11
2.4.6. Donma ve akma noktası.....	11
2.5. Dizel Motorlarda Karışımın Oluşturulması.....	12
2.6. Dizel Motorlarda Yanma Olayı.....	12
2.6.1. Tutuşma gecikmesi.....	13
2.6.1.1. Ortam sıcaklığı.....	13
2.6.1.2. Ortam basıncı.....	13
2.6.1.3. Dönme sayısı .....	14
2.6.1.4. Motor yük durumu.....	14
2.6.1.5. Oksijen konsantrasyonu.....	14
2.6.1.6. Sıkıştırma oranı.....	14
2.6.1.7. Yakıt faktörleri.....	15
2.6.2. Kontrolsüz yanma.....	15
2.6.3. Difüzyon kontrollü yanma.....	15
2.6.4. Art yanma.....	16
2.7. Dizel Motorlarda Aşırı doldurma.....	16
2.8. Hacimsel ( volumetrik ) Verim.....	17
2.8.1. Volümetrik verimi etkileyen etmenler.....	17
2.8.1.1. Emme basıncı.....	18
2.8.1.2. Emme hava sıcaklığı.....	18
2.8.3.3. Artık gazların basıncı ve sıcaklığı.....	18
2.8.3.4. Sıkıştırma oranı.....	19
2.9. Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonlar.....	19
2.9.1. Karbonmonoksit ( CO ).....	19
2.9.2. Azot oksit ( NO <sub>x</sub> ).....	19
2.9.3. Hidrokarbonlar ( HC ).....	20
2.9.4. Partikül maddeler ( PM ).....	20
2.9.5. Kükürt Dioksit ( SO <sub>2</sub> ).....	20

### BÖLÜM 3.

ATIK BİTKİSEL YAĞLAR VE DİZEL MOTORLARDAKİ KULLANIMI... .	21
---	----

3.1. Bitkisel Yağlar ve Özellikleri.....	21
3.2. Atık Bitkisel Yağlar ve Ülkemizdeki Durumu.....	24
3.2.1. Atık yağların çevresel etkileri.....	27
3.3. Bitkisel Atık Yağların Doğrudan Alternatif Motor Yakıtı Olarak Kullanılması.....	29
3.3.1. Hammadde olarak atık bitkisel yağlar.....	29
3.4. Bitkisel Yağ Asitleri.....	30
3.5. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarda Kullanılabilirliğini İyileştirme Yöntemleri .....	31
3.5.1. Püskürtme basıncı ve püskürtme avansı değişimi.....	32
3.5.2. İnceltme ( seyreltme ).....	32
3.5.3. Mikro emülsiyon.....	33
3.5.4. Proliz.....	33
3.5.5. Transesterifikasyon.....	33
3.6. Standartlara Uymayan Biyodizelin Dizel Motorlara Etkisi.....	36
3.7. Uluslararası Biyodizel Standartları.....	36
3.8. Dünyada Biyodizel.....	37
3.9. Biyodizel Özellikleri.....	38
3.9.1. Biyolojik olarak bozunabilirlik.....	38
3.9.2. Toksik etki.....	39
3.9.3. Depolama.....	39
3.9.4. Soğukta akış özellikleri.....	39
3.9.5. Motor yakıtı özellikleri.....	40
3.10. Bitkisel Yakıtların Avantaj ve Dezavantajları.....	41
3.11. Literatür.....	42

#### BÖLÜM 4.

MATERYAL METOT.....	48
4.1. Atık Kızartma Yağından Biyodizel Üretimi.....	48
4.1.1. Yakıt analizi .....	50
4.2. Deney Düzeneği .....	51
4.3. Deney Düzeneğinin Teknik Özellikleri .....	51

4.3.1. Deneş motoru.....	51
4.3.2. Dinamometre.....	52
4.3.3. Hava debi ölçeri.....	52
4.3.4. Yakıt ölçeri.....	52
4.3.5. Kronometre ve hassas terazi .....	52
4.3.6. Aşırı Doldurma Ünitesi.....	53
4.4. Deneşin Yapılışı ve Hesaplama Yöntemleri.....	53
4.5. Hesaplama Yöntemleri .....	54
4.5.1. Motor momenti ( Tork ) ve efektif Güç.....	54
4.5.2. Özgöl yakıt tüketimi ( ÖYT ).....	54
4.5.3. Termik verim .....	55
4.5.4. Volümetrik verim.....	55
BÖLÜM 5.	
DENEŞ SONUÇLARI VE TARTIŞMA	56
5.1. Motor Döndürme Momenti ve Efektif Güç.....	56
5.2. Yakıt Tüketimi.....	58
5.3. Özgöl Yakıt Tüketimi.....	60
5.4. Termik Verim.....	61
5.5. Volümetrik Verim.....	62
5.6. Egzoz Gazı Sıcaklığı.....	63
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	75

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AKY	: Atık kızartma yağı
AD	: Aşırı doldurma
ADM	: Aşırı doldurma motorin
ADB20	: Aşırı doldurma % 20 AKYME, %80 Motorin yakıtı
ADB100	: Aşırı doldurma %100 AKYME yakıtı
AKYME	: Atık kızartma yağı metil esteri
ASTM	: Amerikan kalite standartları
AYME	: Atık yağı metil esteri
be	: Özgül yakıt tüketimi
B20	: %20 AKYME, %80 Motorin yakıtı
B100	: %100 AKYME yakıtı
BYME	: Bitkisel yağı metil esteri
CH <sub>3</sub> OH	: Metil alkol
CH <sub>4</sub>	: Metan
CH <sub>6</sub>	: Etan
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	: Propan
CNG	: Sıkıştırılmış doğalgaz
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	: Pentan
DIN	: Alman normu
EGR	: Egzoz gazı resürkülasyonu
EN	: Avrupa normu
ETBE	: Etil tetra butül eter
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
K	: Kelvin
KOH	: Potasyum hidroksit



LHV	: Alt ısı değer
LNG	: Sıvılaştırılmış doğalgaz
LPG	: Likit petrol gazı
ME	: Metil ester
Md	: Döndürme momenti
$m_h$	: Kütleli hava debisi
Mj	: mega joule
MTBE	: Metil tetra bütül eter
$m_i$	: Birim zamanda silindire giren taze karışım miktarı
$m_y$	: Yakıt tüketimi
n	: Dönme sayısı
NaOH	: Sodyum hidroksit
OPEC	: Petrol ihraç eden ülkeler organizasyonu
Pe	: Efektif güç
PKDY	: Petrok kökenli dizel yakıtı
Pme	: Motorun yük durumu
PM	: Partikül madde
RCOME	: Yemeklik atık yağı metil esteri
SS	: İsveç standartları
SYA	: Serbest yağ asidi
TG	: Tutuşma gecikmesi
UNI	: İtalyan standartları
$V_d$	: Toplam strok hacmi
YAME	: Yağ asidi metil esteri
YES	: Yakıt enjeksiyon sistemi
WFO	: Atık kızartma yağı
$\eta_t$	: Termik verim
$\eta_v$	: Volümetrik verim
$\rho_i$	: Emme havası yoğunluğu
$\lambda$	: hava fazlalık katsayısı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Siklo hekzan ve benzenin açık gösterimi.....	8
Şekil 2.2.	Propilen ve butadienin açık gösterimi.....	9
Şekil 2.3.	Benzen ve Etil benzenin açık gösterimi.....	9
Şekil 2.4.	Dizel motorlarda yanma olayı.....	12
Şekil 2.5.	Tutuşma gecikmesinin ortam sıcaklığı ile değişimi.....	13
Şekil 2.6.	Dizel motorlarda yük durumunun tutuşma gecikmesine etkisi.....	14
Şekil 2.7.	Dizel motorlarda sıkıştırma oranının tutuşma gecikmesine etkisi	15
Şekil 2.8.	Hava fazlalık katsayısının volümetrik verime etkisi.....	18
Şekil 3.1.	Yağ asidinin gliserinle esterleşmesi.....	22
Şekil 3.2.	Basit ve karışık trigliserid.....	22
Şekil 3.3.	Atık yağlardan dolayı tıkanan kanalizasyon.....	28
Şekil 3.4.	Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan dolayı tıkanan kanal sistemleri görüntüleri.....	28
Şekil 3.5.	Trigliserid şeklindeki bir yağ molekülü.....	30
Şekil 3.6.	Trigliserit ve bir yağ asidinin kimyasal yapısı.....	30
Şekil 3.7.	Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi.....	32
Şekil 3.8.	Bitkisel yağın genel transesterifikasyon denklemi.....	34
Şekil 3.9.	Sabun oluşumu.....	34
Şekil 3.10.	Ön iyileşme reaksiyonu.....	35
Şekil 4.1.	Transesterifikasyon yöntemi ile atık yağlardan biyodizel üretimi.	49
Şekil 4.2.	Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....	51
Şekil 4.3.	Aşırı doldurma ünitesinin şekli.....	53
Şekil 5.1.	Motor devrine bağlı olarak motor döndürme momenti değişimi...	56
Şekil 5.2.	Motor devrine bağlı olarak efektif güç değişimi.....	57
Şekil 5.3.	Motor devrine bağlı olarak yakıt tüketimi değişimleri.....	59
Şekil 5.4.	Motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi.....	59

Şekil 5.5.	Motor devrine bağlı olarak yakıtların termik verim değişim yüzdeleri .....	62
Şekil 5.6.	Motor devrine bağlı olarak yakıtların volümetrik verim değişim yüzdeleri .....	63
Şekil 5.7.	Motor devrine bağlı olarak egzoz gazı sıcaklık değişimi.....	64

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Dünyadaki yakıt rezervlerinin yıl olarak kullanılabilme süreleri..	2
Tablo 1.2.	Alternatif enerji kaynakları ve yakıtı.....	3
Tablo 3.1.	Ülkemizde yetiştirilen bitkisel yağlar.....	23
Tablo 3.2.	Bitkisel yağların yakıt özellikleri.....	24
Tablo 3.3.	Ülkemiz yağ üretim, tüketim ve ithalatı.....	25
Tablo 3.4.	Bitkisel yağ üretimi ile ilgili problemler.....	25
Tablo 3.5.	Bazı ülkelerde kişi başı yıllık yağ tüketimi.....	26
Tablo 3.6.	Ülkemizde kullanılmış kızartma yağı toplama bilgileri.....	26
Tablo 3.7.	Bitkisel ve hayvansal yağların yağ asitlik oranları.....	31
Tablo 3.8.	Transesterifikasyon reaksiyonu süresince gliserin değişimi.....	35
Tablo 3.9.	Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartı.....	37
Tablo 3.10.	Çeşitli ülkelerde kurulu biodizel tesisleri.....	38
Tablo 3.11.	Bazı bitkisel yağı metil esterlerinin yakıt özellikleri.....	40
Tablo 4.1.	Deneyler sırasında kullanılan yakıtların bazı özellikleri.....	50
Tablo 4.2.	Deney motorunun teknik özellikleri .....	52
Tablo 4.3.	Aşırı doldurma ünitesi (Yüksek basınç fanı) teknik özellikleri.....	53

## ÖZET

Anahtar Kelimeler : Biyodizel, Alternatif yakıtlar, Aşırı doldurma, Atık yağ metil esteri, Motor Performansı.

Enerji ihtiyacı, dünyada sanayileşme ve artan nüfus nedeniyle günden güne artmaktadır. Dünya da enerji ihtiyacı genel olarak konvansiyonel kaynaklardan karşılanmaktadır. Petrol ise bu kaynaklar arasında önemli yer tutmaktadır. Doğal sonuç olarak tüm dünyada enerji açığı oluşmaktadır. Kanıtlanmış üretilebilir petrol ve doğal gaz rezervlerine insan ömrüne sığacak kadar ömür biçilmesi, insanlığın geleceği açısından düşündürücüdür.

Restaurant ve evsel atık yağları, yağ asidi esterlerine dönüştürülmek suretiyle alternatif bir dizel yakıtı olarak dizel motorlarında kullanımı, hem insan sağlığı hem de çevresel açıdan önemli bir avantajdır. Atık kızartma yağlarının, dizel motorlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilmesi için motorine yakın değerlere sahip bir yakıtı dönüştürülmesi gerekmektedir. Dönüştürülme işleminde en genel kullanılan metot transesterifikasyon reaksiyonudur.

Bu çalışmada; Atık kızartma yağından transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretilmiş ve yakıt analizi yapılmıştır. Çalışmada, farklı oranlarda biyodizel/dizel karışımları, deney motorunda normal şartlarda ve aşırı doldurma yapılarak 1200-2800 d/d arasında test edilmiş ve motor performans değerlerinde değişimler gözlenmiştir.

Deneysel çalışmaların sonucunda superşarj uygulandığında, motor performansında olumlu değişimler tespit edilmiştir.

# **AN INVESTIGATION OF THE EFFECTS USAGE TO SUPER CHARGING ENGINE PERMORMANCE WASTE FRYING OIL METHYL ESTERS APPLICATION DIESEL ENGINE**

## **SUMMARY**

Key Words: Biodiesel, Alternative fuel, Supercharging, Waste frying oil methyl esters, Engine Performance

Need for energy is increasing due to the developing industry and increasing population of the world. The worldwide energy requirements are usually provided from conventional sources. Petroleum consumption has an important place in these sources; it is worth pointing that feasible petroleum and natural reserves has a life approximately equal to life span of a man. In short .

Converting waste frying oils from restaurants and households to fatty acid esters or use as an alternative diesel fuel has important advantages for human health and environmental standpoints. Using waste frying oils in diesel engines without any modification necessities the fuel properties must be similar with those of petroleum diesel fuel. This requires a chemical process to be meeting the diesel fuel's properties. In converting process, the method commonly used is transesterification

In this work; firstly biodiesel was produced from waste frying oil by transesterification method and was tested to determine it's fuel propoities. Application was different to prepared waste frying oil methyl esters/diesel blends standard and supercharging were tested in a single cylinder, four stroke, direct injection diesel engine between 1200 and 2800 rpm at full load-different engine speeds.

After the experimental studies, it was determined that changes in engine performance parameters were improved by supercharging

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

İçinde yaşadığımız dönem, konvansiyonel olarak bilinen kullanımdaki enerji kaynakları potansiyelinin azalmaya başladığı bir sürecin başlangıcıdır. Bu süreç bir çok riski de beraberinde getirmiştir. Klasik enerji kaynaklarının birçoğu hesaplanan yaklaşık bir süre sonunda tükenecektir. Bu fosil kaynaklar çevresel açıdan büyük ve geri dönüşümü olmayan tehlikeler oluşturmaktadır. Klasik enerji kaynakları artan ihtiyaç ve gelişen teknolojiyi beslemekte yetersiz kalması sonucu, gelişmiş ülkeler enerji çeşitliliğini artırmakta, yaymakta ve belli enerji kaynağı türlerine büyük oranlarda bağımlı olmamaya çalışmaktadır. Bu da özellikle enerji yatırımların da geri kalmış veya mevcut kaynak rezervlerinde dışarıya bağımlı ülkeler için büyük bir risk taşımaktadır [1,2].

Enerji tüketimi, ülkelerin gelişmişlik düzeylerini gösteren önemli bir unsurdur. Sanayi ve hizmet sektöründe ki gelişmeler ve artan nüfus ile beraber enerji gereksinimi katlanarak artmaktadır. Hızla artan enerji ihtiyacı nedeniyle, enerjiyi yoğun olarak kullanan sektörler, araştırma geliştirme faaliyetlerini, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi üzerinde yoğunlaştırmaktadır. Özellikle otomotiv sektörü bu alanda başı çekmektedir [3].

Bugün dünya enerji tüketim talebinin %85'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Talebin büyük çoğunluğunun fosil yakıtlardan karşılanması sebebiyle ısınan dünyada iklim değişimleri yaşanmaktadır. Enerji sorununa çözüm bulunmadığı takdirde ekosistem bozulacak, bitki ve hayvan türleri yok olacaktır. Bunun sonucunda yoğun hava kirliliği yaşanan kentlerde de zehirlenme vakaları görülecektir [4].

Kullanım alanı sürekli genişleyen dizel motorlu araçlar bilindiği gibi petrol kökenli yakıtlar kullanmakta ve buna paralel olarak yakıt ihtiyacı da sürekli artmaktadır. Günümüzdeki rezervleri ele aldığımızda dünya petrol rezervinin yaklaşık 135.4

milyar ton, ve doğalgaz rezervinin 124 trilyon m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilmektedir. Mevcut kaynakların üretim ve tüketiminin bugünkü düzeylerde sürdürülmesi halinde petrol kaynaklarının yakın bir gelecekte biteceği hesaplanmaktadır [5,6].

Tablo 1.1. Dünyadaki yakıt rezervinin yıl olarak kullanılabilme süreleri [6].

<b>Bölge</b>	<b>Petrol</b>	<b>Doğalgaz</b>	<b>Kömür</b>
Kuzey Amerika	18	12	235
Orta ve Güney Amerika	37	72	>500
Avrupa	8	18	158
Eski SSCB Ülkeleri	25	83	>500
Ortadoğu	83	> 100	186
Afrika	28	>100	266
Asya – Okyanusya	16	41	146
Toplam Dünya	41	63	218

Tablo 1.1’de Dünyadaki yakıt rezervlerinin bölgelere göre kullanılabilme süreleri verilmiştir. Buna göre dünya enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan petrol ve doğal gazın bölgeler bazında kanıtlanmış rezervleri (şu andaki ekonomik koşullarda % 90 kesinlikle üretilebilecek değerler) oransal olarak Petrolde, Orta Doğu % 64, Kuzey ve Güney Amerika % 8, Avrupa ve Afrika % 7, Asya % 6’lık bir paya sahip doğal gazda ise, eski SSCB dahil olmak üzere Asya % 39, Orta Doğu % 35, Güney Asya, Pasifik ve Afrika % 7, Kuzey ve Güney Amerika % 5 ve Avrupa % 3’lük bir orana sahiptir. Ülkemiz jeolojik yapısı nedeniyle, ham petrol ve doğal gaz açısından zengin kaynaklara sahip değildir. Ham petrol sahaları Güneydoğu Anadolu’da, doğal gaz ise Trakya bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Bugün, zengin petrol yataklarına sahip bölgelerde oluşan krizler göstermektedir ki, enerji endüstri ihtiyacı yanında, çok büyük bir uluslararası sorun unsuru haline gelmiştir [1,7,8].

Dünyada büyük ölçüde yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanılıyor olması, çevre sorunlarını önemli ölçüde artırmıştır. Bu nedenle çevresel etkileri az olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik her bakımdan avantajlı olmaktadır. Ancak bazı teknik sorunların çözümlenebilmesi için zamana ihtiyaç vardır ve bu da söz konusu geçişin oldukça uzun bir süre olacağını göstermektedir [7].



Ülkemizin de içinde bulunduğu petrol ithal eden ülkelerin, özellikle global krizlerin baş gösterdiği zamanlar da OPEC üyesi ülkelerin üretimi kısıma yönünde takındıkları tavrı petrol fiyatlarındaki aşırı değerlenmelere sebep oluşturmakta, bu durumda enerjiye bağımlılığı yüksek ülkelerin bütçelerinde mali açıdan büyük hasarlar oluşmasına sebep olmaktadır.

Tablo 1.2. Alternatif enerji kaynakları ve yakıtı [7].

<b>Alternatif Enerji Türü</b>	<b>Kaynak veya Yakıtı</b>
Nükleer Enerji	Uranyum gibi ağır elementler
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgar Enerjisi	Atmosferin hareketi
Dalga Enerjisi	Okyanus ve denizler
Doğal Gaz	Yer altı kaynakları
Geo-termal Enerji	Yer altı suları
Hidrolik potansiyel	Nehirler
Hidrojen	Su ve hidroksitler
Bio-mass, bio-dizel ve bio-gas	Biyolojik artıklar, yağlar

Tablo 1.2’de alternatif enerji türleri ve kaynakları verilmiştir. Özellikle Günümüzde dizel yakıtına en büyük alternatif olarak gösterebileceğimiz biyodizel gelişmiş ülkelerin büyük kısmında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ana ham maddesi ‘bitkisel ve hayvansal yağlar’dır. Kullanılan yağların yeni veya atık olmasının önemi yoktur. Atık yağların çevre kirliliği ve insan sağlığı için risk yaratmasını engellemek ve bu işlem sırasında enerji üretimi sağlamak çok yönlü bir prosestir.

Bitkisel yağlar, alternatif yakıt olarak doğrudan kullanılabilmesine karşın, yapılan testler sonucunda dizel motorlarında pek çok problemin doğmasına sebebiyet verebileceği görülmüştür, yapılan kısa süreli testlerde herhangi bir problem görülmemesine rağmen uzun süreli testlerde çeşitli sorunlar ile karşılaşmıştır. Bu alanda bir yaygınlaşma ise, gerek yasal düzenlemeler gerekse teknolojik altyapının önceden planlanarak gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Gerekli politikaların önceden geliştirilmesi, tarım ve otomotiv sektörüne ciddi kazançlar sağlayacaktır.

Biyodizelin kullanımı, ekonomik olması, çevre kirliliği açısından daha temiz bir yakıt olması ve dışa bağımlılık yerine öz kaynaklardan elde edilerek ülke ekonomisine çok yönlü katkıda bulunması açısından önem kazanmaktadır. Konunun ülke tarımı, yakıt tüketimi, çevre kirliliği gibi çok yönlü değerlendirilmesi gerekmektedir [4,8].

İçten yanmalı motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlar sentetik yakıtlar, alkoller ve gaz yakıtlar olarak sınıflandırılmaktadır. Kullanılacak yakıtların, ucuz ve bol miktarlarda üretilebilmesi, ısıl değerlerinin yüksek olması, kolayca depolanabilmesi ve taşınabilmesi, yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya olanak vermesi ve düşük düzeylerde egzoz emisyonu oluşturması istenir. Günümüzde alternatif yakıtları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz [8,9].

Hidrojen : Hidrojen doğada en çok bulunan element olmasına rağmen, hafifliği sebebi ile atmosfere yükselip orada serbest kaldığından, yeryüzünde serbest halde çok az bulunur. 0 °C'deki yoğunluğu 0,08987 g/lit ve havaya göre özgül ağırlığı 0,0695'dir. Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksektir [10].

LPG : Motor yakıtı olarak LPG kullanıldıkları ülkenin sınırlandığı yakıt özelliklerini sağlamak için farklı oranlarda ki C<sub>3</sub> ve C<sub>4</sub> hidrokarbonlarının karışımından oluşur. Hava ile kolayca karışması ve karışım içindeki hava/yakıt oranının birbirine yakın değerinde olması motor yakıtı olarak LPG'nin üstün yönleridir [10].

Doğalgaz (LNG-CNG) : Metan, etan, propan, azot ve az miktarda karbondioksit gazlarının bileşiminden oluşan, renksiz, kokusuz havadan hafif olan yanıcı bir maddedir. Doğalgazın büyük bölümünü %90-96 CH<sub>4</sub> (metan) gazı oluşturmaktadır. Geri kalan bölümünü ise % 2.411 CH<sub>6</sub> (etan), % 0.736 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> (propan), % 0.371 C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (bütan), % 0.776 N<sub>2</sub> (azot), % 0.164 C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> (pentan) ve % 0.085 CO<sub>2</sub> (karbondioksit) oluşturmaktadır [10].

Metanol : Alternatif alkol yakıtlar içerisinde popülaritesi en yüksek olan yakıtın metanol olduğu kabul edilmektedir. Metanol renksiz, saydam, hafif kokulu, toksik higroskopik bir sıvıdır. Fakat doğal kaynakların yenilenebilir olamamasından dolayı metanolün alternatif bir yakıt olarak kullanımı geçici bir süre için söz konusu olacaktır [10].

Etanol : Etanol, içerisinde etil alkol bulunan şeker, şekere çevrilebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilen alkol türüdür. Etanolün motorlarda kullanımı düşüncesi tarım ürünlerinin bolca yetiştirildiği ülkeler için gereklidir. Etanol temiz renksiz ve zehirli olmayan bir sıvıdır. Kimyasal denklemi  $C_2H_5OH$ 'dır. Ayrıca alkol yakıt olarak MTBE, ETBE, bütanol (yakıt katkısı olarak) kullanılmaktadır [10].

Biyodizel : Biyodizel uygulamalarda başarısını kanıtlamış en önemli dizel motoru alternatif yakıtıdır. Bu çalışmanın üçüncü bölümünde biyodizel yakıtının genel hatları ile tanıtımı yapılacaktır.

Hibrit motorlar : Hybrit sistemle donatılan bir araçta iki çeşit itici güç kaynağı kullanılmaktadır. Elektrik ve içten yanmalı motorun birlikteliği buna bir örnek olarak gösterilebilir. Bugün bu sistemin hayata geçirilmesi ile içten yanmalı motorların emisyonları aksine sıfır emisyon değerlerine ulaşılabilecektir.

Fuel-cell (yakıt pili) : Temiz verimli ve yakıt türüne karşı esnek enerji dönüştürücülerdir. Yakıt pilleri kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Fosil yakıtların yakılması yerine, yakıt ile oksijenin elektrokimyasal reaksiyonu sonucunda enerji üreten bir bataryadır.

Ülkemizde kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağ atıkları gelişi güzel bertaraf edilerek hem sularımız hem de yer altı sularımız kirletilmektedir. Bu atıklar değerli bir maddedir. Geri kazanıldığı zaman çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Böylece çevreye verebileceği zarar minimize edilebilir.

Uygulanan çalışmamızda bir miktar atık bitkisel kızartma yağı toplanmış ve bu yağlardan transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiştir. Üretilen biyodizel farklı oranlar da motorine karıştırılarak denenecektir. Ayrıca motora dışardan aşırı doldurma uygulanarak, motor performansında meydana gelen değişimler gözlemlenecektir.

## **BÖLÜM 2. DİZEL MOTORLARDA YANMA**

### **2.1. Hidrokarbon Esaslı Dizel Yakıtı**

Bu günkü içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların yapısı ne olursa olsun organik hidrokarbonlardır. Bunlar ham petrolden, bitkilerden veya tarımsal artıklardan elde edilebilir. Petrolden elde edilen sıvı yakıtların kimyasal yapıları, karbon (C) ve hidrojen (H) bileşiminden oluşur. Yakıtların kimyasal yapısı  $C_mH_n$ 'dir [11].

### **2.2. Doymuş Hidrokarbonlar**

Karbon atomlarının birbirine tek bağ ile bağlandıkları bileşikler doymuş hidrokarbonlar olarak sınıflandırılır.

#### **2.2.1. Parafinler ( Alkanlar )**

Parafinlerin kimyasal yapısı  $C_nH_{2n+2}$  şeklinde olup hidrojen atomu sayıları fazla olduğundan ısı değerleri büyük yoğunlukları düşüktür. ( $620 - 770 \text{ kg/m}^3$ ) Parafinler beş karbonlulara kadar atmosfer koşullarında gaz halindedir. Beş ve daha fazla sayıda karbon ihtiva eden parafinler ise atmosfer koşullarında sıvı fazındadır. karbon atomlarının bağlanış şekline göre iki gruba ayrılırlar [11,12].

##### **2.2.1.1. Normal parafinler**

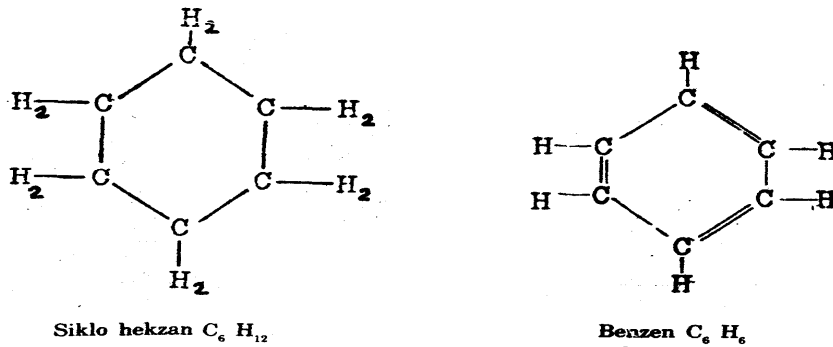
Karbon atomları sıra şeklinde bağlıdır Karbon atomunun dört bağlantı kolu da dolu olduğundan bunlara doymuş hidrokarbon denilmektedir. Bağlar kolayca parçalanabildiğinden tutuşma meyilleri genel olarak yüksektir. Dizel motor yakıtı olarak uygundur.

### 2.2.1.2. İzoparafinler ( çatallı zincir grubu )

Bunlar da doymuş gruba girmektedir, ancak bazı karbon atomları genel zincir yapısının üzerine çatallı bir şekilde yerleşmiştir. Grubu düz zincir kısmını oluşturan karbon atomu sayısına ve dallanma yerlerine göre özel isimler alırlar [12].

### 2.2.2. Naftenler ( Siklo – parafin veya siklanlar )

Kimyasal formülü  $C_nH_{2n}$  olan naften sınıfı yakıtlar “siklo” ön takısı alırlar. Yapıları halka şeklinde kapalı olduğu için parçalanmaları zor ve tutuşma meyilleri normal parafinlere göre azdır. Hidrojen sayısı az olduğundan ısı değeri az yoğunlukları yüksektir. Hem benzin hem de dizel motor yakıtı olarak uygundur [11,13].



Şekil 2.1. Siklo hekzan ve benzenin açık gösterimi [13].

## 2.3. Doymamış Hidrokarbonlar

Karbon atomlarının birbirlerine iki veya üç bağla bağlandıkları bileşikler de doymamış hidrokarbonlar olarak sınıflandırılır.

### 2.3.1. Olefinler

Bunlar bazı karbon atomları çift bağlı doymamış hidrokarbonlardır. İki ucu açık zincir yapısına benzer bir molekül yapısına sahiptirler olefinler moleküldeki çift bağ sayısına göre adlandırılır. Mono – olefinler de bir, di – olefinlerde ise iki adet çift

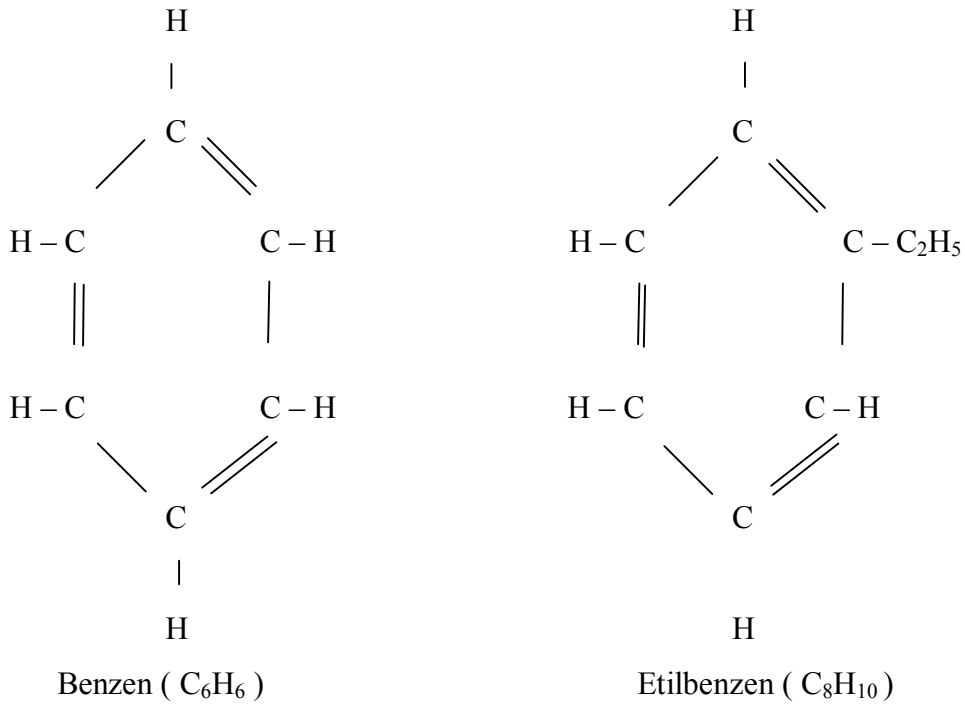
bağ bulunur. Isıl değerleri düşük yoğunlukları  $620 - 820 \text{ kg/m}^3$  arasındadır. Tutaşma meyilleri azdır [11,13].



Şekil 2.2. Propilen ve butadienin açık gösterimi [13].

### 2.3.2. Aromatlar

Halka şeklinde yapıları, çok sayıda çift bağı karbon atomları nedeniyle tutaşma meyilleri düşüktür. Diğer doymamış hidrokarbonlara göre daha kararlı bir yapıya sahiptir. Daha çok kömürden yapay olarak elde edilirler ve vuruntu mukavemetini arttırmak için benzine katılırlar. Genelde aromatlara ısı değeri düşüktür. Yoğunlukları ( $800 - 850 \text{ kg/m}^3$ ) yüksektir [12,13].



Şekil 2.3. Benzen ve etil benzenin açık gösterimi [13].

## 2.4. Dizel Yakıtların Genel Özellikleri

Yakıtın kimyasal kompozisyonu motor performansı ve emisyonlarını önemli bir biçimde etkilemektedir. Yakıt ne kadar fazla parafin hidrokarbonları ihtiva ederse setan sayısı o kadar yüksek olur. Tutuşma gecikmesi süresi kısalmır ve motorun çalışması daha düzenli olur.

### 2.4.1. Setan sayısı

Dizel motorunda yakıtın kendi kendine tutuşabilme kabiliyetini gösteren büyüklüğe setan sayısı denir. Setan sayısının artışı kendi kendine tutuşma eğilimini arttırmaktadır. Setan sayısı dizel motorlarının kolay çalışması ve yanma şartları üzerine etki eder. Setan sayısının yüksek olması motorun sessiz ve yumuşak çalışmasını sağlar. Dizel motorlarda yakıtın kendi kendine tutuşabilmesi için tutuşma meyilinin benzinin aksine yüksek olması gerekir, bu nedenle motorinin setan sayısının yüksek olması istenir. Ancak setan sayısının gereğinden fazla yüksek olması tutuşma gecikmesini kısalttığından yakıt yanma odası içerisinde iyi dağılamaz ve dumanlı bir yanma meydana gelir bu durum aşırı is oluşumu ve enjektör deliği üzerinde karbon birikintisi oluşumuna sebep olmaktadır. Günümüzde dizel yakıtının setan sayısı en az 45 olarak belirlenmiştir. Dizel indeksi ile setan sayısı arasında ki değerler birbirine çok yakındır [11,12].

### 2.4.2. Viskozite

Viskozite genel tanımıyla akışkanın çekim ve sürtünme kuvvetleri nedeniyle akmaya karşı gösterdiği iç dirençtir. Viskozite sıvı yakıtın akıcılığı için bir ölçü olup özellikle dizel motorlarının yakıt besleme ve püskürtme sistemlerinde önemli bir parametredir. Viskozite kinematik ve dinamik viskozite olarak ikiye ayrılır. Kinematik viskozite sıvı ve katı yakıtların en önemli özellikleri arasında gelir. Yakıtın en düşük çalışma şartlarında dahi serbestçe akacak kadar viskozitesinin düşük olması gerekir [11,12].



### 2.4.3. Isıl değer

Yakıtın ısıl değeri genellikle birim kütlesinin enerjisi ile verilmektedir ( kJ/ kg veya kcal/kg ). Yakıt içersinde saklı kimyasal enerjinin yanma reaksiyonu ile serbest hale dönüşüm şeklidir. Yanma sonu sıcaklıkların da su her zaman buhar olarak bulunduğundan ısıl değer, alt ısıl değer olarak alınmalıdır. Birim kütle ve sahip olduğu enerji söz konusu olduğundan eşdeğer enerjinin ısıl değeri düşük olan yakıtta daha fazla tüketimi gerektiğinden depolama ve tüketim yönlerinden önem teşkil etmektedir [11,12,14].

### 2.4.4. Alevlenme noktası

Sıvı bir yakıtın yanabilmesi için, yakıtın buharı ile havanın belirli oranlar içinde karışması gerekir. Alevlenme noktası yakıt buharının açık alev ile temas ettiğinde bir an için alev aldığı sıcaklıktır. Yakıtın bu kolay yanabilme özelliği alevlenme noktası ile tespit edilir. Alevlenme noktası bir yandan sıcaklıkla diğer yandan yakıt hava karışımının tutuşma sınırları ile ilgili olduğundan yakıtın buharlaşma miktarına dolayısı ile buharlaşma basıncına da bağlıdır [11,12,14].

### 2.4.5. Parlama noktası

İçlerinde yanabilecek sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklarda buhar durumuna geçebilen maddelerin bulunmasından dolayı yakıtlar, yanma sıcaklıklarından daha düşük sıcaklıklarda alev yaklaştırıldığında parlamaktadır. Parlama olduğundaki sıcaklık değeri parlama noktası olarak adlandırılır. Parlama noktasının dizel yakıtlarda özellikle depolama ve yangını önleme bakımından önemi büyüktür [11,12,14].

### 2.4.6. Donma ve akma noktaları

Yakıt akışının hangi sıcaklıkta duracağını belirtir. Bu değer kış ayları için büyük önem taşır. Belirli bir sıcaklık değerine geldiğinde yakıt molekülleri daha büyük sıvı kristalleri oluşturmaktadır. Kristallerin yığılmaya başladığı bu sıcaklık değeri donma noktası yakıt akışının durduğu en yüksek sıcaklık değeri ise akma noktası

olarak adlandırılır. Yüksek akma noktasına sahip dizel yakıtı, yakıt sisteminin tıkanmasına ve motorun çalışmamasına sebep olmaktadır [11,12,14].

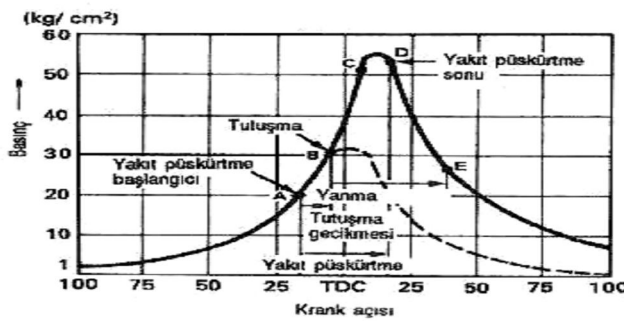
## 2.5. Dizel Motorlarda Karışımın Oluşturulması

Dizel motorlarda yakıt hava karışımı, emme zamanı sırasında yanma odasına emilen hava içersine sıkıştırma zamanının sonlarına doğru yakıt püskürtülerek oluşturulmaktadır. Yakıtın püskürtülmesindeki amaç, küçük damlacılara ayrılması sonucu hava ile temas eden yüzeyin önemli ölçüde artırılması ve böylece buharlaşmanın ve yanmanın daha kısa sürede kontrollü olarak gerçekleştirilmesidir.

Dizel motorlarda gerçekleşen şartlar altında yakıt (5-50 $\mu$ m) çapında damlacıklara ayrılır. Yanmanın iyi olabilmesi ve tutuşmanın kolay sağlanabilmesi için hava ile temas eden yüzeyin artması, bunun için damlacık çaplarının küçük olması gerekir [11,18].

## 2.6. Dizel Motorlarda Yanma Olayı

Dizel motorlarda yanma, yakıtın yanma odasına püskürtüldüğü safha ile yanmış gazların dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen zamanda karmaşık fiziksel ve kimyasal olayları kapsamaktadır. Dizel motorlarda yanma odası içinde homojen bir karışım yoktur. Sıkıştırma oranı 1/12 – 1/22 arasında olduğundan sıkıştırma zamanının sonuna doğru silindirlerdeki havanın sıcaklığı oldukça yüksektir [11,20].



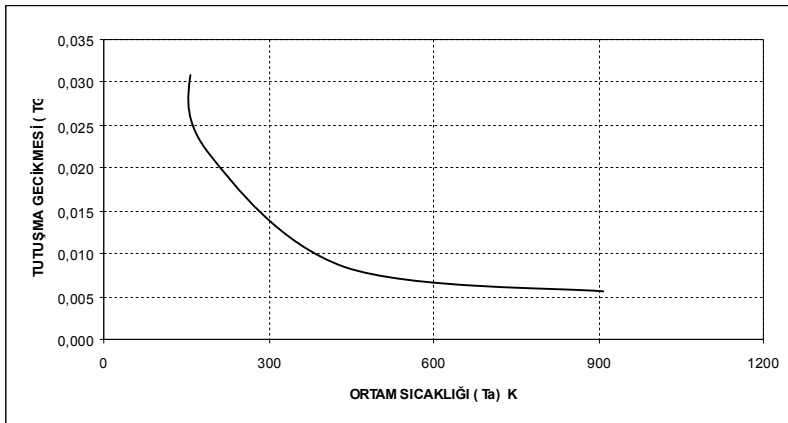
Şekil 2.4. Dizel motorlarda yanma olayı [12].

### 2.6.1. Tutuşma gecikmesi

Yakıtın yanma odasına püskürtülmeye başlandığı andan itibaren kimyasal reaksiyonlarda başlamaktadır. Ancak kimyasal reaksiyonlar ile ilk alevin ortaya çıkışı arasında belli bir süre geçmektedir. Püskürtme başlangıcından alevin gözükmesine kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi denir. Bu süre içinde buharlaşan yakıtın silindir ortamından çektiğı ısı nedeniyle silindir basıncında bir azalma gözlenir. Tutuşma gecikmesi yanmanın gidişini etkileyen önemli bir parametredir. Bu bakımdan TG etkileyen faktörlerin bilinmesi gerekir [11,18].

#### 2.6.1.1. Ortam sıcaklığı

Ortam sıcaklığı artıkça TG’de hızla azalmaktadır. Ancak 900 K’nin üzerindeki sıcaklıklar TG’ne pek fazla etki etmemektedir.



Şekil 2.5. Tutuşma gecikmesinin ortam sıcaklığı ile değişimi [11].

#### 2.6.1.2. Ortam basıncı ( pa )

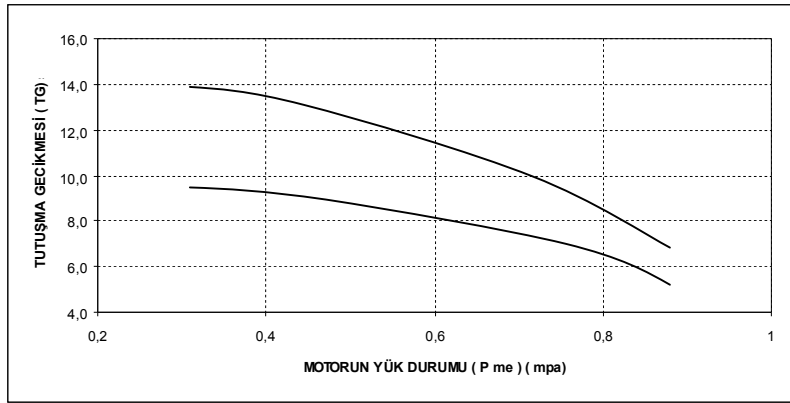
Ortam basıncının artması tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Motordaki çalışma koşullarında sıkıştırma süresi boyunca sıcaklık ve basınç sürekli değişmektedir.

### 2.6.1.3. Dönme sayısı ( n )

Motor üzerinde yapılan deneylerde dönme sayısının değişiminin TG üzerinde etkisi görülmüştür. Dönme sayısının artması sonucu, TG her zaman azalmaktadır. Dizel motorlarda dönme sayısının artması vuruntu oluşumunu da azaltmaktadır.

### 2.6.1.4. Motorun yük durumu (Pme)

Motorun yükü arttıkça giren enerji miktarındaki artışla birlikte sıcaklık seviyesi artacağından TG zaman ve °KMA olarak azalacaktır.



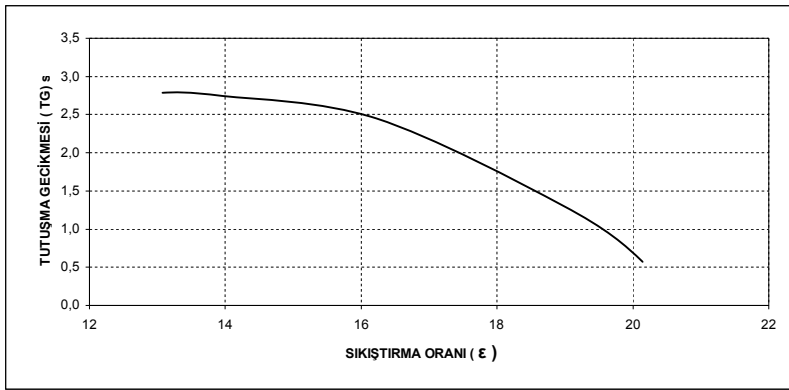
Şekil 2.6. Dizel motorlarda yük durumunun tutuşma gecikmesine etkisi [11].

### 2.6.1.5. Oksijen konsantrasyonu

Yanma odasındaki oksijen konsantrasyonunun TG'ne etkisi büyüktür. Yanma odasında bir önceki çevrimden kalan egzoz gazları, buradaki oksijen konsantrasyonunu düşürmektedir. Oksijen konsantrasyonunun azalması ile TG artmaktadır.

### 2.6.1.6. Sıkıştırma oranı

Sıkıştırma oranı arttıkça, artan basınç ve sıcaklık nedeniyle TG azalmaktadır. Motorun bazı bölgelerinin yerel olarak daha sıcak olması da TG'ne etki etmektedir.



Şekil 2.7. Dizel motorlarda sıkıştırma oranının tutuşma gecikmesine etkisi [11].

### 2.6.1.7. Yakıt faktörleri

TG'ni etkileyen en önemli faktör yakıtın setan sayısıdır. Setan sayısı arttıkça TG azalmaktadır. Ancak setan sayısının çok yükselmesi durumunda da bazı sorunlar çıkmaktadır. Enjektörden çıkan yakıt kısa sürede tutuşmakta enjektörün ucunda koklaşan yakıt enjektör memesinin tıkanmasına sebep olmaktadır [12].

### 2.6.2. Kontrolsüz yanma

Tutuşma gecikmesinden sonra yanma olayı başlamaktadır. İlk alev çekirdeği meydana gelip yanma başladığı anda oksijen ile temas eden yakıt büyük bir hızla yanmakta bu ise basınçta ani bir yükselme meydana getirmektedir. Günümüzde bu vuruntuyu azaltmak nedeniyle TG azaltılması ve başlangıçta püskürtülen yakıtın miktarının düşürülmesi için kademeli tip enjektörlü püskürtme yöntemi geliştirilmektedir [11,18].

### 2.6.3. Difüzyon kontrollü yanma

Dizel yanmasının, ana yanmayı oluşturan üçüncü fazı difüzyon kontrollü yanmadır. Kontrolsüz yanma sona erdiğinde silindir içersindeki basınç ve sıcaklık püskürtülen yakıtı doğrudan doğruya yakabilecek bir değere ulaşmakta ve gecikme olmadan yanmaktadır. Yanma yakıtın miktarı ile kontrol edilir. Bu fazda yanma hızı buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı ile belirlenmektedir.

Motorun ısı veriminin yüksek olması için yanmanın mümkün olduğunca Ü.Ö.N. yakın olması istenir [11,18].

#### **2.6.4. Art yanma**

Yanma süresince maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma fazı başlar. Yakıtın silindir içine püskürtme işlemi bitmiş ve motor genişleme zamanına geçmiştir. Diğer evrede silindirlere püskürtülen fakat yanma imkanı bulamayan yakıt zerrelere oksijen buldukça yanmaya başlar. Genişleme zamanında gerçekleşen art yanma, egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir [11].

#### **2.7. Dizel Motorlarda Aşırı Doldurma**

İçten yanmalı motorlarda motor gücü, yaklaşık olarak silindirlerde yakılan yakıt ve bu yakıtın yanmasını sağlayacak hava miktarı ile orantılıdır. Motor silindirlerine daha fazla hava gönderilmesi, motorun tabii emişi yerine dışarıdan havanın pompalanması yoluyla sağlanabilir. Verilen bir strok hacmindeki motordan daha fazla bir güç almak için atılması gereken ilk adım çevrimin frekansını mekanik ve ısı sınırlarının müsaade ettiği kadar arttırmaktır [11].

Aşırı doldurma uygulaması ile silindir içerisine daha fazla hava alınarak, daha fazla yakıtın yanması sağlanmakta ve motor gücünde önemli bir artış elde edilmektedir. Aşırı doldurma uygulaması ile aynı çıkış gücü için bir motorun hacmi küçültülebilmekte veya aynı motordan daha fazla güç elde edilebilmektedir. Aynı zamanda kontrollü bir yanma sağlandığı için, daha temiz egzoz emisyonu değerleri de elde edilir.

Normal emişli dizel motorlarında deniz seviyesinden yükseklere çıkıldıkça atmosfer basıncı düştüğünden motor gücü de düşer. Aşırı doldurmalı motorlarda güç düşmesi söz konusu değildir. Çünkü motora alınan hava türbin tarafından devamlı basınçlı olarak temin edilmektedir. Aşırı doldurmalı motorların özgül yakıt tüketimleri normal emişli motorlara nazaran daha düşüktür. Aşırı doldurmanın amacı, silindir içine giren havanın basıncını ve yoğunluğunu arttırmak sureti ile volümetrik verimi

arttırmaktır. Aşırı doldurma ile bir motorun hızı arttırılmadan, gücü arttırılabilir veya belirli bir çıkış gücü için motorun ağırlık ve hacmi düşürülebilir. Yakıtın tam yanması da sağlanarak egzoz emisyonlarında bir düzelme görülür [20].

Aşırı doldurmada hava veya hava – yakıt karışımı kompresörde sıkıştırılarak silindire sevk edilir. Aşırı doldurma sistemler, kompresörün hareket alma şekline, kompresörün tasarımına, aşırı doldurma sisteminin motora bağlanma şekline veya güç transfer metoduna, motor tipine göre sınıflandırılabilir [21].

## **2.8. Hacimsel (volumetrik) Verim**

Emme sistemi, hava filtresi, emme manifoldu, emme portu ve emme supabı belirli strok hacme sahip bir motorun emebileceği hava miktarını azaltmaktadır. Motorun emme işleminin verimliliğini ölçmek için kullanılan parametre volümetrik verim olarak adlandırılır. Volümetrik verim kavramı dört zamanlı motorlar için kullanılmaktadır. Motorlarda emme sonunda silindir içinde taze hava veya yakıt hava karışımı ile artık gazlar bulunmaktadır. Emme sonundaki silindir basıncı emme organlarındaki kayıplar nedeniyle ortam basıncının altındadır. Artık gazların ve çeper sıcaklığının etkisi ile taze hava veya yakıt – hava karışımı ısınarak genişlemekte ve dolayısıyla genişleyen hacim kadar daha az hava veya yakıt silindire girmektedir. Volümetrik verim, bir emme zamanında silindir içine emilen taze karışım miktarını, bu karışımın giriş yoğunluğunda silindire doldurabilecek oranı olarak adlandırılır [12,22].

Volümetrik verim silindir sisteminin performansının önemli bir ölçüsüdür. Bu büyüklüğü hesaplamak için giriş yoğunluğunu taze karışımın emme manifoldu veya yakınındaki yoğunluk olarak tanımlamak gereklidir [21,22].

### **2.8.1. Volümetrik verimi etkileyen etmenler**

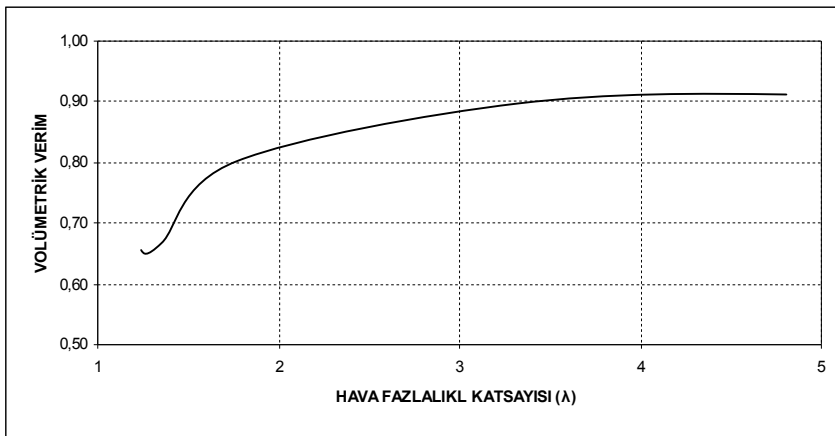
Volümetrik verim sıkıştırma başlangıcındaki basınca ve sıcaklığa, egzoz sonu basıncına ve sıcaklığına, sıkıştırma oranına ve egzoz pencereleri ve yüksekliğinin piston stroku oranına bağlıdır.

### 2.8.1.1. Emme basıncı

Emme basıncı volümetrik verimi büyük ölçüde etkilemektedir. Emme basıncı, emme kanalı ve supap konstrüksiyonuna bağlı olarak dönme sayısının karesi ile azalır.

### 2.8.1.2. Emme hava sıcaklığı

Emme gazlarına olan ısı iletiminin artması sonucu emme hava sıcaklığı, artıkça volümetrik verim azalmaktadır. Motor yükünün artması, soğutma suyu sıcaklığının artması gibi motor sıcaklığını artırıcı her etken volümetrik verimde azalmaya neden olur. Dizel motorlarda yük arttıkça, sıcaklık artmakta hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) azalmakta, volümetrik verim azalmaktadır.



Şekil 2.8. Hava fazlalık katsayısının volümetrik verime etkisi [12].

### 2.8.1.3. Artık gazların basıncı ve sıcaklığı

Artık gazların basıncı arttıkça volümetrik verim azalır. Egzoz donanımındaki aerodinamik kayıplar arttıkça silindirde kalan artık gazların miktarı ve basıncı artar. Silindire daha az taze dolgu ve hava gireceğinden volümetrik verim düşer.



#### 2.8.1.4. Sıkıştırma oranı

Volümetrik verim diğer parametreler sabit kalmak üzere sıkıştırma oranı arttıkça volümetrik verim azalmaktadır. Deneysel çalışmalar da sıkıştırma oranının artması ile volümetrik verimin azaldığı gibi arttığı da görülmüştür. Çünkü sıkıştırma oranının artması bir yandan sıcaklık seviyelerini arttırdığı gibi diğer taraftan artık gazların miktarını azalttığı için volümetrik verimi artırıcı yönde etki etmektedir [12,16].

### 2.9. Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonlar

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon kökenli yakıtların ideal koşullar altında hava ile tam yanması sonucunda elde edilen yanma ürünleri  $CO_2$ ,  $H_2O$  ve havadaki  $N_2$ 'den oluşmaktadır. Bunlara ilave olarak çok fakir ve zengin yakıt hava karışımının kullanılması veyahut çok düşük yanma sıcaklığının oluşması ve yakıtta bulunan bazı bileşenler nedeniyle hava kirlenmesine yol açan PM,  $SO_x$ ,  $NO_x$ , CO, HC ve kısmen okside olmuş hidrokarbonlar (aldehitler, ketonlar), is, metalik yakıt ve yağ artıkları oluşmaktadır [15,16].

#### 2.9.1. Karbonmonoksit (CO)

Kokusuz ve renksiz bir gaz olan CO çok zehirlidir. Kandaki  $O_2$  taşıma görevine sahip olan hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene oranla yaklaşık 200 kere daha fazladır. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yanma odasının tümünde veya yerel olarak yetersiz olmasıdır. Dizel motorlar genellikle fakir karışım oranlarında çalışmaktadır [15-17].

#### 2.9.2. Azot oksit ( $NO_x$ )

Azot oksitler ( $NO_x$ ) de CO gibi kandaki hemoglobinle birleşmektedir. Yanma sonucu ulaşılan çok yüksek yanma derecelerinde ve serbest oksijen ortamında meydana gelmektedir. İçten yanmalı motorlarda yanma odasındaki sıcaklık 1800K'nin üzerine çıktığında, havanın içerisindeki azot ve oksijen kimyasal olarak birleşerek, azot oksit denilen, insan sağlığına ve çevreye zararlı bir gaz haline dönüşür.  $NO_x$  oluşumunu

etkileyen iki önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve yakıt/hava oranıdır. HFK 1.1 civarında  $\text{NO}_x$ 'lerin oluşumu en fazla olmaktadır. HFK 1.1'den büyük olursa (Fakir karışım) silindir içi sıcaklık reaksiyona giren gaz miktarı ile düşerek  $\text{NO}_x$  emisyonunun azalmasına sebep olur. Sadece EGR uygulaması ile  $\text{NO}_x$  emisyonlarında % 75'lik bir azalma elde edilebilmektedir [17,19].

### **2.9.3. Hidrokarbonlar (HC)**

Genellikle kötü kokulu ve tahriş edici maddelerdir 150 den çok çeşidi bulunmaktadır. Egzoz gazları içerisinde HC'lerin bulunuş nedeni CO ve  $\text{NO}_x$ 'lerin aksine yüksek sıcaklıklarının mevcudiyeti değildir. HC'lar sıcaklıkların ve oksijenin yetersiz olması sonucu yakıtın tam olarak yanmaması sonucu oluşur. Motorlarda HC emisyonu tam yanma olmayan bölgelerden gelmektedir [15,17].

### **2.9.4. Partikül maddeler (PM)**

İçten yanmalı motorlar tarafından üretilen katı taneciklerin büyük bir bölümü is oluşturmaktadır. Siyah duman olarak da bilinen is hava miktarı yetersiz olduğu zaman ortaya çıkmaktadır. Dizel motorlarda meydana gelen difüzyon alevinde, genel olarak hidrojenin karbona oranla oksijene karşı daha aktif olması nedeniyle yanmanın tamamlanması için zaman ve özellikle oksijenin bulunmadığı durumlarda is oluşacaktır. Yanma odasında is zerrecikleri yeterli sıcaklık, oksijen ve zaman bulamazsa egzozdan çevreye atılmaktadır. Genelde is oluşumu dizel yanmasının bir safhasıdır.. Bu nedenle başlangıçta oluşan büyük bir kısmı tekrar yanar [15,17].

### **2.9.5. Kükürtdioksit ( $\text{SO}_2$ )**

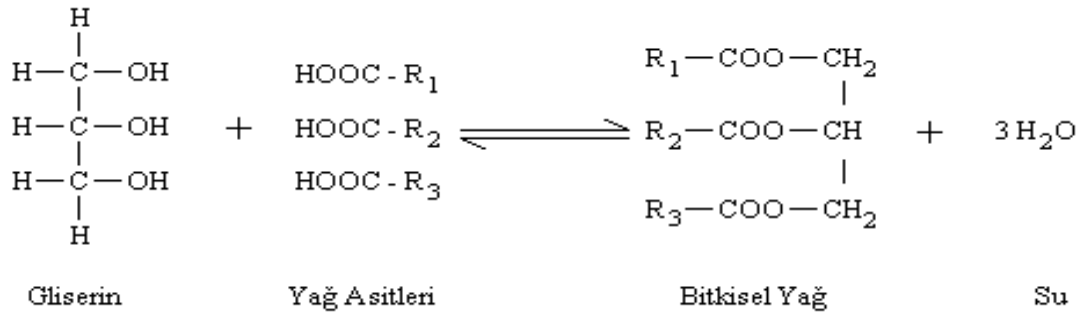
Renksiz sert kokulu bir gaz olan  $\text{SO}_2$ , insan sağlığı ve bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Dizel yakıtında yaklaşık % 0,5 altında kükürt vardır ve hava içerisindeki  $\text{O}_2$  ile birleşerek  $\text{SO}_2$  oluşturmaktadır. Dizel yakıtın kalitesi de kükürt oranında önemli bir faktördür [15,16 ].

## **BÖLÜM 3. ATIK BİTKİSEL YAĞLAR VE DİZEL MOTORLARDA KULLANIMI**

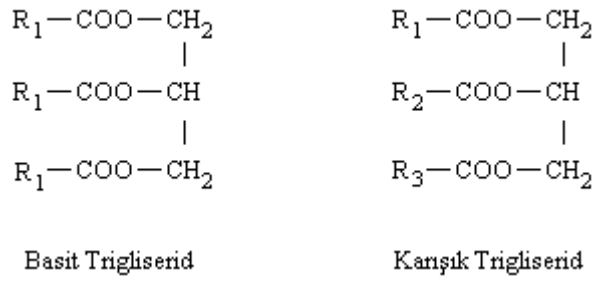
Kullanım alanı sürekli genişleyen dizel motorlu araçlar bilindiği gibi petrol kökenli yakıtlar kullanmakta ve buna paralel olarak yakıt ihtiyacı da sürekli artmaktadır. İçten yanmalı motorlarda hem petrole dayalı yakıt tüketimini hem de egzoz gazlarındaki zararlı maddeleri azaltmak için motorlu taşıtlarda kullanılabilecek yeni yakıt türlerinin geliştirilme çalışmaları yapılmaktadır. Bitkisel yağ asidi metil esterlerinin alternatif yakıt olarak dizel motorlarda kullanılması ve petrolde dışa bağımlı olan ülkemiz için önemli bir konudur. Dizel motorlarda yanma olayı, yakıtın yanma odasına püskürtüldüğü andan itibaren yanma ürünlerinin atmosfere atıldığı ana kadar cereyan eden düzensiz fiziksel ve kimyasal reaksiyonlardan oluşmaktadır. Petrol kökenli yakıtların uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunur olması ve bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklı alternatif motor yakıtlarının petrol ürünlerine göre pahalı olmaları petrol ile rekabet gücünü azaltmış ve motorların petrol ürünleriyle çalışacak şekilde gelişmesini sağlamıştır. Motor yapısında yapılacak küçük değişiklikler ve bitkisel yağların yakıt özelliklerinde yapılacak iyileştirmeler ile dizel motorlarda yakıt olarak bitkisel yağların kullanılabileceği yapılan çalışmalar göstermiştir [23,26].

### **3.1. Bitkisel yağlar ve özellikleri**

Bitkisel yağlar, bazı tarımsal ürünlerin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi sonucu elde edilir. Petrol esaslı yağlardan farklı bir kimyasal yapıya sahiptir. Yağ asitlerinin (R – COOH) gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bir başka ifade ile trigliserid olarak adlandırılmaktadır. Yağ asidinin gliserinle esterleşmesinin kimyasal denklemi Şekil 3.1 ve 3.2’de görülmektedir [24].



Şekil 3.1. Yağ asidinin gliserinle esterleşmesi [24].



Şekil 3.2. Basit ve karışık trigliserid [24].

Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak ortaya çıkmasındaki esasları;

1. Ürünlerin çevre dostu olması
2. Yenilenebilir ve çiftçi tarafından üretilmesi
3. Doğaya serbest bırakıldığında biyolojik olarak kolayca parçalanma/ayrışabilme yeteneğinin olması olarak sıralanabilmektedir [25].

Tablo 3.1. Ülkemizde yetiştirilen bitkisel yağlar [51].

Yağ Bitkisinin Adı	Ekiliş Alanı(ha)	Yağ Oranı(%)	Üretim Verimi(kg/ha)	Üretim Miktarı(ton)
Yer Fıstığı	32000	35 – 55	2563	82000
Soya	31000	13 – 25	2419	75000
Kolza	10	10 – 45	1000	10
Aspir	74	9 – 28	878	65
Ayçiçeği	560000	40 – 50	1607	900000
Susam	68000	45 – 59	412	28000
Haşhaş	29681	44 – 50	369	10948
Pamuk Toh.	721712	16 – 24	1653	1193286
Mısır	515000	17 – 18	3689	1900000
Türkiye Toplamı	1959738	-	-	4189929

Tablo 3.1’de görüldüğü gibi ülkemizin zengin biyokütle kaynaklarına sahip bir tarım ülkesi olduğu göz önünde bulundurulursa, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif motor yakıtı üretiminde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılmasının yaygınlaşması durumunda yağ bitkilerinin üretiminin artırılması imkanı her an mevcuttur. Günümüzde bitkisel yağların fiyatı, dizel yakıtın fiyatından daha pahalı olmasına rağmen, kullanımının yaygınlaşması halinde fiyatı daha da düşecektir. Ayrıca herkesin özen göstermesi gereken çevrenin korunması hususunda bitkisel yağlar, organik kökenli olması nedeniyle çevreyi kirletmeden toprağa kazandırılabilme gibi bir özelliğe sahip olmaktadır [25].

Tablo 3.2’de motorin ve bitkisel yağlara ait yakıt özellikleri verilmiştir. Bu değerlere göre, bitkisel yağların viskozitesi motorine göre yaklaşık olarak 9-12 kat daha fazladır. Viskozitenin yüksekliği yakıtın pompadan basılmasına ve enjektörden püskürtülmesinde problem olmakta, enjeksiyon sırasında atomizasyonun bozulmasına ve yanmanın kötüleşmesine neden olmaktadır. Bitkisel yağlar setan sayısı ile motorine yaklaşmakta, ısı değer yönünden bakıldığında motorinle

Tablo 3.2. Bitkisel yağların yakıt özellikleri [51].

Bitkisel Yağ	Ö. Kütle (g/ml)	Viskozite mm <sup>2</sup> /s	Isıl Değ. (kj/kg)	Setan S. (ASTM D613)	TG K.M.A (°)	Donma Noktası (°C)	Akma Noktası (°C)	Oksitlenme Süre. (h)
Ayçiçek	0.92	34.9	39644	33	23.8	7.2	-15	5.5
Soya yağı	0.92	36.4	39390	39	19.6	-3.9	-12.2	8
Pamuk	0.91	37.4	37420	51	21.4	1.7	-15	7.5
Yer fıstığı	0.91	37.2	37160	39	19.6	12.8	-6.7	6.7
Kolza	0.92	39.0	39913	37.6	21.9	-3.9	-31.7	10.5
Keten	-	27.2	39300	34.6	-	1.7	-15	3
Susam	-	35.5	39350	40.2	-	-3.9	-9.4	8.5
Motorin	0.86	2.9	42450	50.8	12.5	-15	-33	150
Karbon	Tüm bitkisel yağlarda %0.22-0.30 (ASTM sınır değeri %0.35)							
Kükürt	Tüm bitkisel yağlarda %0.01 (ASTM sınır değeri %0.5)							
Kül oranı	Tüm bitkisel yağlarda %0.005-0.01 (ASTM sınır değeri %0.01)							
Su ve tortu	Tüm bitkisel yağlarda %0.05 (ASTM sınır değeri %0.05)							

aralarında büyük bir farklılığın olmadığı görülmektedir. Parlama noktasının yüksek oluşu depolama güvenliği sağlarken tutuşma yönünden sorun teşkil etmektedir. Akma ve donma noktalarının da yüksek oluşu bitkisel yağların direk olarak kullanılmasında sorun teşkil etmektedir [25,54].

### 3.2. Atık Bitkisel Yağlar ve Ülkemizdeki Durumu

Değişen enerji dengeleri doğrultusunda dünya genelinde biyodizel üretiminin öneminin artması ile beraber ülkemizde de değişen enerji talebi karşısında biyodizel üretim çalışmalarına yönelik tesisler hızla artmaktadır. Bu konuda atık yağdan üretim ön plandadır. Türkiye’de yılda 1.500.000 ton bitkisel yağ gıda amacı ile kullanılmaktadır. Bu yağların yaklaşık olarak 350.000 tonunu atık yağ oluşturmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde binlerce lokanta yanında onlarca hazır yemek merkezleri ve dört beş yıldızlı oteller bulunmaktadır. Özellikle tavuk, hindi, balık v.s. kızartma işlemleri esnasında önemli miktarda hayvansal atık yağ oluşmaktadır.

Son zamanlarda ülkemizde yağda kızartılmış patates ve diğer yiyeceklerin kullanımında önemli artışlar olmuştur. Bu artışın sonucu kullanılmış bitkisel yağ atıkları da artmıştır [27].

Tablo3.3. Ülkemiz yağ Üretim, tüketim ve ithalatı [28]

Ülkemizde	Miktar (Ton)
Bitkisel yağ üretimi	600.000 – 700.000
Tüketim	1.400.000 – 1.600.000
Yağ açığımız	800.000 – 900.000

Ülkemizde yaklaşık olarak, yağlı tohumlar ve bitkisel yağ ithalatı için her yıl bir milyar dolara yakın döviz ödenmektedir. Bu yağların kullanıldıktan sonra tekrar değerlendirilmesi ile ülke ekonomisi için önemli bir kazanç oluşturulabilecektir. Ülkemizde ekimi yapılan yağlı tohumlu bitkilerin üretim miktarlarının tüketimi karşılamadığı ve ülkemizin gerek yağlı tohumlarda gerekse ham yağda dünyanın sayılı ithalatçı ülkeleri arasında yer aldığı görülmektedir [28].

Tablo 3.4. Bitkisel yağ üretimi ile ilgili problemler [28]

Üretimle İlgili Problemler	
Bitki	Kısıtlayıcı Faktörler
Ayçiçeği	Fiyat, iklim koşulları
Pamuk	Fiyat oluşumu
Soya Fasulyesi	Entegre tesis, Fiyat, Pazarlama
Kanola	Pazarlama, Fiyat
Susam - Yerfıstığı	Mekanizasyon
Aspir	Pazarlama

Türkiye’de yağlı tohumlu bitkilerin üretiminin artırılması için daha çok alanda ekim yapılması gereklidir. Ancak üreticilerin ekimde bu üretimi tercih etmeleri de kârlılık ile orantılıdır. Üreticilerin yağlı tohumlu bitkiler ve özellikle üstün performans gösteren yağ bitkilerine yönlendirilmesi gerekmektedir

Tablo 3.5. Bazı Ülkelerde Kişi Başına Yıllık Yağ Tüketimleri [29].

Ülke	Toplam Yağ Tüketimi	Ayçiçek Yağı (Kg)	Soya Yağı (Kg)	Kolza Yağı (Kg)	Palm Yağı (Kg)	Pamuk Yağı (Kg)	Mısırözü Yağı (Kg)	Zeytin Yağı (kg)
AB	50,5	5,5	5,6	8,8	9,1	0,3	0,56	5,3
ABD	50,9	0,5	26,8	2,2	0,6	1,1	2,3	0,8
RUSYA	20,1	9,3	3,0	0,4	2,3	0,01	0,01	0,03
<b>TÜRKİYE</b>	<b>26,4</b>	<b>6,4</b>	<b>4,01</b>	<b>0,1</b>	<b>4,3</b>	<b>3,1</b>	<b>2,2</b>	<b>1,2</b>
ÇİN	16,4	0,2	4,2	3,0	2,2	1,0	0,04	0,001
MISIR	18,4	1,9	4,4	0,003	8,1	1,03	0,4	0,01
UKRAYNA	16,2	8,9	0,4	0,5	2,2	-	0,3	0,002
ROMANYA	19,3	11,3	1,7	1,02	0,6	-	-	0,01

AB ve ABD’de hayvansal kökenli yağlar dahil toplam yağ tüketiminin kişi başına yıllık 50kg’ın üzerine çıktığı, buna rağmen bu miktarın Türkiye’de 26kg seviyelerinde olduğu görülmektedir. Bunun yanında AB’nin kolza yağını, ABD’nin ise soya yağını daha fazla tükettiği, Rusya, Ukrayna gibi yağlık ayçiçek üretiminin yüksek olduğu ülkelerde de ayçiçeği yağının tüketimde ilk sırayı aldığı ve ülkemizde de ayçiçek yağının en çok tüketilen bitkisel yağ olduğu görülmektedir.

Tablo 3.6. Ülkemizde kullanılmış kızartma yağı toplama bilgileri [33].

Yıl	Toplanan Miktar
2005	1380 Ton
2006	1680 Ton
2007	2450 Ton

Çevre ve Orman Bakanlığının verilerine göre minimum 150.000, maksimum 350.000 ton olması gereken çevreye zararlı atık kabul edilen kullanılmış kızartmalık yağların ancak % 1’i toplanmaktadır. Sakarya’da büyükşehir belediyesinin teşvikleri ile 2007 yılında yaklaşık 14 ton atık yağ toplanabilmiştir. Bu sonuca göre atık yağların % 99’u tekrar gıdaya, yem sanayiine, kozmetik sanayiine kanalizasyona yada toprağa gidiyor demektir.



Ev veya restaurant atığı yağlardan yağ asidi esterleri üretimi, alternatif yakıtlar konusuna farklı bir yaklaşım getirmiştir. A.B.D. standartlarına göre bir litre biyodizel üretimi 0.5 dolara mal olmaktadır. Bu bedelin çoğunu orijinal yağın bedeli oluşturmaktadır. Orijinal yağ yerine atık yağdan biyodizel üretimi durumunda üretim bedeli yarı yarıya düşmektedir. Ülkemizde Yaklaşık olarak 350 bin ton civarında kullanılmış bitkisel ve hayvansal atık yağların kanalizasyona dökülmeyip geri kazanılması ile yılda 350 bin ton biyodizel, 35 bin ton gliserin ve 3,5 bin ton sabun üretilerek ekonomiye büyük bir katkı sağlanır. Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağların geri kazanılması ile evsel atıksular % 25 oranında daha az kirli olur. Vergi muafiyetiyle desteklenen biodizel Avrupa'da pazar payını arttırmaktadır.

Atık mutfak yağları yüksek oranda serbest yağ asidi ve su içerir. Rafine edilmiş bitkisel yağlarda bile çok az da olsa serbest yağ asidi ve su vardır. Bu atık kaynağının harekete geçirilmesi hem alternatif yakıt kaynakları açısından hem de çevresel açıdan önemli bir kazançtır. Bu nedenle, atık mutfak yağlarından üretilen biyodizelin, Avrupa ve Amerika'daki yakıt istasyonlarında dizel motorları için alternatif yakıt olarak satılmak suretiyle ticarileşmesi sağlanmıştır [30,31].

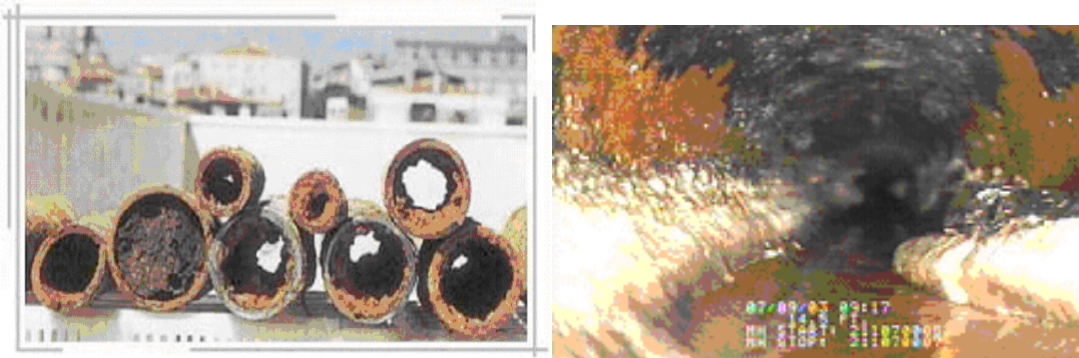
### **3.2.1. Atık yağların çevresel etkileri**

Bitkisel ve hayvansal yağ atıkların kalorileri çok yüksektir. Bu atık yağlar, suya, kanalizasyona döküldüğü zaman su yüzeyini kaplar, su sistemine zarar verir, havadan suya oksijen transferini önler, zamanla suda bozularak sudaki oksijenin tükenmesini hızlandırır. Kullanılmış yağlar lavaboya döküldüğü zaman dren sistemine sıvanır, kanalizasyon borusu içindeki atıkların yapışmasına ve zamanla borunun daralmasına neden olur. Kanalizasyona dökülen atık yağlar mıknaş gibi diğer atıkları tutarlar ve böylece kanalizasyon sisteminin kullanılmaz hale gelmesine sebep olur. A.B.D.'de yapılan bir araştırmaya göre atık yağ ve greslerin oluşturduğu blokajdan dolayı kanalizasyon sistemlerinin % 40 oranında tıkanmasına sebep olmaktadır



Şekil 3.3. Atık yağlardan dolayı tıkanan kanalizasyon [33].

Ayrıca biyolojik arıtmada faaliyet gösteren bakteriler yağ ve gresle kaplanarak aktiviteleri engellenir. Atık su kirliliğinin % 25 oranında kaynağını, kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağlar oluşturmaktadır. Restoran atık sularındaki yağ-gres değeri 100-300 mg/lt, arasında değişmektedir. Eğer hayvansal ve bitkisel yağlar geri kazanılsa restoran atık suyundaki yağ-gres değeri 24-144 mg/lt olacaktır. Sonu arıtma ile bitmeyen atık suların içindeki bitkisel ve hayvansal atık yağlar denizlere, göllere ve akarsulara döküldüğü zaman o suyun kirlenmesi ve sudaki oksijenin azalmasına sebep olmaktadır bunun sonucu olarak, başta balıklar olmak üzere diğer canlılara büyük zarar vermektedir. Bu konuda ki yasal düzenlemeler, Çevre ve Orman Bakanlığının, bitkisel ve hayvansal atık yağların kontrolü yönetmeliğinde, bitkisel ve hayvansal atık yağların yönetimine ilişkin ilkeler (madde 5) ve atık yağlardan biyodizel üretimi uygulamasın da ele alınan esaslar (madde 18) belirtilmektedir [31,32-35].



Şekil 3.4. Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan dolayı tıkanan kanal sistemleri görüntüleri [33].

### **3.3. Bitkisel Atık Yağların Doğrudan Alternatif Motor Yakıtı Olarak Kullanılması**

Bitkisel yağlar, alternatif yakıt olarak doğrudan kullanılabilmesine karşın, yapılan testler sonucunda dizel motorlarında pek çok problemin doğmasına sebebiyet verebileceği görülmüştür. Bu çalışmalar kısa vadede olumlu sonuçlar verse de test süreleri uzadığında bazı motor problemleri oluşturmaktadır. Atık bitkisel yağların saf halde veya çeşitli oranlarda PKDY ile karıştırılarak dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılması için yağın içersindeki su ve yabancı maddelerden ayrıştırılması gerekir [31].

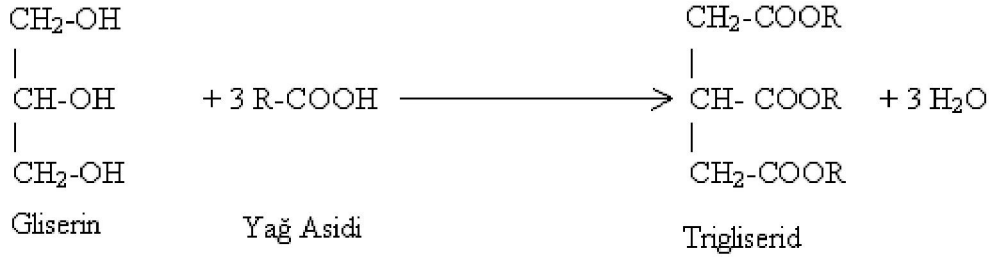
#### **3.3.1. Hammadde olarak atık bitkisel yağlar**

Bitkisel yağlar dizel motorlarında kullanılamayacak kadar pahalıdır. Bu durum alternatif yakıt olarak kullanımını açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Daha çok acil ihtiyaç duyulan durumlarda, petrolün bulunamadığı ya da yeterli olmadığı zamanlarda kullanılmaktadır. Bu durumda atık yağların kullanılması maliyet açısından büyük bir etki oluşturmaktadır.

Bitkisel yağların, kullanımı sonunda fiziksel ve kimyasal özellikleri değişebilmektedir. Bu yüzden atık bitkisel yağların, kullanılmamış bitkisel yağlara göre özellikleri farklıdır. Bu durumda yoğunluk, viskozite, sabunlaşma değeri ve serbest yağ asidi miktarı artar fakat iyodin değeri düşer. Yüksek serbest yağ asidi içeren bir yağ, alkali katalizörlerle reaksiyona sokulduğunda sabun oluşumu meydana gelmektedir. Serbest yağ asitleri ester dönüşümünü azaltırken, reaksiyon esnasında oluşan sabun, reaksiyon sonunda ester, gliserin ve yıkama suyunun ayrışmasına engel olur. Bu tip yağlarda serbest yağ asidi oranının yüksek seviyelerde olması üretim esnasında büyük sorun oluşturmaktadır. Dolayısıyla atık bitkisel yağlar ile transesterifikasyon reaksiyonuna geçirmeden önce yapılacak işlem, yağın serbest yağ asidi miktarını belirlemek olacaktır [31,35].

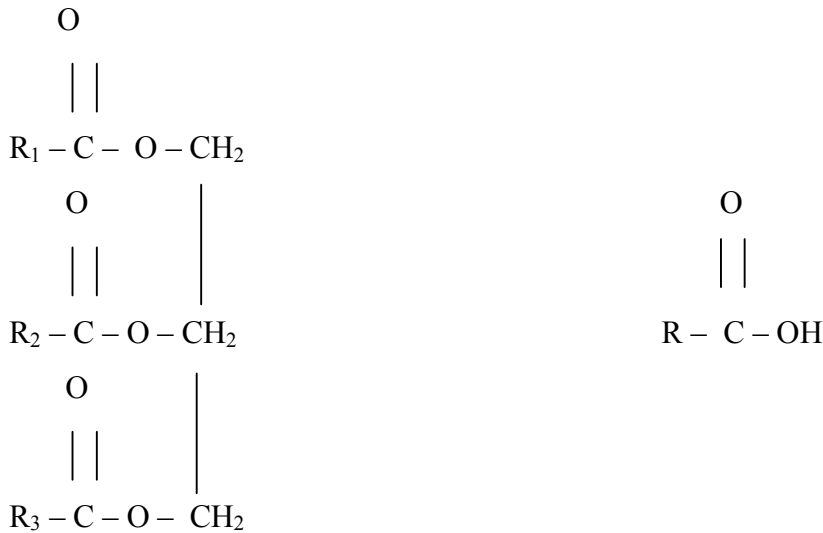
### 3.4. Bitkisel Yağ Asitleri

Yağlar, yağ asitlerinin gliserol ile esterleşmesi sonucu oluşurlar. Yapılarında, karbon (C) ve hidrojen (H) gibi yanıcı elementler ile, oksijen (O) gibi yakıcı element bulunur. Bunlardan O miktarı, C ve H atomlarına oranla çok daha azdır.



Şekil 3.5. Trigliserid şeklindeki bir yağ molekülü [31].

Yağların enerji değeri üzerine etki eden pek çok faktör bulunmaktadır. Bunları kısaca yapıdaki serbest yağ asitleri düzeyi, yağ asitlerinin zincir uzunlukları ve çift bağ sayıları olarak sayabiliriz. Bitkisel dokularda bulunan yağlar, kloroform, eter ve benzen gibi organik eriticilerde çözünebilen, buna karşılık suda çözünemeyen bileşikler olup içerdikleri yağ asitlerinin çeşit ve düzeyine göre farklılıklar gösterir. Bitkisel yağların temel kimyasal yapısı trigliseritlerdir. Bitkisel yağlar %90 - %98 oranında trigliseritten oluşur, geri kalan diğer kısımları di ve monogliseritlerden meydana gelmiştir [36,38,41].



Şekil 3.6. Trigliserit ve bir yağ asidinin kimyasal yapısı [41].

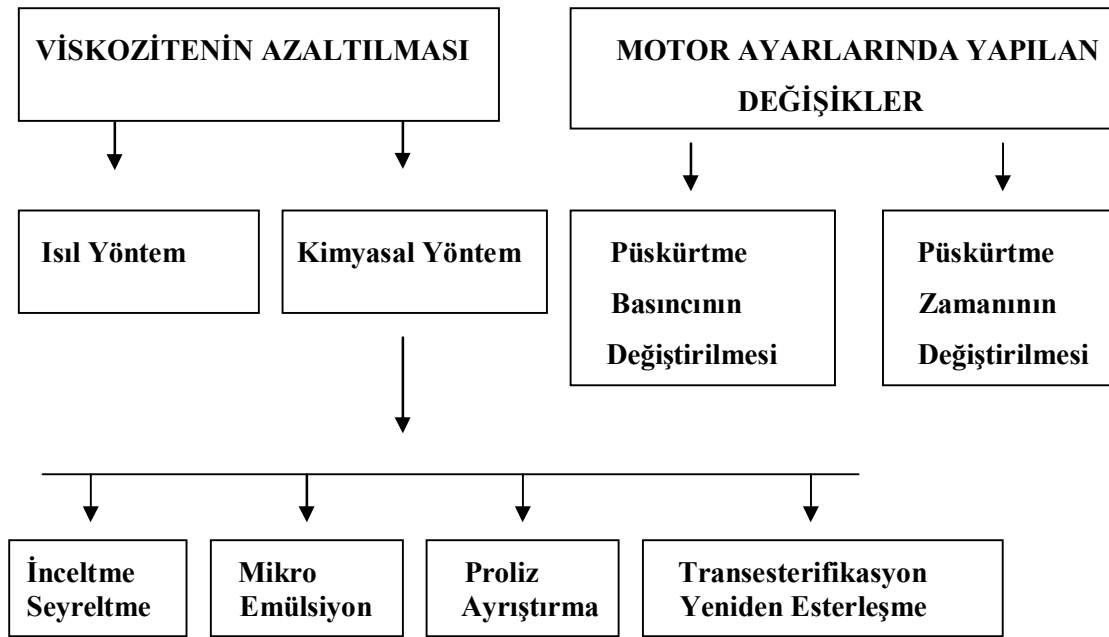
Şekil 3.6'de gösterilen R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ve R<sub>3</sub> trigliseridinin yağ asidinin hidrokarbon zincirleridir. Yağ asitleri karbon zinciri uzunlukları ve çift bağların sayısı (doymamışlık) bakımından farklılıklar göstermektedir. Yağ asitleri iki rakamla gösterilirler [41].

Tablo 3.7. Bitkisel ve hayvansal yağların yağ asitlik oranları [41].

Yağ Çeşidi	14:0 %	16:0 %	18:0 %	18:1 %	18:2 %	18:3 %	Doymuşluk	Alt Isıl değ. ( Mj/kg)
Ayçiçeği yağı	-	6,08	3,26	16,93	73,73	-	9,34	39,6
Soya yağı	-	10,58	4,76	22,52	52,34	8,19	15,34	39,6
Kolza yağı	-	3,49	0,85	64,40	22,30	8,23	4,34	39,7
Sığır iç yağı	3-6	24-32	20-25	37-43	2-3	-	47 – 63	40,0
Kullanılmış kızartma yağı	-	12	-	53	33	1	12	39

### 3.5. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarda Kullanılabilirliğini İyileştirme Yöntemleri

Bitkisel atık yağların dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilmesi için petrol kökenli dizel yakıtı olan motorinin kimyasal özelliklerine sahip bir özellikte bir yakıtı dönüştürülmesi gerekir. Şekil 3.7'de bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilme metotları gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi [42] .

### 3.5.1. Püskürtme basıncı ve püskürtme avansı değişimi

Yakıtın aynı çaptaki enjektör deliğinden daha yüksek basınçla püskürtülmesi, pülverizasyon taneciklerini küçülttüğünden ve viskozite yüksekliğinin sebep olduğu kötü püskürtme karakteristiklerini kısmen iyileştirdiğinden, motorun standart püskürtme basıncının artırılması performans ve emisyon değerlerini iyileştirir. Püskürtme avansı artırıldığında, yakıt püskürtülmeye başladığında silindir içerisindeki sıcaklık ve basınç daha düşük olacağından tutuşma gecikmesi süresi artar. Eğer azaltılırsa, yakıt püskürtülmeye başladığında silindir içerisindeki sıcaklık ve basınç daha yüksek olacaktır. Dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresi kısıllacaktır. Bitkisel yağların özellikleri dikkate alındığında, motorun çalışma şartlarına göre motorine göre ayarlanmış püskürtme avansının azaltılması ile bitkisel yağların yanmasından daha iyi verim alınacağı söylenilebilir [42].

### 3.5.2. İnceltme ( seyreltme )

Bitkisel yağların uygun bir seyrelticiyle viskozitelerini düşürme yöntemidir. Bitkisel yağlara belirli oranlarda dizel yakıtı ve organik bileşenler katılarak yağın viskozitesi

düşürülmektedir. Motorin dışında başka seyreltme maddesi olarak ayçiçek yağının viskozitesini azaltmak amacıyla, yağ normal bütanol, aseton ve etanol-metanol'le çeşitli hacim oranlarında karıştırılmıştır [42].

### 3.5.3. Mikro emülsiyon

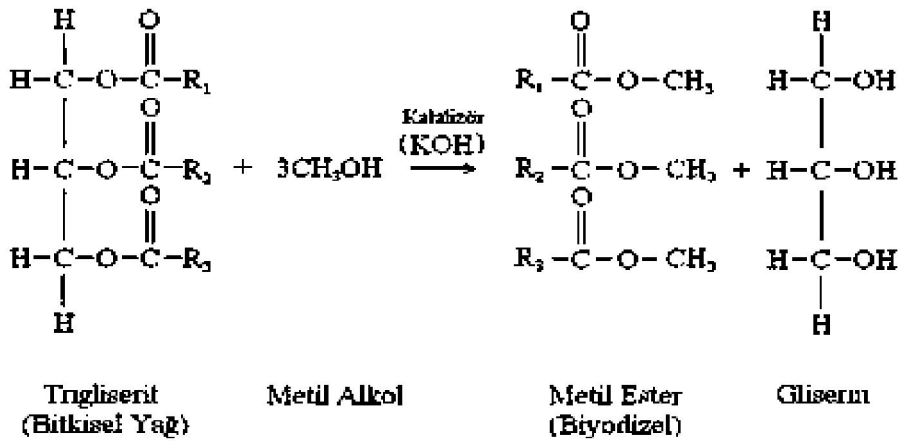
Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkoller ile mikro emülsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir [42].

### 3.5.4. Proliz

Proliz, gaz, sıvı ve katı ürün üretmek amacıyla oksijensiz ortamda organik maddelerin ısı bozulması ve kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların proliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kapta parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır [51].

### 3.5.5. Transesterifikasyon

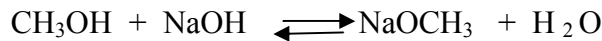
Bitkisel yağların dizel yakıtı alternatifini olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğeri adıyla alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon, bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol katalizörlüğünde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Tek bir bitkisel yağ molekülü, bir gliserin molekülüne tutunmuş üç esterden oluşmaktadır. Bu nedenle bitkisel yağlar aynı zamanda trigliserid olarak, buradaki "tri"nin üç esteri ve gliseridin gliserini ifade etmesinden dolayı da gliserol ester olarak da adlandırılabilir [42,44].



Şekil 3.8. Bitkisel yağın genel transesterifikasyon denklemi [45].

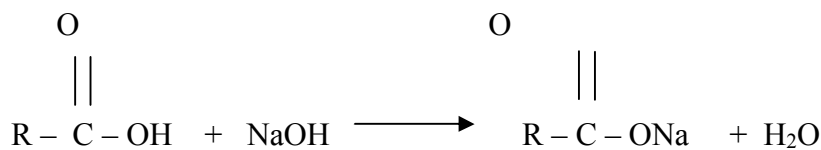
Bitkisel yağ molekülünün yaklaşık %20'si gliserindir. Gliserin, gliserol ve gliserid olarak da adlandırılır. Bitkisel yağ bünyesindeki gliserin, yağın kalın ve yapışkan olmasına yol açmaktadır. Transesterifikasyon esnasında, bitkisel yağ bünyesindeki gliserin uzaklaştırılarak yağın incilmesi yani viskozitesinin düşmesi sağlanır. Katalizör olarak ( KOH veya NaOH ), alkol olarak ise metanol veya etanol kullanılır [43,45].

Alkali katalizör kullanabilmek için, ortamda su bulunmamalı ;



Yağın Serbest yağ asidi içeriği düşük olmalı (% 0.2 – 0.5)

Serbest yağ asidi miktarı % 0,5'in üzerinde ise, alkali katalizörler yerine asit katalizörler kullanılmalıdır. Böylelikle serbest yağ asitleri monoesterlere dönüştürülür. Ön iyileştirme olarak adlandırılır. Bu adımla birlikte, yağın serbest yağ asidi miktarı düşürülmüş olur.



Şekil 3.9. Sabun oluşumu [ 41].



SYA'ler baz katalizör ile reaksiyona girdiğinde, katalizörü tüketip ester dönüşümünü azaltan ve esterin ve esterin, gliserolün ve yıkama suyunun ayrışmasını engelleyen sabun oluşumuna neden olur. Bir çok araştırmacıda yüksek SYA'lı atık yağlar üzerinde çalışmış ve baz katalizör kullanımının dönüşüm oranını düşürdüğü sonucuna varmıştır. Bu durumda yağ asit oranının düşürmek amacıyla ön iyileştirme reaksiyonu uygulanır. Bu reaksiyon bir ester değişimi değil esterleştirme reaksiyonudur [41,43].



Şekil 3.10. Ön iyileştirme reaksiyonu [41].

Ön iyileştirme reaksiyonu için, alkol ve katalizör miktarı yağın içerdiği serbest yağ asidi miktarına göre belirlenir. Yağın serbest yağ asidi miktarı istenilen değere düşürüldükten sonra transesterifikasyon reaksiyonuna geçilir. Transesterifikasyon reaksiyonunda alkol ve katalizör miktarı reaksiyona girmemiş trigliserit miktarı göz önüne alınarak belirlenir. Asit katalizörler baz katalizörlere göre çok daha yavaştır, fakat serbest yağ asitlerini estere dönüştürmek için yeterince hızlı sayılabilir. Serbest yağ asidi miktarını düşürmek için asit katalizör kullanıldığında diğer bir dezavantaj reaksiyon sırasındaki su oluşumudur [40,41].

Tablo 3.8. Transesterifikasyon reaksiyonu süresince gliserin değişimi [38].

	Zaman ( saat )								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Gliserin Oranı (%)</b>	11,07	1,09	0,79	0,69	0,62	0,56	0,54	0,53	0,52

Ester dönüşümü reaksiyon süresinin uzamasıyla artmaktadır. Canakci ve Van Gerpen, bir pilot ünite kurarak yüksek oranda serbest yağ asidi içeren yağların, biyodizel yakıtına dönüşümünde etki eden faktörleri incelenip, oda sıcaklığında metil alkollü KOH (%1) çözeltisi hazırlayarak, 6:1 molar oranında ve 8 saatte transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleştirerek gliserin oranındaki değişimi gözlemişlerdir. 8 saatlik test süresinin her saatinde karışımından numune alınarak zamanla gliserindeki değişim gözlenmiştir. Sonuçta Ester dönüşümü arttıkça gliserin oranının azaldığını tespit edilmiştir [38].

### **3.6. Standartlara Uymayan Biyodizelin Dizel Motorlara Etkileri**

Biyodizelde ki serbest metanol, alüminyum çinko korozyonu, düşük parlama noktası ve elastomer şişmesi gibi etkiler oluşturmakta bu durumda özellikle YES'lerinde korozyonlar oluşturmaktadır. Biyodizel prosesi kimyasalları sedimentasyon, organik asitler ile tuz oluşumu (sabun) ve serbest yağ asitlerinin özellikle demir olmayan malzemelerde korozyon oluşturmaları gibi etkiler meydana gelmekte, bu durum hareketli motor elemanlarının yapışması, filtre tıkanması ve YES korozyonu oluşturmaktadır [46].

### **3.7. Uluslararası Biyodizel Standartları**

Biyodizel kullanımının çevre ve ekonomiye getireceği katkıların, beklenen düzeyde gerçekleşebilmesi, ancak uluslararası standartlara uygun bir üretim ile sağlanabilir. Üretim kalitesindeki yetersizlikler, elde edilen ürün miktarında kayıp ve üretimdeki problemler ile verimliliği düşürecek, ürünün kalitesini bozacaktır. Aynı şekilde düşük kalitedeki ürün, kullanım zorluklarına ve daha da önemlisi tüketildiği motorların doğrudan zarar görmesine neden olacaktır.

Tablo 3.9. Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartı [47].

Özellikler	Avusturya	Fransa	Almanya	İtalya	İsveç	ABD
Standart	ÖNC 1191	Journal Officiel	DIN V51606	UNI 10635	SS 155436	ASTM PS 121-99
Uygulama	YAME	BYME	YAME	BYME	BYME	YAMAE
Yoğunluk, 15°C, g/cm <sup>3</sup>	0.85-0.89	0.87-0.90	0.875-0.90	0.86-0.90	0.87-0.90	-
Viskozite, mm <sup>2</sup> /s	3.5-5	3.5-5	3.5-5	3.5-5	3.5-5	1.9-6
Distilasyon, %95, °C	-	≤360	-	- ≤360	-	-
Alevlenme Noktası °C	, ≥100	≥100	≥110	≥100	≥100	≥100
Soğukta Filtre Tık. Noktası, °C	0/-15	-	0/-10/-20	-	- 5	-
Akma Noktası °C	-	≤-10	-	≤ 0≤-15	-	-
Condration Kok Bak. Ağır.%'si	≤0.05	-	≤0.05	-	-	≤0.05
Bakır Korozyon 3h, 50 °C	-	<0,3	1	<0,5	-	≤N-0.3
Setan Sayısı	≥49	≥49	≥49	-	≥48	≥40
Nötralizasyon Sayısı, mgKOH/g	≤0.8	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.6	≤0.8
Alkaliti, mg/kg	-	≤5	≤5	-	≤10	-
Iyod Sayısı	≤120	≤115	≤115	-	≤125	-
Su, mg/kg	-	≤200	≤300	≤700	≤300	≤0.05%

### 3.8. Dünyada Biyodizel

Dünyada 28 ülkede biyodizel üretimi ve bu yakıtların dizel motorlarında kullanımı ile ilgili çalışmalar yoğun olarak sürmektedir. Bitkisel ve hayvansal yağlardan (atık yağlar dahil) Batı Avrupa'da 44 (9 adeti italya'da), Doğu Avrupa'da 29 (17 adeti Çek Cumhuriyetinde), Kuzey Amerika'da ise 8 adet biodizel üretim tesisi bulunmaktadır . Bu tesislerin dağılımı ve kapasiteleri tablo yazılıdır [48].

Tablo 3.10. Çeşitli ülkelerde kurulu biodizel tesisleri [48].

Ülkeler	Tesis Sayısı	Toplam Kapasitesi (1000 ton)	Kullanılmış Bitkisel Yağ
Avusturya	11	56.2-60	Kullanılıyor
Belçika	3	241	
Kanada	1		
Çekoslovakya	17	42.5-45	Kullanılıyor
Danimarka	3	32	
Fransa	7	38.1	
Almanya	8	207	
Macaristan	17	18.8	
İrlanda	9	5	Kullanılıyor
İtalya	9	779	Ayçiçeği yağı
Nikaragua	1		Jatropha
Slovakya	10	50.5-51.5	
İspanya	1	0.5	
İsveç	3	75	
İsviçre	1	2	
İngiltere	1		
A.B.D	40	190	Kullanılıyor
Yugoslavya	2	5	

### 3.9. Biyodizel Özellikleri

Biyodizel orta uzunlukta  $C_{16}$ - $C_{18}$  yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizel, petrol kökenli motorinden ayırır. Biyodizel, motorine çok yakın ısı değerine, motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik biyodizeli kullanım-taşıma-depolanmasında daha güvenli bir yakıt yapar.[44,45].

#### 3.9.1. Biyolojik olarak bozunabilirlik

Biyodizel oluşturan  $C_{16}$ - $C_{18}$  metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur, 10000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suya bırakıldığında biyodizel 28 günde %95'i, motorinin ise %40'ı

bozunabilmektedir. Biyodizel doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir [45].

### **3.9.2. Toksik etki**

Biyodizelin, olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17.4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1.75g tuz/kg vucüt ağırlığı olup, tuz biyodizelin on kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizel ciltte %4'lük sabun çözeltilisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Yalnızca bir litre petrol içme su kaynaklarına ulaştığında bir milyon litre içme suyunun kirlenmesine sebep olurken, Biyodizel ise yapılan incelemeler sonucunda sudaki bütün yaşayan canlılara karşı toksit etkisi olmayan bir yakıttır [45].

### **3.9.3. Depolama**

Motorin için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik seçilebilir. Depoloma, taşıma ve motor malzemelerinde, doğal ve butil kauçukların kullanımı sakıncalıdır; çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır [45].

### **3.9.4. Soğukta akış özellikleri**

Biyodizel ve biyodizel-motorin karışımları, motorinden daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma ve bulanma noktaları uygun katkı maddeleri (anti-jel maddeleri) kullanımı ile düşürülebilmektedir. Biyodizel-motorin karışımları 4 °C üzerinde harmanlama ile hazırlanmalıdır. Soğukta harmanlamada biyodizel motorin üzerine eklenmesi, sıcakta harmanlama da ise karışımda daha fazla olan kısmın az kısım üzerine eklenmesi önerilmektedir [44,45].

### 3.9.5. Motor yakıtı özellikleri

Biyodizelin motorine oranla sahip olduğu en önemli fark içeriğinde oksijen bulundurmasıdır. Biyodizel yaklaşık %10-12 kütle oranındaki oksijen içeriğine sahiptir. Bu oran yakıtça zengin bölgedeki yanma olayında oksijen ihtiyacının sağlanmasına olanak vererek, partikül emisyonlarını azaltırken karışımın ısı değerini arttırmaktadır. Dizel yakıtındaki sülfür yakıtın önemli problemlerindendir. Egzoz borusundaki sülfür oksit hidrojenle reaksiyona girerek sülfürik asidi oluşturur ve asit yağmurlarına sebep verir. Biyodizel hemen hemen hiç sülfür içermediği görülmektedir. Bunun yanında alt ısı değer motorine oranla düşüktür. Setan sayısı motorine oranla fazla, viskozitesi ise daha yüksektir. Bunun sonucu olarak biyodizelin motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımında motor efektif gücünde ve torkunda motorine oranla bir miktar azalma olmakta, yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminde ise artış ortaya çıkmaktadır [45,49,50].

Tablo 3.11. Bazı bitkisel yağ metil esterlerin yakıt özelliği [ 51 ].

Metil Ester ME	Viskozite mm <sup>2</sup> /s(40 °C)	Yoğunluk kg/m <sup>3</sup> (15 °C)	Parlama Noktası (°C)	LHV (MJ/kg)
Ayçiçeği ME	4,22	880	170	35,92
Fındık ME	3,59	860	128	38,70
Kanola ME	4,48	888	162	38,24
Pamuk yağı ME	3,69	880	164	39,16
Zeytinyağı atığı ME	5,29	882,3	169	39,67
Soya ME	4,08	885	174	37,56
Kızartmalık atık yağ ME	4,30	880	150	38,25
Yemeklik atık yağmetil esteri (RCOME)	4,60	883	152	37,90
Kullanılmış zeytinyağı ME	5,29	880,1	169	37,50
Kullanılmış kanola ME	6,30	885	190	36,50
Motorin	2,9-3,5	840	>55	42,7

Tablo 3.7’de bazı bitkisel ve atık bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtların özellikleri verilmiştir. Atık yağlardan üretilen biyodizelin vizkoziteleri ve karbon kalıntısı yüksektir. Soğuk akış özellikleri iyi değildir.

Biyodizel petrol kaynaklı dizel ile her oranda tam olarak karıştırılabilmektedir. Bu özellik petrol kaynaklı dizelin kalitesini yükseltir. Örneğin yanma sonucu oluşan çevreye zararlı gazların emisyon değerlerini düşürür, motordaki yağlanma derecesini artırır ve motor gücünü azaltan birikintileri çözer. Biyodizelin setan sayısı dizelin setan sayısından daha yüksek olduğu için motor daha az vuruntulu çalışmaktadır [50 - 52]

### 3.10. Bitkisel Yakıtların Avantaj ve Dezavantajları

Biyodizel, alevlenme sıcaklığının yüksek olması sebebiyle daha güvenli bir yakıttır. Herhangi bir nedenle dökülme durumunda toprak ve su için daha az kirleticidir, kükürt ve aromatik hidrokarbon içermez, % 11 civarında oksijen içerir [53] .

- a) Alternatif bir enerji kaynağıdır.
- b) Yakıt özelliklerinin dizel motor yakıtına yakın olması ve dolayısı ile benzeri özellikler göstermesi sözkonusudur. Biyodizel doğada % 99,6 oranında biyolojik olarak parçalanabilir. Biyodizeli oluşturan C<sub>16</sub>-C<sub>18</sub> metilesterleri kolayca ve hızla parçalanarak bozunur. Biyodizel suya bırakıldığında 28 günde % 95'i bozulurken, dizel yakıtının sadece % 40'ı bozulabilmektedir. Bu özelliği ile birlikte biyodizelin bozunabilme özelliği şekere benzemektedir.
- c) Petrol kökenli dizele göre daha yüksek tutuşma derecesine (>110°C ) sahiptir. Bu da taşıma, depolama ve emniyet açısından kolaylık sağlar.
- d) Zararlı gaz emisyonları bakımından fakirdir. Çünkü çok az kükürt içermektedir.
- e) Petrol ambargo ve kriz risklerini dolayısı ile enerjide bağımlılığın azalmasını sağlar.
- f) Taşıt motorlarının kullanım ömrünü uzatır. Çünkü yağlanma derecesi yüksektir. İyot sayısı oldukça düşüktür.
- g) Petrol kökenli motorin ile her oranda tam olarak karışır ve onun kalitesini artırır.
- h) Yan ürün olarak ticari amaçlı gliserin ve potasyum gübresi elde edilir.

- i) Bunun yanında biyodizelin soğuk akış özellikleri dizel yakıtlarına oranla daha kötüdür ve soğuk havalarda ilk çalıştırma esnasında sorunlara neden olabilir. Bununla birlikte, yüksek miktarda doymuş yağ asidi içeren biyodizeller, kış aylarında yakıt filtresinin ve yakıt hattı borularının tıkanmasına sebep olabilir.
- j) Biyodizelin diğer bir dezavantajı da oksitlenmeye karşı olan eğilimidir. Havayla temas eden biyodizel, özellikle yüksek sıcaklıklarda hızla oksitlenmeye başlar. Bununla birlikte biyodizelin, parlama noktası daha yüksektir. Bu yanmaya doğrudan etki etmemesine rağmen, biyodizeli depolanması ve taşınabilirliği açısından daha güvenli hale getirmektedir [55,56,63].

### 3.11. Literatür

Yaman ve Arkadaşları [30], yaptığı çalışmada Kocaeli sınırları içinde bulunan restaurant ve lokantaların yıllık atık yağ potansiyelini saptamak amacıyla bir araştırma başlatılmış. Yapılan bu çalışmada, kullanılan atık yağın reaksiyon öncesi kinematik viskozitesi 55.50 mm<sup>2</sup>/s, asit değeri ise 3.9 mg-KOH/g'dir. Transesterifikasyon reaksiyonu için asit değeri yüksek olduğundan öncelikle yağın asit değerini azaltmak için ön iyileştirme reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Hemen hemen tüm örneklerin asit değerleri, kinematik viskoziteleri, yoğunlukları, toplam ve serbest gliserin miktarları yakıt kalitesine uygun çıkmış ve dizel motorlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tomasevic ve arkadaşları [35], kızartma yağından biyodizel üretimi ile ilgili yaptıkları çalışmada molar oranın ve katalizörün ester dönüşümü üzerine etkisini incelediler. Katalizör olarak % 1.5, % 1, % 0.5 kütle oranlarında NaOH ve KOH, 4,5:1, 6:1, 9:1 molar oranlarında 25 °C'de ve 30 dakika süresince ester dönüşümünü incelediler. Bu çalışmanın sonucunda molar oranın reaksiyon üzerine etkisinin katalizörden çok daha fazla olduğu gördüler.

Çanakçı ve arkadaşları [38], atık bitkisel yağ kullanarak yaptıkları çalışmada rafine edilmiş ve ham yağlarda alkali katalizör kullanılırken, atık mutfak yağlarının transesterifikasyon reaksiyonunda, atık mutfak yağlarının yüksek oranda serbest yağ asidi ve su içermesi sonucu direkt alkali katalizörle reaksiyonu sabunlaşmaya neden



olmakta olup bu durum oluşmaması için asidik katalizörlü bir ön iyileştirme yapıldıktan sonra alkali katalizör kullanımı daha uygun olduğu görülmüştür. Transesterikasyon sonucu elde edilen atık bitkisel yağların analizi sonucunda, kullanılmamış bitkisel yağlar ile arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Bir çok durumda, ısıtma ve katı parçacıkları filtreleme, transesterifikasyona geçişte yeterli olduğu görülmüştür.

Felizardo ve arkadaşları [40], yaptığı çalışmada atık kızartma yağından bilinen klasik yöntem olan transesterikasyon ile metil ester üretiminde, en ideal karışım oranlarını bulmak amacıyla yaptıkları deneylerde yakıt kalitesinde oluşan değişimleri grafiksel olarak incelemişler. Deneyler metanol/atık kızartma yağı molar oranı ( MeOH/WFO) 3.6 ile 5.4 değerleri arasında, katalizör /atık kızartma yağı ağırlık yüzde ( mNaOH/ mWFO % ) 0.2 ile 1.0 değerleri arasında ve asit değeri 0.42 mg/KOH/g olan yağda gerçekleştirilmiştir. Belirlenen sonuçlara göre aralık dilimlerinde EN14214 standartlarına uygun yüksek kalitede metil esteri, MeOH/WFO molar oranı 4.8 ve (mNaOH/ mWFO % ) oranı % 0.6 değerlerinde ulaşılmıştır. Saf metil ester yüzdesi (%ME) % 98 olarak gerçekleşmiştir.

Acaroğlu ve arkadaşları [51], Biyodizel yakıtlarında yakıt özelliklerinin ısıl değere etkisinin belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada biyodizel reaktörü ile, transesterifikasyon yöntemiyle üretilen biyodizel yakıtlarının ısıl değerleri tespit edilmiş, biyodizel yakıtlarının diğer önemli özellikleri olan yoğunluk, viskozite, nem miktarı, parlama noktası, kül miktarı, nem içeriği ve biyodizelin ısıl değeri gibi özellikleri arasındaki ilişkinin tespit edilmesi için tarist programında istatistiki bağıntılar üretilmiştir. Bu bağıntıların korelasyon katsayıları ve bu bağıntılarla hesaplanan değerlerle literatürden alınan değerlerin karşılaştırılması yapılmış. Sonuçta biyodizel yakıtlarında zor, oldukça fazla süre ve maliyet gerektiren ölçümlerde, istatistiksel doğruluğu sağlanmış ve regresyon denklemlerinden çıkarılmış formüller kullanılabilirliği görülmüştür. Bu formüllerin kullanımında biyodizel örneklerinin ve tekerrür ölçümlerinin sayıca fazla ve hata payının az olması gerekir. ME ve EE aynı formüllerde değerlendirilmemelidir. Elde edilen bağıntıların kullanımında sonuçlara mutlaka daha önce yapılmış ölçümler ile uyumlu olması gerekir.

Özseven ve arkadaşları [54], yaptıkları çalışmada palmiye kökenli atık kızartma yağından üretilen biyodizelin ön yanma odalı bir dizel motorunda test edilerek yanma karakteristikleri petrol kökenli dizel motor yakıtı ile karşılaştırılmıştır. B100 biyodizel motorine göre daha erken tutuşma eğilimini her devirde göstermiştir. Motor devrinin artması ile artan atomizasyon oranının artması bu eğilimi arttırmıştır. Tam yük moment değerleri bütün devirlerde motorine göre düşük seyretmiştir. Seçilen üç devirde de (1000, 2000, 3000 d/d) B100 kullanımı ile elde edilen maksimum silindir basıncı motorine göre biraz daha yüksek çıkmıştır. Her iki yakıt içinde kontrollü yanma safhası düzgün bir eğilim göstermiştir. Fakat B100'ün daha geniş bir yanma alanına sahip olduğu görülmüştür. Isı dağılım grafikleri incelendiğinde B100'ün motorine göre yanma süresinin daha uzun olduğu ani soğuma eğiliminin ise daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ergen ve arkadaşları [57], yaptıkları çalışmada pamuk yağından Transesterifikasyon yöntemiyle elde ettikleri pamukyağı metil esteri elde etmişler ve dizel yakıtı ile elde edilen biyodizelin motor performans ve emisyon değerlerinin karşılaştırmasını doğal emişli tek silindirli bir dizel motorunda tam yük şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen analiz ve bulgulara göre efektif güç ve motor torku motorun bütün devirlerinde motorin ile elde edilen değerler biyodizele göre yüksek çıkmıştır. Biyodizel yakıtının sahip olduğu düşük alt ısıl değer, yüksek viskozite ve yoğunluk yanma karakteristiklerini etkilemektedir. Özgür yakıt tüketiminde ise en düşük değerler 2600 d/d elde edilmiştir. Biyodizelin sahip olduğu düşük alt ısıl değer yakıt tüketimi ve özgür yakıt tüketiminde yaklaşık % 8 lik artışlara neden olmaktadır. Termik verim değerlerinde ise biyodizeldeki oksijen içeriği motorine kıyasla % 8.74'lük bir artış göstermiştir. Emisyon değerlerinde ise biyodizel yakıt motorine oranla CO ve is emisyonlarında azalma NOx emisyonlarında artış olduğu gözlenmiştir. Elde edilen yakıt sonuçları ve test değerlerine göre pamuk yağı metil esterinin motorinin yerine alternatif olarak kullanılabilceği görülmüştür .

Altın ve arkadaşları [58], tarafından yapılan bir çalışmada sanayide kullanılan ham ayçiçek yağı ile metanolün kimyasal reaksiyonları (Transesterifikasyonu) neticesinde elde edilen ayçiçek metil ester yakıtı, dört zamanlı tek silindirli düz yanma odalı bir dizel motorunda dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır.

Deney motoru her iki yakıt ile tam yükte, değişik devirlerde test edilerek, elde edilen performans ve egzoz emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, metil ester yakıtının, dizel yakıtına yakın özellikler gösterdiğini ve gelecekte alternatif yakıt olarak kullanılabilceğini belirtilmektedir.

Çildir ve arkadaşları [59], laboratuvar şartlarında iç ester değişim yöntemi kullanarak katalizör ve alkol miktarının reaksiyon üzerine etkisini araştırmışlar ve elde edilen esterlerin dönüşüm oranları, gliserin miktarları, kinematik viskoziteleri, yoğunlukları, akma noktaları, asit numaraları ve parlama noktaları incelenmiş ve sonuç olarak; ayçiçek, kolza, mısırözü yağlarından elde edilen metil esterlerin, yüksek akma noktasındaki problemin giderilmesinden sonra dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilceği görülmüştür

Keskin ve arkadaşları [61], üretilen mısır yağı biyodizelinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmışlar elde edilen yakıt tek silindirli direk püskürtmeli 6LD 400 Lombardini marka bir dizel motorunda 1800 ve 3200 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuş. Motor performans ve emisyon değerleri ölçülüp dizel yakıt ile yapılan ölçü değerleri ile karşılaştırılmıştır. Büyük oranda mısır yağı biyodizelinin ısıl değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olmasına ve viskozitenin yüksek olmasına bağlı olarak motor tork değerinde % 7.5 e kadar, güç değerinde ise % 5.7 ye kadar varan azalmalar görülmüştür. Tork ve güç değerlerinde meydana gelen bu azalmalara rağmen genelde dizel yakıtı ile elde edilen değerlere çok yakın değerler elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi değeri % 9.24 oranında azalma göstermiştir. Mısır yağı biyodizeli ile CO emisyonunda % 51.4 e kadar, ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinde % 64 de kadar varan azalmalar, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise % 25.31'e kadar varan artışlar olduğu tespit edilmiştir. SO<sub>x</sub> emisyonlarına ise rastlanmamıştır.

Ya-fen Lin ve arkadaşları [60], atık yağlardan transesterikasyon yöntemiyle elde ettikleri biyodizeli farklı oranlarda dizel yakıtına karıştırarak yanma karakteristiklerini incelediler, çalışma dört silindirli su soğutmalı bir dizel motorda gerçekleştirildi. B20 yakıtta bütün motor devirlerinde CO oranı en düşük seviyede görülmüş, B50 yakıtta tüm devirlerde CO<sub>2</sub> oranı yüksek seyretmesine karşın ancak

B20 yakıtta 2000 devirde yükselme göstermiştir. B100 ve B80 yakıtta ise HC oranları diğer yakıtlara göre yüksek seyretmiştir. Genellikle bütün biyodizel ve karışımlarında  $\text{NO}_x$  oranları yüksek seyretmiş ancak en yüksek değerler B100 yakıtta ve 1200 devirde B20 yakıtta görülmüştür.  $\text{SO}_2$  oranı yükselen devirle birlikte artış göstermiş en yüksek değerler dizel yakıtında ölçülmüştür. PM yüzdesi genelde biyodizel ve karışımlarında yüksek seyretmektedir. Yapılan çalışmalarda en ideal değerler için optimum karışım B20 ve B50 karışımlarında görülmüştür.

Zheng ve arkadaşları yaptığı çalışmada atık kızartma yağından transesterikasyon yöntemiyle elde edilen yağ asidi metil esteri üretiminde asit katalizör kullanarak molar oran (yağ, metanol, asit yüzdelerinin) da gözlenen değişimleri incelemişler yapılan çalışmalar ve bir matematiksel model oluşturmuşlardır.

Eliçin ve arkadaşları [62], yaptığı çalışmada yakıt olarak kullanılan fındık yağının dizel motor performansına ve emisyon kontrollerine etkilerini inceleyerek uygulanabilirliğini araştırmaktadır. Bu amaçla, doğrudan püskürtmeli, 5.5 KW anma gücünde 4 zamanlı bir Dizel motoru kullanılmıştır. Yapılan araştırma çalışmaları iki ana bölüm olarak planlanmıştır. Birinci bölümde fındık yağı, diesel yakıtı %10/90, % 20/80, % 30/70, % 40/60 ve % 50/50 karıştırılmış ve daha sonra ayrı ayrı herbir karışım için emisyon ve motor denemeleri yapılmıştır. İkinci bölümde ise, önceden hazırlanmış biodiesel üretim tesisinde fındık yağı etil ve metil esterleri elde edilmiş, elde edilen yakıtların kimyasal ve yakıt özellikleri incelendikten sonra motor ve emisyon denemeleri yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle fındık yağının yağ asitleri kompozisyonları araştırılmış, daha sonra yakıt olarak kullanılan karışım ve alkil esterlerin viskozite ve özgül ağırlıkları saptanmıştır. Elde edilen sonuçlarda motor momentlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri aynı devir ele alındığında dizel yakıtı 1750 devirde alınan ölçümlerin sonuçlarında karışıma ilave edilen her % 10'luk fındık yağı'na karşılık % 5'lik bir moment düşüşü görülmüştür. Yakıt tüketiminde ise motor devri artışıyla orantılı olarak her % 10'luk yağ oranı artışına karşılık, saatlik yakıt tüketiminde % 5'lik bir artış belirlenmiştir. Buna karşılık fındık yağı etil esterinin, dizel yakıtından % 11, fındık yağı metil esterinin ise dizel yakıtından % 6 daha fazla saatlik yakıt tüketimine sahip olduğu belirlenmiştir. Özgür yakıt tüketiminde ise dizel yakıtı en düşük özgül yakıt

tüketimine 2250 d/d'da 304 gr/kwh değeriyle sahip olmuştur. Aynı devir değeri göz önüne alındığında her % 10'luk yağ oranı artışına karşılık özgül yakıt tüketimlerinde yaklaşık % 3 değerinde bir artış meydana gelmektedir Farklı devirlerde Dizel yakıtına oranla fındık yağı metil esteri ortalama % 12, fındık yağı etil esteri ise yaklaşık % 14 daha yüksek özgül yakıt tüketimlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Bu da yakıtın içerisindeki yağ karışım oranının artmasıyla, karışımın ısıl değerinin düşmesinden ileri gelmektedir. Fındık yağı etil ve metil esterlerinin toplam verimleri dizel yakıtından daha düşük çıkmaktadır. Emisyon değerlerinde ise devir sayısı arttıkça CO değeri azalmaktadır. Bu beklenen bir sonuç olmakla beraber, karışım içerisindeki yağ oranının artmasıyla CO miktarı da doğru orantılı bir şekilde azalmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonlarının fındık yağı kullanıldığında önemli ölçüde azaldığı, yağ asidi metil esterleri kullanıldığında ham fındık yağlarına oranla NO<sub>x</sub> emisyonlarında kısmen artış belirlenmiştir.

Reed ve arkadaşları [63], yağın kızdırılması esnasında serbest hale geçen yağ asitleri ile birlikte kızartma yağında çok fazla miktarda serbest yağ asidi bulunduğundan, bu yağlardan ester üretilmesi için bir metot tanımlamıştır. Bu metodun, diğer reaksiyonlar ile arasındaki önemli fark, sabuna dönüşmüş serbest yağ asitlerini kostik ekleyerek, reaksiyondan önce nötrleştirilmesidir. Bu sabunlar son işlemde yıkama ile biyodizel'den ayrıştırılır.

Encinar ve arkadaşları [65], sıcaklığın reaksiyon üzerine etkisini incelediler. Reaksiyonu % 1 kütleli oranda NaMeO, % 15 oranda Metanol kullanarak, aynı reaksiyon süresinde ve sırasıyla 25, 40, 55 ve 60 °C'de gerçekleştirdiler. Sonuçta ester dönüşümü sırasıyla % 86, 90, 93, 94 oranında değişti. Elde edilen sonuç, alkolün kaynama noktası ile sınırlı olmakla birlikte, alkolün kaynama derecesi arttıkça dönüşüm oranında da bir artış olduğu görülmüştür.

## **BÖLÜM 4. MATERYAL METOT**

Yapılan bu çalışmanın ilk aşamasında üniversite yemekhanesinden temin edilen atık bitkisel kızartma yağından transesterifikasyon yöntemi ile atık kızartma yağı metil ester (AKYME) elde edilmiş ve laboratuvar testleri ile bazı yakıt özellikleri tespit edilmiştir. Çalışmanın daha sonraki aşamasında elde edilen AKYME tek silindirli, su soğutmalı, direkt püskürtmeli bir dizel deney motorunda normal şartlarda ve supersarj yöntemi uygulanarak (dışardan bir yüksek basınç körüğü ile hava gönderme) motor performans parametrelerinde oluşabilecek değişimler belirlenecektir.

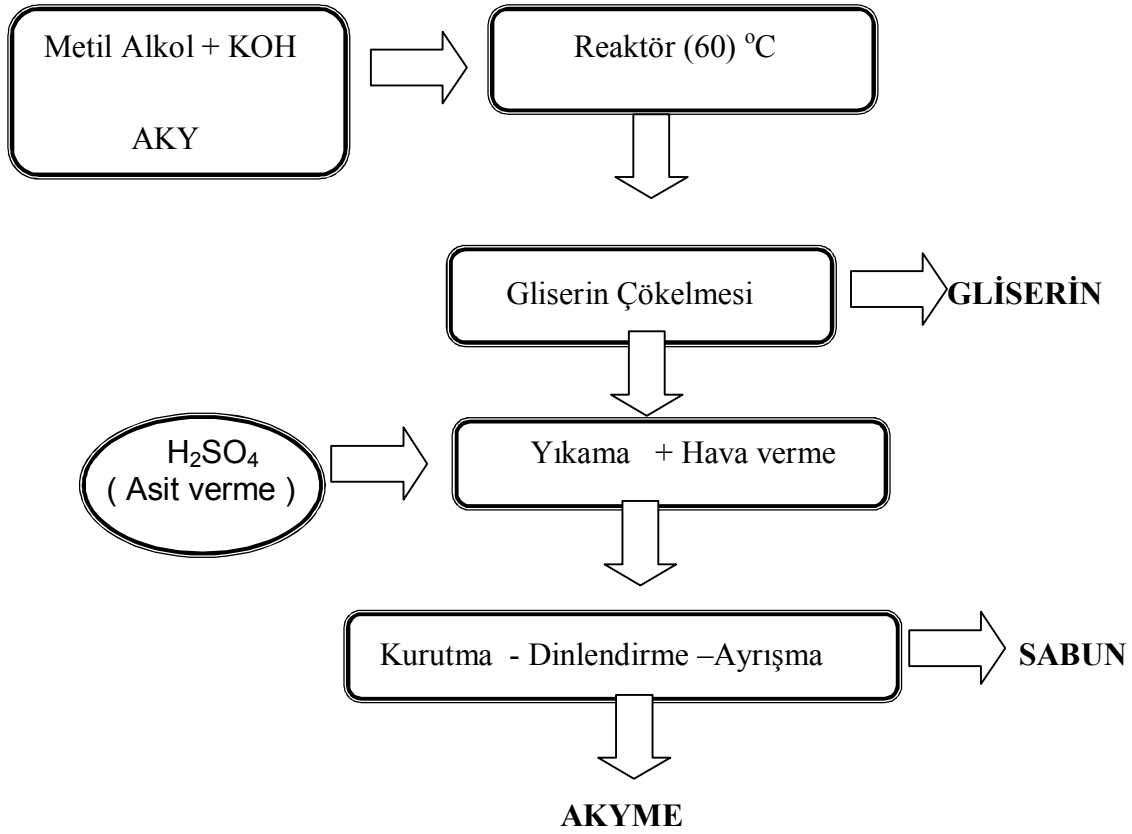
### **4.1. Atık Kızartma Yağından Biyodizel Üretimi**

Atık kızartma yağından AKYME üretimi çalışmaları Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Otomotiv Bölümü, laboratuvarlarında yapılmıştır.

Üniversite yemekhanesinden laboratuvara getirilen atık kızartma yağı (AKY) 20 litreyi geçecek şekilde ayrı bir kaba alındı. Ayrılan AKY hassas bir şekilde hazırlanan süzgeçten iki sefer geçirilerek içerisinde oluşan tortu ve kızartma artıklarından tamamen arıtıldı.

Temizlenmiş AKY litre ayarlı başka bir kap ile yirmi litre ölçülerek dezenfekte edilmiş ayrı kaba alınarak transesterifikasyon işlemine hazır hale getirildi.

Elde edilen AKY'dan AKYME üretimi işleminde transesterifikasyon yöntemi uygulandı.



Şekil 4.1. Transesterifikasyon yöntemi ile atık yağlardan biyodizel üretimi

Transesterifikasyon işlemi ile AKYME üretiminde izlenen metot Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Süzülüp tortulardan arındırılmış, AKY 20 litre ölçülerek reaktörün içine konuldu ve reaktör önce 100 °C sıcaklığa ayarlanarak, AKY içersine kullanım esnasında karışma ihtimali bulunan suyun buharlaşarak dışarı atılması amacıyla bir saat kadar bu ısı değerinde bekletildi. Reaktör sıcaklığı 60 °C arasında bir sıcaklığa düşerken 20 litre atık yağ için 4 litre metil alkol ölçüldü. Katalizör olarak ta alkali katalizör KOH kullanıldı. 4 litrelik metil alkol içersinde 70 gram KOH çözdürüldü. Bu arada 60 °C de reaktör içersinde bulunan yağ mikser yardımıyla 1200 d/d karıştırılmaya başlanmıştır. Alkol içersinde çözünen karışım(KOH) reaktör içersine boşaltıldı. Karışımın AKY içersinde tepkime işleminin gerçekleşmesi için bir saat bu şekilde karıştırıldı. Bir saatlik zaman geçtikten sonra karışımı kontrol ettiğimizde yağın içersinde gliserinin ayrılmaya başladığı fark edildi ve karışım reaktörden

alınarak hazırlanan temiz ayrı bir kaba boşaltıldı. Ayrı bir kap içersinde ayrışan gliserinin tam bir şekilde çökmesi için 24 saat bekletildi. Çökme işlemi tamamlandıktan sonra üst kısımda kalan metil esteri hijyenik temizlenmiş ayrı bir kaba alınarak kaç litre olduğu ölçüldü ve yıkama işlemine geçirdi. Ölçülen metil estere 1/1 ölçüğünde saf su ilave edilerek iki tane hava motoru vasıtasıyla 4 kanaldan hava verildi. Bu arada karışımın Ph değeri kontrol edildi. Bazik durum gözlemlendiği için Ph değeri 7 olana kadar karışım içine sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) enjekte edildi ve ph kağıdı ile kontrol edildi. Hava verme işlemi 12 saat sürdürüldü. İşlem sonunda metil esteri beklemeye alındı. Yaklaşık 24 saatlik bir beklemeden sonra karışım su, sabun ve AKYME olarak üç faza ayrıldı. Üst kısımda oluşan AKYME ayrı bir kaba alınıp tekrar reaktöre aktararak kurutma işlemine geçirdi. Kurutma aşamasında yaklaşık bir saat 100 °C bekletilerek AKYME içinde kalabilecek suyun buharlaşması sağlandı ve soğumaya bırakıldı. Reaktörden boşaltılan AKYME bidona konularak depo edildi.

#### 4.1.1. Yakıt analizi

Üretilen AKYME analizi O.D.T.Ü. Petrol araştırma merkezinde,

Dizel Yakıtın Analizi ise TÜPRAŞ tarafından alınmıştır.

Deneyler sırasında kullanılan yakıtın bazı özellikleri aşağıda tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deneyler sırasında kullanılan yakıtların bazı özellikleri

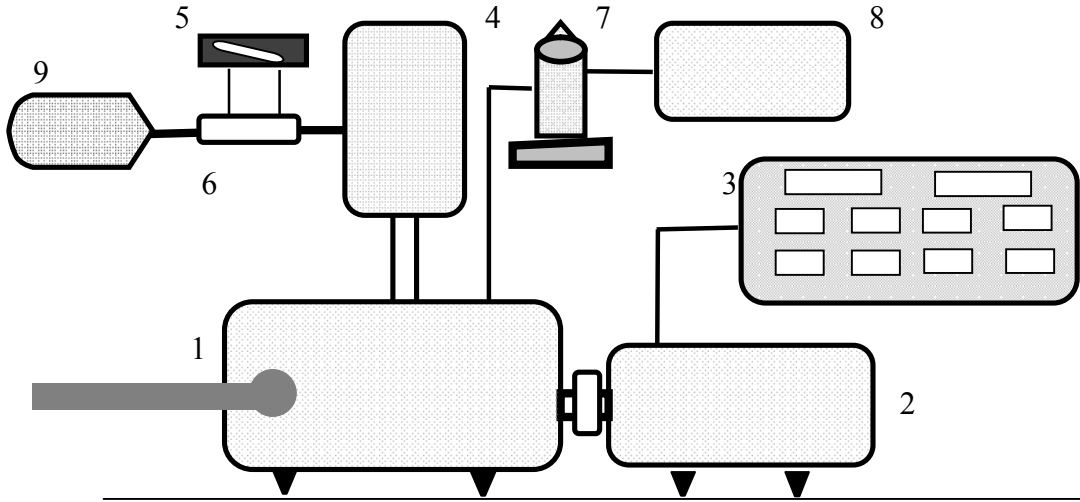
ÖZELLİKLER	DİZEL YAKITI	BİYODİZEL
Kinematik Viskozite 40°C'de (cst )	3,25 <sup>a</sup>	6,84
Alt Isıl Değer ( kJ/kg )	42550 <sup>a</sup>	37250
Yoğunluk 15°C 'de (kg/l)	0,84 <sup>a</sup>	0,891
Alevlenme Noktası (°C )	55 <sup>b</sup>	163

a. Tüpraş tarafından garanti edilen değerlerin ortalaması b. Tüpraş tarafından garanti edilen minimum değer



## 4.2. Deney Düzeneği

Motor deneyleri Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv A.B.D. laboratuvarında yapılmıştır. Şekil 4.2.'de deney düzeneğinin şematik görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.2. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü

- |                   |  |                                |                         |
|-------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| 1. Deney motoru   | 2. Dinamometre                         | 3. Kontrol paneli              | 4. Hava sönümleme tankı |
| 5. Eğik manometre | 6. Orifis plakası                      | 7. Yakıt kabı ve hassas terazi |                         |
| 8. Yakıt deposu   | 9. Aşırı doldurma (yüksek basınç fanı) |                                |                         |

## 4.3. Deney Düzeneğinin Teknik Özellikleri

### 4.3.1. Deney motoru

Deneyler süperstar marka tek silindirli direkt püskürtmeli dizel bir motorda gerçekleştirilmiştir. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 4.2' de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Deney motorunun teknik özellikleri

Marka Model	Süperstar
Çalışma Prensibi	4 Zamanlı, su soğutmalı, direkt püskürtmeli
Silindir Sayısı	1
Silindir Stroku (mm)	100
Toplam Silindir Hacmi (cm <sup>3</sup> )	920
Sıkıştırma Oranı	17 / 1
Maksimum Motor Gücü ( HP/d/d)	3000 d/d 19 HP
Enjeksiyon basıncı ( bar )	171 bar

#### 4.3.2. Dinamometre

Deneyler sırasında 3000 d/d, tam yükte maksimum 20 HP güce sahip elektrikli bir dinamometre kullanılmıştır.

#### 4.3.3. Hava debi ölçeri

Deneylerde hava debisi ölçümü için eğik manometre kullanılmıştır.

#### 4.3.4. Yakıt ölçümü

Deney esnasında tüketilen yakıt miktarının bulunması için kütleli ölçüm yapılmıştır. Yakıt ölçümünde veriler kronometre yardımı ile alınmıştır.

#### 4.3.5. Kronometre ve hassas terazi

Deneyler sırasında bir salise hassasiyetinde elektronik kronometre ve 3 kg kapasiteli ve 0.1gr hassasiyetinde ölçüm yapan terazi kullanılmıştır.

#### 4.3.6. Aşırı doldurma ünitesi

Deneylerde aşırı doldurma uygulaması olarak yüksek basınç fanı kullanılmıştır. Şekil 4.3'de Yüksek basınç fanı gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Yüksek Basınç Fanı

Tablo 4.3. Aşırı doldurma ünitesi'nin teknik özellikleri

Marka Model	PY K2
Motor Gücü ( KW )	0,75 KW
Devir ( d/d)	3000
Kapasite ( m <sup>3</sup> / h)	400
Basınç ( mm / ss )	300

#### 4.4. Deneyin Yapılışı ve Hesaplama Yöntemleri

Deney motoru tam yükte değişik devir aralıklarında (1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800) olmak üzere 200d/d aralıklı olarak belirlenmiştir. Deneylerde yakıt olarak motorin ve biyodizel (AKYME) kullanılmıştır. Deneyler iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada normal şartlar altında motorin, B20, B100 yakıtlarının deneyleri yapılmış sonuçlar belirlenmiştir. İkinci aşamada ise dışardan bir yüksek basınç fanı ile ek hava verilerek deneyler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Deneylerde motor performans kriterleri olarak, motor döndürme momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, yakıt tüketimi, termik verim, volümetrik verim ve egzoz gazı sıcaklığı değerlendirmeleri yapılmıştır.

## 4.5. Hesaplama Yöntemleri

### 4.5.1. Motor momenti ( tork ) ve efektif güç

Motor silindirlerinde elde edilen indike gücün tümü efektif güce çevrilemez . Bir çok uygulama yapıldıktan sonra belirlenebilen döndürme momenti ve efektif güç Deneyle esnasında bir elektrikli dinamometre ile belirlenmiştir. Motor döndürme momenti ve güç hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikleri kullandık [66].

$$M_d = F \cdot L \dots\dots\dots(4.1)$$

$$P_e = \frac{M_d \cdot n}{9549} \dots\dots\dots(4.2)$$

- $M_d$  : Döndürme momenti (Nm)  
 $F$  : Kuvvet ( N )  
 $L$  : Kuvvet kolu uzunluğu ( m )  
 $P_e$  : Efektif güç ( kW )  
 $n$  : Motor devri ( devir / dakika )

### 4.5.2. Özgül yakıt tüketimi ( ÖYT )

Özgül yakıt sarfiyatı kilowatt – saat başına gram olarak sarf edilen yakıt sarfiyatıdır. Ölçülebilen bir karakteristiktir. Motorun yük durumuna göre değişen özgül yakıt sarfiyatı, en doğru olarak fren denemelerinde saptanır. Örneğin, tam gazdaki özgül yakıt sarfiyatı yarım gazdakinden daha azdır. Aşağıda çeşitli motorlar için deneyler sonucunda bulunan özgül yakıt sarfiyatları görülmektedir [65,66]

$$b_e = \frac{m_y}{P_e} \dots\dots\dots(4.3)$$

$b_e$ : Özgül yakıt tüketimi ( kg/kWh )

$m_y$ : Yakıt Tüketimi ( kgram/saat )

#### 4.5.4. Termik Verim

İçten yanmalı motorlarda önemli parametrelerden biride termik verimdir. Termik verim, motorun ne derece ekonomik çalıştığını gösterir. Termik verim; yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisine karşılık, motorun bu enerjiyi faydalı iş haline sokma oranıdır [21,66].

$$\eta_t = \frac{3,6 \times 10^6}{bexH_u} \dots\dots\dots(4.4)$$

$\eta_t$  : Termik verim

$H_u$  : Alt ısı değeri ( kJ/kg )

#### 4.5.5. Volümetrik Verim

Emme strokunun sonunda silindire giren gerçek taze yakıt – hava karışımının aynı hacmi oluşturan ideal durumda (atmosfer şartlarında) ki yakıt – hava karışım miktarına oranına volümetrik verim denir.[21,65].

$$\eta_v = \frac{2 m_i}{nV_d \rho_i} \dots\dots\dots(4.5)$$

$m_i$  = Birim zamanda silindire giren taze karışım miktarı

$n$  = Devir sayısı

$V_d$  = Toplam strok hacmi

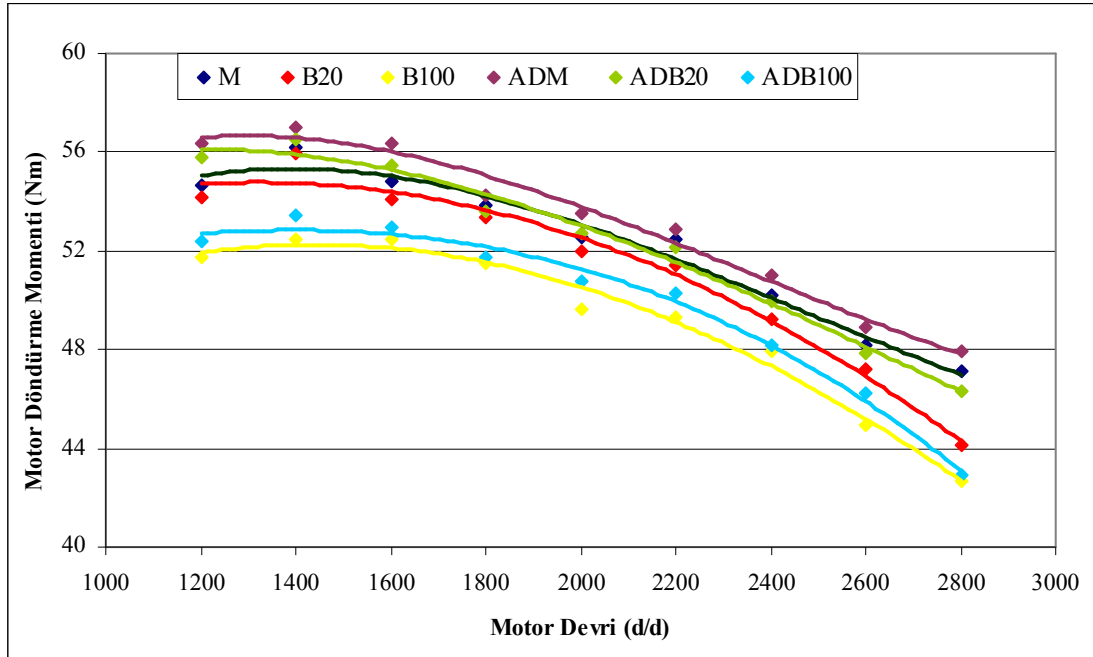
$\rho_i$  = Emme havası yoğunluğu

## BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

AKY'dan transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen AKYME'nin motor performansına etkisinin incelenmesi için motor tam yük ve değişik devirlerde (1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800) çalıştırılmış ve elde edilen test sonuçları grafikler halinde çizilmiş ve değişimleri yorumlanmıştır.

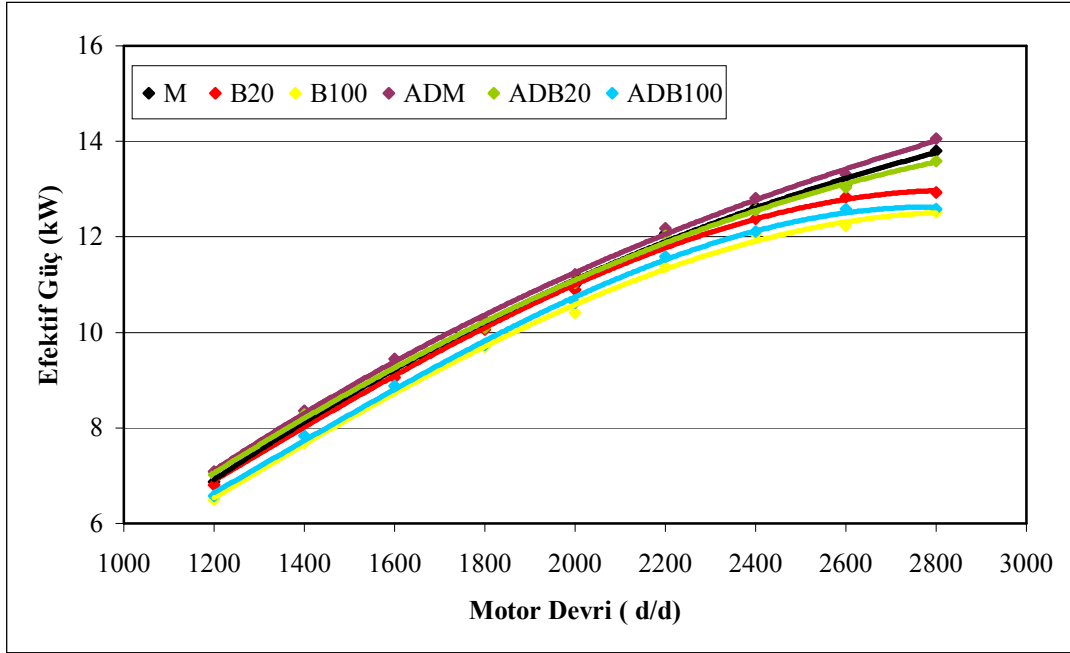
### 5.1. Motor Döndürme Momenti ve Efektif Güç

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; M, B20, B100 yakıtları ile aşırı doldurma uygulanan ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarına bağlı motor moment değişimleri şekil 5.1'de, efektif güç değişimleri ise şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tüm yakıtlarda oluşan maksimum döndürme moment değerleri yaklaşık 1400 dev/dak oluşmuştur.



Şekil 5.1. Motor devrine bağlı olarak motor döndürme momenti değişimi

Devir artışı ile beraber moment değerlerinde düşme görülmüştür. En yüksek döndürme momenti değerleri aşırı doldurma uygulanan motorin ile elde edilmiştir. En düşük değerler ise B100 yakıtı ile oluşmuştur. Aşırı doldurmaya bağlı olarak denenen bütün yakıtlarda elde edilen verilerde iyileşme görülmektedir. Bu iyileşme test edilen tüm motor devir aralıklarında oluşmaktadır.



Şekil 5.2. Motor devrine bağlı olarak efektif güç değişimi

Motor gücü, test edilen bütün yakıtlarda motor devir aralıklarına göre artış göstermiştir. Genel olarak şekle baktığımızda en yüksek güç artışı, aşırı doldurma uygulanan motorinde elde edilirken en düşük artış değerleri ise B100 yakıtında oluşmuştur. Aşırı doldurma uygulanan AB20 yakıtında motorin yakıtına göre 2200 dev/dak'ya kadar daha yüksek güç değerlerine ulaşılmıştır. Bu devirden sonra motorin yakıtına yakın güç değerleri oluşmuştur. En yüksek güç artışı 2800 dev/dak ADM yakıtında 14,05 kW olarak ölçülmüştür. AKYME yakıtlarında en iyi sonucu 2800 dev/dak'da 13,59 kW olarak AB20 yakıtı vermiştir.

Motorin yakıtı baz alındığında maksimum moment değerinin oluştuğu 1400 dev/dak'da B20, B100, ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarında, motorine oranla B20, B100, ADB100 yakıtlarında sırasıyla % 0.40, % 6.65, % 4.97 moment ve güç

azalması ADM, ADB20 yakıtlarında ise % 1.50, % 0.55 moment ve güç artışı tespit edilmiştir. En yüksek moment artışı 1200 dev/dak'da ADM, ADB20 yakıtlarında gerçekleşmiştir. 2800dev/dak'da ise motorin yakıtına oranla B20, B100, ADB100, ADB20 yakıtlarında sırasıyla % 6.36, % 9.37, % 8.92, % 1.57 moment ve güç azalması oluşmakta sadece, ADM yakıtında % 1,76'lık moment ve güç artışı meydana gelmektedir. 2200 dev/dak'dan sonra ADB20 yakıtında motorin yakıtına oranla moment değerinde azalma oluşmaktadır.

Bütün motor devirleri göz önüne alındığında, motorin yakıtına göre B20, B100, ADM, ADB20, ADB100 yakıtları için motorine oranla B20, B100, ADB100 yakıtlarında sırasıyla % 1.89, % 5.86, % 4.56 değerlerinde moment ve güç azalması ADM, ADB20 yakıtlarında ise % 1.74, % 0.06 moment ve güç artışı tespit edilmiştir. B20 yakıtını baz aldığımızda, moment değerlerindeki değişim B100 yakıtına göre % 4.07 ADB100 yakıtına göre ise % 2.74 moment ve güç artışı, ADB20 yakıtına göre ise % 1.97'lik bir moment ve güç azalışı tespit edilmiştir.

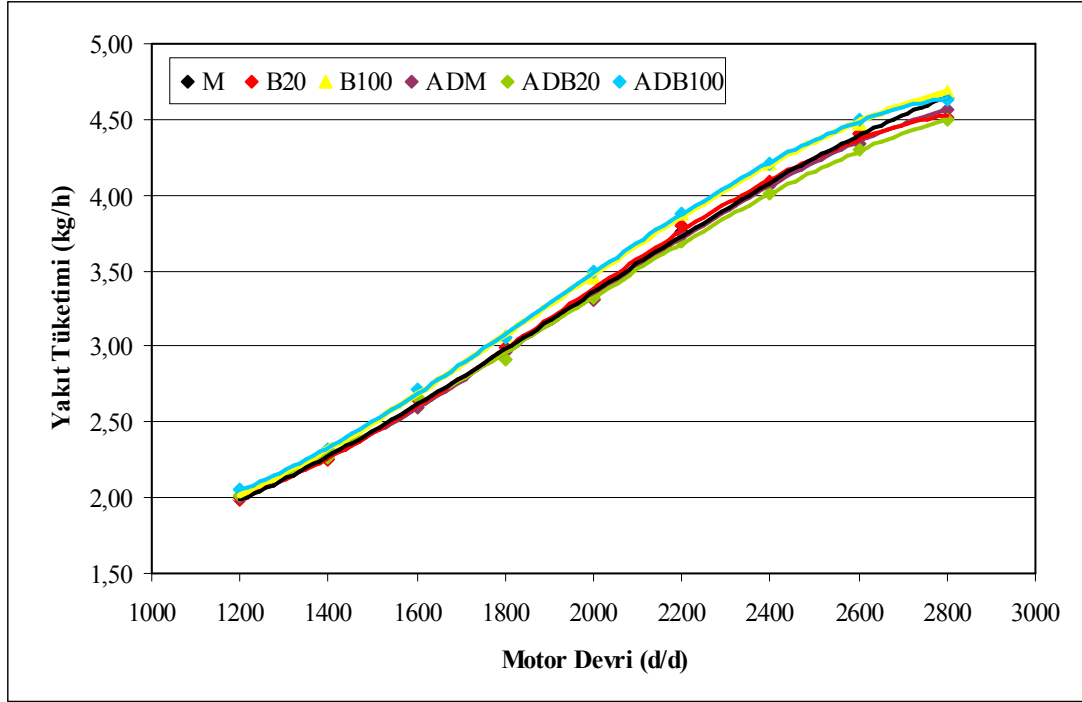
Sonuçlarda açık bir şekilde görüldüğü gibi bütün yakıtlarda motor döndürme momenti ve güç değişimleri göz önüne alındığında aşırı doldurma uygulamasının motor momenti değişimlerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. AKYME viskozitesi ve yoğunluğunun motorine göre daha yüksek değerde olması motor moment ve güç artışını düşük tutmaktadır. Ancak aşırı doldurma uygulandığında yanmanın iyileşmesi ile motor moment ve güç değerlerinde bir miktar yükselme sağlanmıştır. Özellikle ADB20 yakıtında motorine yakın moment ve güç değerleri ölçülmüştür. ADB100 yakıtında ise B100 yakıtına göre bir iyileşme görülmüş ama motorine göre düşük moment ve güç değerleri oluşmuştur. Bunun sebebi özellikle AKYME yakıtının ısı değerinin düşük, yoğunluğunun ve viskozitesinin yüksek olmasıdır.

## 5.2. Yakıt Tüketimi

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; M, B20, B100 yakıtları ile aşırı doldurma uygulanan ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarına bağlı yakıt tüketimi değişimleri şekil 5.3'de gösterilmiştir. Genel olarak şekilden de anlaşılacağı şekilde yakıt tüketimi artışı, motor devri ile orantılı olarak tüm test edilen yakıtlarda artış



göstermiştir. Test yakıtlarının tüketim değerleri arasında fazla bir fark oluşmamıştır. En yüksek yakıt tüketimi artışı 2800 dev/dak B100 ve ADB100 yakıtlarında sırasıyla 4.64, ve 4.68 kg/h olurken en düşük yakıt tüketimi ADB20 yakıtında 4.50 kg/h olarak gerçekleşmiştir.



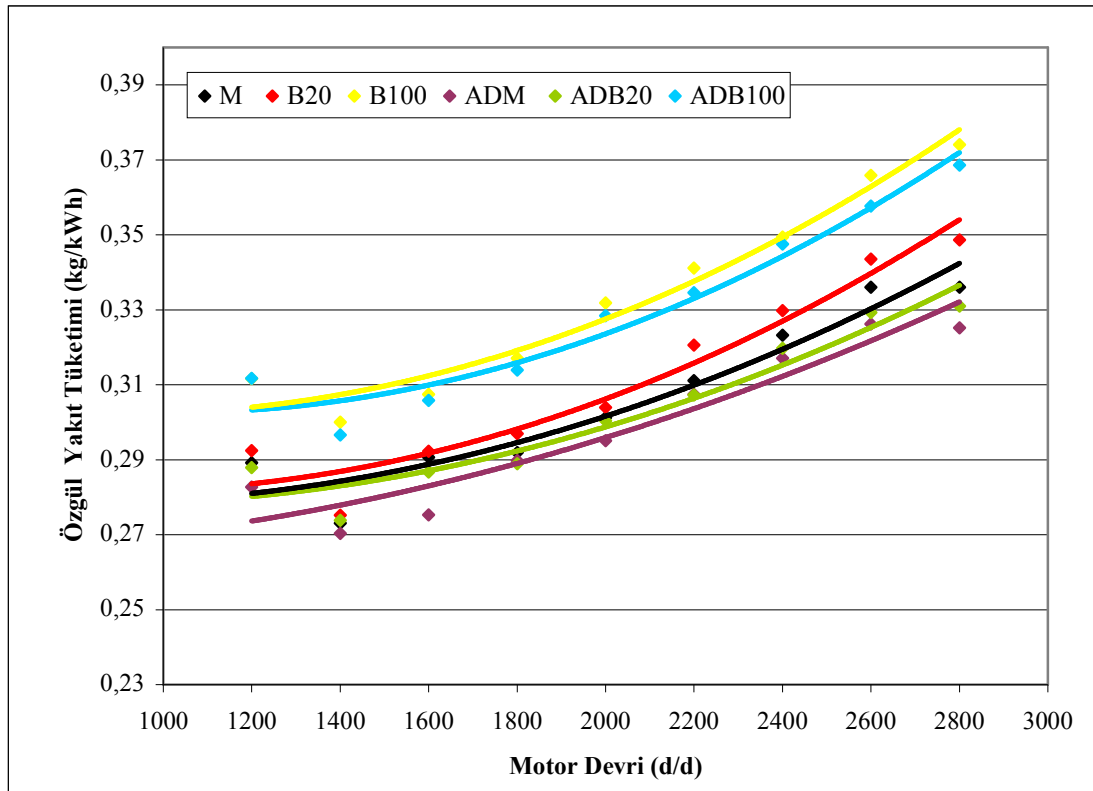
Şekil.5.3. Motor devrine bağlı olarak yakıt tüketimi değişimleri

motorin yakıtını baz alarak test yakıtlarını karşılaştırdığımızda B20, B100, ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarındaki ortalama yakıt tüketimi arasındaki fark sırasıyla % 0.14 azalma, % 2.51 artma, % 0.58 azalma, % 0.90 azalma ve % 2.79 artma oluşmaktadır. Aşırı doldurma uygulandığında genel olarak test yakıtlarının yakıt tüketimlerinde 1800 dev/dak'dan sonra azalma gözlenmiştir. AKYME yakıtında yakıt tüketim değerlerinin motorine nazaran daha yüksek seyretmesinin en önemli nedeni ısı değerinin yaklaşık %12.64 kadar motorine göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle yüksek devirlerde, aşırı doldurma uygulandığında yanmanın iyileşmesi sonucunda, normal değerlere göre düşüş gözlenmiştir. ADB100 yakıtı bütün motor devirlerinde yüksek yakıt tüketimi sergilemiştir.

### 5.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketiminde genel olarak ortalama değerlerde minimum düşük ve yüksek devirlerde ise maksimum değerler görülmektedir. Motor devir aralıklarına bağlı olarak; M, B20, B100 yakıtları ile aşırı doldurma uygulanan ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarına bağlı ÖYT değişimleri şekil 5.4’de gösterilmiştir. Minimum ÖYT değeri ADM yakıtı ile elde edilmiştir. En yüksek değerler ise B100 yakıtında oluşmaktadır. Genel olarak grafikten de anlaşılacağı şekilde test yakıtlarına aşırı doldurma uygulandığında ÖYT’lerinde belirgin bir azalma oluşmaktadır. Maksimum torkun olduğu 1400 dev/dak’da en düşük ÖYT değerleri 0.27 kg/kWh ile motorin, ADM, ADB20 yakıtlarında tespit edilmiştir.

Motorin yakıtını baz alarak test yakıtlarını karşılaştırdığımızda B20, B100, ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarındaki ortalama özgül yakıt tüketimi arasındaki fark B20, B100, ADB100 yakıtlarında sırasıyla % 1.9, % 8.91, % 7.72’lik bir ÖYT artışı ADM, ADB20 yakıtlarında sırasıyla % 2.28, % 0.96’lık bir ÖYT azalışı oluşmuştur.



Şekil 5.4. Motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi

Grafikten de anlaşılacağı şekilde aşırı doldurma uygulanan yakıtların özgül yakıt tüketimlerinde önemli iyileşmeler kaydedilmiştir. B20 yakıtını baz aldığımızda AKYME yakıtlarına göre ÖYT değişimleri B100 yakıtına göre % 7.14, ADB100 yakıtına göre ise % 6.07 ÖYT azalışı, ADB20 yakıtına göre % 2.51'lik bir ÖYT artışı tespit edilmiştir. Tüm test yakıtları için en yüksek ÖYT artışı 2800 dev/dak'da oluşmuştur.

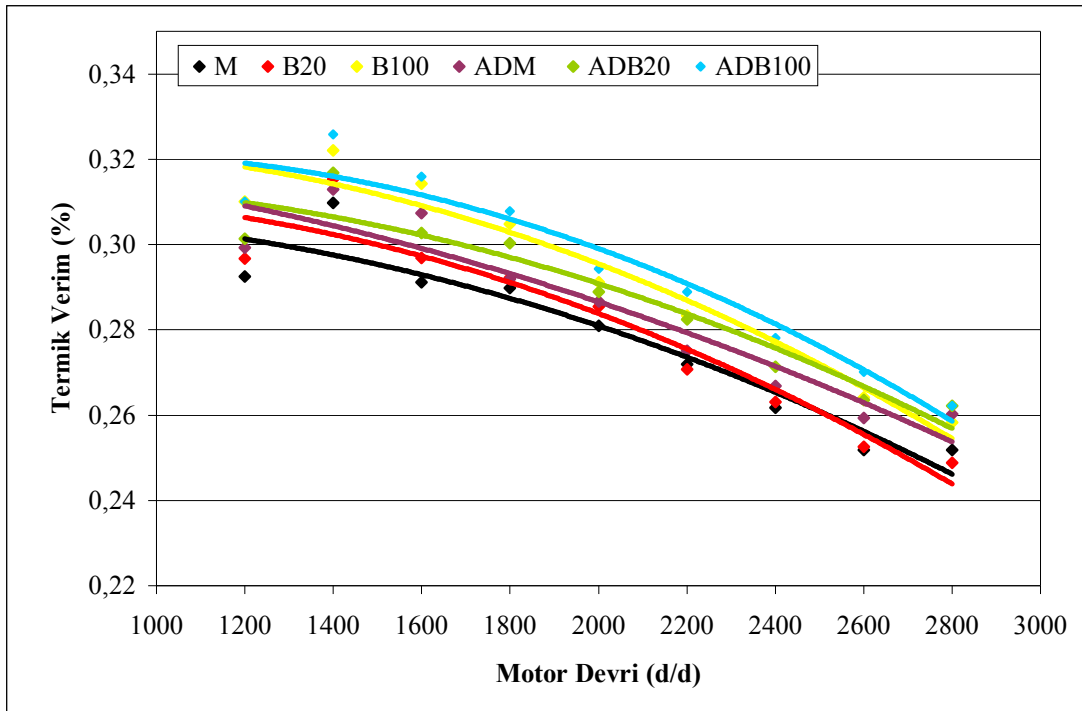
Motorine göre AKYME'nde oluşan ÖYT artışının temel sebebi ısı değerinin düşüklüğünde kaynaklanmaktadır. Aşırı doldurma uygulandığında yanmanın iyileşmesi ile ÖYT değerlerinde belirgin bir azalma gözlenmiştir. Özellikle ADB20 yakıtında motorine çok yakın değerler hatta yüksek devirlerde daha iyi sonuçlar gözlenmiştir.

#### **5.4. Termik Verim**

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; M, B20, B100 yakıtları ile aşırı doldurma uygulanan ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarına bağlı termik verim değişimleri şekil 5.5'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi tüm test yakıtları için 1400 dev/dak'dan sonra termik verimde azalma oluşmaktadır. En düşük termik verim değerleri motorin yakıtıyla elde edilmiştir. AKYME yakıtlarında daha yüksek termik verim değerlerine ulaşılmıştır.

Test yakıtlarına aşırı doldurma uygulandığında termik verimde iyileşme gözlenmiştir. En yüksek termik verim artışı B100 ve ADB100 yakıtlarında oluşmuştur.

Bütün motor devir aralıkları için motorin yakıtı baz alınarak test yakıtlarını karşılaştırdığımızda B20, B100, ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarındaki ortalama termik verim artışı sırasıyla % 0.76, % 4.90, % 2.35, % 3.55, % 6.06 değerlerinde oluşmaktadır.



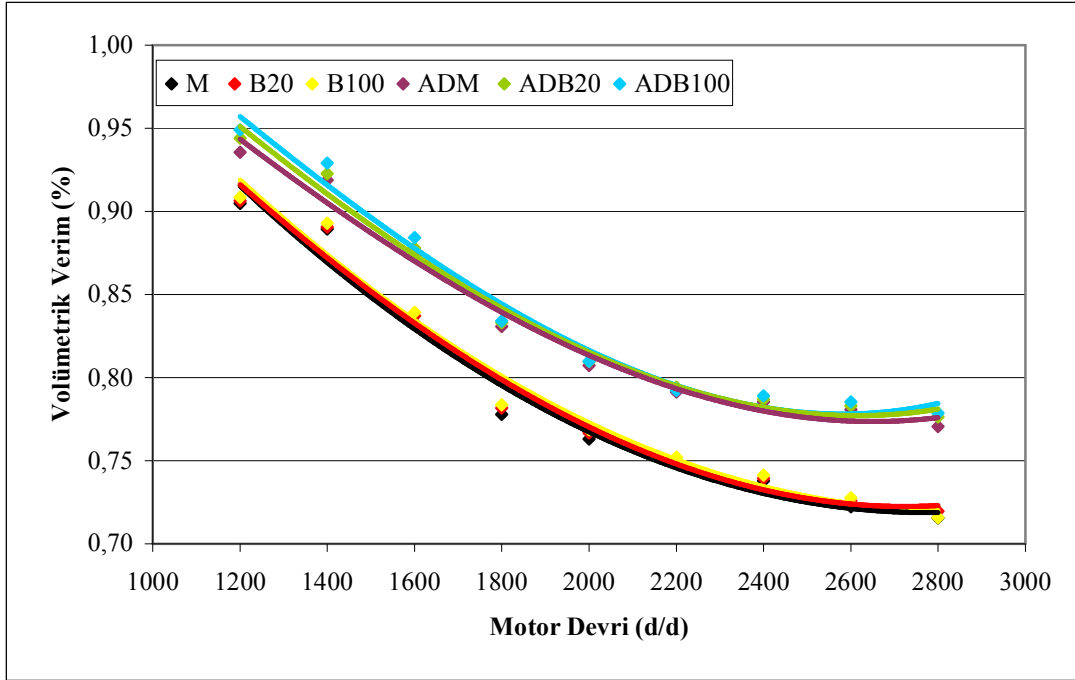
Şekil 5.5. Motor devrine bağlı olarak yakıtların termik verimde yüzde değişimleri

Aşırı doldurma uygulaması ile AKYME yakıtlarının termik verimlerinde artma eğilimi yükselmiştir. B20 yakıtını baz aldığımızda AKYME yakıtlarına göre termik verim değişimlerinde, B100 yakıtında % 3.97, ADB20 yakıtında % 2.77 ve ADB100 yakıtında % 5.16'lık bir termik verim artışı gözlenmiştir. Motorine göre AKYME yakıtlarında oluşan termik verim artışının sebebi aşırı doldurma ile yanmanın iyileşmesinin yanında motorine göre sahip olduğu en önemli fark olan içeriğinde yaklaşık % 11'e yakın değerlerde oksijen bulundurması söylenebilir. Termik verim değerlerinde görülen kısmi azalış ve artışların ise biyodizelin yoğunluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 5.5. Volümetrik Verim

Motorun emme işleminin verimliliğini ölçmek için kullanılan parametre, volümetrik verim olarak adlandırılır. Motor devir aralıklarına bağlı olarak; M, B20, B100 yakıtları ile aşırı doldurma uygulanan ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarına bağlı volümetrik verim değişimleri şekil 5.6'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi aşırı doldurma uygulanan test yakıtlarında volümetrik verim değerleri daha yüksek

seviyelerde oluşmuştur. Tüm motor devirlerinde en düşük volümetrik verim motorin yakıtında oluşmuştur. Volümetrik verimde en yüksek değer artışı 1200 dev/dak'da ADB100 yakıtında % 95 olarak gerçekleşmiştir. En düşük volümetrik verim değeri ise 2800 dev/dak'da motorin yakıtında % 71 olarak gerçekleşmiştir.



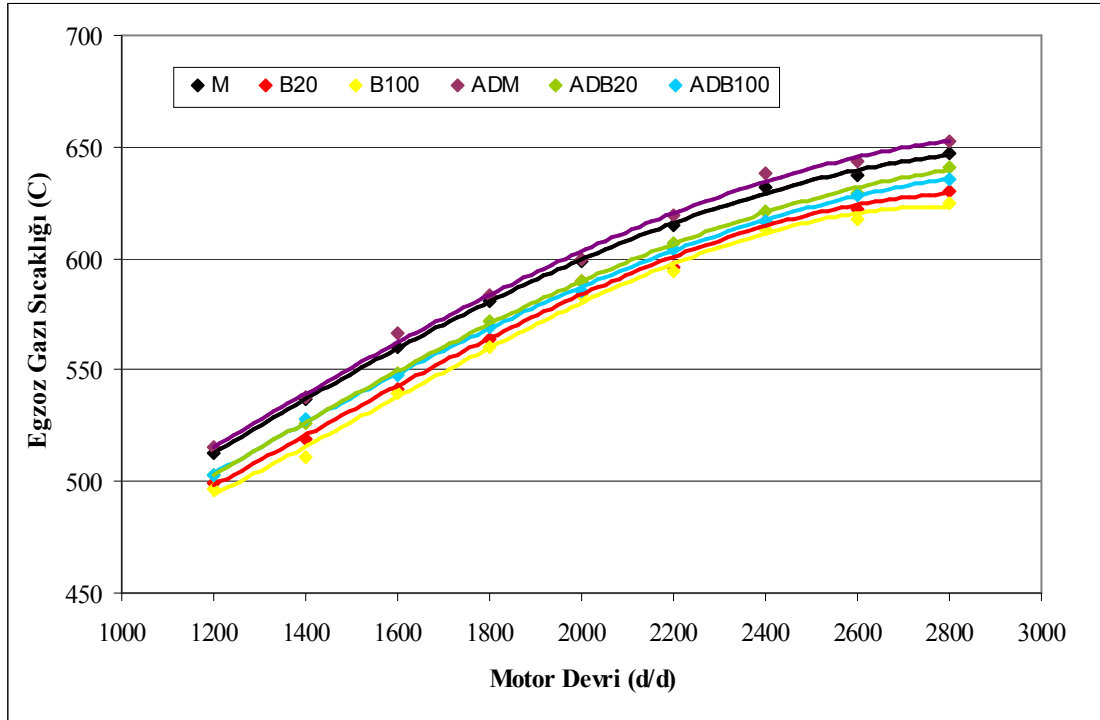
Şekil 5.6. Motor devrine bağlı olarak yakıtların volümetrik verim yüzde değişimi

Bütün motor devir aralıkları için motorin yakıtı baz alınarak test yakıtlarını karşılaştırdığımızda B20, B100, ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarındaki ortalama volümetrik verim artışı sırasıyla % 0.36, % 0.52, % 5.79, % 6.25, % 6.57 değerlerinde oluşmaktadır. Aşırı doldurma uygulaması ile yanma karakteristiği iyileşen AKYME yakıtlarında volümetrik verimde yüksek bir artış oluşmuştur.

B20 yakıtını baz aldığımızda, AKYME yakıtlarına göre volümetrik verim değişimlerinde B100 yakıtında % 0.14, ADB20 yakıtında % 5.75 ve ADB100 yakıtında ise % 6.03'lük bir volümetrik verim artışı gözlenmiştir. Motorine göre AKYME yakıtlarında oluşan volümetrik verim artışının sebebi olarak aşırı doldurma ile iyileşen yanmanın yanında içerisinde % 11'e yakın değerlerde oksijen bulundurması ve ısı değerinin düşük olmasına bağlı olarak egzoz gazı sıcaklığında ve emme manifoldunda oluşan parça sıcaklığındaki azalma söylenebilir.

## 5.6. Egzoz Gazı Sıcaklığı

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; M, B20, B100 yakıtları ile aşırı doldurma uygulanan ADM, ADB20, ADB100 yakıtlarına bağlı egzoz gazı sıcaklık değişimleri şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Motor devrine bağlı olarak egzoz gazı sıcaklık değişimi

Şekilden de anlaşıldığı gibi motor devrindeki artışla beraber tüm test yakıtlarında egzoz gazı sıcaklıklarında artış meydana gelmektedir. En yüksek egzoz gazı sıcaklıkları motorin yakıtında oluşmuştur

Bütün motor devir aralıkları için motorin yakıtı baz alınarak test yakıtlarını karşılaştırdığımızda B20, B100, ADB20, ADB100 yakıtlarındaki ortalama egzoz gazı sıcaklık değerleri sırasıyla 15.79 °C, 20.02 °C, 9.22 °C, 11.29 °C’lik motorin yakıtına göre düşüş göstermiş ADM yakıtı ise 4.06 °C’lik bir artış göstermiştir. En düşük sıcaklık değeri ise 1200 dev/dak’da B100 yakıtında 496.50 °C ölçülmüştür.

AKYME yakıtlarını karşılaştırdığımızda B20 yakıtı baz alınarak ortalama egzoz sıcaklığı değerleri B100 yakıtında 4.23 °C azalmakta, ADB20 yakıtında 6.57 °C artmakta ve ADB100 yakıtında ise 4.50 °C'lik bir artma oluşmaktadır.

Motorine göre AKYME yakıtlarında oluşan egzoz gazı sıcaklıklarındaki azalmanın sebebi ısı değerinin düşük olmasına bağlı olarak maksimum silindir içi sıcaklığının azalması olarak söylenebilir. Egzoz gazı sıcaklığı değerlerinde görülen kısmi azalış ve artışların ise biyodizelin yoğunluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Kullanım alanı sürekli genişleyen dizel motorlu araçlar bilindiği gibi petrol kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Bunun sonucunda yakıt ihtiyacı da sürekli artmaktadır. Fosil yakıtların belirli bir rezerve dayalı sonlu kaynak olması, içten yanmalı motor teknolojisinde fazla bir değişiklik yapmadan, dizel yakıtına alternatif olabilecek yeni yakıtların araştırılarak ortaya konulmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu konuda özellikle, konvansiyonel olmayan yakıtların incelenmesi ve yakıt kalitelerinin iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar günümüzde ağırlık kazanmaktadır. Bu yakıtların içinde bütün dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de ön plana çıkan bitkisel yağlardır. Ancak üretim maliyetlerinin yüksek olması sonucu motorin karşısında uygulanabilirliği zor gözükmektedir. Bu durumda atık yağların kullanımı maliyet açısından daha gerçekçi olacaktır.

Ülkemizde yılda yaklaşık 350 bin ton civarında kullanılmış atık bitkisel ve hayvansal yağ oluşmaktadır. Bu atık yağların kalorileri ve viskoziteleri çok yüksektir. Atık yağlar, suya, kanalizasyona döküldüğü zaman su yüzeyini kaplar ve sisteme oldukça büyük zararlar verir. Havadan suya oksijen transferini önleyerek buralarda yaşayan canlı türlerinin de yaşamasını engeller. Kullanılmış bitkisel yağlar atık su kirliliğinin % 25'ini oluşturmaktadır. Bu yüzden atık yağların biyodizel üretiminde kullanılması maliyetin düşmesi yanında çevreye olan olumsuz etkilerini de azaltmış olacaktır.

Atık yağlardan yağ asidi metil esterleri üretiminde, özellikle atık yağların yüksek oranda serbest yağ asidi ve su içermesi ve yağın kimyasal yapısında oluşabilecek değişimler, hayvansal yağlarda ise doymuş yağ asidi fazlalığı yakıt özelliklerini etkileyen unsurlardır. Baz katalizör kullanılan transesterifikasyon reaksiyonu için serbest yağ asidi değeri seviyesi % 0.5 geçmemelidir. Yada asit katalizör ile serbest yağ asidi değeri düşürülmelidir.



Yapılan bu çalışmada biyodizel üretiminde ülkemiz ve dünya ülkelerinde maliyet ve çevresel açıdan en çok tercih edilen atık kızartma yağı kullanıldı. AKY üniversite yemekhanesinden temin edildi. Serbest yağ asidi değeri % 0.3 gibi çok düşük derecede olduğundan ön iyileştirme yapılmadı ve esterleşme işlemine geçirdi. Elde edilen AKYME' nin bazı fiziksel özellikleri yapılan testlerle belirlendi.

Deney iki aşamada oluşmaktadır. İlk aşamada elde edilen AKYME saf halde ve belirli oranda motorin yakıtına karıştırılarak, ikinci aşamada ise test yakıtlarına aşırı doldurma uygulanıp dört zamanlı direkt enjeksiyonlu tek silindirli su soğutmalı bir dizel motorunda denenmiştir. Elde edilen sonuçlar arasındaki fark karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir.

Biyodizel yakıtlar yüksek setan sayısı, içersinde az su bulunması, yüksek parlama noktası ve dizel yakıtına oranla düşük emisyon değeri gibi üstünlükleri yanında yüksek viskozite ve yoğunluk, düşük alt ısı değerleri gibi istenmeyen özelliklere sahiptir. Üretilen AKYME en önemli yakıt özelliklerinden biri olan alt ısı değeri motorin yakıtına göre % 12.64 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir. Günümüzde esterleştirilen AKY'larının yakıt özellikleri motorin yakıtına oldukça yaklaşmaktadır.

AKYME deney motorunda tam yük şartlarında (1200 – 2800) dev/dak arasında 200 devir aralıklı olarak test edildi. Motor testlerinin yapılması süresince AKYME kullanımında, ilk harekete geçiş, ivmelenme ve yavaşlama süresince modifikasyonu gerektirecek herhangi bir olumsuz durumla karşılaşılması.

Deneyin birinci aşamasında, düşük motor devirlerinde motorin ve B20 yakıtının döndürme momenti ve efektif güç değerleri birbirine yakın değerlerde oluştu. B100 yakıtında ise biyodizel yakıtların karakteristik özellikleri doğrultusunda motorine göre düşük değerler elde edilmiştir. Yüksek devirlerde ise B20 ve B100 yakıtlarında motorine göre daha hızlı bir moment ve güç düşmesi olmuştur. İkinci aşamada ise test yakıtlarına aşırı doldurma uygulanarak oluşan sonuçlarda tüm test yakıtlarının moment ve güç değerlerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. ADB20 yakıtı 2200 dev/dak'ya kadar motorin yakıtına göre daha yüksek moment ve güç

değerlerine çıktı ve bu devirden sonra yaklaşık aynı değerlerde moment ve güç artışı sağlanmıştır.

Yakıt tüketimi devir artışına bağlı olarak tüm test yakıtlarında artış göstermiştir. AKYME yakıtların belirgin özelliklerinden bir tanesi olan alt ısı değer düşüklüğü yakıt tüketimi ve ÖYT artışında etkili olmaktadır. Ürettiğimiz AKYME’nde alt ısı değer motorin yakıtına göre % 12.46 oranında düşük çıkmıştır. Bu özellik yapılan testlerde AKYME kullanımında motorine oranla bütün devirlerde ÖYT’de artmaya yol açtı. Ancak deneyin ikinci aşamasında aşırı doldurma uygulandığında yanma karakteristiklerindeki iyileşme ile beraber test yakıtlarının ÖYT’lerinde belirgin bir iyileşme oluşmuştur. Özellikle bazı motor devirlerinde ADB20 yakıtında oluşan ÖYT değerlerinde motorine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

AKYME önemli özelliklerinden bir tanesi de yaklaşık %10 oranında oksijen içermesidir. Bunun yanında alt ısı değerinin düşük olmasına bağlı olarak egzoz gazı sıcaklığının azalması ile beraber termik verim ve volümetrik verim değerlerinde artış oluşmaktadır. Yapılan deneyin birinci aşamasında B20 ve B100 yakıtlarının bu özellikleri doğrultusunda termik ve volümetrik verim değerleri motorine göre daha yüksek değerlerde oluşmaktadır. Aşırı doldurma uyguladığımızda ise tüm motor devirleri için test ettiğimiz tüm yakıtların termik ve volümetrik değerlerinde önemli artışlar meydana geldi. En yüksek termik verim ADB100 yakıtında 1400 dev/dak’da % 33 değerinde, en yüksek volümetrik verim değeri ise yine ADB100 yakıtında 1200 dev/dak’da % 95 olarak gerçekleşti.

Egzoz gazı sıcaklık değerleri, AKYME yakıtlarında motorine göre daha düşük değerlerde oluşmuştur. Aşırı doldurma ile beraber tüm test yakıtlarının egzoz gazı sıcaklıkları artış göstermiştir. Bütün motor devirleri için en yüksek egzoz sıcaklık değerleri ADM yakıtında ölçülmüştür. Aşırı doldurma ile B20 ve B100 yakıtlarında da egzoz sıcaklık değerlerinde artış gözlenmesine rağmen motorin yakıtında oluşan sıcaklık değerlerine göre daha düşük sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır. AKYME yakıtlarında motorine göre egzoz gazı sıcaklıklarının düşük oluşmasının nedeni olarak, motorine nazaran ısı değerinde oluşan % 12.64’lük bir azalma sonucu, maksimum silindir içi sıcaklık değerlerinin düşmesi gösterilebilir.

Çalışmamızda emisyon değerleri gözlemlenirse de motor performans verileri neticesinde ve özellikle AKYME yakıtlarının oksijen ihtiva etmesi CO emisyonlarında azalmaya yol açabilir. Aşırı doldurma uygulaması ile yanma oluşan iyileşme ile beraber NOx oranları da artabilir.

Yapılan çalışma sonunda üretilen AKYME yakıtının dizel motorlarda kullanım açısından uygun bir yakıt olduğu saptanmıştır.

AKYME yakıtlarının alevlenme noktası motorine oranla daha yüksek olduğu için depolama yönünden de avantajlı bir durum oluşturmaktadır.

AKYME yakıtı ile yapılan çalışmalarda filtre ve enjektörlerde tıkanma gibi bir sorunla karşılaşılmamıştır.

Literatür incelemesi ve deneysel çalışmalar sonucunda, atık kızartma yağlarından AKYME üretiminin yakıt uygunluğu göz önüne alındığında hem maliyet hem de çevre açısından önemli bir alternatif yakıt olduğu görülmektedir.

AKYME saf olarak dizel motorunda kullanılabildiği gibi dizel yakıtı ile çeşitli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilmektedir. Bu çalışmada motorinle karışım olarak B20 yakıtı test edildi ve motorin yakıtına yakın motor performans değerlerine ulaşıldı. B20 yakıtına aşırı doldurma uygulandığında ise motor performans parametrelerinde, motorin yakıtından daha iyi sonuçlar elde edildi.

## KAYNAKLAR

- [1] ALTIN, V., Bilim ve Teknik Dergisi, Enerji özel eki Boğaziçi Üniversitesi Ocak, 2002.
- [2] ELMAS, P., Umudumuz biyodizel, Araştırma ve Meslekleri Geliştirme Müdürlüğü, AR-GE Bülten, s :32-38, İzmir, Ekim, 2005
- [3] Enerji Kaynakları, Çevre sorunları ve çevre dostu alternatif enerji kaynakları, Standard Dergisi, 39/468, s 28-36, Aralık 2000.
- [4] ÇOLAK, İ., BAYINDIR, R., SEFA, İ., DEMİRBAŞ, Ş., ERGEN, H., Alternatif enerji kaynaklarının kullanımı, III.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin, Ekim, 2005.
- [5] ÜNALAN, S., Alternatif enerji kaynakları ders notları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ders notları, 2002.
- [6] YEŞİL, M., 2000’li yıllarda Türkiye’de enerji sektörüne bir bakış, Doğalgaz Dergisi, sayı 41. 2001.
- [7] Çevresel etki ve değerlendirme ve planlama genel müdürlüğü, Türkiye çevre atlası ve enerji, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2004.
- [8] ÇAĞLAR, M., Dünya ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına bakış Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2005.
- [9] GÜNDOĞAN, K., ULUSOY, S., ÇELİK, V., Benzinli motorlarda alternatif yakıt kullanımının motor performansına etkilerinin incelenmesi, 9.Yanma Sempozyumu, s:382-392, Kırıkkale, 2006.
- [10] ACAROĞLU, M., Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas yayınları, İstanbul, 2003.
- [11] ÖZ, Hİ., BORAT, O., SÜRMEAN, A., İçten yanmalı motorlar, Birsan Yayınları, Mart, 2003.
- [12] SAFGÖNÜL, B., ERGENEMAN, M., ARSLAN, EH., SORUŞBAY, C., İçten Yanmalı motorlar ,Birsan Yayınları, İstanbul, 1995.
- [13] CHANG,R., Chemistry, 5th ed.,mcgraw-Hill Publishing, USA, 1994.

- [14] KADAYIFÇILAR, S., ACAR, A., Yakıtlar ve yanma, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, yayın no, 1260, Ankara, 1992.
- [15] GONZALES ME., HOWART R., HİLDİGE, JJ., T.O., Emission and performance characteristics of a 2 litre toyata diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel, University of Limerick, Irlandede, 1999.
- [16] BORAT, O., BALCI, M., SÜRMEŒ, A., Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, 3, Ankara, 1992.
- [17] SORUŞBAY, C., İçten yanmalı motorlarda egzoz gazları emisyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Yayınları, İstanbul, 1999.
- [18] BÜYÜKKAYA, E., Termal bariyer kaplamanın turbo doldurmalı bir dizel motorun egzoz emisyonlarına etkileri, Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1997.
- [19] HAŞİMOğLU, C., İÇİNGÜR, Y., Dizel motorlarında egzoz gazları resürkülasyonunun (EGR) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi, Turkish, J. Eng. Env. Sci., 26, 2002.
- [20] BALCI, M., Dizel motorlarında süperşarj ve turboşarj, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara 1985.
- [21] UZUN, A., Aşırı doldurmalı bir dizel motorda ara soğutmanın motor performansına etkileri, Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1997.
- [22] HEYWOOD, JB., Internal combustion engine Fundamentals, ABD, s 930, 1988.
- [23] ERGEN, G., KARABEKTAŞ, M., KAPTI, OA., Türkiye’de içten yanmalı motor yakıtı projeksiyonu ve biyodizel potansiyelinin değerlendirilmesi, İleri Teknolojiler Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Konya 2005.
- [24] ERDOğAN, D., MUHAMMED, AA., Yakıt olarak kullanılan bazı bitkisel yağların dizel motor performansına etkileri, Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi, Tokat, 1997.
- [25] OğUZ, H., ÖğÜT, H., Bitkisel kökenli yağların tarım traktörlerinde kullanım imkanları, Selçuk Teknik Dergisi, Sayı : 2, Konya, 2002.
- [26] GAPINSKI, RE., JOSEPH , IE., LAYZELL , BD., Vegetable oil based tractor lubricant, Sae Paper, 941758, 1994.
- [27] OğUZ, H., ÖğÜT, H., Atık bitkisel yağdan biyodizel üretiminin ülkemize sağlayacağı yararlar, Biyodizelin Önemi Sempozyumu, İstanbul, 2008.

- [28] VELİOĞLU, H., Türkiye’de yağlı tohumlu bitkiler destekleme uygulamaları, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara, 2005.
- [29] [http://www.worldoil.com/InfoCenter/Infocenter\\_Main.asp](http://www.worldoil.com/InfoCenter/Infocenter_Main.asp)
- [30] ÇANAKCI, M., YAMAN, G., İzmit sınırları içerisinde bulunan restaurant ve lokantaların atık kızartma yağlarının potansiyel ve biyodizel üretimi açısından incelenmesi, Bapb-Proje No; 2003/079, Kocaeli, 2003.
- [31] ALPTEKİN, E., ÇANAKÇI, M., Biyodizel ve Türkiye’de ki durumu Mühendis ve Makina cilt : 47, sayı: 561, 2003.
- [32] Bitkisel ve hayvansal atık yağların kontrolü yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı 2005/25791 sayılı resmi gazete, Ankara 2005.
- [33] ÖZTÜRK, M., Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağlar, Çevre ve Orman Bakanlığı Ankara, 2008.
- [34] OKTAY,DO, BALI,V., TEKİN,O., Atık yağ toplama projesi, Fatih Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği, 2. Çevre Sorunları Kongresi, Mayıs, s: 208-220, 2006.
- [35] TOMASEVIC, A.V., MARINKOVIC, S.S., Methanolysis of used frying oil, Fuel processing technology, 81, s: 1-6, 2003.
- [36] YAMIK, H., İÇİNGÜR, Y., Utilization of the sunflower ethyl ester in diesel engine as alternative fuel G.U., Journal of Science, 18(3), s: 545-553. 2005.
- [37] FREEDMAN, B., PRYDE, E.H., Mounts, T.L. Variables affecting the yields of faaty esters from transesterified vegetable oils, Jaocs, 67 (3), 168-170 1984.
- [38] ÇANAKÇI, M., ÖZSEZEN, N., Evaluating waste cooking oils as alternative diesel fuel G.U. Journal of Science, 18(1):81-91, 2005.
- [39] RAKAPOULUS, CD., ANTANAPOULUS, KA., Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of Diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins Received, October, 2005.
- [40] FERİZARDO, P., NEIVA, C., Production of biodiesel from waste frying oils Idalina, Raposo Accepted, February, 2005.
- [41] ŞANLI, H., ÇANAKÇI, M., Atık kızartma ve hayvansal yağların biyodizel üretiminde kullanılması, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Kasım, İstanbul, 2004.

- [42] ALTUN, Ş., GÜR, AM., Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi., s 35-42, 2005.
- [43] ÇANAKÇI, M., Atık hayvansal ve bitkisel yağlardan üretilen biyodizelin motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi V.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, Kasım, 2004.
- [44] ULUSOY, Y., ALİBAŞ, K., Dizel motorlarda biodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16, s:37-50, 2002.
- [45] KARAOSMANOĞLU, F., Türkiye için çevre dostu-yenilenebilir yakıt adayı biyomotorin, Ekojenerasyon Dünyası Dergisi, 10, s: 50-56, 2002.
- [46] KARAHAN, Ş., Biyodizel kalitesi ve biyodizel kalitesinin dizel motorlara etkileri, Tübitak, M.A.M., Enerji Enstitüsü, 2005.
- [47] AKYARLI, A., ALPARSLAN, N., Biyodizel yakıtının uluslar arası standartlarda üretimi, Ege Biyoteknoloji Laboratuvarı Dokuz Eylül Üniversitesi, 2005.
- [48] BERKTAY, A., NAS, B., Energy potential of biodiesel generated from waste cooking oil, An environmental approach energy sources, part b, 2:63–71, 2007.
- [49] KARABEKTAŞ, M., Alternatif dizel motor yakıtı olarak biodizel yakıtının deneysel olarak incelenmesi Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Dergisi, cilt 6, sayı 2. 2005.
- [50] HAAS, J.M., SCOT, K.M., ALLEMAN, T.L., MCCORMICK, R.L. Engine performance of biodiesel fuel prepared from soybean soapstock: A high quality renewable fuel produced from a waste feedstocks, Energy and Fuels, s1207-1212, 2001.
- [51] ACAROĞLU, M., UÇAR, G., Biyodizel yakıtlarda yakıt özelliklerinin ısı değere etkisinin belirlenmesi, Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu İzmir, 2006.
- [52] KERSCHBAUM, S., RİNKE, G., Measurement of the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels, Fuel, 2003, 83, 287-291.
- [53] TÜRKAY, S., Biyodizel üretim teknolojileri, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi, Tübitak M.A.M., Enerji Enstitüsü, Ankara, 2005.
- [54] ÖZSEVEN, N.A., ÇANAKÇI, M., SAYIN, C., Atık kızartma yağı kökenli biyodizelin ön yanma odalı bir dizel motorda yanma karakteristiklerinin incelenmesi, 9. Yanma Sempozyumu, s: 11-20, Kırıkkale, 2006.

- [55] MUTLU, İ., YAVUZ, H., BAYRAKÇEKEN, H., Biyodizel yakıtların performanslarının karşılaştırılması, 9.Yanma Sempozyumu, s:40-49 Kırıkkale, 2006
- [56] GÜRLEYÜK, S.S. ve AKPINAR, S., Yeni enerji kaynakları biodizel, Yenilenebilir Enerji Kaynakları II. Sempozyum, s: 406-411, İzmir, Ekim 2003.
- [57] ERGEN, G., KARABEKTAŞ, M., Pamuk yağından üretilen biyodizel yakıtının bir dizel motorda kullanımı, 9.Yanma Sempozyumu, s:51-59 Kırıkkale, 2006.
- [58] ALTIN, R., BALCI, M., Ayçiçek metil ester yakıtının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması üzerine bir araştırma, Teknoloji dergisi, Aralık sayısı, Zonguldak, 1998.
- [59] ÇİLDİR ,O. ÇANAKÇI , M. Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi Gazi Üniversitesi Mühendis Mimarlık Fakültesi, Dergisi, Cilt 21, s 367-372, 2006.
- [60] LİN, FL., GREG, Y., CHANG, TC., Combustion characteristics of waste-oil produced biodiesel/diesel fuel blends, s: 1772-1780, 2007.
- [61] KESKİN,A., EKŞİ, KA., The effect of using corn oil biodiesel on performance and emissions of diesel engine, C.B.U., Journal of Science s, 49 -55, 2006.
- [62] ELİÇİN, AK., ERDOĞAN, D., Fındık yağı metil ve etil esteri ile diesel yakıtı karışımlarının küçük güçlü bir dizel motorda yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi , 2006.
- [63] REED, TB., GRABOSKİ, M.S., GAUR, S., Development and commercialization of oxygenated diesel fuels from waste vegetable oils, Biomass and Bioenergy, s 111-115, 1992.
- [64] ENCİNAR, JM., GONZALES, JF., RODRÍGUEZ, JJ. and TEJEDOR, A. Biodiesel fuels from vegetable oils, Energy and Fuels, 16, s: 443-450, 2001.
- [65] HAŞİMOĞLU, C., Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi, Doktora tezi Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri, Enstitüsü, 2005.
- [66] KAPSIZ, M., Bir buji ateşlemeli motorda segman üst boşluklarından kaynaklanan HC emisyonunun azaltılması, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2004.



## ÖZGEÇMİŞ

Celal BULUT, 16.07.1976 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini Sakarya Büyükşehir İlköğretim Okulun'da tamamladıktan sonra 1994 yılında Gölcük Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun oldu. 1996 yılında başladığı Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünü 2000 yılında bitirdi. Aynı tarihte İzmit Anadolu Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nde motor öğretmeni olarak göreve başladı. Şu anda Sakarya ilinde görevini sürdürmektedir.