

150079

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MOTORİN VE SUSAM YAĞI KARIŞIMLARININ DİZEL
MOTORLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ**

Şehmus ALTUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

150079

ELAĞIĞ, 2004

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MOTORİN VE SUSAM YAĞI KARIŞIMLARININ DİZEL MOTORLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Şehmus ALTUN

Yüksek Lisans Tezi

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, 16.07.2004 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd.Doç. Dr. Cengiz ÖNER

Üye: Yrd. Doç. Dr. Halit Lütfü YÜCEL

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ESEN

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19.07.2004 tarih ve 30/4 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yönetimini üzerine alarak, çalışmanın başlangıcından sonuçlandırılmasına kadar her aşamada katkılarını, yakın desteğini ve büyük yardımlarını gördüğüm Sayın hocam Yrd.Doç. Dr. Cengiz ÖNER' e en içten saygılarımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim. Deneyler sırasında yardımlarını gördüğüm F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim dalı öğrencilerinden Sayın Hanbey HAZAR' a ve her aşamada yardımlarını esirgemeyen arkadaşım İlker SUGÖZÜ' ne, yine F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü atölyelerinde görevli teknisyen arkadaşlara teşekkür ederim. D.Ü. Batman Meslek Yüksek Okulu Otomotiv Programı Başkanı Sayın Öğr. Gör. Mehmet ÖZMEN hocama ilgi ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Katkılarından ve ilgilerinden dolayı sayın İhsan PLATİN hocama ve diğer emeği geçen herkese en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, lisans öğrenimim sırasında yakın ilgisi ile beni lisansüstü eğitime yönlendiren F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü öğretim üyesi Sayın hocam Doç. Dr. Yasin VAROL' a teşekkürü bir borç bilir, sevgilerimi ve saygılarımı sunarım.

Şehmus ALTUN

Haziran, 2004

Elazığ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	IV
TABLOLARIN LİSTESİ.....	V
SİMGELER.....	VI
KISALTMALAR	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Ülkemizdeki Ham Petrol ve Petrol Ürünleri Üretim ve Dış Alımı	2
1.2. Susam Bitkisinin Ülkemizdeki Üretim Potansiyeli	3
2. DİZEL YAKITLARI (MOTORİN)	4
2.1. Dizel Yakıtında Olması İstenilen Özellikler.....	4
2.1.1. Vuruntu Mukavemeti	4
2.1.2. Uygun Buharlaşma	5
2.1.3. Viskozite.....	5
2.1.4. Yakıt ve Yanma Ürünleri Korozif Özelliği	5
2.1.5. Yanma Artıkları Birikimi.....	6
2.1.6. Çinkoya Karşı Aktivitesi	6
2.1.7. Alevlenme Tehlikesi	6
2.1.8. Akma noktası	6
2.1.9. Isıl değeri (Yanma ısısı)	7
2.2. Dizel Yakıtlarının Sınıflandırılması	7
3. SUSAM YAĞININ KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	8
3.1. Kimyasal Özellikler	8
3.1.1.Susam Yağının Hava ile Yanması..	10
3.2. Fiziksel Özellikler	10
3.2.1. Kinematik Viskozite	10
3.2.2. Setan Sayısı	11
3.2.3. Yoğunluk	11
3.2.4. Isıl Değeri (Yanma Isısı)	11
3.2.5. Dumanlanma, Alevlenme ve Yanma Noktası.....	11

3.3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirme Yöntemleri.....	12
3.3.1. İnceltme.....	13
3.3.2. Mikroemülsiyon oluşturma	13
3.3.3. Proliz	13
3.3.4. Transesterifikasyon	13
4. DİZEL MOTORLARINDA YANMA	14
4.1. Yanma Olayının Safhaları	15
4.2. Dizel Motorlarda Kirletici Oluşumu	17
4.2.1. Karbonmonoksit (CO).....	17
4.2.2. Hidrokarbonlar (HC)	17
4.2.3. Azotoksitler (NO _x)	18
4.2.4. Kükürt.....	18
4.2.5. İs (Dumanlanma)	18
4.3. Emisyon Standartları	19
4.4. Egzoz Emisyonlarını Azaltıcı Çözümler	20
4.4.1. Karter Havalandırması	20
4.4.2. Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR)	20
4.4.3. HFK, Yanma Odası ve Püskürtme Sistemi	21
5. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	22
6. MATERYAL VE METOD.....	29
6.1. Materyal.....	29
6.1.1. Deney Motoru	29
6.1.2. Deneylerde Kullanılan Yakıtlar	29
6.1.2.1. Susam Yağı.....	30
6.1.2.2. Motorin	30
6.1.3. Deney Seti.....	30
6.1.3.1. Egzoz Gazı Ölçümü.....	31
6.1.3.2. Dinamometre.....	31
6.1.3.3. Sıcaklık Ölçümleri	32
6.2. Metot	32
6.2.1. Motor Momenti.....	33
6.2.2. Efektif Motor Gücü	33
6.2.3. Yakıt Tüketimi	33
6.2.4. Özgül Yakıt Tüketimi	34
6.2.5. Toplam Verim	34

7. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
7.1. Susam Yağının Yakıt Olarak Motor Performansına Etkileri	35
7.1.1. Motor Momenti	35
7.1.2. Güç	38
7.1.3. Yakıt Tüketimi	40
7.1.4. Özgül Yakıt Tüketimi	41
7.1.5. Toplam Verim	43
7.1.6. Egzoz Sıcaklığı	44
7.1.7. Yağ Sıcaklığı	45
7.2. Egzoz Emisyonları	46
7.2.1. Hava - Yakıt Oranı (AFR)	46
7.2.2. Azot oksit (NO_x)	48
7.2.3. Karbon monoksit (CO)	50
7.2.4. Karbondioksit (CO₂)	51
7.3. Motor Parçalarının Durumu	52
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 3.1. Trigliserid oluşumu	9
Şekil 3.2. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi	12
Şekil 4.1. Bir dizel motoruna ait basınç-krank açısı diyagramı	14
Şekil 6.1. Deney setinin görünüşü (fotoğrafik).....	31
Şekil 7.1. Motorin ve Susam yağı karışımlarından elde edilen motor moment değeri devir sayısı ile değişim eğrileri	37
Şekil 7.2. Motorin ve Susam yağı karışımlarından elde edilen güç değeri devir sayısı ile değişim eğrileri.	39
Şekil 7.3. Motorin ve Susam yağı karışımlarından elde edilen yakıt tüketimi değeri devir sayısı ile değişim eğrileri.	40
Şekil 7.4. Motorin ve Susam yağı karışımlarından elde edilen özgül yakıt tüketimi değeri devir sayısı ile değişim eğrileri.	42
Şekil 7.5. Motorin ve Susam yağı karışımlarından elde edilen toplam verim değeri devir sayısı ile değişim eğrileri.	43
Şekil 7.6. Motorin ve Susam yağı karışımlarından elde edilen egzoz sıcaklığı değeri devir sayısı ile değişim eğrileri.	44
Şekil 7.7. Motorin ve Susam yağı- motorin karışımlarından elde edilen yağ sıcaklığı değeri devir sayısı ile değişim eğrileri	45
Şekil 7.8. Motorin ve Susam yağı-motorin karışımlarının hava-yakıt oranlarının (AFR) değeri devir sayısı ile değişim eğrileri.	46
Şekil 7.9. Motorin ve Susam yağı karışımlarından elde edilen azot oksit (NO_x) değeri devir sayısı ile değişim eğrileri.	48
Şekil 7.10 Motorin ve Susam yağı karışımlarından elde edilen karbon monoksit (CO) değeri devir sayısı ile değişim eğrileri.	49
Şekil 7.11. Motorin ve Susam yağı-motorin karışımlarından elde edilen karbondioksit (CO_2) değeri devir sayısı ile değişim eğrileri.....	50

TABLoların LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 1.1. Ülkemizdeki Ham Petrol ve Petrol Ürünleri Üretim ve Dış Alımı Değerleri ...	2
Tablo 1.2. Susam Bitkisinin Ülkemizdeki Üretim Potansiyel.....	3
Tablo 2.1. DIN-51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler.....	4
Tablo 2.2. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler.....	7
Tablo 3.1. Susam yağındaki yağ asitlerinin yüzdeleri, karbon ve çift bağ sayıları.....	9
Tablo 3.2. Susam yağı ve Motorinin yakıt özellikleri	12
Tablo 4.1. Dizel araçlar için Avrupa Topluluğu emisyon standartları	19
Tablo 4.2. Egzoz ve karter havasındaki bileşenlerin seyir halindeki bir taşıttaki tipik değerleri.....	20
Tablo 6.1. Lombardini 6 LD 400 motorun teknik özellikleri.	29
Tablo 6.2. Deney yakıtlarının 10 ml' sine karşılık gelen ağırlıkları.....	33
Tablo 7.1. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen motor momenti değerleri.	36
Tablo 7.2. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen efektif motor gücü değerleri.....	38
Tablo 7.3. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen yakıt tüketimi değerleri.....	41
Tablo 7.4. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri. .	41
Tablo 7.5. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen toplam verim değerleri.....	42
Tablo 7.6. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen egzoz sıcaklığı değerleri.	43
Tablo 7.7. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen yağ sıcaklığı değerleri.....	45
Tablo 7.8. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen hava-yakıt oranı değerleri.....	46
Tablo 7.9. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen azot oksit değerleri.	47
Tablo 7.10. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen karbon monoksit değerleri.	49
Tablo 7.11. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen karbondioksit değerleri.	50

SİMGELER

AFR, Hava – yakıt oranı

B, Yakıt tüketimi (gr/h)

be, Özgül yakıt tüketimi (gr/kWh)

$^{\circ}\text{C}$, Santigrat derece (Sıcaklık)

CO, Karbon monoksit

CO₂, Karbondioksit

HC, Hidrokarbon

Hu, Alt ısı değeri (kJ/kg)

Ha, Hektar

Md, Motor moment (Nm)

NO_x, Azot oksit

n, Motorun devir sayısı (dak⁻¹),

Pe, Efektif motor gücü (kW)

Pme, ortalama efektif basınç (Pascal)

SO_x, Kükürt oksit

SS, Setan sayısı

η_T , Toplam verim

λ , Hava fazlalık katsayısı

C_{12.226}H_{23.29}S_{0.0575}, Motorinin kapalı formülü

C₅₆H_{101.5}O₆, Susam yağının kimyasal formülü

C₁₅H₃₁COOH, Palmitik asitin kimyasal formülü

C₁₇H₃₅COOH, Stearik asitin kimyasal formülü

C₁₇H₃₃COOH, Oleik asitin kimyasal formülü

C₁₇H₃₁COOH, Linoleik asitin kimyasal formülü

KISALTMALAR

SY, Susam yağı

M, Motorin

DI, Düz yanma odalı

IDI, Ön yanma odalı

EGR, Egzoz gazı resirkülasyonu

HFK, Hava fazlalık katsayısı

TG, Tutuşma gecikmesi

⁰KMA, Krank mili açısı

Ü.Ö.N., Üst ölü nokta

EEC, Avrupa ekonomik topluluğu

TÜPRAŞ, Türkiye Petrol Rafinerisi Anonim Şirketi

Bkz., Bakınız

Ark., Arkadaşları

F.Ü., Fırat Üniversitesi

D.Ü., Dicle Üniversitesi

T.E.F., Teknik Eğitim Fakültesi

D.İ.E., Devlet İstatistik Enstitüsü

G.A.P., Güneydoğu Anadolu Projesi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MOTORİN VE SUSAM YAĞI KARIŞIMLARININ DİZEL MOTORLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Şehmus ALTUN

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

2004, Sayfa : 69

Günümüzde yaygın olarak kullanılan petrol kökenli yakıt rezervlerinin büyük ölçüde tükenmiş olması alternatif yakıt arayışını önemli kılmaktadır. Ayrıca, petrol ürünlerinin yanması sonucu dışarı atılan egzoz emisyonlarının azaltılması ve hava kirliliği kontrolü ile ilgili geliştirilen standartlar nedeniyle de alternatif yakıtların geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar büyük bir hız kazanmıştır. Bu çalışmalar içerisinde; yenilenebilir olmaları, enerjilerinin dizel yakıtına yakın olması ve emisyon oranlarının nispeten düşük olması gibi özelliklerinden dolayı bitkisel yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanım olanakları araştırılmıştır.

Bu çalışmada, dizel motor yakıtına alternatif olarak susam yağı araştırılmıştır. Bu amaçla; motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50 ve % 75 oranlarındaki karışımları, Lombardini marka 6 LD 400 model tek silindirli, dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılarak, motor performansı, egzoz emisyonları ve motor elemanları üzerindeki etkileri motorin ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Araştırma sonuçları, susam yağı ve motorin karışımlarının deneylerde kullanılan oranları için motor yapısında değişiklik yapmadan yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : Dizel motor, Susam yağı, Motorin, Alternatif yakıtlar.

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

USABILITY OF MIXTURES OF MOTORINE AND SESAME OIL IN DIESEL ENGINE

Şehmus ALTUN

University of Firat
The Institute Of Natural Sciences
Engine Training Main Scientific Branch

2004, Page :69

That fuel reserves of petrol origin, which are commonly used today, have run out in great deal, renders looking for the alternative fuels essential. Moreover, that exhaust emissions which are discarded as a result of combustion of petrol products are to be lessened, and because of the standarts developed for the air pollution control, the efforts related with the improvement of alternative fuels have gained a great speed. Among these studings, as they are renewable, and their energies are close to diesel fuels, and their emission rates are relatively low, and because of such specifications, the opportunities of using the vegetable oil as fuel in diesel engines have been searched.

In this study, alternative to diesel engine fuel sesame oil has been searched. For this purpose, motorine and the mixture of sesame oil with motorine at the rates of % 25, % 50 and % 75 has been used as fuel in a direct injected diesel motor of four stroke and single cylinder which is Lombardini brand of 6 LD 400 model, and the effects on engine performance, exhaust emissions and engine elements have been examined in comparison with motorine. The result of the investigation; for the rates of motorine and sesame oil that are used in the experiments have shown that these mixtures can be used as fuel without making any changes in the structure of engine.

Keywords : Diesel engine , Sesame oil, Motorin, Alternative fuels.

1. GİRİŞ

Günlük hayatımızda çok önemli bir yere sahip olan içten yanmalı motorlarda petrol kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Yakıtın motor silindirleri içerisinde yakılması sonucu oluşan ısı enerjisi ile mekanik enerji elde edilir.

Günümüzde petrol rezervlerindeki azalma ve fiyatlardaki hızlı artışın bütün dünyada sebep olduğu enerji krizi; enerji kaynakları ve enerji tüketimi kavramlarını yeniden gündeme getirmiştir. Böylece her platformda “ucuz enerji” devrinin sona erdiğine işaret edilerek gelecekteki enerji temin yolları tartışılmaya başlanmıştır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan fosil yakıt (Petrol kökenli yakıtlar) rezervlerinin büyük ölçüde tükenmiş olması bu arayışta alternatif yakıtların payını önemli kılmaktadır. Enerji sahasındaki yeni arayışlar ekonomik ve teknolojik açıdan gelişme göstermektedir. Ekonomik olma yakıtın elde edilebilirliği ile alakalı olduğundan bu alanda yapılan bilimsel araştırmalar büyük ölçüde petrol kökenli olmayan yakıtların ekonomik olarak elde edilmesi ve yakıt kalitelerinin iyileştirilmesiyle ilgili teknolojik arayışları içermektedir [1]. Ayrıca, petrol ürünlerinin yanması sonucu dışarı atılan egzoz emisyonlarının azaltılması ve hava kirliliği kontrolü ile ilgili geliştirilen standartlar nedeniyle de son zamanlarda alternatif yakıtların geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar büyük bir hız kazanmıştır.

Bu arayışlar içerisinde alternatif yakıt olarak bitkisel yağların kullanılması ile ilgili çalışmalar yapılmakta ve bu yağların içten yanmalı motorlarda kullanım olanakları araştırılmaktadır. Bitkisel yağların kaynağını oluşturan bitkilerin yetismeleri yani yenilenebilir olmaları ve emisyon oranlarının (NO_x , CO, HC ve partikül kirleticilerin) nispeten düşük olması ve bitkisel yağların motorlarda minimum değişiklikler ile kullanılabilen yakıtlar olmaları bu alandaki çalışmaları özendirmiştir.

Bitkisel yağların dizel motor yakıtı olarak kullanımı eskilere dayanmaktadır. Dr. Rudolph Diesel, yerfıstığı yağını 1900’de yakıt olarak motorunda kullanmıştır [7]. Ancak petrol kökenli yakıtların uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunur olması, bitkisel yağlar ve alkol gibi yenilenebilir kaynaklı alternatif motor yakıtlarının petrol ürünlerine göre pahalı olmaları nedeniyle petrol ile rekabet edememiştir ve motorların petrol ürünleriyle çalışacak şekilde gelişmesini sağlamıştır. Günümüzde ise petrol rezervlerinin azalması ve bitkisel yağların yenilenebilir oluşu araştırmaların bitkisel yağlar üzerinde hız kazanmasına sebep olmuştur. Bu amaçla ülkemiz de dahil olmak üzere bir çok ülkede bitkisel yağların yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesine yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Araştırma sonuçları motorlarda yapılacak küçük değişiklikler ve bitkisel yağların yakıt kalitelerinde yapılacak bazı değişiklikler ile yakıt olarak kullanılabileceklerini göstermiştir.

Bu çalışmanın temel amacı; bir bitkisel yağ olan susam yağının mevcut bir dizel motorunda kullanılması halinde motor performansına, egzoz emisyon değerlerine ve motor elemanlarına etkisinin araştırılmasıdır. Çalışmada, susam yağı ve motorinin değişik oranlarındaki karışımlarının dizel motor yakıtı olarak kullanım olanakları deneysel olarak araştırılmış, motor performansı, egzoz emisyonları ve motor elemanları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

1.1. Ülkemizdeki Ham Petrol ve Petrol Ürünleri Üretim ve Dış Alımı

Ülkemizde üretilen, ithal edilen ve işlenen petrol miktarları ve petrol ürünlerinin üretim ve dış alım değerleri tablo 1.1’de verilmiştir. Yerli petrol miktarı ithal edilen petrol miktarından çok düşük olduğu tablo 1.1’de görülmektedir. 1999 yılından 2002 yılına gelindikçe yerli petrol üretimi düşmüş buna karşın ithal edilen petrol miktarı artmıştır. Bu tablo, petrolde nedenli dışa bağımlı olduğumuzu göstermektedir. Türkiye Petrol Rafinerisi Anonim Şirketi (TÜPRAS) verilerine göre ithal edilen petrolün ancak, 1999, 2000 ve 2001 yılları için ortalama olarak % 11,3’ü, 2002 yılında ise % 8,3’ü üretilmiştir.

Tablo1.1. Ülkemizdeki Ham Petrol ve Petrol Ürünleri Üretim ve Dış Alımı Değerleri [30].

	1999	2000	2001	2002
Ham Petrol Temini / İşlenen Ham Petrol				
İthal (1000Ton)	19.899 / 19.889	19.560 / 19.090	20.210 / 20.433	22.244 / 21.430
Yerli (1000Ton)	2.311 / 2.561	2.231 / 2.188	2.285 / 2.351	1.846 / 1.892
Petrol Ürünleri Üretim Miktarları (1000 Ton)				
Motorin	6.593,8	5.880,1	6.560,8	6.809,2
Kurşunsuz S. Benzin	656.0	722.5	1.252,0	2.219,3
S. Benzin	983.0	800.9	619.2	808.0
N. Benzin	1.156,2	768.3	649.4	214.7
LPG	659.8	596.0	622.8	653.9
Fuel Oil 6	4.130,6	4.302,1	4.825,6	4.543,5
Petrol Ürünleri Dış Alımı (1000 Ton)				
Motorin	137.2	1.053,9	446.6	26.3
Kurşunsuz Benzin	0.0	217.0	127.6	0.0
LPG	2.139,9	3.091,6	2.355,4	1.948,0
Fuel Oil (% 1.0)	0.0	28.6	0.0	0.0
Fuel Oil (% 3.5)	87.1	466.7	119.4	440.1

1.2. Susam Bitkisinin Ülkemizdeki Üretim Potansiyeli

Bitkisel yağlar ülkemizde yemeklik yağ olarak tüketildiğinden ekiliş alanları ve dolayısıyla üretimleri bu tüketimi karşılayacak düzeydedir. Motor yakıtı olarak kullanılmaları durumunda üretimin artırılacağı düşünülmektedir. Bunun yanında susam yağının elde edildiği susam bitkisi yetiştirilmesinin el emeğine dayalı olarak yürütülmesi ve verimin düşük olması ekiliş alanının sınırlı kalmasına ve yağ olarak değerlendirildiğinde üretim maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu da diğer bitkisel yağlarla rekabet edememesi sonucunu doğurur.

Helva ve tahin üretiminde kullanılan susamın anavatanı Hindistan'dır. Asya, Avrupa ve ülkemizde de yaygın olarak yetiştirilir ve ülkemiz için önemli bir yağ bitkisi olma özelliği taşır. Susam daneleri % 45-55 oranında yağ ve % 25 protein içerir. Gelişme süresinin kısa olması nedeniyle her türlü kültür bitkisiyle münavebeye girebilir. Su tüketimi fazla olmayan susam suyun yetersiz olduğu alanlarda tek bir tav suyu verilerek yetiştirilebilir. Buna karşılık iyi bir çapa bitkisi olup gelişme süresi boyunca 1-2 çapa yeterli olur. Ülkemizdeki susam bitkisinin üretim değerleri Tablo 1.2'de verilmiştir. Tabloya 1.2'ye göre; en fazla üretim 1985-1990 yılları arasında olmuş fakat 2000 yılına gelindikçe üretim miktarında düşmeler meydana gelmiştir. Üretimindeki bu düşmeler fiyatının artmasına neden olmuştur [31,32,33].

Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılabilir duruma gelmesiyle, üretimin artırılması olasıdır. Ayrıca; GAP projesi ile 1.7 milyon hektar alan sulanır hale gelecektir. GAP bölgesinde yetiştirilecek bitkiler içerisinde, yağ bitkileri yönünden de önemli bir potansiyele sahip olacaktır [6].

Tablo 1.2. Susam Bitkisinin Ülkemizdeki Üretim Potansiyeli [31].

	Alan Ekilen (Ha)	Üretim (Ton)	Verim (kg/ha)	Fiyat (TL/kg)	GSÜD (Milyon TL)
1980	45 000	26 000	578	83	2 158
1985	88 000	45 000	511	422	18 990
1990	85 000	39 000	459	3 659	142 701
1995	73 000	30 000	411	51 851	1 555 523
1996	74 000	30 000	405	102 445	3 073 360
1997	68 000	28 000	412	161 042	4 509 179
1998	69 000	34 000	493	265 766	9 036 049
1999	51 000	28 000	549	422 714	11 835 983
2000	50 900	23 800	468	640 145	15 235 450

2. DİZEL YAKITLARI (MOTORİN)

Karbon atomu sayısı 8 ila 16 arasında, sıvı HC bileşenlerini ihtiva eden ve az miktarda kükürt, azot, kül ve su ihtiva eden dizel yakıtı Türkiye’de mazot olarak isimlendirilmektedir [1].

Dizel yakıtı fraksiyon kulesinde yaklaşık 160 °C ’de başlayıp tamamı 391 °C ’de buharlaşan ve ham petrolden arındırılarak elde edilen bir akaryakıttır. Dizel yakıtının kapalı formülü; $C_{12.226}H_{23.29}S_{0.0575}$ ’dür. Bu formüle göre kütleli bileşimi; C=0.8538 kg , H=0.1355 kg , S=0.01071 kg’ dır [6].

DIN-51601’e göre dizel yakıtında olması istenilen özellikler tablo 2.1’de verilmiştir.

2.1. Dizel Yakıtında Olması İstenilen Özellikler

Tablo 2.1. DIN-51601’e göre dizel yakıtından istenen özellikler [1].

	Değerler	Deney Normu
Hacimsel su miktarı	%0.1	DIN 51777
15 °C’de özgül ağırlık	0,820-0,860 g/ml	DIN 51757
Kaynama olayı hacimsel olarak 360 °C’ye kadar en az	% 90	DIN 51752
20 °C’de Viskozite	1.8-10 mm ² /s	DIN 51550
Parlama noktası (Abel-Pensky’ye göre)	55 °C	DIN 51755
Filtrasyon (Hagemann ve Hammarich’e göre)	Yazın 0 °C Kışın -12 °C	DIN 51770
Kükürt’ün maksimum kütleli yüzdesi	% 1	DIN 51768
Konradson’a göre koklaşma artığının kütleli maksimum yüzdesi	% 0.1	DIN 51551
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı	4 mg	DIN 51779
Tutuşma kabiliyeti (en küçük setan sayısı olarak)	40 SS	DIN 51773
Kül miktarı, kütleli yüzde olarak maksimum	% 0.02	DIN 51575

2.1.1. Vuruntu Mukavemeti

Dizel motorlarında yakıt püskürtüldüğünde karışım benzin motorlarındaki kadar homojen olamamakta, tam buharlaşma için epey zaman geçmektedir. Bu zaman tutuşma gecikmesinden (TG) daha uzun olduğu müddetçe, yanma başladıktan sonra basınç yükselme

hızı benzin motorlarında son gaz bölgesindeki kadar yüksek olmaz ve yanma olayı normal seyrinde gelişir. Ancak TG buharlaşma süresine kıyasla eşit veya daha uzun olursa o zaman bütün karışım bir anda yanmaya hazır olacağından yanma hızı dolayısıyla basınç yükselme hızı çok yüksek olur. Buna dizel vuruntusu (diesel knock) denir. Bunun neticesi ani ve yüksek yük tatbik durumundaki gibi büyük gerilmeler ve şiddetli titreşimlerdir.

Dizel vuruntusunda, vuruntu temayülüne esas alınacak bağımsız değişken tutuşma gecikmesidir. Dolayısıyla tutuşma gecikmesini olumlu veya olumsuz yönde etkileyen bütün faktörler dizel vuruntusunda da etkili demektir.

Bu açıklamalardan anlaşılacağı gibi dizel motorunda hava içine püskürtülen yakıtın tutuşma gecikmesi küçük olmalıdır. Aksi takdirde tutuşma gecikmesi süresince yanma odasına püskürtme sonucu biriken yakıt tutuşunca darbe etkisi şiddetli olur. Yakıtın bu olaya karşı mukavemeti büyük ölçüde setan sayısının (SS) büyüklüğü ile alakalıdır. ancak $SS > 70$ olan yakıtların is teşekkülü arttığından ve ısı değerleri düşük olduğundan maksimum SS sınırı 70 olarak seçilmektedir [1]. Setan kendi kendine tutuşma özelliği çok iyi olan ve bundan dolayı dizelerde tercih edilen bir yakıttır. Buna göre dizel motorlarda kullanılacak yakıtların setan sayıları yüksek olmalıdır.

2.1.2. Uygun Buharlaşma

İlk hareket için düşük sıcaklıkta buharlaşabilen yakıtlar iyidir. Ancak buharlaşma özelliği arttıkça kendi kendine tutuşma özelliği kötüleşir, is teşekkülü ihtimali artar. Bu nedenle ikisi arasında uygun bir değer sağlayan bileşenler ihtiva eden dizel yakıtı seçilir [1].

2.1.3. Viskozite

Çok düşük olması pompa yönünden, çok yüksek olması depodan pompalama ve enjektörden püskürtmede problem çıkarır. Yakıtın viskozitesi, yakıt bir enjektörden veya dar bir kanaldan hava içine püskürtüldüğünde oluşacak yakıt demetini çok etkiler. Viskozite büyüdükçe yakıtın zerrelere ayrılması azalır, dolayısıyla iri yakıt zerreciklerinin nüfuz derinliği fazlalaşır. Küçük viskoziteli yakıtlar ise yakıt pompasında kaçaklara yol açmaktadır [1].

2.1.4. Yakıt ve Yanma Ürünleri Korozyon Özelliği

Dizel yakıtlarında kükürt muhtevası hem korozyon hem de partikül teşekkülü bakımından son derece mahsurludur. Su, tuzlu su ve tortular da yakıt içerisinde istenmeyen bileşenlerdir. Tuzlu su da korozyona sebep olabilmektedir [1].

2.1.5. Yanma Artıkları Birikimi

Dizel yakıtları büyük miktarlarda artık bırakacak madde içeriyorlarsa, eksik yanma sırasında karbon ve kül birikintileri meydana gelecektir. Bu birikintiler, pistonlar, subap yuvaları, supaplar ve portlarda karbon yığılmalarına neden olup, ayrıca yağlama yağı ile birleşerek motor için zararlı yapışkan maddeleri oluştururlar. Yapışkan maddeler segmanlarla kanalları arasına girerek oralarda katılaşma eğilimi gösterir ve segmanların yuvalarında tutmalarına neden olurlar. Bu artıklar ayrıca, supap yuvalarında birikerek supapların kapanmasına engel olan sert katmanlar oluştururlar [4].

Susam yağının motorine göre fazla karbon ihtiva etmesi yakıt olma özelliğini olumsuz etkilemektedir. Literatürde bitkisel yağların dizel motorlarındaki en önemli olumsuz etkisinin piston, segmanlar, supaplar, silindir kapağı, supap kılavuzları ve enjektör memesi gibi elemanlarda karbon birikintilerine neden oldukları belirtilmektedir.

2.1.6. Çinkoya Karşı Aktivitesi

Dizel yakıtları çinko veya çinko ihtiva eden çelik depolarda saklanırken çinko ile birleşerek korozif bazı bileşenler hasil ederler. Yakıtın bu aktivitesinin azlığı istenir [1].

2.1.7. Alevlenme Tehlikesi

Bilhassa hafif dizel yakıtları kapalı hacimlerde deniz seviyesi sıcaklık ve basınçlarında daha kolay tutuşma özelliğine sahiptirler. Dolayısıyla sıvı yakıt tanklarının üstünde patlayıcı bir atmosfer oluştururlar [1].

2.1.8. Akma noktası

Yakıtların bir boruda akabildiği en düşük sıcaklık derecesine akma noktası denir. Dizel motor yakıtlarının büyük bir bölümünde akma noktası 0 °C'nin altındadır ve dizel yakıtları için maksimum akma noktası -18 °C'dir. Akma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Yüksek akma noktası, yakıtın ısıtılması istisna edilirse, ilk hareket zorluklarına neden olmaktadır.

Motorların akma noktası dolaylarındaki sıcaklıklarda çalıştırılmaları sırasında yakıt filtreleri tıkanır. Akma noktası sıcaklığı, motor çalışmasını garantiye almak üzere ortam sıcaklığının 5-10 °C daha altında olmalıdır [3;5].

2.1.9. Isıl değeri (Yanma ısısı)

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütesine bölünmesiyle elde edilen değere ısı değeri denir [1]. Dizel yakıtında bu değer 42-45 MJ/kg arasındadır.

2.2. Dizel Yakıtlarının Sınıflandırılması

No.1-D: Petrolün damıtılmasında elde edilir. Yüksek uçuculukta bir damıtma ürünü olup, devir sayısı yüksek ve süper yüksek (1200 rpm ve daha yüksek) dizel motorlarında kullanılan uçucu-damıtık bir yakıt yağıdır. Bu yakıt “motorin” adı verilir.

No.2-D: Damıtık ve kraking ürünlerini ihtiva eden, No.1-D’ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır. Orta uçuculukta olan 2-D ve 1-D yakıtı ile bunların harmanları motorin olarak isimlendirilir. Yakıtının teknik ismi “ Diesel Oil ”dir.

No.3-D: Alçak uçuculukta bir damıtma ürünü olup orta devirli (400-1000 rpm) dizel motorlarında kullanılır.

No.4-D: Damıtma ve kraking ürünlerinden ve bazı artıklardan oluşan düşük veya orta hız motorların yakıtıdır. Alçak devirli ($n \leq 500$ rpm) makinelerde kullanılan ve oldukça kalın olan bu yakıtlara “Marine Diesel Oil” ismi verilir [1,4].

Tablo 2.2. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler [1].

Özellik	1-D	2-D	4-D
Setan Sayısı (minumum)	40	40	40
Parlama Noktası (°F)	100	125	130
Viskozite Saybolt (S), 100 °F’da	30-34	33-45	45-125
% Kül, Kütleselel	0.01	0.02	0.10
% Kükürt, Kütleselel	0.50	1.0	2.0

3. SUSAM YAĞININ KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

3.1. Kimyasal Özellikler

Bitkisel yağlar, yağ asitlerinin (R-COOH), üç değerli bir alkol olan gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Gliserin molekülündeki üç alkol grubunun yağ asitleri ile esterleşmesi durumunda ise trigliserid elde edilir. Trigliseridler normal yağların %95'ini oluştururlar [6].

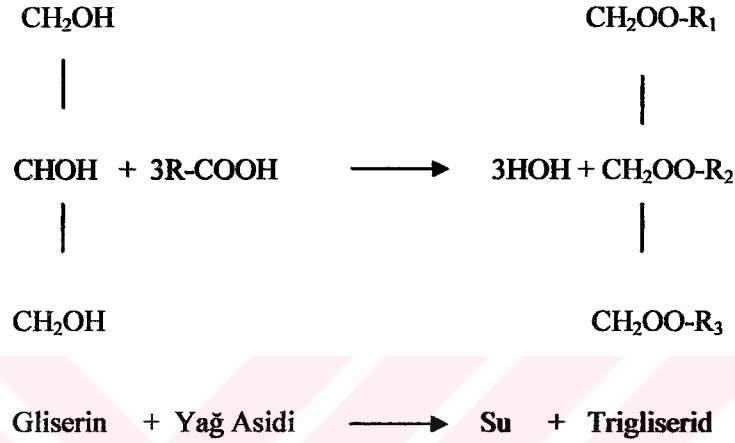
Gliserinin üç karbon atomunun da aynı yağ asidi ile esterleşmesine basit trigliserid, farklı yağ asitleri ile esterleşmesine ise karışık trigliserid adı verilir. Trigliserid deki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı bitkisel yağın özelliklerini oluşturur. Yağ asitleri, içerdikleri karbon atomu sayısına bağlı olarak uzunluğu farklı zincirler oluşturur [6]. Tablo 3.1'de susam yağının oluşturan yağ asitleri ve oranları görülmektedir. Susam yağının oluşturan yağ asitlerinden biri 16, diğer üçü 18 karbon atomuna sahiptir.

Yağ asitleri doymuş ve doymamış olarak iki gruba ayrılmaktadır. Doymamış yağlar gerek bitkilerde ve gerekse hayvanlarda aynı temel yapıya sahiptir. Yağ asidi adı verilen organik kimyasal birimlerin yağ içindeki sayıları ve dizilişleri arasında farklar vardır. Bu farklar, yağların birbirinden farklı özellikler göstermesine yol açar. Karbon, hidrojen ve oksijenin birbirine bağlı bir yapı oluşturarak meydana getirdiği yağ asitlerinde karbon önemli bir yer tutar. Karbon sayısı ve karbonlar arasındaki bağların çift veya tek oluşu "doymuş" veya "doymamış" adı verilen yağ türlerini meydana getirir. Eğer yağ doymamışlığın yüksek bir derecesine sahip ise motorun içinde hızlı bir şekilde polimerize olur. Doymamışlık miktarı hidrojen atomlarının yerleşmemiş olmasına bağlıdır. Bütün hidrojen atomları yerleşmiş ise yani her karbon atomu zinciri iki hidrojen atomunu tutmuş ise bu oluşum doymuş bir yağ asididir. Karbon atomlarının arasındaki çift bağ sayısı ne kadar fazla ise yağ asidi o kadar doymamış yani sıvı haldedir. Karbona hidrojen eklenmesi ile bu bağlar bire indirilirse o zaman doymuş yani katı yağ elde edilir. Doymamışlık miktarı yükselirken erime noktası düşer [12].

Tablo 3.1'e göre susam yağında; 16 karbonlu palmitik ile 18 karbonlu stearik, oleik ve linoleik asitleri vardır. Bunlardan palmitik ve stearik asidin çift bağ sayısı olmayıp doymuştur. Oleik yağ asidi bir çift bağa, linoleik asit iki çift bağa sahiptir. Susam ve susam yağı ile ilgili daha geniş bilgi bölüm 1.2 ve 6.1.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Susam yağındaki yağ asitlerinin yüzdeleri, karbon ve çift bağ sayıları [7].

Asit Adı	Kütleli (%)	Karbon / çift bağ Sayısı
Palmitik Asit (C ₁₅ H ₃₁ COOH)	13.10	16 / 0
Stearik Asit (C ₁₇ H ₃₅ COOH)	3.92	18 / 0
Oleik Asit (C ₁₇ H ₃₃ COOH)	52.84	18 / 1
Linoleik Asit (C ₁₇ H ₃₁ COOH)	30.14	18 / 2



Şekil 3.1. Trigliserid oluşumu [6].

Şekil 3.1'e göre üç mol yağ asidi ve bir mol gliserin birleşerek, üç mol su ve bir mol trigliserid meydana gelmektedir. Buna göre susam yağındaki yağ asitlerinin mol oranlarını bulup gliserin ile reaksiyona sokarsak;

Yağ asitlerinin mol sayıları (kütle / molekül ağırlığı)

Palmitik Asit	13.10	/	256	=	0.0511
Stearik Asit	3.92	/	284	=	0.0138
Oleik Asit	52.84	/	282	=	0.1873
Linoleik Asit	30.14	/	280	=	0.1076
Toplam					0,3598

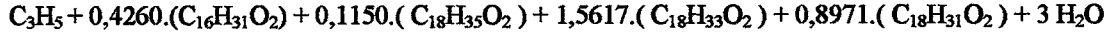
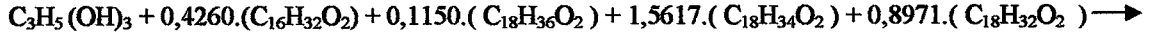
0,3598 3 mol olursa,

0,0511 palmitik X mol olur

X = 0,4260 mol palmitik asit olur. Diğer yağ asitleri içinde uyguladığımızda;

0,4260 mol	Palmitik Asit
0,1150 mol	Stearik Asit
1,5617 mol	Oleik Asit
0,8971 mol	Linoleik Asit
1 mol gliserin	+

kimyasal reaksiyon;



Bu reaksiyona göre yakıt molekülünü oluşturan bileşenlerdeki toplam karbon, hidrojen ve oksijen sayıları;

$$\text{Karbon sayısı (C)} \quad 3 + 6,816 + 2,07 + 28,1106 + 16,1478 = 56,144$$

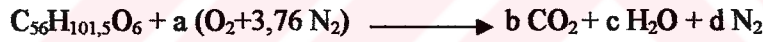
$$\text{Hidrojen (H)} \quad 5 + 13,206 + 4,025 + 51,5361 + 27,8101 = 101,5772$$

$$\text{Oksijen (O)} \quad 0,852 + 0,23 + 3,1234 + 1,7942 = 5,9996 \text{ olarak bulunur. (Bu yöntem için kaynak [5]'ten yararlanılmıştır)}$$

Bu değerlere göre susam yağının kimyasal formülü; $C_{56,144}H_{101,5772}O_{5,9996}$ olur. Bu formül yaklaşık olarak, $C_{56}H_{101,5}O_6$ olarak yazılabilir.

Literatürde [5, 11], ham soya yağının yaklaşık kimyasal formülü $C_{56}H_{102}O_6$, ham pamuk yağının $C_{55}H_{102}O_6$, ham mısır yağının $C_{56}H_{103}O_6$, soya metil esterinin $C_{53}H_{101}O_6$ ve ayçiçek metil esterinin $C_{54}H_{101}O_6$ olarak verilmiştir. Bitkisel yağların kimyasal formülleri hemen hemen birbirlerinin aynı çıkmakla beraber bitkisel yağ metil esterlerinde karbon miktarının düştüğü görülmektedir.

3.1.1.Susam Yağının Hava ile Yanması



$6+2a = 2b+c$ ve $2d=7,52a$, $b= 56$, $c=50,75$ olarak bulunur. Buna göre; $a= 78,275$ ve $d=294,22$ olur. Bu değerlere göre;

$C_{56}H_{101,5}O_6 + 78,375 (O_2 + 3,76 N_2) \longrightarrow 56 CO_2 + 50,75 H_2O + 294,22 N_2$ olarak denkleştirilir.

$$\frac{A}{F} = \frac{78,375(2 \cdot 32 + 7,52 \cdot 14)}{(56 \cdot 12) + (101,5 \cdot 1) + (6 \cdot 32)} = 13,741 \quad \frac{A}{F} = 13,7 \text{ kg hava / kg yakıt olarak bulunur.}$$

3.2. Fiziksel Özellikler

3.2.1. Kinematik Viskozite

Genellikle yağların viskoziteleri doymamışlık arttıkça azalmaktadır. Bitkisel yağların zincir uzunluklarının artışı ile viskozitenin arttığı, buna karşın çift bağ sayısının artışı ile viskozitenin düştüğü belirlenmiştir. Düşük moleküllü yağ asidi içeren yağlar, aynı derecede doymamış, ancak yüksek moleküllü yağ asidi içeren yağlara göre daha viskozdur [5;26].

Düşük viskozite pompa kaçaklarına, yüksek viskozite ise sistemde yüksek basınç artışlarına ve dolayısıyla enjeksiyon süresine ve yakıtın atomize bir şekilde dağılmasında aksaklıklara neden olmaktadır [3;5;27]. Susam yağında diğer bitkisel yağlar gibi motorine göre çok yüksek olan viskozitesi nedeniyle dizel motor yakıtı olarak olumsuz bir özellik arz etmektedir.

3.2.2. Setan Sayısı

Setan kendi kendine tutuşma özelliği çok iyi olan bir yakıttır ve dizel yakıtındaki setan sayısının artışıyla dizel motorlarda tutuşma gecikmesi periyodunun kısalması nedeniyle dizel motorlarda yüksek setan sayılı yakıtlar tercih edilmektedir. Susam yağının setan sayısı 40.2'dir. Susam yağı bu değeriyle dizel yakıtı olma yönünden olumlu bir özellik göstermektedir.

3.2.3. Yoğunluk

Bitkisel yağların bileşimini oluşturan yağ asitleri ve gliserin yoğunluğu, artan molekül ağırlığı ve artan doymamışlık ile artmaktadır [5;26]. Susam yağının yoğunluğu 0,913 gr/ml' dir.

3.2.4. Isıl Değeri (Yanma Isısı)

Yakıtların en önemli özelliklerinden birisi de ısı değerleridir. Bitkisel yağların ısı değerleri yaklaşık olarak birbirine yakındır. Susam yağında bu değer 39349 kJ/kg' dır.

Doymuş yağ asitlerinin yanma ısılarının zincir uzunluğu arttıkça arttığı, çift bağ sayısı arttıkça azaldığını belirtmişlerdir [5;29]. Isı içeriklerinden artışın, karbon ve hidrojen sayılarının oksijen sayılarına oranının bir sonucu olduğu görülür. Yağ asitlerinin doymamışlığı, artışın oksitlenme süresinin azalması ile açıklanabilmektedir [5].

3.2.5. Dumanlanma, Alevlenme ve Yanma Noktası

Bitkisel yağların dumanlanma noktası (cloud point), yanma maddesinin hava ile temas edip ısındıktan sonra termal stabilitelerinin bir ölçütüdür. Dumanlanma noktası, materyalin ısındıktan sonra ortaya çıkan dumanın ilk görüldüğü sıcaklıktır [5;7]. Bu değer No.2-D dizel yakıtında -15, susam yağında -3,9 °C'dir. Alevlenme noktası sıcaklığı (flash point); yanabilir uçucu bileşiklerin oluşturduğu ancak bu bileşiklerin yanmayı gerçekleştirmediği sıcaklık derecesidir. Dizel yakıtlarında parlama noktası 50-105 °C civarındadır [5;27]. Bu değer susam yağında 260 °C'dir. Tablo 3.2'de susam yağının parlama noktasının motorininkine göre çok yüksek olduğu görülmektedir.

Yanma sıcaklığı: Alev çekildiği halde yanmanın devam ettiği bu sıcaklığa yanma noktası denir. Yanma sıcaklığı genellikle alevlenme noktasından 10-20 °C daha yüksektir [5;3].

Tablo 3.2. Susam yağı ve Motorinin yakıt özellikleri [7].

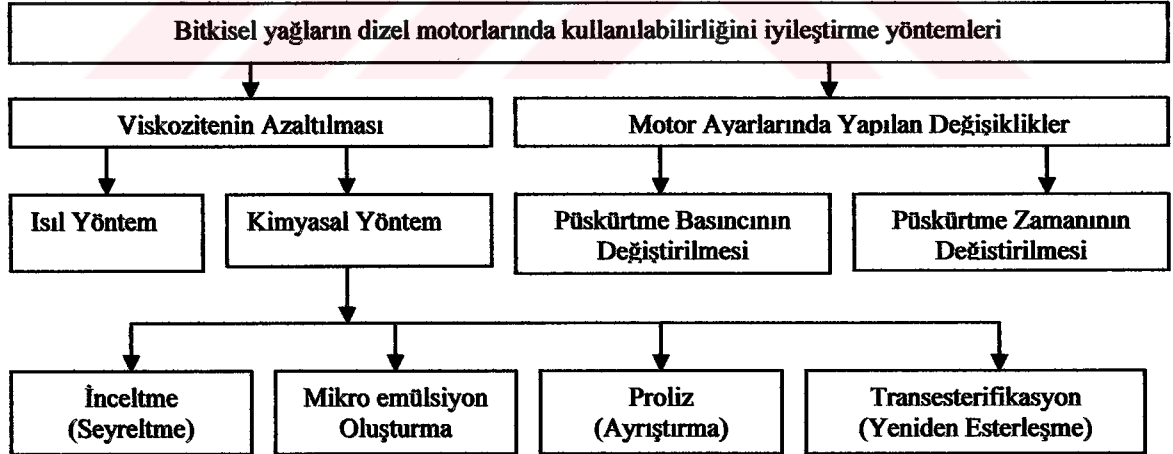
ÖZELLİK / YAKIT	SUSAM YAĞI	MOTORİN
Kinematik Viskozite (mm ² /sn)	35.5 (38 °C)	4.3* (27 °C)
Setan Sayısı (SS)	40.2	47*
Isıl Değeri (kJ/kg)	39349	42900
Yoğunluk (kg/lt)	0,913	0,815*
Parlama Noktası (°C)	260	58*
Donma Noktası (°C)	-3.9	-12
Akma Noktası (°C)	-9.4	-33
Karbon Kalıntısı (% Ağırlık)	0.25	<0.035
Sülfür (% Ağırlık)	0.01	<0.01

[11].

3.3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirme Yöntemleri

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilirmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bu çalışmalar aşağıdaki şekil 3.2.'de verilmiştir.

Bu iki çalışmadan biri bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi diğeri motor konstrüksiyonunun değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır [6].



Şekil 3.2. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi [6].

Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel yağların ön ısıtma ile sıcaklıklarının yükseltilmesi ve dolayısıyla viskozitelerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak bu yöntemin, özellikle hareketli bir araç motorunda uygulama zorluğu vardır. Kimyasal yöntem

ise dört alt gruba ayrılmaktadır. Bunlar; inceltme, mikroemülsiyon oluşturma, proliz ve transesterifikasyon'dur [6].

3.3.1. İnceltme

Bitkisel yağların uygun bir seyrelticiyle viskozitelerini düşürme yöntemidir. Bu çalışmada da susam yağı belirli oranda motorin ile karıştırılarak inceltilmesi sağlanmış ve karışım olarak kullanılmıştır.

3.3.2. Mikroemülsiyon oluşturma

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkoller ile mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Mikroemülsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilinin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir.

3.3.3. Proliz

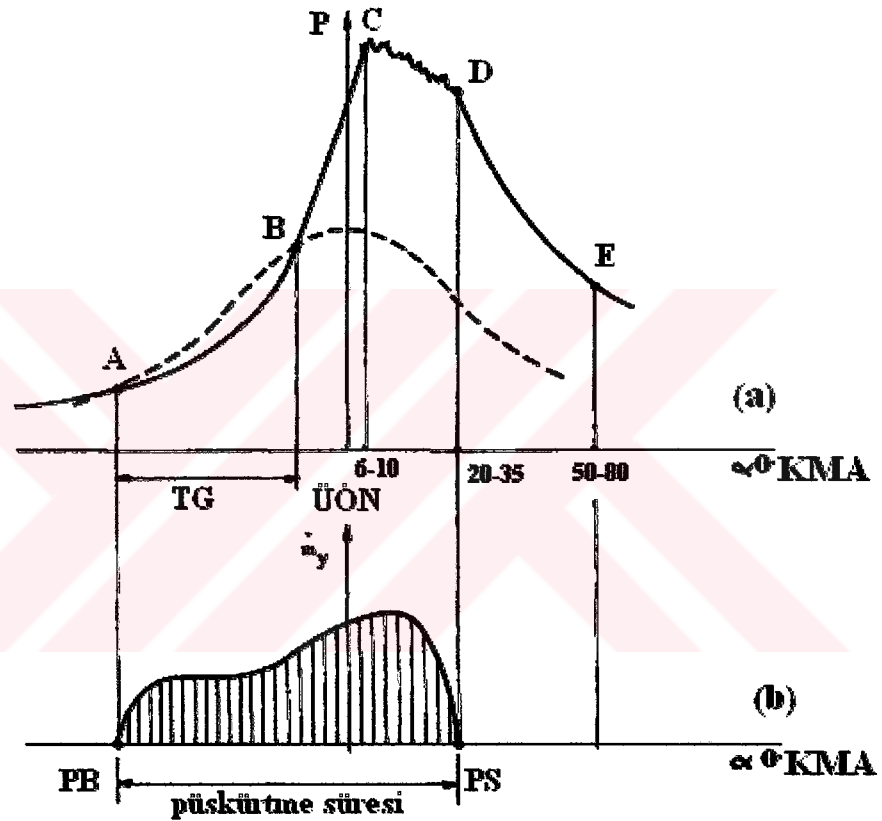
Proliz veya kraking, kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların proliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kaptan parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır.

3.3.4. Transesterifikasyon

Bitkisel yağların dizel yakıtı alternatifi 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.

4. DİZEL MOTORLARINDA YANMA

Dizel motorlarında hava, emme stroku sırasında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmaksızın silindire tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı 12/20 arasında olduğundan sıkıştırma strokunun sonuna doğru silindirde gaz sıcaklığı oldukça yüksektir. Ü.Ö.N' dan hemen önce yakıt püskürtülmeye başlanır ve sıkıştırma sonu gaz sıcaklığı yüksek olduğundan hemen hemen püskürtüldüğü gibi tutuşur ve yanar [1].



Şekil 4.1. Bir dizel motoruna ait basınç-krank açısı diyagramı [1].

a-) Püskürtme seyri

b-) A-B arası Tutuşma gecikmesi; yakıtın % 5-15 yanar.

B-C arası Hızlı yanma safhası; alev yayılır, biriken ve gelen yakıt beraber yanar ve maksimum basınca ulaşılır.

C-D arası Kumandalı yanma; yakıt püskürtme ve faydalı yanma süreci sona erer.

D-E arası Art yanma; kısa sürmesi istenir.

4.1. Yanma Olayının Safhaları

Ricardo yanma olayının üç ayrı safha halinde incelenebileceğini ileri sürmüştür. Bunlar tutuşma gecikmesi, ani yanma ve kumandalı (kontrollü) yanma safhalarıdır. Bu safhalar aşağıda izah edilmiştir [1].

Tutuşma Gecikmesi Safhası

Tutuşma gecikmesi süresi yakıtın buharlaşması (fiziksel tutuşma gecikmesi) ve bunu takiben tutuşma anına kadar olan ön reaksiyonların oluştuğu (kimyasal tutuşma gecikmesi) safhalarından ibarettir.

Yakıt damlacıklarının buharlaşmasının belli bir süre aldığı kabul edilmektedir. Ancak damlacıkların etrafında püskürtmenin hemen ardında bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasında başlamaktadır. Ondan sonraki buharlaşma ise TG 'ni zaten etkilemez. Dolayısıyla buharlaşma olayının TG 'ne katkısı çok fazla olmaz. Bununla birlikte tutuşma sonrası reaksiyon hızı buharlaşma hızı ile doğru orantılıdır. Keza buhar fazındaki yakıtın yanma hızı da buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Bu gözlemler dizel motorlarında yanmanın, buharlaşma tamamlanmadan önce başladığını gösterir.

Tutuşma gecikmesi süresi uzun ise yakıt ile havanın karışması için daha çok zaman vardır demektir. Tutuşma gecikmesi süresince krank dönme açısına gecikme açısı denir. Bu açı krank açısal hızı ile tutuşma gecikmesi süresinin çarpımına eşittir. Yakıt pompası krank miline bağlı olduğundan tutuşmadan önce püskürtülen yakıt miktarı gecikme açısı ile orantılıdır.

Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli faktörler yakıt kalitesi, basınç ve özellikle sıcaklıktır. Yüksek sıcaklık ve basınç TG süresini kısaltır. Yakıt jetinin duvarlara kadar ulaşması durumunda, eğer duvarlar çok sıcak ise TG süresi önemli ölçüde kısalır. TG süresince püskürtülen yakıt miktarının değişmesi ise tutuşma gecikmesini etkilemez.

Tutuşma gecikmesi safhası üç esas özellik arz eder .

- Reaksiyon hızları kısmen küçüktür ve reaksiyon ürünleri ara ürünlerdir (soğuk alev olayı gibi).
- Yakıt TG süresince silindire girer ve tutuşma başlayınca kadar birikir.
- Fiziksel ve kimyasal hadiseler sonucu oluşan pratik basınç ve sıcaklık değişimleri ihmal edilecek derecelerde. Gerek basınç ve gerekse sıcaklık sıkıştırma sonunda hesap edildiği gibidir.

Ani Yanma Safhası

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindire girmekte ve buharlaşmaktadır. Gene bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçalara bölünüp hava ile daha mükemmel karışmaktadırlar. Yanma başladığı zaman ise oksijen ile temas etmekte olan yakıt büyük bir

hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içerisindeki dp/dt basınç yükselme hızını da tayin eder. Yüksek bir basınç yükselme hızı hareketli motor parçalarına ani bir yük uygulanması demek olduğundan bu parçalardan sık sık yorulmadan mütevellit tahribat görülür. Ani basınç yükselmesinin bir başka istenmeyen sonucu ise şiddetli bir sestir ve dizel vuruntusu olarak bilinir.

Ani yanma safhasındaki basınç artışı şu faktörlerden etkilenir.

- a-) Yakıtın atomizasyon derecesi; bu, vasıtanın enjeksiyon sisteminin dizaynına bağlıdır.
- b-) Gecikme süresince püskürtülen yakıt miktarı; bu da, TG süresinin uzunluğuna bağlıdır.
- c-) Tutuşma gecikmesi süresince yakıtın hava ile karışımının ne derece iyi olduğu, karışım için kullanılan zaman, püskürtme karakteristiği ve bir dereceye kadar da silindir içerisindeki hava hareketleri bu faktör üzerinde etkilidir. Uzun süren TG ve yüksek hız halinde karışım daha mükemmel olur.
- d-) Tutuşma gecikmesi süresince silindire püskürtülen yakıtın miktarı. Bu süre zarfında fazla yakıt püskürtülürse bunun bir kısmı oksijenle birleşerek basınç yükselme hızının daha da artmasına sebep olur.

Yukarıdaki açıklamalardan basınç yükselme hızı ve süresinin tutuşma gecikmesi süresi ile mutlak ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Tutuşma öncesi yakıt ile hava karışımına daha az imkan vermek için TG süresi kısa, motor devri de hava hareketini azaltacak şekilde düşük tutulmalıdır.

Kumandalı Yanma Safhası

Bu safha maksimum basınçla yanmanın büyük ölçüde tamamlandığı an arasındaki süreyi kapsar. Ani yanma süresi sonunda sıcaklık ve basınç çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Kumandalı yanma safhasında basınç eğrisinin seyri aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- a-) Yakıt püskürtme hızına; özellikle silindirde hala yeterli miktarda oksijen varsa bu faktör çok etkilidir.
- b-) Yakıt ile hava temasını iyileştirecek şekilde ve şiddette hava hareketi olmasına. Bu motor hızına ve yanma odası şekline bağlıdır.
- c-) Pistonun konumuna. Eğer üçüncü safhanın başlangıcı pistonun ÜÖN' dan epey uzaklaştığı bir piston konumunda oluyorsa o zaman hacim değişiminin basınç üzerindeki etkisi belirgindir.

Yakıt püskürtme tutuşmadan önce tamamlanmışsa o zaman üçüncü safhada basınç eğrisinin seyrini ani yanma safhasında gerekli oksijeni bulamamış yakıt damlacıkları tayin eder.

Verimin yüksek olabilmesi için yanmanın ÜÖN' ya mümkün mertebe yakın tamamlanması gerekir. Bu bakımdan üçüncü safhada oksijen/yanmamış yakıt oranının yüksek,

karışımın çabuk ve mükemmel olması istenir. Yakıt püskürtme tutuşmadan önce tamamlanmış bile olsa kötü bir püskürtme karakteristiği üçüncü safhadan yanmanın uzun sürmesine sebep olabilir.

4.2. Dizel Motorlarda Kirletici Oluşumu

Teorik olarak yanma için $HFK=1$ yani, 1 kg yakıtı takriben 15 kg hava gerekmektedir. Dizel motorunda iyi bir yanma için en azından 1.5 ila 2 katı kadar hava ile yanmayı gerçekleştirmek gereklidir. Kirletici bileşenin oluşumu yanma olayına bağlıdır. Burada gerçek hava / yakıt oranı (A/F) teorik yanma değerinden büyük olmasına rağmen silindir içerisindeki yakıt damlacıkları çevresinde yeteri kadar hava bulunmamaktadır. Bu da eksik yanma ürünü olan is'in (karbon parçacıklarının) oluşmasına yol açmaktadır.

Dizel motorlarında işletme şartları sık sık değişmekte ve bazı hallerde hava – yakıt oranı istenen oranların dışına çıkmaktadır. Diğer bir ifadeyle dizel motorunun HC, NO_x , R.CHO ve is gibi kirletici bileşenleri artmaktadır. Motorun içerisindeki kükürt miktarı dizel egzozundan çıkan SO_x miktarını belirlemektedir. Çünkü kükürt bileşenleri yanma sırasında O_2 ile hemen reaksiyona girmektedir. Geri kalan O_2 diğer bileşenleri oksitleyebilmektedir [5;24].

4.2.1. Karbonmonoksit (CO)

Yanma esnasında lokal olarak çok zengin karışım bölgeleri vardır. Ortalama HFK (λ) daima birden (1) büyük olduğu için CO 'in oksidasyonu mümkündür. Genişleme strokunda CO' nun teşekkül zamanı ve bunun oksidasyonunun gerçekleşebilmesi HFK'nın büyüklüğüne bağlıdır. İş sınırına çok yaklaşılacak tam yük hallerde 1000-7000 ppm düzeyinde olan CO emisyonu HFK=2'den sonra 100-200 ppm düzeyine düşmektedir [2].

4.2.2. Hidrokarbonlar (HC)

Motorlardaki HC emisyonu daha fazla tam yanma olmayan bölgelerden gelmektedir. Dizel motorlarda HC emisyonu 10-600 ppm düzeyindedir. Yakıt damlacığı-hava ikilisinin çok zengin veya çok fakir kısımlarının ve bilhassa damlacıkların cidarlarda soğumaları HC emisyonlarını artırmaktadır. HC emisyonları motor yüküne ve hızına bağlı değildir, daha çok enjeksiyon sistemine ve yanma odası geometrisine bağlıdır.

Benzin ve dizel motorlarının egzoz borularındaki sıcaklık ve oksijen konsantrasyonunun yeterli olduğu hallerde HC' lar oksidasyonlarını devam ettirmektedirler [2].

4.2.3. Azotoksitler (NO_x)

NO_x terimi, NO ve NO_2 'nin atmosferdeki toplam konsantrasyonunu gösterir. Deneysel çalışmalara göre NO_x teşekkülünü kontrol eden faktörler şunlardır; Hava – Yakıt oranı veya hava fazlalık katsayısı (HFK), yanma sıcaklığı (giriş hava sıcaklığı, O_2 konsantrasyonu, vs.), yanma odası ve yakıcı tipi'dir. Yanma olayını kontrol ederek NO_x emisyonu azaltılabilir. Ekseri yanma olaylarında fazla hava kullanılır. Bundan kastedilen tam yanma için gerekli olandan fazla havanın kullanılmasıdır. Bu fazla havanın oksijeni yakıttan sonra aşırı sıcak ortamda azot ile reaksiyona girer. Bu bakımdan azot oksit emisyonlarını azaltmak için yanma olaylarında fazla havanın azaltılması gerekir fakat bu da karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonlarını artırmaktadır [2].

NO , azotun atmosferde yanması sonucu oluşan ilk halidir. Daha sonra NO_2 'ye dönüşür. İçten yanmalı motorlarda NO_x kirleticileri, ortalama hızın artışı ile fazlalaşır. NO_x normal havada oldukça azdır ve canlılar için zehirlidir [5].

İçten yanmalı motorlarda yanma odasındaki sıcaklık 1800 K 'nin üzerine çıktığında, havanın içerisindeki azot ve oksijen kimyasal olarak birleşerek, insan sağlığına ve çevreye zararlı azot oksitlere dönüşür. Azot oksitler akciğerde, nemle birleşip nitrik asit oluşturarak solunum yolu hastalıklarına yol açmaktadırlar. Dizel motorlarının hava fazlalığı ile çalışması, azot oksit oluşturma potansiyellerini artırmaktadır [23].

4.2.4. Kükürt

Dizel yakıtlarında kütleli olarak %0.5'in altında, benzinli motorlarda ise %1'in altında kükürt vardır. Basit olarak, çıkan SO_x 'in önemli bir kısmı SO_2 olarak kabul edilir. Egzoz ve atmosferde kısmen SO_3 'e dönüşme olmaktadır. SO_2 üç (3) ppm' den sonra keskin ve nahoş bir koku verir, gözleri rahatsız eder ve havada sülfürik aside dönüşerek solunum yolları ve akciğerde çeşitli belirti ve tahrişlere sebep olur. Yanıcı ve eksplozif bir özelliği yoktur [2].

4.2.5. İs (Dumanlanma)

Siyah duman olarak bilinen is, hava miktarı yetersiz olduğu zaman ortaya çıkmaktadır. Dizel motorlarında hem yakıt cinsinden hem de karışım şeklinden isin doğmasına yol açan etkenler fazladır. İs teşekkülüne, oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısı parçalanması (termik kraking) şeklinde bakılabilir. Hidrojenleri ayrılan karbonca zengin büyük moleküller birleşmektedirler (polimerizasyon), bu birleşmeler fazlaştıkça is zerrecikleri tezahür etmektedir (aglomerizasyon). Bu is zerrecikleri hava ile yeterli bir zaman ve sıcaklık içinde temasa geçebilirlerse yanabilmektedirler.

Ancak HFK=1 civarında ve tam yüklerde dizel motorları şartlarında teşekkül eden isin büyük bir kısmı egzozdan çıkmaktadır [2].

İs, dizel motoru egzozundan çeşitli renklerde gözlenir.

- a-) Yanmanın tamamlanmamış olmasından doğan karbon zerrecelerini ihtiva eden siyah is,
- b-) Yanmamış yakıt dumanından oluşan beyaz is,
- c-) Yanmış yağlama yağından oluşan mavi is.

4.3. Emisyon Standartları

Atmosferik kirleticilerin en aza indirilmesi için en kesin çözüm katalitik konverterlerdir. Ağırlıkla batı ülkelerinde bu teknoloji sayesinde egzoz emisyonları çok düşük seviyelere çekilebilmiştir. Bunun doğal bir uzantısı olarak emisyon standartları da düzenli olarak aşağıya çekilmektedir. Bununla ilgili Avrupa Topluluğu (EC) (eski Avrupa Ekonomik Topluluğu (EEC)) düzenlemeleri tablo 4.1.'de verilmiştir. Tablo 4.1'i incelerken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bu hususlardan ilki emisyon seviyelerinin sürekli olarak aşağı çekilmesi durumudur. İkinci husus ise emisyon değerlerinin gram/km biriminde verilmiş olmasıdır. Bu düzenleme, araçlardan kaynaklanan emisyonların sürüş koşullarını benzeştirmiş ortamlarda ölçülmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Ancak Türkiye'deki emisyonla ilgili düzenlemelerde gerekli ölçümler rölanti koşullarında yapılmakta ve aracın devir ve farklı sürüş koşullarında açığa çıkardığı farklı emisyon değerleri ölçülememektedir [22].

Tablo 4.1. Dizel araçlar için Avrupa Topluluğu emisyon standartları [22].

EEC 91/441				
LİMİT DEĞERLER (gram / km)				
	CO	HC+NO _x	PM ³	Buharlaştırma
Dizel – IDI	2.72	0.97	0.14	-
Dizel - DI	2.72	0.97	0.14	-
EEC 94/12				
LİMİT DEĞERLER (gram / km)				
	CO	HC+NO _x	PM ³	Buharlaştırma
Dizel – IDI	1	0.7	0.08	-
Dizel - DI	2.72	0.9	0.1	-
EEC 2000				
LİMİT DEĞERLER (gram / km)				
	CO	HC+NO _x	PM ³	Buharlaştırma
Dizel – IDI	0.5	0.5	0.4	-
Dizel - DI	0.5	0.5	0.4	-

4.4. Egzoz Emisyonlarını Azaltıcı Çözümler

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirliliği en aza indirmek amacıyla bugüne kadar bir çok teknoloji geliştirilmiştir. Otomotiv endüstrisi egzoz emisyonlarını en aza indirmek için motor, yanma odası ve gaz karışımı kontrolü gibi alanlarda tasarım değişikliği yapmak şeklinde önlemler alınmaktadır.

Bunların yanı sıra, yakıt özellikleri yanma sonrasında açığa çıkacak emisyonlar açısından belirleyici özellik taşımaktadır [22].

4.4.1. Karter Havalandırması

Karterde sıkıştırılan havanın piston hareketine bir direnç teşkil etmemesi için ilk motorlarda karter atmosfere açılmış idi. Yanma odasından kaçan egzoz gazları ile karterdeki yağ buharları bir araya gelerek kirlletici miktarı çok yüksek bir karışım oluşturmaktadır [2]. Tablo 4.2’de farklı hava / yakıt oranları için seyir halindeki bir taşıttaki kirlletici egzoz emisyonları değerleri görülmektedir. H / Y oranının artmasıyla CO₂ ve O₂ oranlarının artmasına karşın, CO ve HC değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Karter havasındaki kirlletici bileşenler, egzoz gazına göre düşük olsa da bunları kontrol altına almak gereklidir. Bunun için; karter çıkışı artık bütün motorlarda emme filtresi ile emme supabı arasına bağlanmaktadır. Daha önceleri atmosfere bırakılan kirli gazlar bu yolla emme manifolduna dolayısıyla yanma odasına gönderilerek yanmaları sağlanmaktadır.

Tablo 4.2. Egzoz ve karter havasındaki bileşenlerin seyir halindeki bir taşıttaki tipik değerleri [2].

H / Y	Analiz Bölümü	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (%)	HC (ppm)
12.6	Egzoz Gazı	11	0,7	4.6	500
	Karter Havası	1.5	17.9	0,4	450
16.4	Egzoz Gazı	13	2.6	0,5	250
	Karter Havası	1.8	18.4	0,3	400

4.4.2. Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR)

Emme manifolduna egzoz gazı ilavesi yanma hızını ve maksimum sıcaklığı düşürmektedir. Sıcaklık düşmesi dolayısıyla NO_x emisyonunu düşürmektedir. Sıcaklığın düşmesi aynı zamanda HC ve CO emisyonunda biraz artış olmasına neden olmaktadır [2].

Dizel motorlarında NO_x emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerden sadece EGR uygulaması ile NO_x emisyonlarında % 75’lik bir azalma elde edilebilmektedir [23].

4.4.3. HFK, Yanma Odası ve Püskürtme Sistemi

Dizel motorlarda HFK' nın ve genişleme oranının çok büyük olması egzoz sıcaklığının düşük olmasına ve egzoz reaktörlerinin kullanılmamasına yol açmaktadır. Egzozdaki O_2 fazlalığı NO indirgeyici reaktörünün kullanılmasını engellemektedir. Bugün için bütün çalışmalar daha çok yanmanın motorun maksimum gücündeki emisyon en şiddetli olduğundan yakıt pompası ayarı bu sınırın altında tutulabilir. Bu sayede is azaltılabilir. Bu aynı zamanda gücünde sınırlanması demektir.

Gerek yakıt cinsi gerekse heterojen yanma tipinden dolayı dizel egzozundaki HC' ler daha yüksek moleküllü ve kokulu maddelerdir. Direkt püskürtmelilerde kısmi yüklerdeki HC emisyonu ön yanma odalılardakini geçmektedir.

Dizel motorlarda yanma odalarının şekli, türbülansı, ısı geçişini, karışım teşkilini ve tutuşma gecikmesini kuvvetle etkilemektedirler. Ön yanma odalı motorlar NO_x emisyonu yönünden direkt püskürtmeliye göre daha iyidirler. Bunun sebebi yanma esnasında çok kuvvetli bir karışımın olmasıdır. Şiddetli karışım nedeniyle yanma başlangıcı ve dolayısıyla yanma sonu sıcaklığı daha düşük olmaktadır. Ayrıca hava hareketleri moleküllerin yüksek sıcaklıkta kalış sürelerini azaltmaktadır. Dizel motorlarda püskürme avansı küçüldükçe is değeri ve CO emisyonu artmakta, NO_x ise küçülmektedir [2].

5. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yapılan kaynak araştırmasında bitkisel yağların, bitkisel yağ esterlerinin ve bunların motorin ile değişik oranlardaki karışımlarının dizel motorlarda yakıt olarak kullanıldıkları pek çok çalışmaya rastlanmıştır. Çalışma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; bitkisel yağların motorine belirli oranlarda doğrudan katılarak kullanılabileceği, saf olarak kullanılmaları durumunda motor elemanlarında fazla aşınma ve birikintilere sebep olduğu, bitkisel yağların motor gücünde fazla etkili olmadıkları buna karşın yakıt tüketimlerinin arttığı ve kirletici egzoz gazlarında iyileşmelerin olduğu da söylenebilir.

Susam yağı, susam yağı esterlerinin ve susam yağı ile motorin karışımlarının yakıt olarak kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayçiçeği, pamuk ve soya yağları ile bunların esterleri ve motorinle olan karışımları ile yapılan çalışmaların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bunların yanında kolza, mısırözü, yerfıstığı, zeytin yağı gibi çeşitli bitkisel yağlar ile yapılmış çalışmalarda mevcuttur. Aşağıda bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılmaları ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar özetle verilmiştir.

Goering ve ark, 1982'de bitkisel yağ oranları yüksek olan 11 yağ bitkisi yağının kimyasal ve yakıt özelliklerini saptamak için karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Bitkisel yağlara, No.2-D dizel yakıtı için gerekli olan ASTM (The American Society for Testing Materials) testlerini uygulayıp, bu testler sonucunda bitkisel yağların yakıt ve kimyasal özelliklerini belirlemişler ve No.2-D dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak yakıt olarak kullanımlarında ortaya çıkabilecek problemlerini ortaya koymuşlardır. Yağ örneklerini kimyasal olarak analiz etmiş ve belirli yakıt özellikleri ile kimyasal bileşimleri arasında bir bağ kurmuşlardır.

Bitkisel yağların tümü düşük fosfor değeri, kolza ve susam hariç diğer yağlar düşük asit değeri göstermişlerdir. No.2-D dizel yakıtına göre bütün bitkisel yağların çok fazla viskoz, oksijene karşı daha aktif ve daha yüksek akma ve donma noktalarına sahip oldukları, bitkisel yağların hemen buharlaşmadıkları, fakat karboksil bileşikleri ve hidrokarbonların bir seri içine damıtılmaları sırasında parçalandıkları belirtilmektedir.

Yağların yüksek setan oranı, uzun indüksiyon periyodu, düşük viskozite, düşük donma noktası, düşük akma noktası ve bunların kombinasyonlarının değerlendirilmesi sonucunda; mısır, kolza, susam, pamuk tohumu ve soya yağlarının bu özelliklerinin en iyi kombinasyona sahip olduklarını ve bunları krambe, ayçiçeği ve yerfıstığı yağlarının takip ettikleri belirtilmiştir[7].

Pry ve diğerkleri, küçük dizel motorlarında yakıt olarak soya yağı kullanılması üzerine yaptıkları bir araştırma sonunda; soya yağının kısa süreli çalıştırmalarda alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini fakat uzun süreli kullanımlarda segmanların yapıştığı, enjektör memelerinde karbon birikintisi oluşabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, enjektörde meydana gelen karbon birikintisinin 9 saatlik çalıştırmada soya yağı esterine göre birikintinin daha fazla olduğu belirtilmiştir [6].

Ulusoy, Ayçiçeğı, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel yakıtı ile %25, %50 ve %75'lik oranlardaki karışımlarının motor yakıtı olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine yaptığı doktora çalışmasında, bu bitkisel yağ karışımlarından elde edilen dönme momenti ve güç değerlerinin %100 dizel yakıtına göre düşük çıktığını, karışımdaki yağ oranı arttıkça bu farkın daha da arttığını belirtmiştir. Dizel yakıtına en yakın değerlerin % 25'lik bitkisel yağ karışımlarından ve 1500-1900 devir sayıları arasında elde ettiğini belirtmiştir [6].

Barsic ve Humke, ham soya yağını, ham soya yağının No.2-D dizel yakıtı ile % 50 oranındaki karışımını doğal emişli, 6 silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda yakıt olarak kullanıp motor performansı ve emisyon karakteristiklerini belirlemişler ve sonuçları aynı motorda kullandıkları No.2-D dizel yakıtı değerleri ile karşılaştırmışlardır. Ham soya yağının yoğunluğunun ve viskozitesinin motorine göre yüksek olmasından dolayı tam gazda motorine oranla daha fazla soya yağı transfer edildiğini ve buna karşılık motor gücünde artış olduğunu belirtmektedirler. Ayrıca, CO, HC ve partikül madde emisyonlarının dizel yakıtına göre yüksek çıktığını, NO_x emisyonlarının ise daha düşük çıktığını belirtmektedir [9].

He ve Bao, kolza yağı ve dizel yakıtı karışımını (% 30 kolza yağı + % 70 dizel yakıtı) yakıt olarak tek silindirli bir dizel motorunda test ettikleri çalışmalarında, dizel motor için alternatif yakıt kaynağı olarak kolza yağının umut verici olduğunu ve motor yapısında hiçbir değişiklik yapmadan dizel yakıtı olarak kullanılabileceğini, fakat, kolza yağının yüksek viskozitesinin onu geniş çaptaki uygulamalardan alıkoyan çok önemli bir problem olduğunu belirtmişlerdir [10].

Yücesu ve ark, tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini inceledikleri deneylerinde, No 2-D dizel yakıtı ile birlikte ham ayçiçek yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bunlardan elde edilen ayçiçek yağı metil esterleri, pamuk yağı metil esterleri, soya yağı metil esterleri ile rafine edilmiş haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı kullanmışlardır. Motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motoru tam gaz-değişik devir ve sabit devir-değişik yük deneyine tabi tutulmuşlardır. Yaptıkları testler sonucunda bitkisel yağların

performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, duman koyuluğu bitkisel yağlarda daha yüksek, NO_x emisyonlarının ise No 2-D dizel yakıtından daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bunlara karşın bitkisel yağ metil esterini esaslı yakıtların motor performansı değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğu belirtilmiştir [11].

İlkılıç ve ark., Ayçiçek yağının dizel yakıtı olarak kullanımında meme ucunda karbon birikintilerinin oluştuğunu ve oluşan bu karbon birikintilerinin meme delik çapında daralmaya sebep olduğu ve daralmadan da yakıt atomizasyonunun zamanla kötüleştiğini belirtmişlerdir [12].

Aydın ve Keskin, pamuk yağı metil esterinin motorin ile belirli oranlardaki (30/70, 50/50, 70/30) karışımlarını tek silindirli bir dizel motorunda 1500 – 3700 d/d devirleri arasında test etmişlerdir. Yüksek motor hızlarında pamuk yağı metil esterinin dizel yakıtı ile motorda benzer tork değerleri gösterdiği, yüksek ve düşük motor devirlerinde güç değerlerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olduğu ve özgül yakıt tüketiminin de dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, pamuk yağı metil esterini / dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarda dizel yakıtına alternatif olarak rahatlıkla kullanılabileceğini ve bu karışımları alternatif yakıt olarak kullanan araçların egzoz emisyon testinden başarılı bir şekilde geçeceğini belirtmişlerdir [13].

Yücel, pamuk yağının değişik oranlarda (%25, %50, %75) motorin ile karıştırıp elde ettiği karışım yakıtları Pancar marka tek silindirli, hava soğutmalı, 19/1 sıkıştırma oranına sahip ve 9 BG gücünde bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmıştır. Çalışmada, yanma odası, piston, supab ve enjektörde karbon kalıntısı oluştuğunu ve motorin ile çalışmada meydana gelen yanma odası, piston, supab ve enjektör kalıntıları kolay temizlenebildiği halde pamuk yağı karışımları ile çalışmada oluşan kalıntıların güçlülük (kazımak suretiyle) temizlenebildiğini, karışımdaki pamuk yağı oranı arttıkça segman yuvaları ve yüzeylerinde tortu oluştuğunu ayrıca, egzoz supabı tablasında ve piston tablasında aşırı karbon kalıntısı olduğunu fakat, 100 saatlik çalışma sonucunda segman yapışmasına ve kırılmasına rastlanmadığını belirtmiştir [14].

İlkılıç ve Yücesu, Pamuk yağı metil esterini dizel yakıtı ile birlikte (% 50 PYME+%50 DY), tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda değişik devirlerde kullanmışlar, motor performans değerlerini ölçüp dizel yakıtı ile karşılaştırmışlar. Tam gazda ve değişik devir sayılarında yaptıkları deneyde maksimum moment elde ettikleri 2200 d/d motor hızında, karışım kullanıldığında dizel yakıtına göre % 2' lik bir azalma, maksimum güç devrinde (3100 d/d) % 3' lük bir azalma ve aynı devirde özgül yakıt tüketiminde % 4' lük bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Güç ve momentteki bu düşüşün tüm

devirlerde hemen hemen aynı olduğunu ve nedeninin de yakıtın ısıl değerinden kaynaklandığını, ayrıca, karışım yakıtının yüksek viskozitesinden dolayı atomizasyon sırasında yakıt zerreciklerinin büyüklüğüne bağlı olarak yanmanın kötüleşmesini de güç ve moment düşüşüne sebep olarak göstermişlerdir. Sonuç olarak çalışmada, belirli miktarlarda pamuk yağı metil esterinin dizel yakıtı ile karıştırılmasıyla elde edilecek karışım yakıtın alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kolaylıkla kullanılabileceğini belirtmişlerdir [15].

Altın, dört zamanlı, tek silindirli ve düz yanma odalı bir dizel motorunda, ticari dizel yakıtını ve sanayide kullanılan ham soya yağı ile soya metil esterini yakıt olarak kullanmıştır. Çalışmada elde ettiği sonuçlara göre, maksimum moment devrinde elde ettiği özgül yakıt tüketimi değişimi dizel yakıtına göre, ham soya yağında %10 civarında, soya metil esterinde % 6 daha yüksek olduğunu, maksimum güç devrinde ise özgül yakıt tüketiminin minimum değeri yaklaşık 25 Nm civarında elde edildiğini ve bunun nedeninin de minimum özgül yakıt değerinin maksimum güçte değil maksimum moment devirlerinde oluşması olarak gösterilmiştir. Ayrıca, değişik yüklerde ideal özgül yakıt tüketim değerinin motorun maksimum moment değerinden daha düşük çıktığını belirtmiştir.

Kirlatici egzoz emisyonu değerlerinde, ham soya yağının yüksek viskozitesinden kaynaklanan yakıt atomizasyonunun kalitesinin dizele göre daha iri tanecikli olması nedeniyle duman koyuluğu dizel yakıtına göre daha fazla çıktığı, soya metil esterinde ise, dizele yakın bir değişimin olduğu belirtilmektedir. Maksimum güç devrinde yüksek viskozite ve yoğunluktan dolayı kaynaklanan yanmanın kötüleşmesinden dolayı duman koyuluğu 1300 d/d' daki moment değişimlerine göre daha fazla gerçekleştiği, CO değerinde ise; dizel yakıtına göre, soya yağının CO değişiminin daha fazla çıktığını fakat her üç çalışmada da bu değer dizel CO emisyon sınır değerlerinin altında kaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, soya yağı ve soya metil esterinin yanma sonu sıcaklıklarının dizel yakıtı ile çalışmaya oranla daha düşük olması nedeniyle NO_x emisyonlarının daha az çıktığı belirtilmiştir [16].

Alibaş ve ark., bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılabilmek olanaklarının belirlenmesine yönelik yapılan araştırmaları değerlendirdikleri çalışmalarında; bitkisel yağların, konvansiyonel tipteki diesel motorlarında, yakıt sistemlerinde yapılacak küçük değişikliklerle kullanılabileceğini belirtmektedirler. Ancak, bitkisel yağların diesel motoru yakıtı yönünden değerlendirildiğinde en önemli problemlerinin viskozitelerinin yüksekliği olduğunu ve bunda yakıt sistemlerinde tıkanmalara, yanma kalitesinin bozulmasına ve yanma odasında karbon birikintilerine neden olduğunu belirtmektedirler. Ham yağlardaki bu olumsuz özelliğin, yağ esterleriyle ve yağların motorinle karışımlarında belirli oranlarda azaltılabileceği de belirtilmektedir. Sonuç olarak, bitkisel yağların halen mevcut olan olumsuz özelliklerinin

giderilmesi yolunda yapılacak araştırmalara hız verilmesi durumunda petrole alternatif yenilenebilir bir enerji kaynağının kazanılacağı belirtilmektedir [17].

Pichinger ve ark., 1982’de indirekt enjeksiyonlu Passat marka bir diesel motorunda % 30 soya yağı ve % 70 motorin karışımı bir yakıtla 16000 km, daha sonra aynı motorda % 100 yer fıstığı yağıyla 20000 km yol yapmışlardır. Çalışma sonunda motorun yanma odasının oldukça temiz bulunduğunu, ancak; yüksek viskozite nedeniyle yakıt sisteminde bazı değişiklikler gerektiğini, yer fıstığı ile yapılan çalışmalarda emme supabı üzerinde tortular oluştuğunu, soğukta çalışma zorluğu çekildiğini ve egzoz gazları kokusunun tahammül edilemeyecek kadar kötü olduğunu belirtmişlerdir [17].

Alibaş ve ark., motorin, yer fıstığı yağı ve ayçiçek yağlarının motorinle olan karışımların dizel yakıtı olarak kullanıldığı çalışmalarda, yağların, yakıt pompasının maksimum yakıt gönderme oranında elde edilen güç değerlerinin yaklaşık olarak motorin ile çalışmadaki değerlere eşit olduğunu hatta bitkisel yağların %50 oranındaki motorinle karışımlarında % 6’ya kadar motorin ile elde edilen güç değerlerinden daha fazla güç değerleri elde edildiğini ancak, özgül yakıt tüketiminde %20 daha yüksek değerlerin elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, azot oksitler (NO_x) yönünden, motorinle bitkisel yağlar arasında fazla bir fark olmadığı, hidrokarbonlar (HC), karbon monoksit (CO) ve partikül kütlesi yönünden bitkisel yağlarda, motorine göre iki katına varan çok yüksek değerlerin olduğu belirtilmektedir [17].

Özaktaş, ayçiçek yağı, mısırözü yağı, soya yağı ve zeytin yağını motorin ile karıştırılarak elde edilen karışım yakıtlarını altı silindirli bir dizel motorunda kullanılmasını sağlamış ve motor performansı ve is emisyonu bakımından yakıtların karşılaştırmasını yapmıştır. Sonuç olarak, bitkisel yağların motorin ile karıştırılarak dizel motorunda kullanılması halinde motor performansında düşme olmadığını, buna karşılık is emisyonlarında önemli azalmaların meydana geldiğini belirtmiştir [19].

Demirsoy ve Kındıroğlu, ayçiçek, soya ve pamuk yağlarının mazot ile % 15 ve % 20 oranlarındaki karışımlarını yakıt olarak tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda kullanmışlardır. Çalışmada, ayçiçek yağı ve soya yağının mazot ile olan karışımlarından % 100 mazot ile yaklaşık olarak aynı güç değerleri, % 15 ayçiçek yağı karışımıyla da % 100 mazota göre daha fazla moment ve düşük devirlerde daha az, yüksek devirlerde daha fazla özgül yakıt sarfiyatı, % 20 ayçiçek yağı karışımının moment değeri düşük ve özgül yakıt sarfiyatının fazla olduğu görülmüştür. Soya yağı + mazot karışımlarından elde edilen moment değerlerinin % 100 mazot değerlerine yakın olduğu, yakıt sarfiyatının da % 20 soya yağı karışımında arttığı

belirtilmektedir. % 15 pamuk yağı karışımında moment, güç ve yakıt sarfiyatı değerlerinin % 100 mazot ve % 20 pamuk yağı karışımına göre yüksek çıktığı belirtilmektedir[20].

Altın, yaptığı bir çalışmada, filtre edilmiş ham ayçiçek yağı, ayçiçek yağı-dizel yakıtı karışımı ve dizel yakıtını, dört zamanlı, tek silindirli ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda yakıt olarak kullanarak motor performansı ve egzoz emisyonlarını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Değişik devir (1300-1500 d/d) ve tam yükte yapmış olduğu çalışmada, yakıt olarak ayçiçek yağının, ısıl değerinin düşük, viskozitesinin yüksek ve enjektörden püskürtme karakteristiğinin dizel yakıtına oranla daha kötü olması nedeniyle, motor performans değerlerinde düşmeler olduğunu belirtmiştir. Dayanıklılık testinde, alternatif yakıt olarak ayçiçek yağının kullanılmasında motor yanma odası, enjektör ve piston tepesinde dizel yakıtına göre daha fazla karbon birikintisi ve is oluştuğu, NO_x emisyon değeri ayçiçek yağının yanma sonu sıcaklığının düşük olması nedeniyle dizel yakıtına oranla daha düşük çıktığı ve duman koyuluğu esas alındığında dizel yakıtının daha iyi olduğu belirtilmektedir [21].

Karabektaş ve Saraç, alternatif dizel motor yakıtı olarak biodizel yakıtını deneysel olarak inceledikleri çalışmalarında; deneyde dört zamanlı, direkt püskürtmeli, iki dik sıralı bir dizel motoru ile 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400 devir sayılarında ölçüm yapmışlardır. Çalışmada, motorin ile çalışmada elde edilen motor efektif torku ve efektif motor gücü değerleri biodizel ile çalışmaya göre yüksek, özgül yakıt tüketimi değerleri ise düşük çıktığı belirtilmektedir. Performanstaki bu düşüşün nedeni olarak biodizelin ısıl değerinin motorine göre düşük, yoğunluk ve viskozitesinin de yüksek olduğu gösterilmektedir. Egzoz emisyonları olarak, biodizel yakıtı ile motorine oranla NO_x ve aldehit emisyonlarında artış olduğu, CO, HC ve PM emisyonlarında ise azalmalar görüldüğünü ve katalizör kullanımı ile PM emisyonlarını düşük miktarlara indirgenebileceğinin mümkün olduğu belirtilmektedir [25].

Rakopolulos, 1992, yaptığı bir araştırmada, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu dizel motorları, indirekt enjeksiyonlu dizel motorları ve türbülanslı yanma odalı dizel motorlarında %25-%75 ve %50-%50 atık zeytin yağı ve ticari dizel yakıtı kullanılmıştır. Bu karışımın (dizel yakıtı+zeytin yağı) etkisini; yakıt tüketimi, azami basınç, egzoz sıcaklığı, egzoz dumanlaması ve azot oksit (NO/NO_x), hidrokarbonlar (HC) ve karbon monoksit (CO) gibi egzoz emisyonları açısından incelemiştir. Her bir motorun temel çalışması açısından ölçülen performans ve egzoz emisyon parametrelerindeki farklılıkları belirlemiş ve karşılaştırılmıştır.

Çalışmada, bu karışımlar kullanıldığında, düz yanma odalı (ID) ve ön yanma odalı (IDI) motorların her ikisi için de özgül yakıt tüketiminde küçük bir fazlalık gösterdiği, egzoz dumanında hafif bir artış olduğu, özellikle de değişmeyen maksimum basınç ve egzoz sıcaklığı

gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca bu karışımlar kullanıldığında IDI ve ID motorların her ikisi için de azot oksit (NO_x) emisyonlarında hafif bir azalma olduğu, hidrokarbonlarda (HC) çoğalma görülmediği, CO emisyonlarında da önemli bir çoğalma olmadığı belirtilmiştir [6].

Sonuç olarak; yapılan çalışmalar, bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanıla bilindiğini göstermiştir. Yakıt olarak bitkisel yağlar, motor momentini ve gücünü fazla etkilemediği, yakıt tüketimlerinin arttığı ve bunların yanında kirletici egzoz emisyonlarında iyileşmeler olduğu, ayrıca, yakıt olarak kullanıldıklarında segman, piston, enjektör memesi ve supap gibi motor elemanlarında normalden fazla is ve kurum oluşuğu ve bu durumun motorun çalışmasını olumsuz yönde etkilediği söylenebilir.



6. MATERYAL VE METOD

6.1. Materyal

6.1.1. Deney Motoru

Deneyde, motor olarak Lombardini marka 6 LD 400 tipi tek silindirli, dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. Bu motorun teknik özellikleri tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Lombardini 6 LD 400 motorun teknik özellikleri.

Özellik	Lombardini 6 LD 400
Silindir Sayısı x Silindir Çapı	1 adet x 86 mm
Silindir Hacmi x Strok	395 cm ³ x 68 mm
Sıkıştırma Oranı	18:1
Maksimumu Tork	2200 dev/dak’ da 20 Nm
Enjektör Püskürtme Basıncı	200 bar
Boy X En X Yükseklik	382 x 427 x 491 mm
Ağırlık	45 kg

6.1.2. Deneylerde Kullanılan Yakıtlar

Deneylerde yakıt olarak, motorin, ve susam yağının % 25, 50 ve 75 oranlarındaki motorin ile olan karışımları kullanılmıştır. Tablo 3.2’de motorin ve susam yağına ait verilen değerlere göre; susam yağının kinematik viskozitesi motorinin viskozitesinden yaklaşık olarak 8 kat daha fazladır. Viskozitenin yüksekliği yakıtın pompadan basılmasına ve enjektörden püskürtülmesinde problem olmaktadır. Bu sorunlarda enjeksiyon sırasında atomizasyonun bozulmasına ve yanmanın kötüleşmesine neden olmaktadır. Setan sayısının vuruntu üzerindeki etkisi bilinmektedir. Susam yağı bu özelliğiyle motorine yaklaşmaktadır. Ayrıca ısı değeri yönünden de bakıldığında susam yağı ile motorin arasında büyük bir farklılığın olmadığı görülmektedir. Susam yağının parlama noktasının motorininkine göre yüksek oluşu depolama güvenliği sağlarken tutuşma yönünden sorun teşkil etmektedir, ayrıca akma ve donma noktalarının da yüksek oluşu susam yağının direk olarak kullanılmasında sorun teşkil etmektedir. Bu sebeplerden dolayı susam yağı motorin ile karıştırılarak kullanılmıştır.

6.1.2.1. Susam Yağı

Susam yağı susam bitkisinden elde edilir ve susam danelerinde % 45-55 oranında bulunur. Susam yağı elde etmek için susamın uygun tohumlarını doğrudan kavurarak, sıkmak suretiyle yağ imal edilir. İçeriğinde en önemli madde yağdır. Yağda oleik, palmilik, linoleik, stearik asit gibi yağ asitleri vardır. Susam yağı kuvvetli bir yağdır ve vücudu güçlendirir. Harici kullanımda deri altı hücreleri dinamize eder. Susam yağı çok karalı bir yağdır; kolay bozulmaz, acılaşmaz, yağ asitleri bakımından bileşimi idealdir.

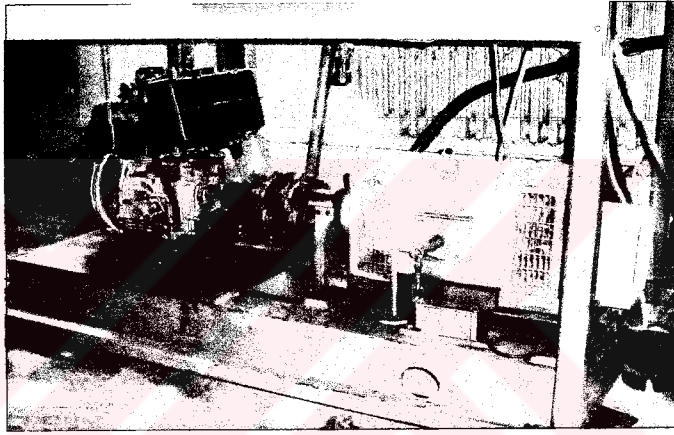
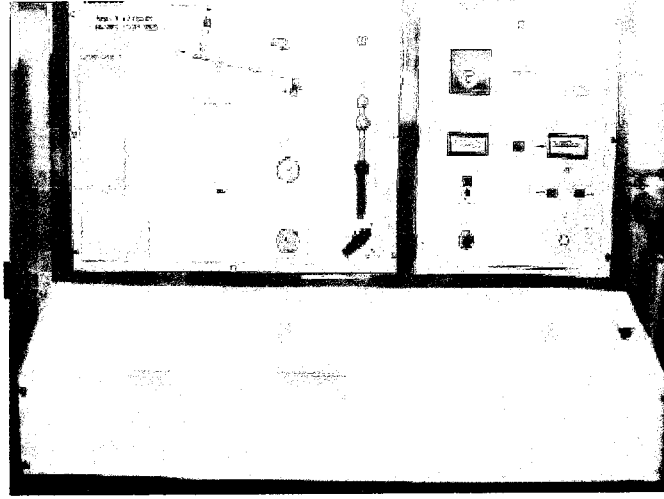
Tahin, susam tohumlarının tekniğine uygun olarak kabukları ayırdıktan sonra fırında kurutulup kavrularak değirmende ezilmesiyle elde edilen bir gıda maddesidir. Susamdan elde edilen tahin % 60 yağ, % 26 yüksek değerli protein (birçok gıdada kısıtlı bulunan triptofan ve kükürt içeren aminoasitler içerir) ve B vitaminleri içermesinden dolayı en az et ve süt kadar kıymetli bir gıda sayılmaktadır. Yüksek kükürt içeren aminoasit içeriğine bağlı olarak kükürtlü aminoasit içeriği düşük olan yeşil bitki diyetlerine besleyici değeri artırmak için yardımcı olarak kullanılabilir. Yüksek hücre içi protein sindirilebilirliği ve hesaplanmış protein verimlilik oranı tahinin kolay sindirilebilir ve yüksek besleyici değere sahip olduğunu göstermektedir. Tahin yağlı bir besin maddesi olarak vücudun çalışmasında enerji sağlama, yağda eriyen vitaminleri taşıma, midenin boşalma süresini azaltarak acıkma duygusunu geciktirme ve elzem yağ asitlerinin vücuda alınmasını sağlama gibi pek çok işlevleri vardır. Deneyler için tahin içinde % 60 oranında bulunan susam yağı süzülüp alınmıştır.

6.1.2.2. Motorin

Motorin ham petrolden arındırılarak elde edilen bir yakıttır. Karbon atomu sayısı 8 ila 16 arasındadır. Sıvı HC bileşenlerini, az miktarda kükürt, azot, kül ve su ihtiva eden motorinin kapalı formülü; $C_{12.226} H_{23.29} S_{0.0575}$ 'dür. Deneyler de piyasada satılan motorin kullanılmıştır. Geniş bilgi bölüm 2'de verilmiştir.

6.1.3. Deney Seti

Deney seti, bir test yatağı, elektrikli dinamometre, gaz analiz cihazı, tablo 6.1' de teknik özellikleri verilen motordan ve yardımcı araçlardan oluşmaktadır. Deney seti F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine eğitimi Bölümü laboratuvarında bulunmaktadır. Şekil 6.1'de deney setinin fotoğraflık görünüşü görülmektedir.



Şekil 6.1. Deney setinin görüntüsü (fotoğrafik).

6.1.3.1. Egzoz Gazı Ölçümü

Deneylede egzoz emisyonlarını ölçmede MRU marka 95 / 3 CD model gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile aşağıdaki ölçümleri yapmak mümkündür.

Ortam sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$
Egzoz gazı sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$
O_2	%
CO_2	%
CO	ppm ve mg/Nm^3
SO_2	ppm ve mg/Nm^3
NO_x	ppm
NO_2	ppm
Yanma verimi	%
AFR	-

6.1.3.2. Dinamometre

24.1 Nm sabit tork veren, 4750 dev/dak' ya kadar bir alanda dönen doğru akım makinesidir. Motor miline bağlı olan bir çark vasıtası ile dönen dinamometrenin yüklenmesi bir voltaj dönüştürücüsü ile sağlanmaktadır. Elde edilen kuvvet, dinamometrenin merkezinden 0.25 metre mesafede çalışan istenildiğinde kalibre yapılabilen yük hücreleri yardımı ile ölçülür. Devir ve kuvvet paneldeki dijital göstergelerden okunabilmektedir. Newton olarak okunulan kuvvet moment kolu ile (0.25 m) çarpılıp moment olarak hesaplanabilir.

6.1.3.3. Sıcaklık Ölçümleri

Sıcaklık ölçümünde dinamometre standı üzerinde bulunan dijital göstergeli ölçme cihazı kullanılmıştır. Termo eleman olarak Kro mel – Alu mel (CrAl – NiAl) ısı çifti kullanılmıştır. Egzoz gazının çıkış sıcaklığının ölçülmesi için, egzoz manifoldu çıkışına bir delik açılıp uygun bir boru yerleştirilmiştir. Termo elemanın sıcaklık ölçme ucu buraya yerleştirilmiştir. Diğer termo elemanda yağ sıcaklığının ölçülmesi için kartere yerleştirilmiştir.

6.2. Metot

Deneye başlamadan önce motorun bakımı yapılmış, yardımcı aparatlar yerlerine yerleştirilmiş ve egzoz gazı ölçümleri içinde gaz analiz cihazının probu egzoz borusu çıkışına yerleştirilmiştir.

Deneye motorin ile başlanmış ve çalışma sıcaklığına gelmesi beklenmiş sonrada motora tam gaz verilerek elektrikli dinamometre ile yüklenmiştir. Yükleme her 300 dak⁻¹ devir aralıklarında altı ayrı kademede yapılmıştır ve devir kademeleri 3300, 3000, 2700, 2400, 2100 ve 1800 olmuştur. Örneğin 1800 devir ölçümleri için önce motoru 2100 devire getirip sonrada gaz ayarına dokunmadan yük verilerek 1800 devire gelmesi sağlanmış ve ölçümler öyle yapılmıştır. Her devir sayısında motorun kararlı çalışma şartlarında ölçümler yapılmıştır. Deneyler standart enjektör basıncında (200 bar) yapılmış, sonra % 75 susam yağı karışımı için enjektör basıncı % 10 arttırılarak (220 bar) tekrarlanmıştır (bkz. bölüm 7.1.1, sayfa, 37).

Deneyde, motor momenti, yakıt tüketimi, egzoz sıcaklığı, yağ sıcaklığı ve egzoz emisyonları ölçümleri yapılmıştır. Bir karışım yakıtı için ölçümler tamamlandığında motor durdurulup soğuyup dinlenmesi için bir süre beklendikten sonra diğer karışım ile çalışmaya geçilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler ile motor momenti, efektif motor gücü, yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi ve toplam verim değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, karbon monoksit, karbondioksit, azot oksit emisyonları ve AFR değerleri ölçülmüştür.

6.2.1. Motor Momenti

$$Md = F \times L$$

Md : Motor momenti (Nm),

F : Fren kuvveti (N), (dijital göstergeden Newton olarak okunmuştur)

L : Kuvvet kolu uzunluğu (m), (kol uzunluğu 0.25 m'dir).

6.2.2. Efektif Motor Gücü

$$Md = \frac{Pe}{\omega} = \frac{Pe}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{30Pe}{\pi n} = \frac{9,549296Pe}{n} \cdot 10^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Pe \cong \frac{Md \cdot n}{9549} \text{ eşitliğiyle hesaplanmıştır.}$$

Pe : Motorun efektif gücü (kW),

n : Motorun devir sayısı (dak⁻¹),

Md : Motor momenti (Nm).

6.2.3. Yakıt Tüketimi

Yakıt ölçekli cam tüp üzerinden motora gönderilmektedir. Yakıt ölçümü için 10 ml yakıtın tüketilmesi için geçen süre belirlenmiştir. Daha sonra her bir yakıt için 10 ml' ye karşılık gelen ağırlıkları bulunmuş ve buna göre hesaplama yapılmıştır. Tablo 6.2'de yakıtların 10 ml' ye karşılık gelen ağırlıkları gram olarak verilmiştir.

Tablo 6.2. Deney yakıtlarının 10 ml' sine karşılık gelen ağırlıkları.

Deney Yakıtları	10 ml' ye karşılık gelen ağırlık (gram)
% 100 Motorin	8,3
% 25 Susam Yağı + % 75 Motorin	8,25
% 50 Susam Yağı + % 50 Motorin	8,46
% 75 Susam Yağı + % 25 Motorin	8,6
% 100 Susam Yağı	8,65

6.2.4. Özgöl Yakıt Tüketimi

Ölçülen yakıt tüketimi ve hesaplanan efektif motor gücü değerlerine bağlı olarak özgöl yakıt tüketimi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama aşağıdaki formül ile yapılmıştır.

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

Burada, be : Özgöl yakıt tüketimi (gr/kWh)

B : Yakıt tüketimi (gr/h)

Pe : Efektif motor gücü 'ünü (kW) ifade etmektedir.

6.2.5. Toplam Verim

Toplam verim, motorin ve motorin-susam yağı karışımlarının her biri için her devir sayında hesaplanan özgöl yakıt tüketimi ve yakıtın ısı değeri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\eta_T = \frac{3600}{be Hu}$$

η_T = Toplam verim (%),

be = Özgöl yakıt tüketimi (kg/kWh' e dönüşümü yapılarak verim hesabında kullanılmıştır),

Hu = Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg).

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde motor performansı ve egzoz emisyonu değerlerinin motor devir sayısına bağlı olarak değişimleri grafikler ve tablolar halinde gösterilmiştir. Grafiklerde ve tablolarda “M” motorini, “SY” susam yağını temsil etmektedir. Ayrıca, “% 75 SY + % 25 M-I” eğrisi % 75 susam yağı karışımını, “% 75 SY + % 25 M-II” eğrisi de % 75 susam yağı karışımının püskürtme basıncının (200 bar) % 10 artırılarak (220 bar) tekrar kullanılmasında elde edilen değerlerin eğrisini göstermektedir (bkz.bölüm 7.1.1, sayfa, 37).

7.1. Susam Yağının Yakıt Olarak Motor Performansına Etkileri

Motorin ve karışım yakıtlarının motorun devir sayısına bağlı olarak motor momenti, efektif motor gücü, yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi, toplam verim, egzoz sıcaklığı ve yağ sıcaklığı değerleri % 100 motorin ile karşılaştırmalı olarak grafikler ve tablolar halinde verilmiştir.

7.1.1. Motor Momenti

Motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarından elde edilen motor momenti değerlerinin devir sayısı ile değişim eğrileri şekil 7.1’de, tablo 7.1’de de yakıt türlerinden elde edilen moment değerleri tablo halinde verilmiştir.

Şekil 7.1 incelendiğinde bütün yakıtlar için düşük devir sayılarında momentin düşük, devir sayısının artmasıyla motor momentinin de arttığı fakat bir maksimum değere ulaştıktan sonra tekrar düştüğü görülmektedir. Bütün yakıt türleri için devir sayısının artmasıyla momentin artması, birim zamandaki çevrim artışının doğal bir sonucudur.

İçten yanmalı motorlarda motor momentini belirleyen temel değişken parametrenin ortalama efektif basınç (Pme) olduğu bilinmektedir. Motorlarda ortalama efektif basıncın maksimum olduğu devir sayısında motor momenti de maksimumdur. Bu devrin altına veya üstüne çıkıldığında motor momenti düşer. Ortalama efektif basıncın konstrüktif faktörlerin dışında yanmanın bir fonksiyonu olarak değiştiği söylenebilir. Dizel motorlarında sıkıştırma sonunda yanma odası içerisine püskürtülen yakıt hemen tutuşmaz, tutuşmanın başlaması için karışım hazırlanarak enerji seviyesinin kendi kendine tutuşma sıcaklığına çıkması gerekir. Dizel motorlarında teorik (stokiyometrik) hava oranından daha fazla hava kullanılmasına rağmen yanma odasında homojen bir karışım hazırlanamaz. Tutuşma başladıktan sonra normal bir yanmada alevin yayılma hızı 25 – 30 m/sn kadardır. Yanma odasının içeriği, karışım oranı ve

hava hareketleri alevin yayılma hızı üzerinde etkilidir. Motor devri arttıkça hava hareketleri de artar, sonuçta yanma iyileşir. Bu nedenlerle yüksek devirlerde motor momentinin artması beklenen bir sonuçtur. Şekil 7.6’da görüldüğü gibi artan devir sayısı ile birlikte egzoz gazlarının sıcaklığının artması, yüksek devirlerde daha iyi bir yanma olduğunun bir kanıtı olarak ileri sürülebilir. Yük altında yüksek devirlere çıkıldığında, bir taraftan her çevrim için silindire alınan yakıt miktarı artarken, diğer taraftan devir sayısına bağlı olarak piston hızı artmaktadır. Bu nedenle genişleme sürecinde yanma daha uzun devam etmekte ve sonuçta ortalama efektif basınç düşmektedir. Belirli bir devir sayısında momentin maksimum olması, sonra düşmesi ortalama efektif basınca bağlı olarak açıklanabilir.

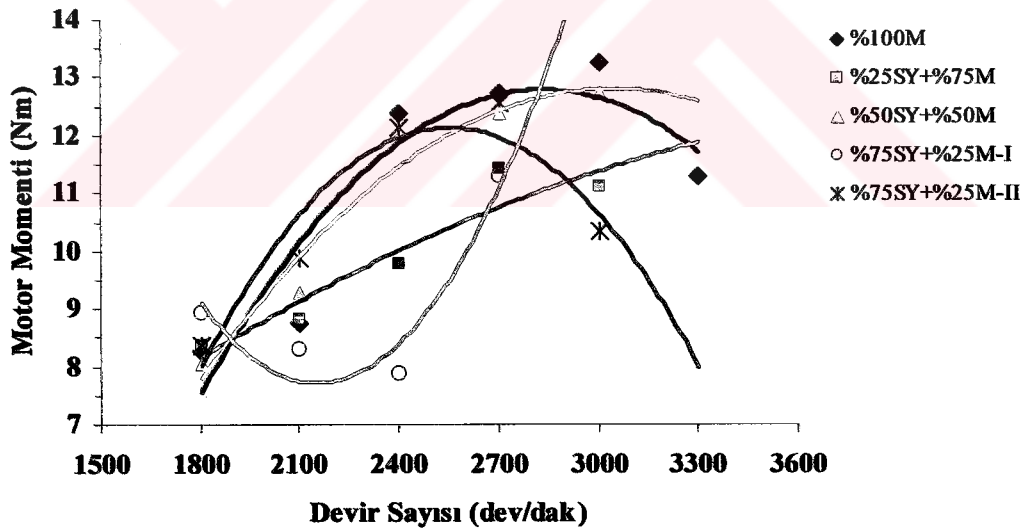
Tablo 7.1. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen motor moment değeri.

Devir (dak ⁻¹)	Motor Momenti (Nm)				
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)				
	0 / 100	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	8,250	8,375	8,05	8,925	8,375
2100	8,75	8,825	9,275	8,3	9,875
2400	12,375	9,775	12,025	7,87	12,125
2700	12,75	11,425	12,37	11,3	12,55
3000	13,25	11,1	12,75	-	10,325
3300	11,3	-	-	-	-

Tablo 7.1’de, en yüksek moment değerlerinin % 100 motorin kullanıldığında gerçekleştiği görülmektedir. Karışım yakıtları arasında ise en yüksek moment değerleri % 50 susam yağı karışımı ile elde edilmiş olup, en düşük moment değerleri de % 75 susam yağı karışımı kullanıldığında görülmüştür. Enjektör püskürtme basıncı artırılarak tekrar kullanılan % 75 susam yağı karışımında ise moment değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu; motorinin ısı değeri susam yağına göre yüksek olmasının doğal bir sonucudur. Ayrıca, motorinin parlama noktasının susam yağına göre çok düşük olması nedeniyle yanmanın ve yanma hızının daha yüksek olmasına bağlanabilir. Diğer araştırmacılar da [10, 15, 21], yakıtın ısı değeri düşüklüğünden ve yüksek viskoziteden dolayı atomizasyon sırasında yakıt zerreciklerinin büyüklüğüne bağlı olarak yanmanın kötüleşmesini moment düşüşüne sebep olarak göstermişlerdir. Ayrıca, şekilde de görüldüğü gibi 1800 devir sayısında karışım yakıtlarının moment değerleri motorine göre yüksek çıkmıştır. 2100 devirde ise % 50 susam yağı karışımı ile püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımı moment değerleri motorine göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi; düşük devirlerde susam yağının yanması için yeterli bir zaman olduğu gösterilebilir. Yüksek devirlerde motorin ile çalışmada yüksek moment elde edilmesi

bunun kanıtı olarak ileri sürülebilir. Yakıt özellikleri dikkate alınarak motor tasarımı yapılırken motorun en çok çalışma devir aralığı göz önünde bulundurulur. Motorinin setan sayısı, yoğunluk ve parlama noktası gibi özellikler yakıtın parçalanması, kimyasal reaksiyonlar ve yanma için önemli özelliklerdir. Yanma odası dizaynı ve yakıt enjeksiyon sistemi bu özelliklere göre düzenlenir. Motorun en çok çalıştığı devir aralığı için motorine göre yapılan tasarım, bu devrin dışına çıkıldığında ideal şartlardan uzaklaşır. Düşük devirlerde motorin kullanımında daha düşük moment alınması bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir.

% 75 susam yağı karışımı yakıt olarak kullanıldığında motor normal olarak çalışmamıştır. Çok düzensiz, sarsıntılı ve sesli çalıştığı görülmüştür. Yanma ve yakıt pülverizasyonunu olumsuz etkileyen; susam yağının yüksek viskozitesi ve parlama noktasının yüksekliği dikkate alındığında bulguların beklenen sonuçlar olduğu söylenebilir. % 75 susam yağı karışımı kullanımında yakıt püskürtme basıncının artırılması halinde motor momentinde artma görülmektedir. Yakıt aynı çaptaki enjektör deliğinden daha yüksek basınçla püskürtmenin pülverizasyon taneciklerini küçülttüğü bilinmektedir [1]. Bunlar daha yüksek susam yağı ihtiva eden yakıt karışımlarında karşılaşılan bir takım olumsuzluklar ve düşük moment için kanıt olarak ileri sürülebilir. Bu görüş, Pichinger ve ark, [17] görüşüne uygun gelmektedir.



Şekil 7.1. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen motor momenti eğrileri.

7.1.2. Güç

Motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarından elde edilen güç değerlerinin devir sayısı ile değişimi şekil 7.2’de verilmiştir. Elde edilen değerler ayrıca tablo 7.2’de verilmiştir.

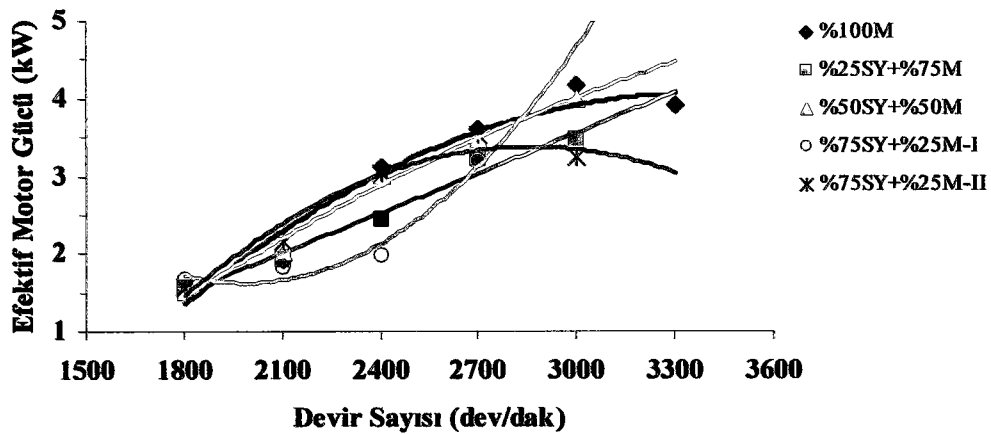
Dizel motorlarında güç artışı yakıt tüketiminin artmasıyla sağlanır. Maksimum güçte tam gaz verilir, ancak bu durumda iyi bir karışım şansı daha azdır ve egzoz isli olur. İş sınırına doğru özgül yakıt sarfiyatı da artar [1]. Şekil 7.2 ve 7.3 birlikte incelendiğinde; yakıt tüketimleri yüksek olan yakıt türlerinin güç değerlerinin de yüksek olduğu görülmektedir. Bu; güç, yakıt tüketimi ve yük arasında direk bir ilişki olduğunun göstergesidir. Düşük devirlerde motorine göre yüksek güç elde edilmesine karşın, karışım yakıtlarının güç değerleri genel olarak motorine göre biraz düşük çıkmış ve en düşük güç değerleri % 75 susam yağı karışımı kullanıldığında elde edilmiştir. Bu sonuç; Yüksek viskozitelerinden dolayı bitkisel yağlar, enjektörde püskürürken daha iri zerrelili olarak püskürmektedir. Bu ise yakıtın buharlaşma ve yanma süresini uzatarak, yanmanın daha çok genişleme periyodunda olmasına dolayısıyla motor momentini, gücü ve termik veriminin azalmasına neden olmaktadır, şeklinde açıklanabilir [11]. Viskozitesi motorine göre yüksek olan karışım yakıtlarından düşük güç elde edilmesi bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir.

Tablo 7.2. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen efektif motor gücü değerleri.

Devir (dak ⁻¹)	Efektif Motor Gücü (kW)				
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)				
	0 / 100	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	1,555	1,578	1,517	1,682	1,578
2100	1,924	1,940	2,04	1,825	2,171
2400	3,110	2,456	3,022	1,978	3,047
2700	3,60	3,230	3,49	3,195	3,54
3000	4,162	3,487	4,005	-	3,243
3300	3,905	-	-	-	-

Deneylerde, % 50 ve % 75-II susam yağı karışımı güç değerleri, % 100 motorin ile elde edilen güç değerlerine çok yaklaştığı tablo 7.2’de görülmektedir. Motorine yakın güç değerleri vermelerine karşın şekil 7.4 ve tablo 7.4’te görüldüğü gibi aynı yakıtların özgül yakıt tüketimleri artmıştır. Şekil 7.2’de, % 75-II susam yağı karışımından 2700 devire kadar motorinden biraz yüksek, bu devrin üstünde daha düşük güç elde edildiği görülmektedir. Buna, yüksek devirlerdeki yanma süresinin kısalığı neden olarak gösterilebilir. Susam yağının alt ısı

değeri, motorine göre düşüktür. Belirlenmiş bir motorda aynı deney şartlarında birim güç için tüketilen yakıt miktarının susam yağı-motorin karışımlarında artması yakıtın alt ısı değerlerinin farklı oluşundan kaynaklanmaktadır. Bu sonuç; Ulusoy'un [6], "ısı değeri motorine göre düşük olan bitkisel yağların eşit güç üretebilmesi için daha fazla yakıt tüketmesi gerekmektedir" görüşüne uygun gelmektedir. Benzer şekilde, % 25 susam yağı karışımının saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminin de düşük olduğu şekil 7.3 ve 7.4'de görülmektedir. Susam yağından alınan bu sonuçlara benzer olarak, Barsic ve Humke'de, ham soya yağının yoğunluğunun ve viskozitesinin motorine göre yüksek olmasından dolayı tam gazda motorine oranla daha fazla soya yağı transfer edildiğini ve buna karşılık motor gücünde artış olduğunu [9], Alibaş ve arkadaşları da, bitkisel yağlardan elde edilen güç değerlerinin yaklaşık olarak motorin ile çalışmadaki değerlere eşit olduğunu hatta bitkisel yağların % 50 oranındaki motorinle karışımlarında % 6'ya kadar motorin ile elde edilen güç değerlerinden daha fazla güç değerleri elde edildiğini ancak, özgül yakıt tüketiminde % 20 daha yüksek değerlerin elde edildiğini[17], belirtmişlerdir. Bu sonuçlardan da anlaşılabileceği gibi, dizel motorlarında güç artışı yakıt tüketiminin artmasıyla sağlanmaktadır. Ayrıca; momentin maksimum olduğu devir sayısından yukarılara çıkıldıkça motor gücü de artar. Ancak, belirli bir devir sayısına gelindiğinde, hareketli motor parçalarının atalet kuvvetleri ve mekanik sürtünmenin artması sonucu mekanik verimin düşmesi, yüksek devirlerde hacimsel verimdeki düşüş ve yanma süresinin kısalması gibi nedenlerden dolayı Pme'nin aşırı düşmesi nedeniyle motor gücünde düşer. Şekil 7.1 ve 7.2'ye bakıldığında motorin ve karışım yakıtların yüksek moment değerlerinde motor gücünün de yüksek olduğu ve bu devrin üstünde gücün arttığı görülmektedir. Susam yağı ile yapılan çalışmalardan elde edilen bu sonuçlar, farklı bitkisel yağlar ile çalışmış araştırmacılar [6, 9, 11, 13, 15, 20, 25] tarafından desteklenmektedir.

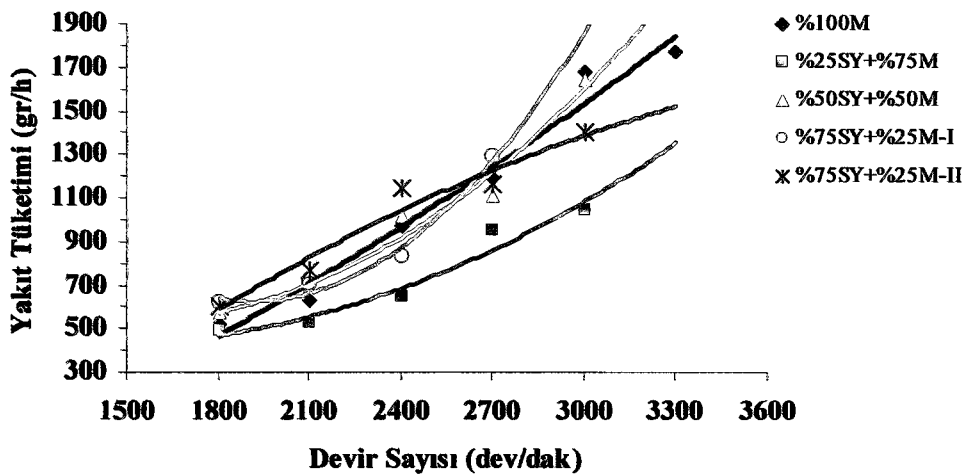


Şekil 7.2. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen güç eğrileri.

7.1.3. Yakıt Tüketimi

Aynı yük ve devir sayıları için, motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarından elde edilen yakıt tüketim değerleri şekil 7.3'te grafik olarak ve tablo 7.3'te verilmiştir.

Şekil 7.3'te, karışım yakıtlarının yakıt tüketimi değerleri, düşük devirlerde motorine göre fazla, yüksek devirlerde ise düşük çıkmıştır. Buna sebep olarak, karışım yakıtlarından düşük devirlerde motorine göre yüksek güç değerlerinin elde edilmesi gösterilebilir. Daha düşük güç değerleri elde edilen yakıtların yakıt tüketimleri de düşük çıkmıştır. Motor gücünün artmasıyla yakıt tüketimi de artmıştır. Buna, tüm yakıt türleri arasında en düşük yakıt tüketiminin % 25 susam yağı karışımından elde edilmiş olması, % 50 susam yağı karışımının yakıt tüketim değerleri % 100 motorine yakın çıkması kanıt olarak gösterilebilir. Şekil 7.3'te görüldüğü gibi devir sayısı arttıkça yakıt tüketimi de artmıştır. Bunu, Ulusoy'un, "yüksek devirlerdeki yanma süresinin kısalığı yakıt tüketimini arttırmıştır" [6] görüşü desteklemektedir. Ayrıca; şekil 7.3'te, susam yağının yoğunluk ve viskozitesinin motorininkine göre yüksek olması nedeniyle, karışımlardaki yağ oranı arttıkça yakıt tüketiminin de arttığı görülmektedir. Püskürtme basıncının artırılması yanma ve yakıt atomizasyonunu iyileştirdiğinden enjektör püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımından normal basınçta kullanılmış % 75 susam yağı karışımına göre daha fazla güç elde edilmiş, fakat, yakıt tüketimi artmıştır. Susam yağının ısıl değerinin motorine göre düşük olması nedeniyle motorin ile eşit güç üretebilmesi için daha fazla yakıt tüketmesi gerekmektedir. % 50 ve % 75-II susam yağı karışımlarından motorine yakın güç elde edilmesine karşın, yakıt tüketimlerinin artması bu düşüncüyü desteklemektedir.



Şekil 7.3. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen yakıt tüketimi eğrileri.

Tablo 7.3. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen yakıt tüketimi değerleri.

Devir (dak ⁻¹)	Yakıt Tüketimi (gr/h)				
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)				
	0 / 100	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	518,1	495	572,1	625,4	607
2100	631,2	525,6	692,1	703,6	764,4
2400	974,3	645,6	1015,2	836,7	1146,6
2700	1195,2	952	1109,5	1290	1160,5
3000	1675,5	1049,4	1646,2	-	1407,2
3300	1775	-	-	-	-

7.1.4. Özgül Yakıt Tüketimi

Motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarından elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri şekil 7.4'te ve tablo 7.4'te verilmiştir.

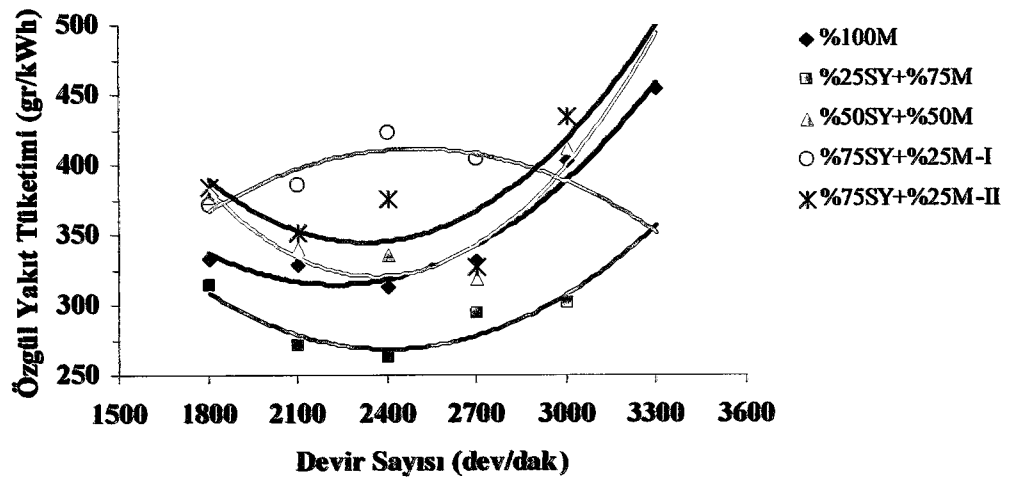
Tüm yakıt türleri arasında en düşük özgül yakıt tüketiminin % 25 susam yağı karışımından, en yüksek özgül yakıt tüketiminin de % 75 susam yağı karışımından elde edildiği ve püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımının özgül yakıt tüketiminde önemli düşüşler olduğu tablo 7.4'te görülmektedir. % 50 ve püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımlarının motorine yakın güç değerleri vermelerine karşın özgül yakıt tüketimleri artmıştır. Bunun yanında, motorinden daha düşük güç değerleri elde edilen % 25 susam yağı karışımının saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminin de düşük çıktığı şekil 7.3 ve 7.4'de görülmektedir. Bu durum, susam yağının ısıl değerinin motorine göre düşük olmasının bir sonucudur. Susam yağı ile yapılan testlerde elde edilen özgül yakıt tüketimi değerlerini, farklı bitkisel yağlar ile çalışmış araştırmacılar da [6, 13, 15, 16, 17, 20] özgül yakıt tüketiminin motorine göre yüksek olduğunu belirtmektedirler.

Bütün yakıt türleri için özgül yakıt tüketimi düşük devirlerde yüksek, devir arttıkça düşmekte ve sonra tekrar yükselmektedir. Özgül yakıt tüketimi motor gücüne bağlı olarak değişmektedir. Şekil 7.2'ye bakıldığında, motor gücünün 2400-3000 devir bölgesinde maksimum olduğu görülmektedir. Bu aralıkta özgül yakıt tüketiminin en düşük değeri alması beklenen bir sonuçtur. Özgül yakıt tüketiminin minimum olduğu bölgenin dışına çıkıldığında, sürtünme kayıplarının artması, ısı kayıplarının yükselmesi ve yanma şartlarının kötüleşmesi gibi bir takım olumsuzluklar özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır.

Dizel motorlarında yanmayı etkileyen önemli faktörlerden biriside, yanma odasına püskürtülen yakıtın parçalanması, tane büyüklüğü ve dağılımıdır. Bu faktörler, yanma odası şekli, sıkıştırma sonu basıncı, yakıt püskürtme basıncı, enjektör memesi delik çapı, yakıt huzmesi şekli ve yakıt viskozitesine bağlı olarak değişmektedir. Şekil 7.4’de bakıldığında % 75 susam yağı kullanılan karışım yakıtta, diğer yakıt ve karışımlardan farklı bir eğilim olduğu görülmektedir. % 75 susam yağı karışımı kullanıldığı yakıt püskürtme basıncının artırılması halinde eğilim değiştiği ve diğer yakıt karışım türleri ile paralellik arz ettiği görülmektedir. Motorlarda konstrüktif faktörler yanında her yakıt türü için farklı bir püskürtme basıncı olmasının belirlenmesi sonucuna varılmıştır.

Tablo 7.4. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri.

Devir (dak ⁻¹)	Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)				
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)				
	0 / 100	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	333,18	313,7	377,1	371,8	384,7
2100	328	270,9	339,3	385,53	352,1
2400	313,3	262,8	335,9	423	376,3
2700	332	294,7	317,9	403,7	327,8
3000	402,5	300,9	411	-	433,9
3300	454,5	-	-	-	-



Şekil 7.4. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen özgül yakıt tüketimi eğrileri.

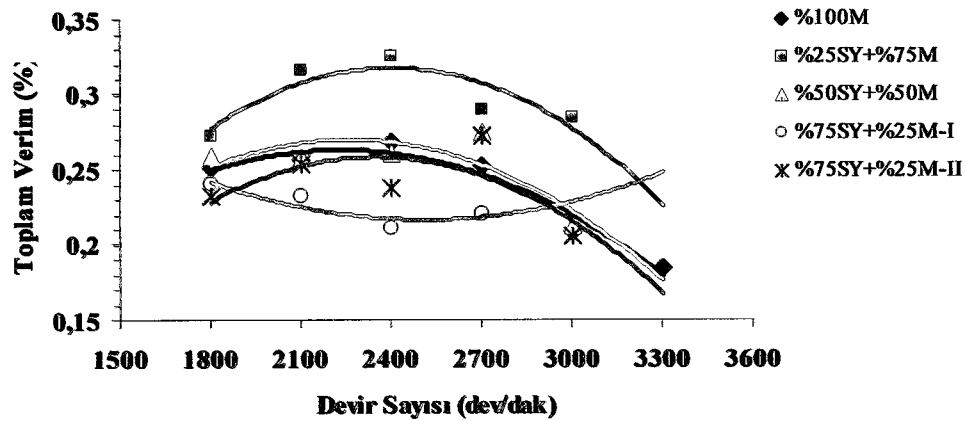
7.1.5. Toplam Verim

Motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarından elde edilen toplam verim değerleri şekil 7.5 ve tablo 7.5'te verilmiştir.

Toplam verim, yakıtların her biri için her devir sayısında hesaplanan özgül yakıt tüketimi ve yakıtın ısıl değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 7.5'te en yüksek verim değerlerine % 25 susam yağı karışımından, en düşük değerlerine de % 75 susam yağı karışımında elde edildiği görülmektedir. % 25 susam yağı karışımının özgül yakıt tüketiminin diğer yakıtlara göre düşük olması nedeniyle toplam verim değerleri yüksek çıkmıştır. Yakıt atomizasyonu ve karışımı iyi olmazsa, karışım ve yanma olayı genişleme strokunun geç safhalarına kadar devam edeceğinden verim düşer [1]. Şekil 7.5'te % 75 susam yağı karışımının verim değerlerinin düşük çıkması bu görüşü doğrulamaktadır. Susam yağının ısıl değerinin motorine göre düşük olması; yüksek yağ içeriğine sahip karışımlarda ısıl değerin daha fazla düşmesine ve toplam verim azalmasına neden olmuştur.

Tablo 7.5. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen toplam verim değerleri.

Devir (dak ⁻¹)	Toplam Verim (%)				
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)				
	0 / 100	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	0,251	0,273	0,259	0,240	0,232
2100	0,256	0,316	0,258	0,232	0,254
2400	0,268	0,326	0,260	0,211	0,238
2700	0,252	0,290	0,275	0,221	0,272
3000	0,208	0,285	0,213	-	0,206



Şekil 7.5. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen toplam verim eğrileri.

7.1.6. Egzoz Sıcaklığı

Motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarından elde edilen egzoz sıcaklığı değerleri tablo 7.6'da verilmiştir. Şekil 7.6'da da grafik olarak gösterilmiştir.

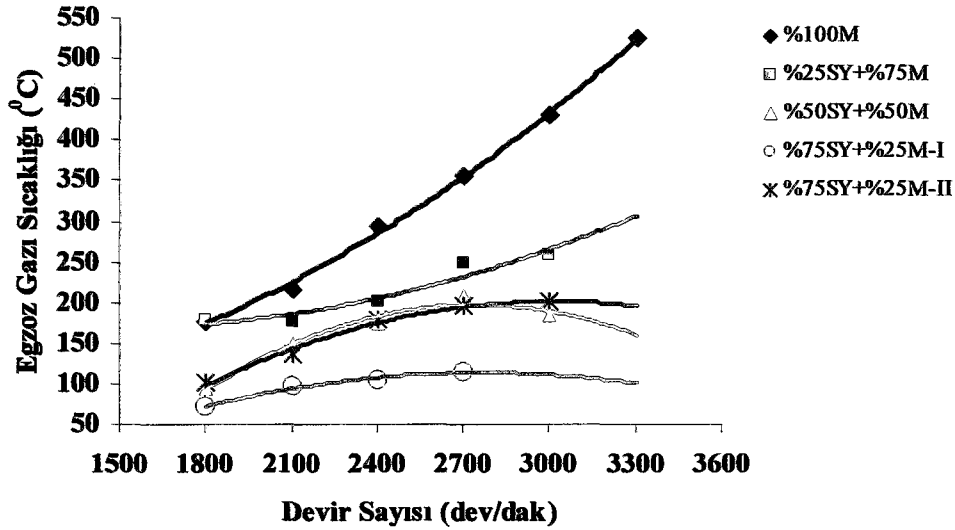
Tablo 7.6 incelendiğinde, karışım yakıtlarının egzoz sıcaklığı değerleri % 100 motorine göre düşük çıktığı ve karışımdaki susam yağı oranının artmasıyla bu düşüşün devam ettiği görülmektedir. Egzoz gazı sıcaklığı motorun tasarımı yanında yakıtın ısıl değeri, viskozitesi ve motor yükü gibi etkenler ile değişim göstermektedir. Yüksek viskoziteli yakıtlarda yakıt atomizasyonunun kötü olması tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına ve dolayısıyla yanmanın genişleme periyodunda da devam etmesine neden olmakta, ve böylelikle yanma sonu sıcaklığı da düşük olmaktadır. Deneylerde kullanılan yakıt türleri arasında viskozitesi en yüksek olan % 75 susam yağı karışımından aynı çalışma şartlarında düşük egzoz sıcaklığı değerlerinin elde edildiği şekil 7.6'da görülmekte ve bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir. Bunların yanında, alev yayılma hızının da egzoz sıcaklığı üzerindeki etkisi bilinmektedir. Alev hızı üzerinde yakıtın C ve H değerleri, bağları ve zincir yapısı etkilidir. Yakıtların C_X H_Y değerlerine göre aktiviteleri değişir. Susam yağının bölüm 3.1'de hesaplanan kimyasal formülü yaklaşık olarak $C_{56}H_{101.5}O_6$ 'dır. Susam yağının kimyasal formülüne bakıldığında, motorine göre yaklaşık beş kat fazla karbon içerdiği anlaşılmaktadır. Hidrojenin aktif, karbonun reaktif olduğu ve susam yağının yüksek karbon içermesinden dolayı, susam yağının yanmasında yanma hızının düşük olduğu ve sonuçta egzoz gazı sıcaklığının düşük çıkmasına neden olduğu söylenebilir.

Tablo 7.6. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen egzoz sıcaklığı değerleri.

Devir (dak ⁻¹)	Egzoz Sıcaklığı (°C)				
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)				
	0 / 100	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	177	180	95	72	101
2100	217	177	149	98	138
2400	294	201	175	105	179
2700	355	249	210	115	196
3000	430	259	185	-	201
3300	525	-	-	-	-

Isıl değeri susam yağına göre yüksek olan motorinin, yanma sırasında daha fazla enerji açığa çıkardığı ve egzozda da atılan enerji aynı oranda fazla olduğu ve bunun da egzoz gazı sıcaklığını artırdığı düşünülmektedir. Susam yağının motorine göre yüksek viskozitesi ve düşük ısıl

değerinden dolayı susam yağından düşük egzoz sıcaklığı değerleri elde edilmesi beklenen bir sonuçtur.



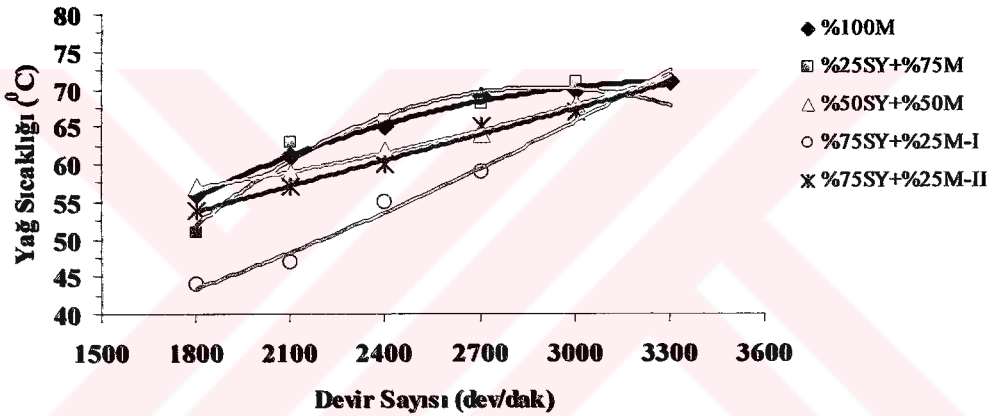
Şekil 7.6. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen egzoz sıcaklığı eğrileri.

7.1.7. Yağ Sıcaklığı

Motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarından elde edilen yağ sıcaklığı değerleri tablo 7.7'de verilmiştir. Motorlarda yağ kullanımı, hareketli motor parçalarının çalışırken birbirleri ile olan sürtünmeleri neticesinde doğacak olan aşınmaları önlemenin yanında motorun soğutulmasında kullanılmaktadır. Motor yağı, pistonların çalışması sırasında silindir yüzeyini yağlar. Yağlama sırasında o bölgedeki ısının bir kısmı yağa geçerek parçalar soğutulur ve sonuçta yağ sıcaklığı artar. Buna göre, yağ sıcaklığının silindir içerisinde yanma sonucunda açığa çıkan ısı miktarı ile değişim gösterdiği söylenebilir. Açığa çıkan ısı miktarı, kullanılan yakıtların ısı değeri ile alakalıdır. Susam yağının motorine göre düşük ısıl değerinden dolayı motorine göre daha az ısı açığa çıkarmakta ve dolayısıyla yağa geçen ısı miktarı da o oranda az olmaktadır. Şekil 7.7'de görüldüğü gibi karışım yakıtlarının yağ sıcaklığı değerlerinin % 100 motorin kullanımına göre düşük olması, % 100 motorine en yakın yağ sıcaklığı değerlerinin % 25 susam yağı karışımından elde edilmesi ve karışımlardaki susam yağı oranının artmasıyla yağ sıcaklığı değerlerinde düşüşlerin olması bu düşüncüyü desteklemektedir. Ayrıca, enjektör püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımı kullanılması halinde motor yağ sıcaklığının yükseldiği şekil 7.7'de görülmektedir. Bu sonuç, enjektör püskürtme basıncının artırılmasıyla %75 susam yağı karışımı yakıt olarak kullanıldığında daha iyi bir yanma sağlanmış ve dolayısıyla açığa çıkan ısı miktarı artmış, bu da yağ sıcaklığını artırmış şeklinde açıklanabilir.

Tablo 7.7. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen yağ sıcaklığı değerleri.

Devir (dak ⁻¹)	Yağ Sıcaklığı (°C)				
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)				
	0 / 100	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	56	51	57	44	54
2100	61	63	59	47	57
2400	65	66	62	55	60
2700	69	68	64	59	65
3000	70	71	68	-	67
3300	71	-	-	-	-



Şekil 7.7. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen yağ sıcaklığı eğrileri.

7.2. Egzoz Emisyonları

Motorin ve karışım yakıtlarının motorun devir sayısına bağlı olarak hava-yakıt oranı, azot oksit, karbon monoksit ve karbondioksit değerleri % 100 motorin ile karşılaştırmalı olarak grafikler ve tablolar halinde verilmiştir.

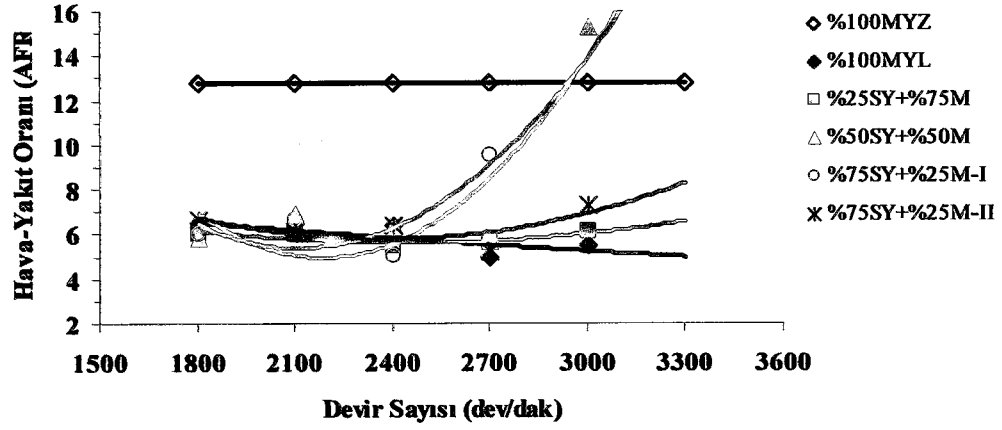
7.2.1. Hava - Yakıt Oranı (AFR)

Motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarındaki AFR değerlerinin devir sayısı ile değişim eğrileri şekil 7.8'de, değerlerde tablo 7.8'de verilmiştir. Tablo 7.8'e bakıldığında tüm yakıt türleri için hava-yakıt oranı % 100 motorin ile yüksüz çalışmaya göre düşük çıktığı ve yüksüz çalışmada AFR

değerlerinin sabit kaldığı görülmektedir. Yüklü olarak % 100 motorin kullanıldığında ise yüksüz kullanıma göre düşüş olduğu şekil 7.8’de görülmektedir. Yüksüz çalışmada stokiyometrik orana yakın karışım fakat yüklü durumda yük arttıkça yakıt miktarının artması buna karşılık bir takım nedenlerden dolayı yeterli hava alınamadığından karışım aşırı zengin olmakta ve AFR düşmektedir. Bu durumu şu şekilde açıklamak mümkün; yüklü durumda ölçüm alınacağı zaman bölüm 6.2’de anlatıldığı gibi, örneğin; 1800 devir için motor önce 2100 devirde çalıştırılmış sonra gaz ayarına dokunulmadan motor yüklenerek 1800 devire getirilmiş ve ölçümler öyle alınmış. Bu durumda, motora 2100 devirdeki gibi yakıt gönderilmekte fakat motor 1800 devirde çalıştığından bu devre göre vakum oluşmakta ve silindire alınan hava miktarı bu oranda olmaktadır. Bu durum, yüksüz kullanımda hava / yakıt oranı değerlerinin yüksek çıkmasını açıklayabilir. Karışım yakıtlarının yüksek viskozite ve parlama noktası gibi özelliklerinden dolayı karışımın iyi hazırlanamayışı, yakıtın yanması için daha fazla havaya ihtiyaç duyulmuştur ve motorinin özelliklerine göre ayarlanmış hava miktarı (dışardan bir müdahale olmadığından) karışım yakıtları için yeterli olmamıştır. Ayrıca; susam yağının bölüm 3 ve 6.1.2’de bahsedilen olumsuz yönlerinden dolayı yanma genişleme zamanında da devam ettiği söylenebilir. Yanmanın böyle uzun süre devam etmesi sonucunda yanma odasında kalan egzoz gazlarının silindir içindeki basıncı artırdığından vakum değerini düşürmüş ve emilen hava miktarının azalmasına neden olmuştur.

Tablo 7.8. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen hava-yakıt oranı değerleri.

Devir (dak ⁻¹)	Hava – Yakıt Oranı (AFR)					
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)					
	0/100-YZ	0/100-YL	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	-	6,50	6,05	5,90	6,05	6,65
2100	12,75	6,12	6,12	6,95	6,65	6,12
2400	12,75	6,37	5,46	6,37	5,06	6,37
2700	12,75	4,93	5,66	5,66	9,56	5,27
3000	12,75	5,48	6,12	15,30	-	7,28



Şekil 7.8. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen hava-yakıt oranlarını eğrileri.

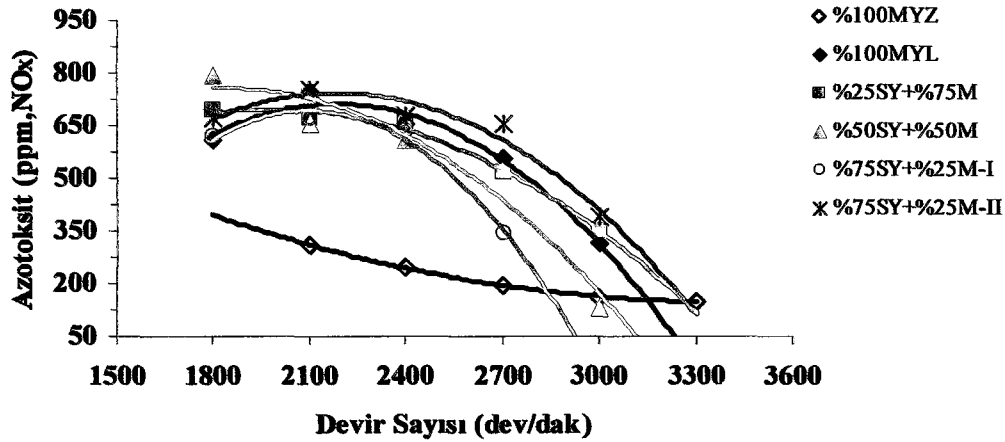
7.2.2. Azot oksit (NO_x)

Motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarındaki NO_x emisyonu değerlerinin devir sayısı ile değişim eğrileri şekil 7.9'da, değerlerde tablo 7.9'da verilmiştir. NO_x 'ler genellikle 1800 K üzerindeki yüksek sıcaklıklarda teşekkül etmektedir. Yanmalı sistemlerde atmosfere % 92-98 NO ve % 2-8 NO_2 olarak atılmaktadır. NO_x terimi NO ve NO_2 'nin atmosferdeki toplam konsantrasyonunu gösterir. Ekseri yanma olaylarında fazla hava kullanılır. Bu fazla havanın oksijeni aşırı sıcak ortamda azot ile reaksiyona girer. Bu bakımdan azot oksit emisyonlarını azaltmak için yanma olaylarında fazla havanın azaltılması gerekmektedir[2]. Tablo 7.9'a bakıldığında yapılan testlerde susam yağı - motorin karışımlarının NO_x emisyon değerleri % 100 motorine göre biraz düşük çıkmıştır. Tüm yakıt türleri için düşük devirlerde yüksek çıkan NO_x emisyonları devir sayının ve yükün artışıyla düşüş olduğu şekil 7.9'da görülmektedir. Bitkisel yağların yüksek viskozitelerinden dolayı iri zerrelili püskürmeleri sonucunda tutuşma gecikmesi periyodunun uzaması ile çevrimde maksimum basınç ve sıcaklığın düşük olması nedeniyle NO_x emisyonlarının düşük çıktığı Yücesu ve diğ. [11] tarafından belirtilmektedir. Ancak; şekil 7.6'ya bakıldığında egzoz sıcaklığının artan devir sayısı ve yük ile arttığı görülmektedir. Bu; devir sayısı ve yük artışı sonucu yanma odası sıcaklığının da yükseldiği anlamına gelmektedir. Bu anlamda devir sayısı ve yük artışı ile NO_x oluşumunun artması beklenir. Ancak şekil 7.9'un bu beklentiye uygun olmadığı görülmektedir. Buradan NO_x oluşumunun sadece sıcaklığa bağlı olmadığı anlaşılmaktadır. Bu durumda NO_x 'lerin oluşumunda sıcaklığın yanında hava / yakıt oranının da önemli bir rolü olduğu unutulmamalıdır. Şekil 7.8'e bakıldığında, AFR değerlerinin düşük çıktığı ve bununla NO_x emisyonlarının düşük çıkmasına neden olduğu söylenebilir.

Ayrıca; şekil 7.6'da egzoz sıcaklığı değerlerinin yüksek devirlerde arttığı ve yanma süresinin yüksek devirlerde kısaldığı göz önüne alındığında, yakıt ve havanın yüksek sıcaklıkta kalma sürelerinin kısaldığı düşünülmektedir. Bu durum; yüksek devirlerde düşük NO_x emisyonları elde edilmesini açıklamaktadır. % 100 motorin ile yüksüz çalışmada yüklü çalışmaya göre çok düşük NO_x değerleri elde edildiği şekil 7.9'da görülmektedir. Yakıt türleri arasında yüklü çalışmalarda en düşük NO_x emisyonları % 50 susam yağı karışımından elde edilmiştir. Püskürtme basıncı artırılarak tekrar kullanılan % 75 susam yağı karışımından elde edilen NO_x emisyonları normal basınçta kullanılmış % 75 susam yağı karışımına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum; İlkılıç ve Öner [28]'in, yanmanın iyileştiği durumlarda sıcaklık yükseldiğinden, buna bağlı olarak da oksijenin moleküllerinin ayrılması ile beraber NO_x oluşum hızının arttığı, görüşüne uygun gelmektedir. Diğer araştırmacılar da [6, 9, 16, 21, 28] bitkisel yağlardan motorine göre daha düşük NO_x emisyonları elde ettiklerini belirtmişler ve susam yağı karışımlarından elde edilen sonuçlar desteklenmektedir.

Tablo 7.9. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen azot oksit değerleri.

Devir (dak ⁻¹)	Azot oksit (ppm, NO _x)					
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)					
	0/100-YZ	0/100-YL	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	-	612	696	795	619	671
2100	309	747	672	658	671	756
2400	246	653	659	608	631	676
2700	195	555	518	527	344	653
3000	160	315	350	130	-	391



Şekil 7.9. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen azot oksit (NO_x) eğrileri.

7.2.3. Karbon monoksit (CO)

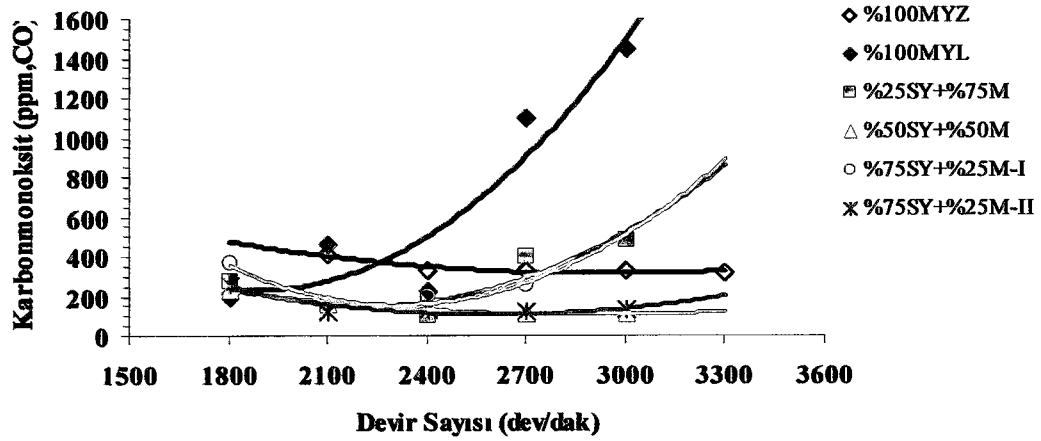
Motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarındaki CO emisyonu değerlerinin devir sayısı ile değişim eğrileri şekil 7.10'da verilmiştir. Elde edilen CO değerleri de tablo 7.10'da verilmiştir.

Karbon monoksit (CO) emisyonları içten yanmalı motorlarda bir çok parametreye bağlı olmakla beraber, hava / yakıt oranı ile değişim gösteren bir egzoz emisyonu ürünüdür. Yanma işlemi sırasında yakıtın tam yanmamasından kaynaklanır. Gaz sıcaklığının düşük olması, yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂ 'ye dönüşüm süresinin kısa olmasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırır. Motorlarda yanma reaksiyonlarının hızı; yanma odası içeriğinin enerji seviyesi, dolgu yoğunluğu ve yanma odası içeriğindeki egzotermik reaksiyon oluşturan molekül çarpışmalarının sıklığına bağlı olarak değişmektedir. Dizel motorlarında karışımın oluşum süresi ve tutuşma gecikmesi daha uzun sürdüğünü İlkılıç ve Öner belirtmişlerdir [28]. Şekil 7.10'da püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımının normal basınçta kullanılmış % 75 susam yağı karışımına göre daha düşük CO değerleri vermiştir. Susam yağının yüksek viskozitesinden dolayı enjektörden püskürürken daha iri zerrelili olarak püskürdüğü ve sonuçta buharlaşma ve yanma süresi uzattığı ve bununla, yanmanın genişleme periyodunda da devam etmesine ve sonuçta daha fazla yakıtın yanmasına neden olduğu düşünülmektedir. Püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımından normal basınçtakine göre daha düşük CO elde edilmesi yukarıdaki görüşü desteklemektedir. Şekil 7.10'a bakıldığında, % 100 motorin ile % 25 ve % 75-II susam yağı karışımlarında devir sayısı ve yük artışı ile CO emisyonlarının arttığı görülmektedir. Aynı yakıtlar için şekil 7.8'de AFR değerlerine bakıldığında, devir sayısı ve yük artışı ile AFR değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu da oksijen miktarını azalttığından CO oluşumunu artırmıştır. Hava / yakıt oranının yüksek olduğu durumlarda dönüşüm daha hızlı gerçekleşmekte ve CO emisyonları düşmektedir.

Tablo 7.10. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen karbon monoksit değerleri.

Devir (dak ⁻¹)	Karbon monoksit (ppm, CO)					
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)					
	0/100-YZ	0/100-YL	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	410	195	272	235	368	257
2100	330	461	154	162	161	121
2400	327	226	104	145	194	135
2700	324	1096	396	108	260	128
3000	322	1450	487	109	-	129

Sonuç olarak; motorin ile karışım yakıtları karşılaştırıldığında CO miktarı karışım yakıtlarda düşük çıkmaktadır.



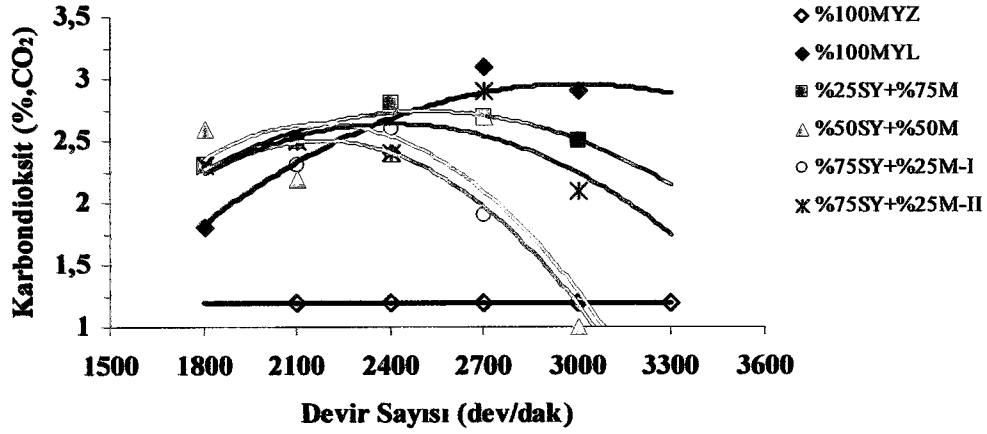
Şekil 7.10. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen karbon monoksit [CO] eğrileri.

7.2.4. Karbondioksit (CO₂)

Motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50, % 75 oranındaki karışımlarının yakıt olarak kullanımlarındaki CO₂ emisyonu değerlerinin devir sayısı ile değişim eğrileri şekil 7.11 ve tablo 7.11’de verilmiştir. Tüm yakıt türleri için CO₂ miktarı düşük çıkmıştır. Hava / yakıt oranının küçük değerlerinde CO emisyonu max seviyede olmakta ve CO₂ miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Motorin ile yüksüz çalışmada elde edilen CO₂ emisyonu değerleri motorin ve karışım yakıtlarından daha düşük olmuştur. Şekil 7.10’da % 100 motorin ile yüksüz çalışmada CO emisyonlarının karışım yakıtlarına göre yüksek olduğu görülmektedir. Buna karşın şekil 7.11’de CO₂ emisyonlarının da çok düşük çıktığı görülmektedir. Bu durum, motorin ile yüksüz çalışmada oluşan CO₂’lerin büyük bir kısmının parçalanarak CO ve O’ya ayrıştığı düşüncesi ile açıklanabilir.

Tablo 7.11. Motorin ve karışım yakıtlarından elde edilen karbondioksit değerleri.

Devir (dak ⁻¹)	Karbondioksit (% CO ₂)					
	Karışım Oranı (% Susam Yağı / % Motorin)					
	0/100-YZ	0/100-YL	25 / 75	50 / 50	75-I / 25	75-II / 25
1800	-	1,8	2,3	2,6	2,3	2,3
2100	1,2	2,5	2,5	2,2	2,3	2,5
2400	1,2	2,4	2,8	2,4	2,6	2,4
2700	1,2	3,1	2,7	2,7	1,9	2,9
3000	1,2	2,9	2,5	1,0	-	2,1



Şekil 7.11. Motorin ve susam yağı - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımından elde edilen karbondioksit [CO_2] eğrileri.

7.3. Motor Parçalarının Durumu

Dizel motorlarında hem yakıt cinsinden hem de karışım şeklinden isin doğmasına yol açan etkenler fazladır. Isı teşekkülüne, oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısı parçalanması şeklinde bakılabilir. Hidrojenleri ayrılan karbonca zengin büyük moleküller birleşmekte ve bu birleşmeler fazlalaştıkça is zerrecikleri tezahür etmektedir. Bu is zerrecikleri hava ile yeterli bir zaman ve sıcaklık içinde temasa geçebilirlerse yanabilmektedirler [2].

Motor söküldüğünde, supapların tabla ile sap kısmının birleştiği yerde, özellikle egzoz supabın da anormal derecede is ve kurum olduğu görülmüştür. Reçineleşmiş olan bu kurum supaba yapıştığından kazınması ve temizlenmesi oldukça zordur. Piston, yanma odası ve segman yuvalarında da normalden fazla is ve kurum olduğu görülmüştür. Bu durum; Yücel' in [14], "bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında, yanma odası, piston, supap ve enjektörde karbon kalıntısı oluştuğunu ve motorin ile çalışmada meydana gelen yanma odası, piston, supap ve enjektör kalıntıları kolay temizlenebildiği halde bitkisel yağ karışımları ile çalışmada oluşan kalıntıların güçlülükle (kazımak suretiyle) temizlenebildiği" bulgusu susam yağı ile elde ettiğimiz sonuçları desteklemektedir. Susam yağının yüksek viskozitesinden dolayı atomizasyon sırasında yakıt zerreciklerinin büyüklüğüne bağlı olarak yanmanın kötüleşmesinden ve yüksek karbon içermesinden dolayı yakıt olarak kullanıldığında motorine göre motor elemanlarında daha fazla is ve kurum oluşması beklenen bir sonuçtur. Motorun motorine göre tasarlanmış olması, motorun çalışması esnasında silindire emilen hava miktarı motorinin özelliklerine göre ayarlanmıştır. Bu nedenle, yeni bir yakıt kullanıldığında tam yanmayı oluşturabilmek için gerekli olan hava miktarının da belirlenmesi gerekir [20]. Motorda aynı hava debisinin kullanılması nedeniyle, karışım yakıtlarının yanması da farklı olmaktadır. Dizel motorlarında

karışımın heterojen olması her iki karışım içindeki karbon atomlarının farklı şekilde yanmalarına ve burada parçalanmalarına neden olmaktadır. Bununda oluşan kurum ve is miktarının artmasına neden olduğu söylenebilir.

Dizel motorlarının bitkisel yağlar ile çalıştırılması halinde motor elemanlarında oluşan tortuların miktarına bağlı olarak supap ve segman yapışması, kırılması, enjektör meme delik çapında daralma, püskürtme ve atomizasyon bozuklukları görülebilir. Bu arıza ve deformasyonlar çok uzun süren çalışma sonucunda ortaya çıkmaktadır. Nitekim, Yücel, pamuk yağını yakıt olarak kullandığı bir dizel motoru için, 100 saatlik çalışma sonucunda segman yapışmasına ve kırılmasına rastlanmadığını belirtmiştir [14]. Susam yağı ile yapılan çalışmalar sonucu motor elemanları üzerindeki etkileri, diğer bitkisel yağlar ile çalışmış araştırmacılar [6, 10, 12, 14, 17] tarafından da desteklenmektedir.



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, susam yağı motorine belirli oranlarda katılarak bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Susam yağı ve motorin karışımlarının yakıt olarak dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin belirlenmesi amacıyla değişik motor hızlarında test edilmiştir. Testler sonucunda;

1- Karışım yakıtlarının motor momenti değerleri % 100 motorin değerlerinden genel olarak düşük çıkmıştır. Bu; motorinin ısıl değerinin susam yağına göre yüksek olmasının doğal bir sonucudur. Ayrıca, motorinin parlama noktasının ve viskozitesinin susam yağına göre çok düşük olması nedeniyle yanmanın ve yanma hızının daha yüksek olmasına bağlanabilir. % 100 motorine en yakın moment değerlerine % 50 ve püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımları kullanıldığında ulaşılmıştır. Bu sonuçlar farklı bitkisel yağlar ile çalışmış diğer araştırmacılar tarafından [6, 10, 13, 15, 21, 25] desteklenmektedir.

2 - Karışım yakıtlarının güç değerleri % 100 motorine göre biraz düşük çıkmıştır. Düşük devirlerde % 50 ve püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımı güç değerleri % 100 motorine yakın çıkmıştır. Karışım yakıtlarının % 100 motorine göre düşük moment ve güç değerleri vermelerine ısıl değerlerinin motorine göre düşük olması ve yüksek viskoziteden kaynaklanan yakıt atomizasyonunun, dolayısıyla yanmanın kötüleşmesi neden olarak gösterilebilir. Susam yağı ile yapılan çalışmalardan elde edilen bu sonuçlar, farklı bitkisel yağlar ile çalışmış diğer araştırmacılar [6, 9, 17] tarafından da desteklenmektedir.

3 - % 25 susam yağı karışımının yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi değerleri motorin ve diğer karışım yakıtlara göre daha düşük çıkmıştır. % 50 ve püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımı özgül yakıt tüketimi değerleri yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlar, farklı bitkisel yağlar ile çalışmış araştırmacılar tarafından da [6, 13, 15, 16, 17, 20] desteklenmektedir.

4 - % 25 susam yağı karışımından % 100 motorin ve diğer karışım yakıtlarından yüksek verim değerleri elde edilmiştir. % 25 susam yağı karışımından diğerlerine göre daha düşük özgül yakıt tüketimi elde edildiğinden toplam verim değerleri yüksek çıkmıştır.

5- Karışım yakıtlarından % 100 motorine göre düşük egzoz sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Egzoz sıcaklığı değerleri devir sayısı ve yük artışı ile artış göstermiştir.

6- Karışım yakıtlarının yağ sıcaklığı değerleri % 100 motorin göre biraz düşük çıkmış, en düşük yağ sıcaklığı değerleri % 75 susam yağı karışımında görülmüştür.

7- En yüksek AFR değerleri % 100 motorin ile yüksüz çalışmada elde edilmiş ve AFR değerleri sabit kalmıştır. Yüklü çalışmalarda, tüm yakıt türleri için hava / yakıt oranı değerleri düşük çıkmıştır.

8- Karışım yakıtlarından % 100 motorin ile yüksüz ve yüklü çalışmalara göre düşük CO emisyonu değerleri elde edilmiştir. Yapılan testlerde NO_x emisyonlarında susam yağı ve motorin karışımlarının değerleri % 100 motorine göre biraz düşük çıkmıştır. Düşük devirlerde yüksek çıkan NO_x emisyonları devir sayının artışıyla düşmeler göstermiştir. Tüm yakıt türleri arasında en düşük NO_x emisyonları % 50 susam yağı karışımından elde edilmiştir. Diğer araştırmacılar da [6, 9, 16, 21, 28] bitkisel yağlardan motorine göre daha düşük NO_x emisyonları elde ettiklerini belirtmişler ve susam yağı karışımlarından elde edilen sonuçlar desteklenmektedir. Her dört yakıt için CO₂ emisyonu değerleri düşük çıkmıştır. Motorin ile yüksüz çalışmada elde edilen CO₂ emisyonu değerleri % 100 motorin ve karışım yakıtlarından çok daha düşük çıkmıştır.

9- Motor söküldüğünde, supapların tabla ile sap kısmının birleştiği yerde, özellikle egzoz supabın da anormal derecede is ve kurum olduğu görülmüştür. Reçineleşmiş olan bu kurum supaba yapıştığından kazınması ve temizlenmesi oldukça zordur. Piston, yanma odası ve segman yuvalarında da normalden fazla is ve kurum oluştuğu görülmüştür. Susam yağının yüksek viskozitesinden dolayı atomizasyon sırasında yakıt zerreciklerinin büyüklüğüne bağlı olarak yanmanın kötüleşmesinden ve yüksek karbon içermesinden dolayı susam yağı yakıt olarak kullanıldığında motorine göre motor elemanlarında daha fazla is ve kurum oluşması beklenen bir sonuçtur. Bu sonuç, farklı bitkisel yağlar ile çalışmış diğer araştırmacılar [6, 12, 14, 17, 20] tarafından desteklenmektedir.

Öneriler

Araştırma sonuçları, susam yağının motorin ile karışımlarının dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak, motorin ile çalışmaya göre tasarlanmış mevcut dizel motorlarda susam yağının yakıt olarak kullanımı sırasında susam yağının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle susam yağının bazı yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. İlk karşılaşılan sorun olarak motorine göre çok yüksek olan viskozite gelmektedir. Isıl ve kimyasal yöntemler kullanılarak susam yağının viskozitesi düşürülebilmektedir. Bunların içinde susam yağına belirli oranlarda motorin katılması yani “inceltme” yöntemi tercih edilmiştir. Bunların dışında motor ayarlarında yapılacak küçük değişikliklerle bu sorunlar kısmen ortadan kaldırılabilir. Bu çalışmada da; % 75 susam yağı karışımının viskozitesinin yüksek olmasından dolayı yapılan testlerde motorin çalışma zorluğu çektiği görülmüştür. Bunun üzerine enjektörün püskürtme basıncı artırılmıştır. Enjektör püskürtme basıncı artırılmış % 75 susam yağı karışımının normal basınçtaki % 75’lik karışıma göre daha iyi değerler verdiği bölüm 7’de açıklanmıştır. Yüksek yağ içeriğine sahip

karışımlarda enjektör basıncının artırılması yani; yakıtın aynı çaptaki enjektör deliğinden daha yüksek basınçla püskürtülmesi, pülverizasyon taneciklerini küçülttüğünden ve dolayısıyla viskozite yüksekliğinin sebep olduğu kötü püskürtme karakteristiklerini kısmen iyileştirdiğinden yapılacak çalışmalarda motorun standart püskürtme basıncının artırılarak susam yağının yakıt olarak kullanılması performans ve emisyon değerlerini iyileştireceği söylenebilir. Ayrıca; susam yağının denenen oranlarından alınan sonuçlara dayanarak, farklı enjektör basıncı ve farklı yağ konsantrasyonu için, örnek olarak; % 60 susam yağı + % 40 motorin ve % 80 susam yağı + % 20 motorin karışımları için çalışmalar yapılabilir.

Motorlarda konstrüktif faktörler yanında her yakıt türü için farklı bir püskürtme basıncı olmasının belirlenmesi sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak; susam yağının pahalı olması, mevcut motorların tasarımı ve susam yağının fiziksel özellikleri dikkate alındığında kısa vadede susam yağının dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabileceği görülmemektedir.



KAYNAKLAR

1. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen A., 1995, İçten Yanmalı Motorlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, Ankara, 513s.
2. Borat, O., Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Yayın No.107.
3. Çetinkaya, S., 1989, Yakıtlar ve Yanma, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara.
4. Küçükşahin, F., 1990, Dizel Motorları, Beta Basım Yayın Dağıtım, Yayın No: 241.
5. Altın, R., 1998, Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 219s.
6. Ulusoy, Y., 1999, Ayçiçeği, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 119s.
7. Georing, C.E., Schwab, B., Daught, M.J., Pryde, E.H., Heakin, A.J., 1982, Fuel Properties Of Eleven Vegetable Oils, American Society of Agricultural Engineers 0001-2351/82/2506-1472\$02.00, Transactions of American Society of Automotive Engineers.
8. Barsic, N.J., Humke, A.L., 1982, Performance and Emissions Characteristics of a Naturally Aspirated Diesel Engine with Vegetable Oil Fuels, 736X/82/9002, Society of Automotive Engineers, 810262.
9. Barsic, N.J., Humke, A.L., 1982, Performance and Emissions Characteristics of a Naturally Aspirated Diesel Engine with Vegetable Oil Fuels - (Part II), 0096-736X/82/9003, Society of Automotive Engineers, 810955.
10. He, Y., Bao, Y.D., 2002, Study On Rapeseed Oil As Alternative Fuel For A Single-Cylinder Diesel Engine, Renewable Energy 28 (2003), 1447-1453p.
11. Yücesu, H.S., Altın, R., Çetinkaya, S., 1999, Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi, Turkish J. Engin Environ Sci. 25 (2001), TÜBİTAK, 39-49s.
12. İlkılıç, C., Bayındır, H., Öner, C., 1997, Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Ayçiçek Yağının Kullanılması, Otomotiv Teknolojisi Bilim Haftası'97, 26-30 Mayıs 1997, Çukurova Üniversitesi, ADANA.
13. Aydın, A., Keskin, A., (2000), Dizel Motorlarda Motorin, Bitkisel Yağlar ve Alkol Karışımlarının Performans ve Emisyona Etkilerinin Araştırılması, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü V. Ulusal Sempozyumu, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elazığ.

14. Yücel, H.L., 2002, Pamuk Yağı – Motorin Karışımlarının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak Kullanılması, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 16-18 Ekim 2002.
15. İlkılıç, C., Yücesu, H.S., 2002, Pamuk Yağı Metil Esteri ile Dizel Yakıtı Karışımının Bir Dizel Motoru Performansına Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(1), s199-205.
16. Altın, R., 1999, Ham Soya Yağı ve Soya Metil Ester Yakıtlarının Dizel Motorunda Sabit Devirlerde Kullanılarak Motor Performans ve Emisyon Değerlerinin Belirlenmesi, Zonguldak Üniversitesi, Teknoloji Dergisi, Yıl 2, Sayı 3-4.
17. Alibaş, A., Eyüboğlu, V., Kayık, S., 1993, Bitkisel Yağların Motor Yakıtı Olarak Kullanılabilme Olanakları, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt: 34, Sayı : 398,19-27s.
18. Pichinger, G.H., Siekman, R.W., Falkon A.M., Faco, G.A.B., 1982, Methylesters of Vegetable Oils as Alternative Fuels in Volkswagen's DI and IDI Diesel Engine Powered Vehicles. Paper presented at XIX International FISITA Congress, Melbourne, Australia.
19. Özaktaş, T., Dizel Motorlarında Dört Çeşit Bitkisel Yağ Kullanılması, Mühendis Ve Makine, Cilt:39, Sayı:465.
20. Demirsoy, M., Kındıroğlu, K., 1997, Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Değişik Yağların Kullanılması, Otomotiv Teknolojisi Bilim Haftası'97, 26-30 Mayıs 1997, Çukurova Üniversitesi, ADANA.
21. Altın, R., 1998, Dizel Motorlarında Ham Ayçiçek Yağının Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, Zonguldak Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi, Yıl 1, Sayı 2.
22. Üner, D.Ö., Akay, G., Erişmiş, B., 2000, Motorlu Kara Taşıtları Üzerinde Yapılan Egzoz Emisyon Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü V. Ulusal Sempozyumu, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elazığ.
23. Haşimoğlu, C., İcingür, Y., Ögüt, H., 2000, Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi, Turkish J. Engin Environ Sci. 26 (2002), TÜBİTAK, 127-135s.
24. Balcı, M., 1995, Motorlu Taşıtlarda Kirlletici Denetimi, IV. Yanma Sempozyumu 19-21 Temmuz 1995, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uludağ Üniversitesi, Kirazlı yayla, Bursa.
25. Karabektaş, M., Saraç, H.İ., 2002, Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biodizel Yakıtının Deneysel Olarak İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6. Cilt, 2. Sayı.

26. Ryan, T.W., Callahan, T.J., and Dodge, L.G., 1982, Characterization of vegetable oils for use as fuels in diesel engines, Vegetable Oils Fuels Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, American Society of Automotive Engineers.
27. Blumberg, P.N., Ford, E.F., 1982, Performance and durability of a turbucharged diesel fueled with cotton seed oil bioncs, Vegetable Oils Fuels Proceedings Of The International Conference On Plant And Vegetable Oils As Fuels, American Society of Automotive Engineers. August 82.
28. İlkılıç, C., Öner, C., 2003, Bir Dizel Motorunda Ayçiçek Yağı Metil Esteri İle Motorin Karışı Kullanarak Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(4), s579-588.
29. Doğan, A., Tekin, A., 1991, Yağların Fiziksel Özellikleri, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Seminer Notu, Ankara.
30. www.tupras.com.tr, Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi İnternet Web Sitesi.
31. www.gap.gov.tr , Güney Doğu Anadolu Projesi İnternet Web Sitesi, GAP İl İstatistikleri 1950-1998, Tarımsal Yapı (Üretim, Fiyat, Değer) 1999-2000, Devlet İstatistik Enstitüsü.
32. www.egenet.com.tr, Susam Tarımı ve Sorunları, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü İnternet Web Sitesi.
33. www.tb-yayın.gov.tr, Türkiye Cumhuriyeti Tarım Bakanlığı İnternet Web Sitesi, Gap Tarım Broşürleri, Yağlı Tohumlar / Susam.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Batman'da doğdu. İlk ve Orta ve Lise öğrenimini sırayla, Batman Ziya Gökalp ilköğretim okulu, Atatürk ilköğretim okulu ve Batman Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi motor bölümünde tamamladı. 1998 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünü kazandı. Buradan 2002 yılında mezun olup aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim dalında lisansüstü eğitime başladı. 2002 – 2003 ve 2003 – 2004 eğitim – öğretim yılları arasında Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim dalında ders ücretli olarak öğretim görevliliği yaptı.

