**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# KANOLA YAĞININ DIESEL MOTORUNUN PERFORMANSINA VE EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

**Bahar ALPGİRAY**

**TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

**ANKARA**
**2006**

**Her hakkı saklıdır**

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KANOLA YAĞININ DIESEL MOTORUNUN PERFORMANSINA VE EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Bahar ALPGİRAY

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Recai GÜRHAN

Bu araştırmanın amacı, yakıt olarak kullanılan kanola yağının tek silindirli bir dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, direkt püskürtmeli, 5,5 kW anma gücünde 4 zamanlı bir dizel motor kullanılmıştır. Araştırmada çalışmalar iki ana bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde kanola yağı dizel yakıtına hacimsel olarak % 20, 40, 60, 80 oranlarında karıştırılarak seyreltilmiş, daha sonra emisyon ve motor denemeleri yapılmıştır. İkinci bölümde ise, yeniden esterleme yöntemi (transesterifikasyon) ile kanola yağı metil esteri elde edilmiş, emisyon ve motor denemeleri gerçekleştirilmiştir. Denemelerde devir sayılarına bağlı olarak, dönme momenti, emisyon değerleri ve yakıt tüketim değerleri ölçülmüştür. Saatlik ve özgül yakıt tüketimleri, güç değerleri hesaplama yoluyla elde edilmiştir. Kanola yağı kullanımı ile motor momenti ve gücünde dizel yakıtına kıyasla az da olsa düşüşlerin meydana geldiği, yağ asidi metil esteri kullanımı ile moment ve gücün ham kanola yağlarına oranla daha yüksek olduğu ve dizel yakıtına daha yakın olduğu belirlenmiştir. Yeniden esterleme yönteminin kanola yağına uygulanması sonucu bitkisel yağların viskozitelerinin azaldığı, ısıl değerlerinde bir miktar artış olduğu ve özgül ağırlıklarının azaldığı belirlenmiştir. Bu özellikleri ile kanola yağı metil esteri dizel yakıtına daha yakın özellikler göstermiştir. Kanola yağı ile yapılan testlerde duman koyuluğunun dizel yakıtına oranla daha yüksek olduğu, fakat yağ asidi metil esterinin kullanımı ile duman yoğunluğunun seyreltme yöntemi ile elde edilen yakıtlara oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Karışımlı ve metil ester yakıtların $CO_2$ ve CO değerlerinin dizel yakıtından daha düşük çıktığı, karışımların içerisine katılan yağ oranına bağlı olarak egzoz gazı içerisinde bulunan $O_2$ miktarının fazla olmamakla beraber bir miktar arttığı gözlenmiştir. Sonuç olarak kanola yağı metil esterinin dizel yakıtına daha yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür.

**2006, 74 sayfa**
**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Kanola yağı, Motor performansı, Seyreltme, Yeniden Esterleme, Emisyon

## ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF EFFECTS A DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EMISSION CHARACTERISTICS OF CANOLA OIL

Bahar ALPGİRAY

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agriculture Machines

Supervisor: Prof. Dr. Recai GÜRHAN

The aim of this research is to determine the effects of a diesel engine performance and emission characteristics of canola oil in one cylinder diesel engine. For this purpose, a diesel engine of a rated power 5,5 kW, having direct injection and 4 stroke cycle, were used. Studies are based on two main parts in this researh. In the first part, canola oil is blended to diesel fuel % 20, 40, 60 , 80 % by volume than emission and engine tests were done. In the second part, canola oil methyl ester is produced by transesterification method and used in emission and engine test. During the tests, torque, emission values and fuel consumption were measured with respect to the engine speed. The consumption of fuel specific and hourly are determined by calculation method. Compared with diesel fuel the values of engine moment and power increased a little bit when canola oil methyl ester was used. The values of engine moment and power were higher that canola oil, the viscosity and density values of oil are decrased while flame values increased and canola oil shows similar properties with diesel fuel. Tests with canola oil showed that the colour of smoke was dark. However, smoke density gets smaller values when oil acid methyl ester was used instead of smoke blended fuel. It was observed that $CO_2$ and CO values of fuels with methyl ester is lower that diesel fuel.
Due to the amount of oil in mixture there is a little increase on $O_2$ amount in the exhaust gas. As a result, canola oil methyl esters have very close performance values of diesel fuels.



**2006, 74 pages**
**Key Words:** Biodiesel, Canola oil, Engine performance, Blend, Transesterification, Emission

# ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyadaki fosil enerji kaynakları, rezervlerinin sınırlı olması, atmosferi etkileyen çevre problemlerine neden olmaları ve ülkelere eşit payda dağılamamaları nedeniyle sürdürülebilir bir enerji sistemi ve sürdürülebilir bir gelecek sunmamaktadır.
Ardı ardına yaşanan petrol krizleri insanlığı, enerji gereksiniminin karşılanmasında fosil yakıtlara alternatif olabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Fosil yakıtların çevreye verdiği geri dönüşümsüz zararlar ve artan çevre koruma bilinci ile yenilenebilir enerji kaynakları arayışları artmış ve kullanım paylarının arttrılmasına yönelik çalışmalar hızlanmıştır. Biyodizel, çevre dostu olması ve yerli üretimi sözkonusu olabilmesi nedeni ile bu çalışmalar arasında en önemlilerindendir.

Bu denli güncel ve değerli bir konuda bana çalışma olanağı sağlayan ve çalışmalarımın her aşamasında benden ilgisini ve desteğini gerçekten hiç esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Recai GÜRHAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Biyodizel konusunda çalışma yapmam için beni teşvik eden, araştırmamın yapılması boyunca birlikte çalıştığımız Sayın Araş. Gör. A. Konuralp ELİÇİN' e teşekkürü bir borç bilirim.

Sayın Dr. Ersin VULKAN' a araştırma ve yazım sürecimde benimle pozitif fikirlerini paylaştığı için teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma süreci döneminde tecrübesi ve kimya bilgisi ile büyük desteğini gördüğüm Kimya Mühendisi Kd. Alb. A. Cengiz ALPGİRAY' a, annem Sayın Yaprak ALPGİRAY' a ve kardeşim Sayın Burcu ALPGİRAY'a çok teşekkür ederim.

Son olarak araştırmamın içerisinde adı geçen, yayınladıkları makaleleriyle beni aydınlatan tüm hocalarıma saygılarımı ve şükranlarımı sunarım.

Bahar ALPGİRAY
Ankara, Haziran 2006

# İÇİNDEKİLER

**ÖZET**.....i
**ABSTRACT**.....ii
**ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**.....iii
**ŞEKİLLER DİZİNİ**.....vi
**ÇİZELGELER DİZİNİ**.....viii
**1. GİRİŞ**.....1
**1.1 Türkiye'nin Bitkisel Yağ Potansiyeli**.....3
**1.2 Türkiye'nin Ekilebilir Arazi Potansiyeli**.....4
**1.3 Biyodizelin İlk Kullanımı ve Tarihsel Gelişimi**.....5
**1.4 Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri**.....8
**1.5 Biyodizelin Çevresel Özellikleri**.....13
**1.6 Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri**.....16
**1.6.1 Transesterifikasyon (yeniden esterleme)**.....16
**1.6.2 Seyreltme yöntemi**.....17
**1.6.3 Mikroemülsiyon yöntemi**.....18
**1.6.4 Piroliz yöntemi**.....19
**1.6.5 Süperkritik yöntem**.....19
**1.7 Kanolanın Dünyada ve Türkiye' deki Yeri ve Önemi**.....19
**2. KAYNAK ÖZETLERİ**.....22
**3. MATERYAL VE YÖNTEM**.....29
**3.1 Materyal**.....29
**3.1.1 Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar**.....30
**3.1.1.1 Motor test ünitesi**.....30
**3.1.1.2 Yakıt tüketimi ölçüm düzeni**.....32
**3.1.1.3 Duman yoğunluğu ölçüm cihazı**.....33
**3.1.1.4 Gaz analiz cihazı**.....34
**3.1.1.5 Terazi**.....35
**3.1.2 Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler**.....36
**3.1.3 Biyodizel üretim düzeneği**.....36
**3.1.4 Kanola yağı biyodizelinin yakıt özellikleri**.....37

**3.2. Yöntem** ..... 38
**3.2.1 Kanola yağından biyodizel üretilmesi** ..... 39
**3.2.2 Yağ karışımlarının ve elde edilen metil esterin viskozitelerinin incelenmesi** ..... 42
**3.2.3 Yağ karışımlarının ve elde edilen metil esterin yoğunluklarının incelenmesi** ..... 43
**3.2.4 Motor denemeleri** ..... 43
**3.2.5 Deneysel verilerin hesaplanması** ..... 46
**4. BULGULAR VE TARTIŞMA** ..... 49
**4.1 Motor Performansı Deneme Sonuçları** ..... 50
**4.1.1 Moment değişimleri** ..... 50
**4.1.2 Güç değişimleri** ..... 51
**4.1.3 Saatlik yakıt tüketimi değişimleri** ..... 52
**4.1.4 Özgül yakıt tüketimi değişimleri** ..... 53
**4.2 Emisyon Değerleri Değişimleri** ..... 54
**4.2.1 Oksijen ($O_2$) değişimleri** ..... 54
**4.2.2 Karbonmonoksit (CO) değişimleri** ..... 55
**4.2.3 Azotoksit (NO) değişimleri** ..... 56
**4.2.4 Karbondioksit ($CO_2$) değişimleri** ..... 57
**4.2.5 Egzoz gazı sıcaklığı değişimleri** ..... 58
**4.2.6 Duman yoğunluğu (K faktörü) değişimleri** ..... 59
**5. SONUÇ** ..... 60
**KAYNAKLAR** ..... 62
**EKLER** ..... 68
**EK 1 Dizel yakıtı deneme formu** ..... 68
**EK 2 %20 Kanola yağı + %80 Dizel yakıtı deneme formu** ..... 69
**EK 3 %40 Kanola yağı + %60 Dizel yakıtı deneme formu** ..... 70
**EK 4 %60 Kanola yağı + %40 Dizel yakıtı deneme formu** ..... 71
**EK 5 %80 Kanola yağı + %20 Dizel yakıtı deneme formu** ..... 72
**EK 6 Kanola yağı metil ester deneme formu** ..... 73
**ÖZGEÇMİŞ** ..... 74

# ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Dünyada biyodizel üretim miktarları ..... 7

Şekil 1.2 Bitkisel yağın transesterifikasyonu ..... 17

Şekil 3.1 Denemede kullanılan motor test ünitesi ..... 31

Şekil 3.2 Yakıt tüketimi ölçüm düzeni ve yakıt depoları ..... 32

Şekil 3.3 Duman yoğunluğu (Eposite) ölçüm cihazı ..... 33

Şekil 3.4. Gaz analiz cihazı ..... 35

Şekil 3.5 Elektronik terazi ..... 35

Şekil 3.6 Biyodizel üretim düzeneği ..... 36

Şekil 3.7 Biyodizelin üretim akış şeması ..... 41

Şekil 3.8 Motorun deney düzeneği ile bağlantı şekli ..... 45

Şekil 4.1 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımlarının ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak moment değerlerinin değişimi ..... 50

Şekil 4.2 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak güç değerlerinin değişimi ..... 51

Şekil 4.3 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değerlerinin değişimi ..... 52

Şekil 4.4 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketim değerlerinin değişimi ..... 53

Şekil 4.5 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak $O_2$ değerlerinin değişimi ..... 54
Şekil 4.6 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak CO değerlerinin değişimi ..... 55
Şekil 4.7 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak NO değerlerinin değişimi ..... 56
Şekil 4.8 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak $CO_2$ değerlerinin değişimi ..... 57
Şekil 4.9 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışım ve kanola yağı metil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak egzoz sıcaklık değerlerinin değişimi ..... 58
Şekil 4.10 Deneme yakıtlarının duman yoğunluğu değerleri ..... 59

# ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Yağ bitkilerinin yağ oranları, üretim verimleri ve miktarları .....3
Çizelge 1.2 Türkiye'de yıllara göre kanola bitkisi ve kanola tohumu üretim miktarları .....4
Çizelge 1.3 Türkiye' nin ekilebilen , nadasa bırakılan ve toplam tarla alanı (1000 ha).....5
Çizelge 1.4 Biyodizel ve No 2 dizel' in yakıt özellikleri.....10
Çizelge 1.5 Dizel, kanola yağı ve biyodizelin özelliklerinin karşılaştırması.....11
Çizelge 1.6 ABD için kanolanın kalite standartları .....12
Çizelge 1.7 B100 ve B20 emisyon değerlerinin dizel yakıtlarla karşılaştırmalı değerleri .....15
Çizelge 1.8 Dünya' da yıllara göre kanola ekimi yapılan alan (ha), kanola verimi (Hg/ha), kanola üretimi (Mt).....20
Çizelge 1.9 Türkiye' de yıllara göre kanola ekimi yapılan alan (ha), kanola verimi (Hg/ha) .....21
Çizelge 3.1 Denemede kullanılan dizel motorunun özellikleri.....30
Çizelge 3.2 Denemede kullanılan motor test ünitesinin özellikleri .....31
Çizelge 3.3 Gaz analiz cihazı ölçüm parametre ve aralıkları.....34
Çizelge 3.4 Kanola yağı yağ asitleri kompozisyonları.....37
Çizelge 3.5 Elde edilen yakıt türlerinin viskozite değerleri.....42
Çizelge 3.6 Elde edilen yakıt türlerinin yoğunluk değerleri .....43

# 1.GİRİŞ

Petrol sektörü, gerek dünya ve gerekse Türkiye ekonomisinde çok önemli bir yere sahiptir. Ulaşım başta olmak üzere, endüstriyel imalat ve küçük ölçekli tüketim gibi farklı alanlarda kullanılan petrol ve petrol ürünleri, dünya enerji gereksiniminin önemli bir kısmını karşılamaktadır. Ancak diğer fosil yakıtlar gibi petrolün de tükenmekte olduğu ve fosil yakıt kullanımının atmosferdeki $CO_2$ miktarını arttırarak serbest oksijen miktarını azalttığı, küresel ısınmayı körüklediği; öte yandan, sera etkisine bağlı küresel ısınmanın endişe verici çevresel sıkıntılar başgöstermesine neden olacağı, bilinen gerçeklerdir. Termik motorlarla her yıl 420 milyon ton $CO_2$ atmosfere gönderilmektedir. Fosil yakıtların ve özellikle de petrolün yerini alabilecek, çevreye olan zararlı etkileri daha azaltılmış temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları elde etmeye yönelik araştırmalar; özellikle 1970'li yıllardaki petrol bunalımından bu yana sürdürülegelmiştir. Araştırmaları günümüze değin uzanan alternatif yakıtlardan birisi de, yakıt olarak özellikle bitkisel ya da hayvansal kaynaklı yağlardan yakıt (biyodizel) eldesidir. Biyodizel yakıtı, normal dizel yakıtla benzer yanma özellikleri gösteren, üstelik daha düşük karbondioksit emisyonuna sahip bir yakıttır.

Dünya üzerinde özellikle taşımacılık ve enerji üretimi amacıyla kullanılan içten yanmalı motorlarda enerji, petrol ürünlerinden karşılanmaktadır. Petrolün sınırlı durumu ve petrol fiyatlarındaki dalgalanmalardan dolayı petrolün yerini alabilecek ve içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek enerji kaynakları üzerinde çok çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda, etil alkol, metil alkol, hidrojen, LPG, doğal gaz ve biyogaz gibi yakıtların kullanılabilirliği araştırılmış ve bazı ülkelerde alkole dayalı, metil ve etil alkol yakıt olarak kullanılmıştır. Yine bazı ülkelerde LPG ve doğal gaz buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanılmakta ve her geçen gün kullanılma oranı hızla artmaktadır (Yücesu vd. 1999).

Günümüz itibarıyla ekonomik bir değer oluşturacak biyodizel üretim kaynakları; yağ bitkileri tarımı ve yağlı tohumlar, atık kızartma yağları ve mezbaha artığı hayvansal yağlardır. Çok az bir oranla diğer endüstri iş kollarında hammadde ya da ara madde gereksinimi karşılıyorsa da, sözkonusu atıklar açılan çukurlara depolanmakta ve yeraltı suyu kirliliğine yol açmaktadır. Buradan yola çıkarak biyodizel' e, 5015 sayılı Petrol Piyasası Yasası'nda da yer aldığı biçimiyle bir tanımlama getirilirse şöyle denmektedir: "Bitkisel yağların yeni ya da kullanılmışlarından ve hayvansal yağlardan kimyasal yöntemler aracılığıyla elde edilen biyoyakıtlar kapsamındaki çevre dostu ve yenilenebilir nitelikli bir yakıttır". Bitkisel yağların, hayvansal atık ve artıkların da geri kazanım yoluyla kullanımı, otomotiv endüstrisinin ve işletmelerin enerji gereksinimini karşıladığı gibi çevre korunmasına da çeşitli yönlerden katkı sağlamış olacaktır.

TBMM Akaryakıt Kaçakçılığı Komisyonu'nun verilerine göre Türkiye'de son 15 yıldır süregelen 6 milyon ton akaryakıt kaçakçılığı sözkonusudur. Bunun ülkemize yıllık maliyeti 3 milyar dolardır. Gelişmiş ülkelerde biyodizel, kaçakçılıkla savaşım unsurudur. Ülke ekonomisine büyük zarar veren petrol kaçakçılığı ile savaşımda, biyodizel önemli bir çıkış yoludur.

Biyodizel üretimine ülkemiz açısından bakacak olursak herşeyin yolunda olduğunu söylemek de güçtür. Petrol konusunda dışa bağımlılığımız söz konusudur ve biyodizelin Türkiye için ne ölçüde kurtarıcı bir işlev üstlendiğini de iyi görmek gerekecektir. Çünkü ülkemiz, petrolden sonra en yüksek tutarlı dışalımını, yağlık tohum yetiştiriciliğinde yaşamaktadır. Halen destek ve prim sistemleriyle üretim artışı sağlanmaya çalışılmasına karşın, istenen düzeylere ulaşılması için, alınan ulusal önlemlere işlerlik kazandırılması ve çiftçilere önderlik yapılması zorunluluğu bulunmaktadır.

Almanya, 3 yıl öncesine kadar 1.8 milyon ton kanola üreten bir ülkeyken, biyodizel uygulamasının planlı bir biçimde devreye sokulması sonucunda 2005 yılında 5.2 milyon ton kanola üretimini gerçekleştirmiştir. % 6.2 Türkiye geneli olan yağlık tohum üretiminin rahatlıkla % 20'lere çıkarılabilmesi olanaklı görülmektedir.

Anadolu'nun toprağını anayurt sayan aspirin, ayrıca da kanolanın; buğday ve şekerpancarı ile ekim nöbetine girebilecek olması, kıraç arazilerde de yetiştirilebilme ve uygun piyasa fiyatlarını bulabilme fırsatları, üreticinin ve biyodizel tüketicisinin yüzünü güldürebilecek potansiyeldedir. Ekonomik dış denge ve ulusal gelir üzerindeki olumlu etkileri bu ölçüde belirgin olan biyodizel konusunun, ticari kaygılar bir yana bırakılırsa toplumdaki bireylerin fiziksel ve ruhsal sağlığı açısından da yadsınamaz bir önem taşıdığı da ortadadır.

## 1.1 Türkiye'nin Bitkisel Yağ Potansiyeli

Ülkemizde halen yemeklik yağ olarak tüketilen bitkisel yağlar ekiliş ve üretim alanı açısından enerji üretimine yanıt verecek durumda değildir. Ancak bitkisel yağların motor yakıtı olarak ülkemizde kullanılmasının yaygınlaşmasının ardından bu alandaki üretimin arttırılma olanağı vardır (Ulusoy ve Alibaş 2002). GAP Projesi ile heryıl 150.000 hektar alanın sulu tarıma açılarak, toplam 1.7 milyon hektarlık alanın sulanması planlanmaktadır. Bu projenin yalnızca yağlı tohum üretiminde % 73 gibi oldukça büyük bir artışa neden olacağı öngörülmektedir. Ülkemizde yağ bitkilerinin yağ oranları, üretim verimleri ve miktarları Çizelge 1.1'de görülmektedir.

Çizelge 1.1 Yağ bitkilerinin yağ oranları, üretim verimleri ve miktarları (Anonim 2000)

| **Yağ bitkisi** | **Yağ oranı (%)** | **Üretim verimi (kg/ha)** | **Üretim miktarı (ton)** |
|---|---|---|---|
| Ayçiçeği | 40-50 | 1597 | 950 000 |
| Haşhaş | 44-50 | 570 | 899 117 |
| **Kanola** | 40-45 | 1765 | 330 |
| Kenevir toh. | - | 103 | 55 |
| Keten toh. | 30-40 | 590 | 227 |
| Mısır | 17-18 | 4434 | 2 297 000 |
| Pamuk Toh. | 16-24 | 1798 | 1 314 660 |
| Soya | 13-25 | 2750 | 66 000 |
| Susam | 45-59 | 549 | 28 000 |
| Yer fıstığı | 35-55 | 2679 | 75 000 |
| **Türkiye toplamı** | **-** | **-** | **5 630 439** |

Çizelge 1.2'de Türkiye'de yıllara göre kanola bitkisi ve kanola tohumu üretim miktarları görülmektedir.

Çizelge 1.2 Türkiye'de yıllara göre kanola bitkisi ve kanola tohumu üretim miktarları (Mt) (www.fao.org)

| Türkiye | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kanola üretim miktarı (Megaton)** | 187 | 650 | 1 500 | 6 500 | 6 500 |
| **Kanola tohumu üretim miktarı (Megaton)** | 3 | 6 | 28 | 28 | 28 |

Türkiye'de yasal mevzuat açısından bakıldığında 5015 sayılı Petrol Piyasası Yasası, biyoyakıtlarla ilgili düzenleme yetkisi Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'na verilmiştir. 5015 sayılı Petrol Piyasası Yasası biyoyakıtları kapsamamakta biyodizel, yalnızca dağıtım ve satış boyutu ile ele alınmakta ve petrol türevi gibi işlem görmektedir. Avrupa Standardı EN 14214 13 Ekim 2005'de standart olarak kabul edilmiştir ve çok yakında EPDK tarafından zorunlu duruma getirilecektir. Kabul edilen EN 14214 kanola biyodizelinin standardıdır. Bu standardın, yakıt özelliği olmayan iyot indisi ile ayçiçeği, pamuk gibi geleneksel yağlarımız, soya, aspir gibi teşvik edilen alternatif ürünler ve Çevre Bakanlığı'nın biyodizelde bertarafını öngördüğü atık yağlar, kapsam dışında kalmıştır. Standart, biyodizel de aynen zorunlu kılınırsa biyodizel üretiminde Türk tarımının devredışı kalma sıkıntısı gündemdedir.

## 1.2 Türkiye'nin Ekilebilir Arazi Potansiyeli

Türkiye'nin ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı yıllara göre çizelge 1.3'de verilmiştir. Çizelgedeki verilere göre toplam ekilebilecek arazi varlığının yaklaşık % 15 - 20'si nadas nedeniyle üretim dışı bırakılmaktadır. Bir başka anlatımla arazi varlığının % 15 - 20'si iki yılda bir değerlendirilebilmektedir. İleri tarım tekniklerinin uygulandığı ülkelerde, tarım tekniklerinin bir arada uygulanması ile nadastan vazgeçilmektedir. Bu tekniklerden biri de münavebedir.

Ülkemizde de bu alanda yapılacak araştırmalarla diğer tarım tekniklerinin yanında yağ bitkilerinin ikame edilebilme olanakları arttırılarak sonuçta nadas alanları azaltılabilir. Yağ bitkilerinden biyodizel üretilmesi durumunda, üreticisinin ürettiği ürüne alım garantisi sağlanacağından, bu oranın arttırılma şansı olacaktır. Ayrıca; pancar, tütün ve fındık üretiminin destek kapsamından çıkarılması; bu alanlarda alternatif bitki olarak yağ bitkilerinin yetiştirilmesine olanak sağlayacaktır (Ulusoy ve Alibaş 2002).

Çizelge 1.3 Türkiye' nin ekilebilen , nadasa bırakılan ve toplam tarla alanı (1000 ha) (www.die.com)

| **Yıllar** | **1999** | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** |
|---|---|---|---|---|---|
| Ekilen alan | 18 450 | 18 207 | 18 087 | 18 123 | 17 563 |
| Nadasa bırakılan alan | 5 039 | 4 826 | 4 914 | 5 040 | 4 991 |
| Tarla alanı | 23 489 | 23 033 | 23 001 | 23 163 | 22 540 |

### 1.3 Biyodizelin İlk Kullanımı ve Tarihsel Gelişimi

Biyodizelin tarihi 1892' de Diesel motorun keşfiyle başlar. Buharla işleyen motorların tekeline son vermek üzere termal mühendis Rudolph Diesel tarafından Diesel motoru geliştirilmiş ve 1898'te Paris Dünya Fuarı'nda yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir. R.Diesel 1911'de bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının ülkelerin tarımının gelişiminin ciddi bir katkısı olacağını ve 1912'de bitkisel yağların motorlarda kullanımı günümüzde önemsiz görünebileceğini, ancak bitkisel yağların zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacağını ifade etmiştir.

Ancak petrol kökenli yakıtların uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunabilir olması, motorun bu yakıt ile uyum sağlayacak biçimde geliştirilmesine neden olmuştur. Biyodizel olarak ise, ilk önce Güney Afrika'da II. Dünya Savaşı'ndan önce büyük ve güçlü motorlarda kullanılmış ve daha sonra çevresel, stratejik ve ekonomik sebeplerden dolayı tüm dünyaya yayılmıştır. Günümüzde 2002 yılı verilerine göre Avrupa Birliği'nin biyodizel üretimi kapasitesi 2 000 000 ton'a ulaşmıştır (Öğüt vd 2003).

Ortadoğu'dan gelen petrol kaynaklarının azalmasına yol açan 1973 ve 1979 petrol krizleri, petrol fiyatlarının öngörülemeyen seviyelere yükselmesine neden olmuştur. Özellikle 1973' ten bu yana biyodizel ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu olaylar, bütün ülkelerde, dış kaynaklı fosil yakıtlara bağımlı olmanın getirdiği vahim sonuçların görülmesine neden olmuştur. Aynı zamanda 1997'de Kyoto Protokolünün imzalanmasıyla birlikte, gelecekte, biyoyakıtların potansiyeli ile ilgili toplumsal bilinç artmıştır. Böylece tarihin ironisi, etanol ve biyodizel gibi biyokütlesel yakıtlara ikinci bir şans vermiş ve en başta Rudolph Diesel ile Henry Ford gibi öncülerin sunmak istediği parlak beklentileri yansıtmıştır.

ABD'de bitkisel yağların, dizel yakıta alternatif olabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar hem üniversite ve araştırma enstitülerinde hem de John Deere, International Harvester, Caterpillar ve Perkins gibi motor üreticileri tarafından 1981, 1982 yıllarından itibaren süre gelmektedir (Işığıgür 1992).

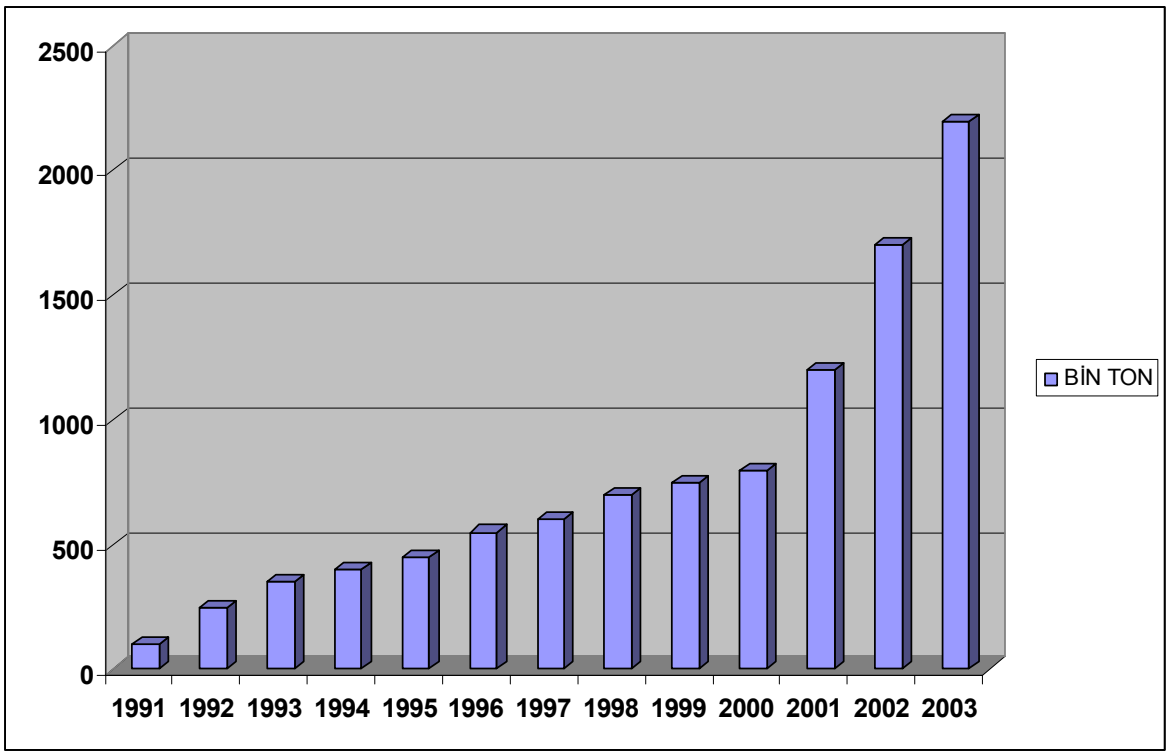
Almanya' da 1996 yılından beri piyasaya sürülen tanınmış markalar olan bazı motorlu araçlarda biyodizel kullanımı tamamiyle serbest bırakılmıştır. Ülkede yıllık biyodizel üretimi 450.000 ton civarındadır ve % 100 biyodizel içeren taşıt yakıtı 900' ü aşkın benzin istasyonunda hizmete sunulmuştur. 2005 yılı itibarı ile dizel ihtiyacının % 2,2' si biyodizel ile karşılanmaktadır. Biyodizelde başarılı ülkelerden Almanya 3 yıl önce 1.8 milyon ton kanola üretirken, biyodizel uygulamasını planlı olarak devreye sokmasıyla 2005 yılında 5.2 milyon ton kanola üretmiştir.

Fransa' da biyodizel üretimi 300,000 ton/yıl civarındadır. Benzin istasyonlarında % 5 biyodizel - % 95 dizel karışımı satılmaktadır ve bu % 5' lik kısım fosil yakıt vergisinden muaftır.
Avusturya' da yıllık biyodizel üretimi 300,000 ton civarındadır. Biyodizelin petrol kaynaklı dizel ile % 2 oranında karıştırılması devlet tarafından tavsiye edilmektedir ve biyodizel için fosil yakıt vergisi alınmamaktadır.

1982'de Avusturya'da Tarım ve Orman Bakanlığı'nın desteğiyle yürütülen araştırmalarda kanola yağı metil esterinin iyi bir dizel yakıt alternatifi olduğu ortaya konulunca ülkenin tarımsal fazlasını kanola ve ayçiçeği ekimi yönüne çevirerek 2000 yılına kadar hem dizel yakıt altenatifi üretimine hem de kendi talebine yetecek ölçüde bitkisel yağ elde etmesi öngörülmüştür (Eliçin 2005).

Günümüzde biyodizel üretimi artık ticari bir boyut kazanmaktadır. Biyodizel üretimi dünyada her geçen gün artmakta, üretim yapan ülkelere her geçen gün yeni ülkeler ilave olmaktadır.

Şekil 1.1'de Dünya'da biyodizelin üretimindeki artışın yıllara göre dağılımı verilmiştir.




Şekil 1.1 Dünyada biyodizel üretim miktarları ( Ar 2005)

## 1.4 Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri

Bitkisel yağlar, bazı tarım ürünlerinin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi neticesinde elde edilmektedir. Bunlar petrol esaslı yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Dizel yakıtı büyük oranlarda parafinler ve aromatiklerden oluşmasına karşılık, bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bu esterlere gliserid adı verilir. Gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubu yağ asitlerinin esterleşmesi ile trigliserid adını alır. Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır (Erdoğan ve Mohammed 1997).

Yakıt özellikleri ile ilgili araştırmalarda ağırlığı, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması yönündeki çalışmalar oluşturmaktadır. Motorla ilgili çalışmalar ise, daha iyi atomizasyon karakteristiğine kavuşmak için püskürtme basıncının arttırılması ve yanmanın iyileştirilmesi için yakıt püskürtme zamanının değiştirilmesi olarak sayılabilir (Erdoğan ve Onurbaş 1994).

Günümüze kadar yapılan birçok araştırmada bitkisel yağların yakıt özellikleri belirlenmiş ve dizel yakıtının standart sınır değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki uyumun ne derecede olduğu belirlenmiştir.

Bitkisel yağlar dizel motorlarda hiçbir değişiklik gerektirmeden kullanılabilirler. Motor test ve çalışma sonuçları arasında bazı ayrılıklar bulunmakla beraber ester yakıtların motorin eşdeğer veya farklı motor karakteristikleri ve egzoz emisyonu gösterebilecekleri belirtilse de genel sonuç bitkisel yağların çevre dostu, mevcut en iyi motorin alternatifi olduğu şeklindedir.

Dizel yakıtına göre düşük karbon içerikli ester yakıtlar, kül oluşumunu azaltarak, % 0,005' den düşük kükürt içeriği ile $SO_2$'den ileri gelen kirliliğini hemen hemen ortadan kaldırmakta, fotosentez çevrimi gereği sera etkisini artırmamakta, özellikle partikül emisyonlarında olmak üzere CO, HC, $NO_X$ emisyonlarında da olumlu düşüşlere neden olmaktadır. Ayrıca bitkisel yağlar zehirli olmayan, biyolojik olarak kolay ve çabuk ayrışabilen maddelerdir ( Purcell 1996, Oğuz vd. 2001).

Biyodizelin yoğunluk, viskozite, ısıl değer, setan sayısı, bulutlanma ve akma noktaları, distilasyon, parlama ve tutuşma noktaları değerleri ISO normlarına göre karakterize edilmiştir ( Encinar *et al*. 2002, Demirbaş 2002).

Yakıtlar, ASAE EP X552 parametrelerinin gerektirdiği gibi karakterize edilir. Testler hacim ağırlığı, viskozite, bulutlanma noktası, akma noktası, parlama noktası, ısıl değeri, toplam asit değeri, yağ asidi kompozisyonları, kaynama noktası, su ve sedimentasyon içeriği, karbon kalıntısı, kül, sülfür, setan sayısı, bakır korozyonu, partiküler madde, iyot indisi ve element analizi şeklindedir. Biyodizelin ısıl değeri % 9-13 oranında No-2 dizel yakıtından daha düşüktür (Demirbaş 2002).

Buna bağlı olarak yapılan çalışmalarda biyodizel kullanımı ile motor efektif gücünde ve torkunda düşük alt ısıl değere bağlı olarak bir miktar azalma olduğu ifade edilmektedir (Antolin *et al*. 2002, Gomez *et al*. 2000, Leung 2001, Karabektaş 2004). Ancak yapılan diğer bazı çalışmalarda ise motor efektif gücünde motorine oranla herhangi bir azalma olmadığı, kimi zaman ise artış olduğu vurgulanmaktadır (Kalam *et al*. 2002, Widyan *et al.* 2002, Karabektaş 2004). Bunun sebebi olarak biyodizelin sahip olduğu % 10 dolayındaki oksijenin yanma karakteristikleri ve ısıl verim üzerindeki olumlu etkileri gösterilmektedir. Bu farklı sonuçları ayrıca deney şartları, motor dizaynı ve yakıt sisteminin durumu (püskürtme avansı, püskürtme basıncı v.b) ve deney prosedürünün değişik olması gibi sonuçlara bağlamak mümkündür. Düşük ısıl değer, biyodizel ve karışımlarında, dizel ile çalışmaya oranla yakıt tüketiminde bir miktar artış olarak ortaya çıkmaktadır (Antolin *et al*. 2002, Pramanik 2003, Karabektaş 2004). Ancak biyodizelin iyi yanma karakteristikleri sonucu ısıl verimi arttığından yakıt tüketimi arttışı makul seviyelerde olmaktadır.

Biyodizel yakıtların viskoziteleri, No-2 dizel yakıtların viskositelerinden yaklaşık 2 kat fazladır (Demirbaş 2002). Biyodizelin viskozitesi yaklaşık 3.5-6 $mm^2/sn$ kadardır. Biyodizelin karışım ve oksidasyon ürünleri viskoziteyi arttırır. Ayrıca hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça viskozite artar, çifte bağ sayısı arttıkça viskosite azalır.

No-2 dizel yakıtının bulutlanma ve akma noktaları biyodizel'e göre daha düşük kalmaktadır. Biyodizelin aynı çalışma şartlarında güç ve torku, No-2 dizel yakıtına göre daha düşük kalmaktadır. Ayrıca yakıt sarfiyatı da daha fazladır (Demirbaş 2002).

Biyodizelin yoğunluğu, fosil dizel yakıtlara göre daha yüksektir. Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalır, çifte bağ sayısı arttıkça yoğunluk artar. Yoğunluk yakıt sarfiyatına ve yanma ısısına etki eder.

Karbon kalıntısı bakımından bitkisel yağların, dizel motorlarındaki en önemli etkisi; piston başı, segman, segman yuvası, silindir başı, supaplar, supap kılavuzları ve enjektör memesi gibi elemanlarda karbon birikmesine neden olmasıdır. Bu birikintiler, çalışma süresi ile birlikte artmakta ve olumsuz etkilere neden olmaktadır.
Karbon kalıntısı bitkisel yağlarda, %0,22 - %0,30 arasında bulunmuştur. Bu değerler ASTM (Amerikan Standart Test Yöntemi) sınır değeri olan %0,35'in altındadır.

Dizel yakıtların tutuşma özelliğini belirleyen setan sayısı, uzun düz zincirli doymuş hidrokarbonlarda yüksektir. Orta veya uzun zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayıları yüksektir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Biyodizelin setan sayısının da No-2 dizel yakıtından yüksek olduğu Çizelge 1.4' de görülmektedir.

Çizelge 1.4 Biyodizel ve No 2 dizel' in yakıt özellikleri (www.shortcircuit.com.au)

| **Özellik** | **Biyodizel** | **No 2. Dizel** |
|---|---|---|
| Yoğunluk (kg/L) | 0.87-0.89 | 0.84-0.86 |
| Setan sayısı | 46-70 | 47-55 |
| Bulutlanma noktası (K) | 262-289 | 256-265 |
| Akma noktası (K) | 258-286 | 237-243 |
| Parlama noktası (K) | 408-423 | 325-350 |
| Sülfür (wt%) | 0.0000-0.0024 | 0.04-0.01 |
| Kül (wt%) | 0.002-0.01 | 0.06-0.01 |
| İyot indisi | 60-135 | |
| Kinematik viskozite ($mm^2s^{-1}$), 313 K | 3.7-5.8 | 1.9-3.8 |

Parlama noktası yakıtların taşınmasında ve depolanmasında çok önemlidir. Biyodizelin en önemli avantajlarından biri parlama noktasının yüksek olmasıdır. Bu da taşıma ve depolamaya olumlu etkide bulunmaktadır.

Kükürt oranı, motor aşınması ve çevre kirliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Yanma sonucu meydana gelen gazlarda çevreye ve bitkilere zararlı olduğu gibi silindir içerisinde meydana gelen su buharı ile asit oluşturmaktadır. Bu asit, motor parçaları üzerinde kimyasal aşınmaya neden olmaktadır. Kükürt oranı bitkisel yağlarda %0,01 olarak belirlenmiştir Amerikan Standart Test Yöntemi (ASTM) sınır değeri ise %0,5 olduğundan, bu değer biyo yakıtlarda aşılmamaktadır. Çizelge 1.5' de dizel, kanola yağı ve biyodizelin özellikleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1.5 Dizel, kanola yağı ve biyodizelin özelliklerinin karşılaştırması (www.shortcircuit.com.au)

| **Özellik** | **Dizel** | **Kanola yağı** | **Biyodizel** |
|---|---|---|---|
| Yoğunluk kg/dm$^3$ (15.5° C'de) | 0.84 | 0.92 | 0.88 |
| Isıll değer MJ/litre | 38.3 | 36.9 | 33-40 |
| Viskozite mm$^2$s$^{-1}$ (20°C'de) | 4-5 | 70 | 4-6 |
| Viskozite mm$^2$s$^{-1}$ (40°C'de) | 4-5 | 37 | 4-6 |
| Setan sayısı | 45 | ~40-50 | 45-65 |

ABD'de biyo yakıt olarak kanolanın kalite standardı, Çizelge 1.6 'daki değerleri taşımaktadır.

Çizelge 1.6 ABD için kanolanın kalite standartları (www.journeytoforever.org)

| **Özellikler /içerikler** | **Birim** | **Sınırlama değeri** | | **Deney yöntemi** |
|---|---|---|---|---|
| Kanola için karakteristik özellikler | | | | |
| Yoğunluk (15ºC) | $kg/m^3$ | 900 | 930 | DIN EN ISO 3675 DIN EN ISO 12185 |
| Alevlenme noktası by P.-M. | ºC | 220 | - | DIN EN 22719 |
| Isıl değer | kJ/kg | 35000 | - | DIN 51900-3 |
| Kinematik viskozite (40ºC) | $mm^2/S$ | - | 38 | DIN EN ISO 3104 |
| Düşük sıcaklıkta davranış | - | - | - | Döner tip viskozite ölçümü (deney koşulları geliştirilecek |
| Karbon kalıntısı | % kütle | - | 0.4 | DIN EN ISO 10370 |
| İyot indisi | g/100 g | 100 | 120 | DIN 53241-1 |
| Kükürt içeriği | mg/kg | - | 20 | ASTM D5453-93 |
| Değişken özellikler | | | | |
| Kirlilik | mg/kg | - | 25 | DIN EN 12662 |
| Asit değeri | mg KOH/g | - | 2 | DIN EN ISO 660 |

Biyodizelin sahip olduğu özellikler, alternatif yakıtın dizel motorları dışında da yakıt olarak kullanımına olanak vermektedir. Jeneratör yakıtı, kalorifer yakıtı olarak da değerlendirilebilir. Kükürt içermeyen biyomotorin seralar için mükemmel bir yakıt olabilir. Ayrıca gıda kurutulmasında başarı ile kullanılabilir (Karaosmanoğlu 2004).

### 1.5 Biyodizelin Çevresel Özellikleri

Otomobillerin insanlara sağladığı ulaşım rahatlığı, hareket özgürlüğü büyüktür. Ancak egzozundan çıkan gazlarla şehir havasını dolayısı ile tüm atmosferi kirleterek, sera etkisi dediğimiz ve gittikçe artan tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Hava kirliliğinin büyük boyutlara ulaştığı günümüzde, motorlu taşıtlardan gelen kirliliğin ihmal edilemez boyutlarda olduğu bilinmektedir. Özellikle büyük şehirlerde taşıtlardan gelen kirletici emisyonlar ısınmadan gelenlerden çok daha fazladır (Geyer *et al*.1984, Alibaş vd. 1993, Karaosmanoğlu vd.1995, Eliçin 2005 ).

Yapılan araştırmalarda, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan karbonmonoksit, hidrokarbon ve azot bileşiklerinin yarısı, benzin ve dizel motorlarından kaynaklanmaktadır. Özellikle dizel motorları kükürtdioksit ve kurumun en başta gelen üreticisidir. Karbon monoksit gazı, kapalı yerlerde insanları öldürebilmekte, azot bileşikleri ise tarım ürünlerine zarar vermekte ve binalarda aşınmalara yol açmaktadır. Havadaki hidrokarbonlar, güneş altında azotoksit gibi değişik maddelerle reaksiyona girip, caddelerin üzerinde kanser yapıcı bir ozon tabakası oluşturabilmektedir (Apfelbeck 1986, Francisco *et al*. 2000, Rakopoulos 1992).

Biyodizel ideal bir yakıt olarak değerlendirilmektedir. Biyodizel kullanılarak trafikten kaynaklanan çevresel şartlar iyileştirilmekte, sürdürülebilir enerji teminine önemli oranda katkıda bulunulmaktadır (Körbitz 1999).

Biyodizelin alternatif yakıt olarak kullanılması durumunda dünyada egzoz gazlarının etkisiyle giderek artan sera etkisi de azaltılabilecektir. Bunun nedeni, biyodizelin yakıt olarak kullanılmasıyla egzozlardan çıkan $CO_2$ gazları, tekrar biyodizel üretmek için yetiştirilecek olan bitkilerin fotosentezinde kullanılacağı için çevrede kalmayacak böylelikle yaşamsal döngü sağlanacaktır (Nocker *et al.* 1998).

Biyodizel kullanımında CO emisyonu % 50, partikül madde % 30 oranında azalmaktadır. Biyodizel kullanımıyla asit yağmurlarının ana nedeni olan egzoz emisyonundaki $SO_2$ ve sülfatlar tümüyle ortadan kalkmaktadır.

Yine insan sağlığı üzerine önemli bir tehdit olan aldehit bileşikleri dizele göre % 30, yerleşim alanları üzerinde duman oluşumuna neden olan hidrokarbon emisyonları % 95 azalmaktadır. Ayrıca, aromatik bileşenlerin egzoz emisyonları (poliaromatik hidrokarbon - *PAH* , nitrat PAH - *NPAH*) azalmaktadır. Biyodizelin dizele göre "gen mutasyonu" üzerindeki etkisi önemli oranda azdır.

Biyodizel biyolojik olarak bozunabilir. Biyodizeli oluşturan $C_{16} - C_{18}$ metil esterleri doğada hızla parçalanıp bozunur. Biyodizelin suya karışması halinde 28 günde % 95'i bütünüyle bozunurken, petrodizelin yalnızca % 40' ı bozunabilmekte kalan % 60 ise yıllarca bozunmamaktadır (Afacan 2005).

Saf biyodizel (B100) ve % 20 oranında (B20) biyodizel kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtlarla karşılaştırmalı değerleri Çizelge 1.7'de verilmiştir.

Biyodizel ve dizel - biyodizel karışımı kullanımı ile CO, PM ve SOx emisyonlarinda azalma, NOx ve HC emisyonlarinda ise artma görülmektedir. Biyodizel, biyolojik karbon döngüsü içinde fotosentez ile karbondioksiti dönüştürür, karbon döngüsünü hızlandırır, ayrıca sera etkisini arttırıcı yönde etkisi yoktur. Biyodizel emisyonları Poli Aromatik Hidrokarbon ve Nitratlı Poli Aromatik Hidrokarbon bileşiklerinin seviyelerinde sırasıyla % 80 ve % 90 oranlarında bir azalış göstermektedir.

Biyodizelin HC emisyonu, dizel yakıtınınkinden yüksektir. Ancak biyodizel, dizel yakıtından daha düsük HC egzoz gazı emisyonu vermektedir. Egzoz gazı emisyonu yönünden ele alındığında CO, HC, SOx, PM emisyonlarinin dizel yakıtının değerlerinden daha az, NOx emisyonlarının ise fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.7 B100 ve B20 emisyon değerlerinin dizel yakıtlarla karşılaştırmalı değerleri (www.eie.gov.tr)

| **Emisyonlar** | **B100** | **B20** |
|---|---|---|
| Yanmamış hidrokarbonlar | % -93 | % -30 |
| Karbon monoksit | % -50 | % -20 |
| Partikül madde | % -30 | % -22 |
| $NO_x$ (azot oksitler) | % +13 | % +2 |
| Sülfatlar | % -100 | % -20 |
| Polisiklik aromatik hidrokarbonlar – PAH (Kanserojen maddeler) | % -80 | % -13 |
| nPAH (nitratlı PAH'lar) | % -90 | % -50 |
| Hidrokarbonların ozon tabakasına etkisi | % -50 | % -10 |

Biyodizelin olumsuz bir toksik özelliği bulunmamaktadır. Ağızdan alındığında sofra tuzu, biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri, biyodizelin ciltte % 4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizelin sudaki canlılara karşı da herhangi bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Buna karşın 1 litre ham petrol, 1 milyon litre suya toksik etkide bulunur.

Çevre Koruma Ajansı (EPA) petrodizel kaynaklı egzoz emisyonlarının akciğer kanserine sebebiyet verdiği, heryıl çocuklarda 17600 akut, 5500 kronik bronşite sebebiyet verdiği, biyodizelin her yıl 360000 kişiyi astım krizinden koruyacağı ve 1,5 milyon iş günü kaybını önleyeceğini belirtmektedir.

Toksik artıklar, ozon tabakasının incelmesi, yeryüzü sularının kirlenmesi, hava kirliliği ve toprak kirliliği gibi terimler çevre ile ilgili günümüz dünyasında gündemi oluşturan kelimelerdir. Artan çevre bilinci endüstri ve çevre bilimcilerinin halkı bilinçlendirmesi için faaliyetlerde bulunmasına sevk etmiştir. Dünyada bir çok ülke bunu dikkate almış ve bununla ilgili olarak çevre dostu ürünlerin kullanımı için yasa çıkarmıştır. Örneğin, Almanya da bölgesel düzenlemeler ile orman bölgelerinde biyolojik ayrışabilir yağ kullanılmadıkça ekipman kullanımı yasaklanmıştır (Glamser 2000) .

## 1.6 Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri

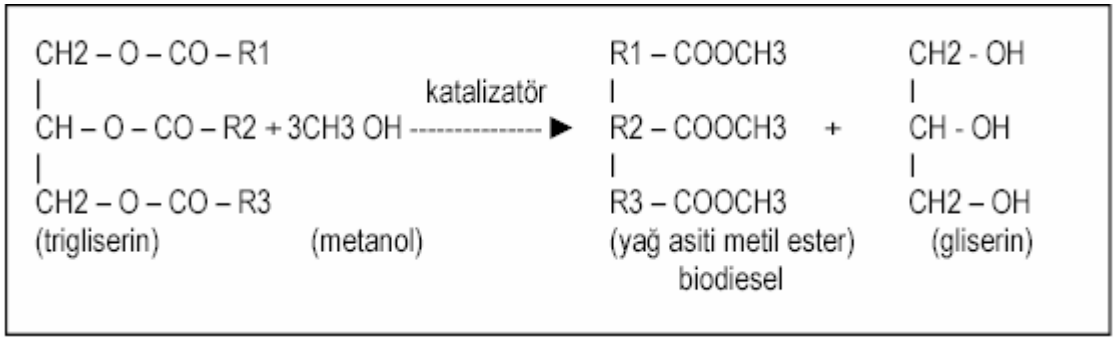
Bitkisel yağların enerji içerikleri, petrol kökenli dizel yakıtları ile hemen hemen aynı düzeydedir. Ancak dizel yakıtına göre 10-20 kat daha yüksek viskozite sebebiyle; enjektörlerde tıkanma, yağlama yağı problemleri ve motor ömrünün kısalması gibi pek çok olumsuzluklara neden olmaktadırlar. Bitkisel yağların direkt püskürtmeli dizel motorlarında uzun süreli kullanımları imkansız olup, sadece rafine yağların ön yanma odalı dizel motorlarında bazı sınırlamalar ile değerlendirilmesi mümkündür (Karaosmanoğlu ve Aksoy 1994).

Bütün bu olumsuz faktörler, motor bakım masraflarını artırıcı ve motorun ömrünü kısaltıcı yönde etki etmektedir. Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları; seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz, süperkritik ve yeniden esterleştirme (transesterifikasyon) yöntemleridir (Oğuz ve Öğüt 2001).

### 1.6.1 Transesterifikasyon (yeniden esterleme)

Esterleme yeni bir işlem değildir. 1853 yılının başında E. Duffy ve J. Patrick tarafından tanımlanmıştır. Esterlenmiş bitkisel yağ ilk olarak II. Dünya Savaşı' ında Güney Afrika' da iş makinalarında kullanılmıştır. Yoğunluğu dizelin iki katı ve moleküler ağırlığı ise 1/3 dür.

Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asiti oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Yani metanol (odun alkolü), sodyum hidroksitle karıştırılır ve sodyum metoksit elde edilir. Bu tehlikeli sıvı bitkisel yağla karıştırılıp dinlenmeye bırakılınca, gliserin dibe çöker ve metil ester üstte kalır (Gürleyük 2003). Bu reaksiyon sonucu biyodizel elde edilmektedir. Bitkisel yağların, dizel yakıtı alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntemdir (Alibaş ve Ulusoy 2002). Şekil 1.2' de bitkisel yağın transesterifikasyonu görülmektedir.




Şekil 1.2 Bitkisel yağın transesterifikasyonu

Bir bitkisel yağ molekülü, gliserin molekülüne bağlanmış üç esterden oluşmaktadır. Bitkisel yağ moleküllerine trigliserit ya da gliserol esterleri de denmektedir. Burada "tri" ifadesi üç esteri, "gliserit" ifadesi ise gliserini tanımlamaktadır.

Dizel motorların çoğu yağlamalı ve yüksek kükürt içeren yakıt sistemi üzerine tasarlanmıştır. Bu motorlarda biyodizel yakıtın kullanımı kükürt emisyonunu azaltırken yağlı içeriği ile motorun yağlanmasına da yardımcı olmaktadır. Egzozdan atılan yanmış yağ ise tekrar esterleme ile yakıta dönüştürülebilmektedir (Gürleyük 2003).

### 1.6.2 Seyreltme yöntemi

Seyreltme yönteminde, bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak seyreltilmekte, böylelikle viskozite değeri bir miktar düşürülmektedir. Seyreltme yöntemi uygulamalarında en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak, ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kanola yağı, yer fıstığı yağı, kullanılmış kızartma atık yağıları sayılabilir. İlk kez 1980 yılında Catterpillar şirketi Brezilya'da herhangi bir motor değişiklikleri yapmadan, ön yanma odalı dizel motorlarında yakıt olarak, dizel yakıtı ile % 10 oranında bitkisel yağları karıştırarak kullanmışlardır. Oğuz ve arkadaşlarının 2000 yılında yaptıkları bir çalışmada ise, % 20, % 50 ve % 70 oranlarında ayçiçek yağı ile dizel yakıtını karıştırarak seyreltmiş ve 38 ºC' da 120.9 Redwood saniye olan ayçiçek yağının viskozitesi, bu karışım oranlarında sırasıyla 35,5 ; 48,8 ve 64,7 Redwood saniyeye sahip olduklarını belirtmişlerdir. Viskozitesi düşürülen bu yakıt dizel motorda başarı ile kullanılmıştır.

Günümüzde % 100 bitkisel yağları yakıt olarak kullanım olanağı, özellikle dizel motorların yakıt sistemlerinde küçük birkaç ayarlama ve değişikliklerle mümkün olabilmektedir. Ancak yüksek vizkozite, özellikle doğrudan püskürtmeli dizel motorların püskürtme sistemlerinde zamanla oldukça büyük olumsuzluklara neden olmaktadır (Oğuz 1998) .

### 1.6.3 Mikroemülsiyon yöntemi

Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi; metanol ya da etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikroemülsiyon durumuna getirilmesi ile viskozite değerinin düşürülmesi işlemidir. Bu yöntemde, alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle mikroemülsiyonunda setan sayısının düşük olması, düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesi sakıncaları olarak görülmektedir (Erdoğan 1991).

Mikroemülsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının koloidal denge dağılımı olup, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur ( Alibaş ve Ulusoy 1995 ).

Tepkime sırasında düşük kaynama noktalı bileşenlerin buharlaşarak patlamasıyla sprey karakteristikleri iyileşir. Bütanol, hegzanol ve oktanol ile gerçekleştirilen bütün mikroemülsiyonlar da dizel yakıtları için uygun en düşük viskoziteler elde edilir.

Czerwinski'nin 1994 yılında gerçekleştirdiği bir araştırmada, % 53 ayçiçek yağı, % 13,3 etanol, % 33,4 bütanol kullanarak elde ettiği emülsiyonda, 40 $^{o}$C'deki viskozitesi 6,3 cSt (centistokes) ve setan sayısını 25 olarak bildirmiştir. Düşük viskozite ve daha iyi sprey özelliklerinin, karışımdaki % bütanol miktarının arttırılmasıyla olanaklı olduğunu belirlemişlerdir (Ramadhas *et al.* 2004) .

### 1.6.4 Piroliz yöntemi

Piroliz yönteminde, moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte fakat işlemler ek gider gerektirmektedir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi, bitkisel yağları ısı etkisi ile kapalı bir kapta parçalamak; diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısıl parçalanma etkisinde tutmaktır (Ulusoy vd. 1999).

### 1.6.5 Süperkritik yöntem

Süperkritik yöntemde, bitkisel yağlar transesterifikasyon yönteminden farklı olarak, katalizör kullanmadan 350 $^{o}$C gibi yüksek sıcaklık ve 240 saniye gibi kısa sürelerde gerçekleştirilmektedir (Kusdiana and Saka 2000, Demirbaş 2001, Oğuz 2004).

## 1.7 Kanolanın Dünyada ve Türkiye' deki Yeri ve Önemi

Kanola Amerika, Kanada ve Avrupa devletlerinde yoğun olarak tarımı yapılan ve ülkemizin tüm bölgelerinde rahatlıkla yetişebilen bir yağ bitkisidir. Yağ oranı % 42 olan bu yağ bitkisi en sağlıklı yemeklik yağlardan birisidir. Kolza adı ile de bilinen sıfır erüsik asitli kanola yağı, doymuş ve yarı doymuş yağ bileşimi itibariyle oldukça sağlıklı ve kaliteli özelliktedir.

Kanola yağı özellikle mono doymamış hidrokarbon yani oleik asit içermektedir. Oleik asitçe zengin olan kanola yağı, hafiflik, yüksek tutuşma sıcaklığı ve tortu bırakmama gibi üstün özellikler göstermektedir.

Son yıllarda gelişmiş ülkelerdeki ekimi ve üretimi devamlı artan kanola, 1970'li yıllarda ülkemiz çiftçisi tarafından üretimi yapılmış bir bitkidir. Ancak 1977 yılında Sağlık Bakanlığı' nın yaptığı kontroller sonucu insan sağlığı için zararlı olduğu bilinen erüsik asit içeriğinin % 5 sınırını aştığının görülmesiyle kanola ekimine yasak getirilmiştir.

Bununla beraber kanola bitkisinin ekonomik ve tarımsal öneminin yanısıra yağ bileşiminin kalitesine ilişkin bazı gelişmiş ülkelerde yapılan çalışmalar sonucu erüsik asitten arındırılmış yeni çeşitler üretilerek, geçtiğimiz yıllar içerisinde kanola adıyla piyasaya sürülmüştür ( www.gap.gov.tr).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu' nun biyoyakıtlar ile ilgili yaptığı düzenlemeler sonucunda biyodizel yalnızca satış ve dağıtım boyutu ile ele alınmış ve petrol türevi gibi işlem görmeye başmıştır. Avrupa Standardı EN 14214, 13 Ekim 2005'de standart olarak kabul edilmiş ve kabul edilen EN 14214 kanola biyodizelinin standardıdır. Devletin teşvik ve desteğiyle ülkemizde kanola ekiminin artması beklenmektedir.

Çizelge 1.8'de yıllara göre Dünyadaki kanola ekimi yapılan alan, kanola verimi ve kanola üretim miktarları görülmektedir. Özellikle 2004 yılında Dünya kanola verimi, üretimi ve ekilen alanında diğer senelere göre bir artış görülmektedir.

Çizelge 1.8 Dünya' da yıllara göre kanola ekimi yapılan alan (ha), kanola verimi (Hg/ha), kanola üretimi (Mt) (www.fao.org)

| **Dünya** | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kanola ekilen alan (hektar)** | 25 833 301 | 22 570 029 | 22 694 305 | 23 048 263 | 26 425 385 |
| **Kanola verimi (Hektogram/hektar*)*** | 15 296 | 15 920 | 15 091 | 15 887 | 17 504 |
| **Kanola üretimi (Megaton)** | 39 513 397 | 35 930 677 | 34 248 713 | 36 616 760 | 46 255 508 |

Çizelge 1.9' da Türkiye'de yıllara göre kanola ekimi yapılan alan miktarları ve kanola bitkisi verimleri görülmektedir. 2002 yılından sonraki ekim alanındaki gözle görülür artış dikkat çekmektedir. Ancak ekilen alan artışına rağmen, verim azalışı görülmüştür. İklim faktörlerinin bu dalgalanmayı yaratmış olması muhtemeldir.

Çizelge 1.9 Türkiye' de yıllara göre kanola ekimi yapılan alan (ha), kanola verimi (Hg/ha) (www.fao.org)

| **Türkiye** | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kanola ekilen alan (hektar)** | 82 | 290 | 550 | 2 800 | 2 800 |
| **Kanola verimi (Hektogram/hektar)** | 22 805 | 22 414 | 27 273 | 23 214 | 23 214 |

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yapılan kaynak araştırmasında; yöntem geliştirmeye ve elde edilen verilerin değerlendirilmesinde yardımcı olacak eserler, özetle tanıtılmaya çalışılmıştır. Çoğu araştırma niteliği taşıyan bu eserler, bilgi ve veri yönünden önemli ölçüde yardımcı olmuştur.

Geyer vd. (1984), pamuk tohumu yağı, ayçiçeği yağı ve bunların metil esterleriyle yaptıkları çalışmada elde ettikleri yakıtları, tek silindirli direkt püskürtmeli dizel motorunda denemişlerdir. Emisyon değerlerinin incelendiği çalışmalarında tam yükte ayçiçek yağı hariç diğer bitkisel yağların partikül maddelerinin, dizel yakıtından daha fazla ve metil ester yakıtların partikül maddelerinin, dizel yakıtından daha az miktarda çıktığını belirlemişlerdir.

Apfelbeck (1986), farklı bitkisel yağların üretimi, işlenmesi ve bunlardan yakıt elde edilmesi üzerinde çalışmıştır. Araştırmasında bitkisel yağlarının yağ oranlarını, element bileşimlerini, ısıl değerlerini tesbit etmiş ve bunların yakıt olarak Dünya' da büyük bir potansiyele sahip olabileceğini belirtmiştir.

Erdoğan (1991), yapmış olduğu çalışmasında, bitkisel yağların dizel motorlarında kullanım olanaklarını araştırmıştır. Araştırmalarının sonucunda, bitkisel yağların tam atomizasyon sağlayamaması ve bunun sonucu olarak da yanmanın tam olarak gerçekleşememesi sebebiyle, dizel motorlarında doğrudan yakıt olarak kullanımlarının mümkün olmadığının altını çizmiştir. Ayrıca araştırmacı, acil durumlarda bitkisel yağların dizel yakıtının içerisine % 25 oranında doğrudan karıştırılarak kullanılabileceğini, bunun yanında çeşitli kimyasal yöntemler kullanılarak, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilebileceğini belirtmiştir.

Işığıgür (1992), çalışmasında viskozite düşürme yöntemleri olarak, seyreltme ve transesterifikasyon yöntemlerini deneme amaçlı yetiştirdiği aspir bitkisi yağına uygulamış, motor deneylerini gerçekleştirmiş ve dizel yakıta alternatif bir yakıt olup olmadığını araştırmıştır. Denemeler sonucunda motor karakteristik eğrilerinin dizel yakıtına yakın değerde çıkmasına karşın, emisyon değerlerinde düşme görüldüğünü belirtmiştir.

Rakopoulus (1992), çalışmasında zeytin yağını dizel yakıtı ile % 25/75 ve % 50/50 oranlarında karıştırarak DI (Dıesel Injection) ve IDI (Indirect Injection) motorlarda gerçekleştirdiği denemelerinde, performans ve emisyon karakteristiklerini karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, en iyi sonucu % 50/50 oranında hazırlanan yakıt karışımından aldığını ifade etmiştir.

Karaosmanoğlu ve Aksoy (1994), araştırmalarında, kullanılmış kızartma yağının seyreltme tekniği ile viskozitesini düşürmüşler ve çeşitli karışımlar üreterek, bu karışımların fiziksel özelliklerini irdelemişlerdir. Araştırmalarının sonucunda % 40' a kadar olan karışımların dizel yakıtı yerine kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Alibaş ve Ulusoy (1995), çalışmalarında bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılma olanaklarının belirlenmesini içeren araştırmaları ele almışlardır. Özellikle, bitkisel yağların ülkemizdeki potansiyelinden, yakıt özelliklerinden, kimyasal özelliklerinden ve yakıt özelliklerinin iyileştirme yöntemlerinden bahsetmişlerdir.

Purcell *et al.* (1996), araştırmalarında soya yağından metil ester elde edip bu yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Daha sonra soya yağı metil esterine motorda geçici test uygulanmış ve yakıtın emisyon değerlerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, emisyon karakteristiklerinin dizel yakıtına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Erdoğan ve Onurbaş (1994), araştırmalarında direkt püskürtmeli küçük güçlü bir dizel motorunun performansını bazı bitkisel yağlar ve dizel yakıtı ile belirlemişlerdir. Bu amaçla dizel yakıtı ile ayçiçeği, pamuk ve mısır yağları saf olarak ve belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmıştır. Dizel yakıtı ile rafine bitkisel yağ karışımları ile sadece bitkisel yağlarla çalışmada püskürtme pompasında herhangi bir ayar yapmaksızın güç düşüşü olduğu belirlenmiştir. Güç düşüşü, yakıt karışımındaki bitkisel yağ oranı arttıkça daha fazla gözlenmiştir. Yine aynı şekilde, dizel yakıtı-bitkisel yağ karışımları ve bitkisel yağlarla yapılan çalışmalarda dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminde de artış görülmüştür. Bu artışın, yakıt karışımı içerisindeki bitkisel yağ oranı arttıkça daha da yükseldiği görülmüştür. Ayrıca denemelerde kullanılan bitkisel yağlar arasında güç ve özgül yakıt tüketimi değerleri açısından önemli derecede bir farklılık görülmemiştir.

Erdoğan vd. (1997), araştırmalarında, yakıt olarak kullanılan mısır özü, ayçiçeği ve soya yağlarının uygulanabilirliğini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla direkt püskürtmeli, 4 zamanlı 5,5 kW anma gücünde bir motorda yakıt olarak bitkisel yağlar saf olarak ve dizel yakıtı ile % 50 oranında karıştırılarak, daha sonra da bitkisel yağları ön ısıtmaya tabi tutarak kullanmışlardır.
Çalışmanın sonucunda en uygun çalışma koşulunun, 90 ºC' de ön ısıtmaya tabi tutulan saf bitkisel yağların, dizel yakıtı ile % 50 oranında karışımından elde edilen performans değerleri olduğu belirlenmiştir.

Oğuz (1998), araştırmasında ayçiçek yağının vizkozitesini düşürüp, yakıt olarak kullanılabilmesi için seyreltme yöntemini kullanmıştır. Ayçiçek yağı, dizel yakıtına hacimsel olarak % 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 oranlarında karıştırılarak seyreltilmiştir. Elde edilen bu yakıtlar motorda herhangi bir değişikliğe gidilmeden kullanılmış ve dizel yakıtı ile mukayese edilmişlerdir. Ayrıca yakıt tüketimi, güç, tork, duman yağunluğu ve HC,CO, $CO_2$ olarak gaz emisyonları incelenmiştir. Sonuç olarak rafine edilmiş ayçiçeği yağı ile dizel yakıtı karışımları kullanıldığı zaman, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, motor performansında önemli oranlarda değişme olmadığı belirlenmiştir.

Ulusoy ve Alibaş (1999), kanola yağı, pamuk yağı, soya yağı ve ayçiçek yağının yakıt özeliklerini, yapmış oldukları çalışmada incelemişlerdir. Araştırmalarında 4 zamanlı bir dizel motorundan yararlanmışlar ve % 25 yağ + dizel karışımları ile motorun tork, güç, yakıt verimi, egzoz sıcaklık ve volumetrik verim değerlerini belirlemişlerdir.

Sonuç olarak, dizel yakıtının torkunun, düşük ve yüksek devirlerde yükseldiğini ancak, orta devirlerde diğer yakıt ile aynı kaldığı, egzoz sıcaklığının her iki yakıtta da aynı kaldığı ve güç değerlerinin de devirle orantılı olarak aynı kaldığı gözlemlenmiştir.

Yücesu vd. (1999), çalışmalarında tek silindirli bir dizel motorunda alternatif bir yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde No 2-D dizel yakıtı ile birlikte değişik bitkisel yağlar (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) kullanılmıştır.
Motorun tam gaz – değişik devir ve sabit devir – değişik yük deneyine tabi tutulduğu denemeler sonucunda, bitkisel yağın performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, duman koyuluğunun bitkisel yağlarda daha yüksek, $NO_X$ emisyonlarının ise No 2-D dizel yakıtından daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Üretilen bitkisel yağ metil esterleri değerlerinin ham yağlarda daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğu belirlenmiştir.

Kusdiana and Saka (2000), araştırmalarında kolza yağından biyodizel üretimi için süperkritik yöntemi kullanmışlarıdır. Süperkritik yöntemde katalizör kullanmadan daha yüksek sıcaklıkta 240 saniye gibi bir zamanda esterleştirme olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca transesterifikasyon ve süperkritik yöntemlerinden elde edilen metil ester oranları ile bir karşılaştırma yapmışlar ve süperkritik yöntemde elde edilen metil ester oranının % 1,5 oranında daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Demirbaş (2001), çalışmasında süperkritik metot ile 6 farklı çeşit yağdan biyodizel üretmiş ve elde ettiği bu alternatif yakıtların yakıt özelliklerini belirleyerek, dizel yakıt değerleri ile kıyaslamıştır. Esterleme işlemi sonunda viskoziteler düştüğünde, en düşük viskoziteye (2,8 $mm^2/s$) fındık yağının sahip olduğunu saptamıştır. Dizel yakıtının viskozitesi 2,7 $mm^2/s$ olduğundan fındık yağı biyodizelinin viskozitesinin oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Oğuz ve Öğüt ( 2001), çalışmalarında bitkisel esaslı yağların tarım traktörlerinde yakıt, motor yağı ve hidrolik yağı olarak kullanım imkanları ve bunların avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuşlardır. Bitkisel yağların, yağlayıcı madde olarak ortaya çıkmasındaki esas, elde edilen ürünlerin çevre dostu olması, çiftçi tarafından üretilmesi ve yakıt kulllanımı bittikten sonra doğaya serbest bırakıldığı zaman kendiliğinden biyolojik ayrışabilme yeteneğinin olmasıdır. Ülkemizde zengin biyokütle kaynaklarına sahip olduğumuzun altını çizmiş, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif motor yakıtı üretiminde değerlendirilmesinin büyük önem taşıdığını belirtmişlerdir.

Antolin *et al.* (2002), yapmış oldukları çalışmada, ayçiçek yağını biyodizele dönüştürme işlemi olarak, transesterifikasyon yöntemini kullanmışlardır. Sıcaklık, reaktan miktarı, arıtma metotları gibi önemli değişkenlerin ideal seviyeye çekilebilmesi için Avrupa standartlarında ve yüksek kalitede ürün elde edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Denemeler sırasında; ayçiçek yağı metil esterlerinin karakteristikleri, dizel yakıt performanslarına göre test edilmiş viskozite, donma noktası, parlama noktası ve asit kompozisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçları, biyodizelin, optimum koşullar altında fosil yakıtlar yerine geçebilecek mükemmel bir alternatif yakıt olduğunu göstermiştir. Katalizör olarak %0,28 ve %0,55 kadar KOH kullanılmış, metanol fazlalığı önemli olduğundan iki ve üç zamanlı stokiyometrik miktarlar kullanılmıştır. Sıcaklık 70 ºC olarak belirlenmiş ve yıkama işleminde %5 w/w fosforik asit çözeltili su ve saf su kullanılmıştır. Araştırma sonuçları, motor gücünde az da olsa düşüşler gözlendiğini ancak CO emisyon miktarında ki azalmanın önemli boyutlarda olduğunu göstermiştir.

Kalam and Masjuki (2002), çalışmalarında, dört silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli ve su soğutmalı bir dizel motor üzerinde palmiye yağının emisyon değerlerini incelemişlerdir. Malezya'da gerçekleştirdikleri çalışmalarında yakıt olarak No 2-D dizel yakıtı, %7,5 palmiye yağı + %92,5 dizel yakıtı ve %15 palmiye yağı + %85 dizel yakıtı kullanarak emisyon değerlerinden CO, $CO_2$, HC, $NO_x$, $SO_x$ ve duman yoğunluğu değerlerini gözlemlemişlerdir. Palmiye yağının maliyetinin soya yağı maliyetine göre %20 daha düşük, dizel yakıtına göre %25 daha yüksek olduğunu ve %15 Palmiye yağı + %85 dizel yakıtı karışımının emisyon değerlerinin dizel yakıt emisyon değerlerine göre belirgin bir oranda az olduğunu belirtmişlerdir.

Karabektaş (2004), araştırmasında biyodizel ve % 50 biyodizel - % 50 dizel yakıtı karışımı yakıt kullanımının motor performansı üzerindeki etkisini, dizel yakıtı kullanımı ile karşılaştırmalı olarak küçük güçlü bir dizel motorda deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca deneysel verilerle çizilen diyagramlar ile matematiksel eşitliklerden yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler karşılaştırılmış ve sonuçların birbirlerine çok yakın değerler gösterdikleri belirlenmiştir. Performans karakteristiklerinin, karışım içindeki biyodizel oranı ile değiştiği tespit edilmiştir.

Oğuz (2004), araştırmasında, tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin, yakıt olarak kullanım olanaklarını incelemiştir. Öncelikle alternatif yakıt olarak fındık yağı metil esterinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ve yaygın olarak kullanılmakta olan transesterifikasyon yöntemi benimsenmiştir. Elde edilen fındık yağı metil esteri dört zamanlı, dört silindirli, 60 kW gücünde direkt püskürtmeli bir dizel motorda denenerek, dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yakıt tüketimi, moment, güç, duman yoğunluğu ve emisyon karakteristiklerinden bazıları olan HC, CO, $CO_2$ gaz emisyonları incelenmiştir. Sonuç olarak araştırmacı, fındık yağı metil esteri kullanıldığı zaman, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, motor performansında önemli oranlarda değişme olmadığını ve güçte çok az bir düşme ile özgül yakıt tüketiminde % 10,2' lik bir artış gerçekleştiğini belirtmiştir.

Ar (2005), araştırmasında, yerli ve yenilenebilir bir yakıt olan biyodizel ile ilgili teknik bilgi ve dünyadaki uygulamalarının yanı sıra, üretimine ve kullanımına ilişkin dünyadaki ve Türkiye' deki yasal düzenlemeleri irdelemiştir.

Eliçin (2005), araştırmasında, yakıt olarak kullanılan fındık yağının 5,5 kW anma gücünde dört zamanlı bir dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerini incelemiş ve uygulanabilirliğini irdelemiştir. Yakıt olarak fındık yağını öncelikle saf olarak, dizel yakıtı ile % 10/90, % 20/80, % 30/70, % 40/60, % 50/50 oranlarında karıştırarak ve transesterifikasyon yöntemini kullanarak elde ettiği alkil esterlerin motor ve emisyon denemelerini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın sonuunda üretim fazlası ham fındık yağlarının hem yalnız başına hem de metil esterlerinin alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kısa süreli kullanılabileceğini ifade etmiştir.

# 3. MATERYAL VE YÖNTEM

## 3.1 Materyal

Yapılan çeşitli araştırmalara göre kullanılan bitkisel yağlardan dizel yakıtı özelliğine en çok yaklaşabilen bitkisel yağın seçimi, bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında önem arz etmektedir. Bu amaçla bitkisel yağların yakıt özelliklerinin belirlenerek bu özelliklerin birbirleriyle ve dizel yakıtı ile karşılaştırılması gerekmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, yağlar içerisinde keten tohumu yağı en düşük viskoziteye sahiptir. Ancak oksidasyon süresi çok düşük olduğundan kararsız bir yapı göstermektedir. Ayrıca setan sayısı düşük bir değerdedir. Yüksek setan sayısı, yüksek oksitlenme süresi, düşük viskozite, düşük donma noktası ve düşük akma noktası gibi özellikler mısır yağı, kanola yağı, susam yağı, pamuk yağı ve soya yağlarını dizel yakıtı alternatifi olarak ön plana çıkarmaktadır. Ayçiçeği ve yer fıstığı ise bu yağlardan sonra tercih edilmektedir (Mohammed 1995).

Kanola yağı, öncelikle saf olarak dizel yakıtıyla %20/80, %40/60, %60/40 ve %80/20 oranlarında karıştırılarak motor ve emisyon denemeleri yapılmıştır. Daha sonra kanola yağından elde edilecek olan metil esterle, motor ve emisyon denemeleri yapılmıştır. Kanola yağından metil ester elde etmek için tamamiyle tasarımı ve imalatı mikroişlemci teknolojisi ile desteklenen küçük ölçekli bir biyodizel üretim düzeneği kullanılmış ve biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyodizelin ve karışımların viskozitesi, yoğunluğu, nem miktarı gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri deneyleri çeşitli laboratuvarlarda ölçülmüştür.

Elde edilen bu alternatif yakıtlar, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümün'de bulunan motor test ünitesinde, küçük güçlü bir dizel motorunda denenmiştir. Denemede kullanılan motora ait genel özellikler aşağıdaki Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Denemede kullanılan dizel motorunun özellikleri

| | |
|---|---|
| Marka | Lombardini |
| Model | LDA 450 |
| Silindir sayısı | 1 |
| Yanma odası | Direkt püskürtmeli |
| Yakıt | Dizel |
| Silindir çapı | 85 mm |
| Silindir stroğu | 80 mm |
| Silindir hacmi | 454 $cm^3$ |
| Sıkıştırma oranı | 17,5 : 1 |
| Enjeksiyon zamanı | 25 $^o$ BTDC |
| Maksimum tork (1700 d/d) | 28,5 Nm |
| Nominal devir | 3000 d/d |
| Maksimum güç | 5,5 kW |

### 3.1.1 Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar

#### 3.1.1.1 Motor test ünitesi

Motor denemeleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde mevcut olan motor test ünitesinde yapılmıştır. Bu ünitede eşzamanlı olarak bilgisayar ortamına aktarılabilen, fren beygir gücü, dönme momenti, devir sayısı, egzoz - emme basınç ve sıcaklıklarının ölçümleri yapılmaktadır. Test ünitesine ait teknik özellikler Çizelge 3.2'de görülmektedir. Şekil 3.1'de ise denemede kullanılan motor test ünitesi görülmektedir.

Çizelge 3.2 Denemede kullanılan motor test ünitesinin özellikleri

| | |
|---|---|
| Marka | Taylan Makina Ltd.Şti. |
| Model | Taylan |
| Tip | Hidrolik dinamometre |
| İmalat yılı | 1999 |
| Maksimum performans | kW (0 – 40) |
| Maksimum hız | 1/min (0 – 6000) |
| Maksimum tork | Nm (0 – 175) |
| Maksimum terazi değeri | kg ( 75) |
| Hız değeri ölçüm aralığı | 1/min (0 – 3250) |
| Maksimum performansda su debisi | $m^3$/h (0 – 1,2) |
| Dönüş yönü | Tek yönlü |



Şekil 3.1 Denemede kullanılan motor test ünitesi

### 3.1.1.2 Yakıt tüketimi ölçüm düzeni

Ölçüm değeri olarak saatlik yakıt tüketimi alınmaktadır. Yakıt tüketimi değişimlerini incelerken, büyüklükleri farklı olan motorlarda saatlik yakıt tüketiminden gidilerek, karşılaştırma yapılmaz. Bu amaçla, saatlik yakıt tüketiminin motor gücüne oranı olan özgül yakıt tüketimi değerlerinden yararlanılır. Hacim ölçülmesinde en basit yöntem, bir kap içerisinde hareket eden yakıt yüzeyinin iki ölçü çizgisi arasından geçme süresinin kronometre ile saptanmasıdır. Bu süreden hareket edilerek, saatlik yakıt tüketimi l/h olarak bulunur. Bu değer yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak, kg/h olarak yakıt tüketimi belirlenir (Avcıoğlu 2002).

Hacimsel olarak 50 ve 100 ml hacminde ölçüm yapabilen cam balonlardan oluşan depo ile yakıt pompası arasına bağlanan, kullanılan yakıtların saatlik ve özgül yakıt tüketimlerini belirlemek amacıyla, motor test ünitesinin yanında bulunan yakıt tüketimi ölçüm ünitesinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2'de yakıt ölçüm ünitesi ve yakıt depoları görülmektedir.





Şekil 3.2 Yakıt tüketimi ölçüm düzeni ve yakıt depoları

### 3.1.1.3 Duman yoğunluğu ölçüm cihazı

Dizel motorlarında yayılan atık gazların belirlenmesinde duman koyuluğu (K değeri) ölçülmektedir. Bunun için denemelerde Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde bulunan CAP 3200 - OPA marka Şekil 3.3' de görülen duman yoğunluğu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz çalışma sırasında direkt olarak 4 adet K değeri ve egzoz sıcaklığını ölçebilmektedir. Cihazın ölçüm aralığı 0,00 ile 9,99 $m^{-1}$ ve hassasiyeti 0,01 $m^{-1}$ dir. Sıcaklık sensörünün ölçüm aralığı ise 0 - 256 $^{o}C$' dir. Cihaz tam otomatik olup kısa sürede ölçüm gerçekleştirebilmekte ve hassasiyeti 1 $^{o}C$'dır.




Şekil 3.3 Duman yoğunluğu (Eposite) ölçüm cihazı

### 3.1.1.4 Gaz analiz cihazı

Elde edilen karışım, yakıtların yanması sonucu oluşan atık gazların ölçümü için Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde bulunan TSI 6200 Combustion Analyzers marka mikroişlemci kontrollu gaz analiz cihazından yararlanılmıştır (Şekil 3.4). Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Gaz analiz cihazı ölçüm parametre ve aralıkları

| Marka | TSI 6200 |
|---|---|
| $O_2$ konsantrasyonu | 0 – 20% |
| CO konsantrasyonu | 0 – 5000 ppm |
| NO konsatrasyonu | 0 – 4000 ppm |
| $NO_2$ konsantrasyonu | 0 – 500 ppm |
| $SO_2$ konsantrasyonu | 0 – 4000 ppm |
| COhi konsantrasyonu | 0 – 20000 ppm |
| TA | 0 – 200 $^oC$ |
| TAint | 0 – 200 $^oC$ |
| $CO_2$ konsantrasyonu | % |
| COr | ppm CO / (%$CO_2$ / 10000) |
| EA | % |
| Lambda | % |




Şekil 3.4 Gaz analiz cihazı

### 3.1.1.5 Terazi

Çalışmada kullanılan yakıtların yoğunluklarını belirlemek amacıyla BEL Engineering marka terazi kullanılmıştır. Terazi, 0 – 2000 g ölçme aralığına sahip ve 0,01 g hassasiyetindedir (Şekil 3.5).




Şekil 3.5 Elektronik terazi

### 3.1.2 Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler

**Metanol :** $CH_3OH$, %99,5 safiyette, molekül ağırlığı 32.04 g/mol, 20 $^oC$'daki yoğunluğu 0,79 g/$cm^3$ olan Emir Kimya marka metanol kullanılmıştır.

**Sülfürik Asit :** $H_2SO_4$, 20 $^oC$'de yoğunluğu 1,84 g/$cm^3$, ve molekül ağırlığı 98,08 g/mol olan Emir Kimya marka sülfürik asit kullanılmıştır.

**Potasyum Hidroksit :** KOH, molekül ağırlığı 56,11 g/mol, %99,5 safiyette olan Emir Kimya marka Potasyum hidroksit kullanılmıştır.

### 3.1.3 Biyodizel üretim düzeneği

Basit bir biyodizel hazırlama ünitesi Şekil 3.6' da görülmektedir. Karıştırma için bir küçük mikser, ısıtma için bir fritöz, havalandırma için akvaryum hava taşı motoru kullanılmış ve tüm bu bölümler mikroişlemci ile kontrol edilmiştir (Eliçin 2005).




Şekil 3.6 Biyodizel üretim düzeneği

### 3.1.4 Kanola yağı biyodizelinin yakıt özellikleri

Çalışmada kullanılan rafine kanola yağının yağ asitleri kompozisyonlarının yüzde olarak**,** Yonca – Ege Yağ Sanayi ve Ticaret A.Ş. Bitkisel yağ Ar – Ge laboratuvarında ölçümü yapılmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 3.4'de görülmektedir.

Çizelge 3.4 Kanola yağı yağ asitleri kompozisyonları

| **YAĞ ASİTLERİ KOMPOZİSYONLARI** | | |
|---|---|---|
| **ASİTLER** | **DEĞER** | **LİMİT** |
| Miristik Asit | 0,03 | < 0,2 |
| Palmitik Asit | 4,88 | 2,5 - 7 |
| Palmitoleik Asit | 0,19 | < 0,6 |
| Erüsik Asit | 0,83 | < 2 |
| Stearik Asit | 1,64 | 0,8 - 3 |
| Oleik Asit | 62,52 | 51 – 70 |
| Linoleik Asit | 19,26 | 15 - 30 |
| Linolenik Asit | 7,69 | 5 - 14 |
| Araşidik Asit | 0,58 | 0,2 – 1,2 |
| Gadoleik Asit | 1,39 | 0,1 – 4,3 |
| Behenik Asit | 0,35 | < 0,6 |
| Lignoserik Asit | 0,83 | < 0,3 |
| Doymuş Yağ Asitleri (%) | 9,8 | _ |
| Serbest Yağ Asiti (%) | 0,3 | _ |
| Enerji (kcal/100 g) | 126 | _ |

## 3.2 Yöntem

Yapılan araştırma çalışmaları iki ana bölüm olarak planlanmıştır. Birinci bölümde kanola yağı, dizel yakıtı ile literatür bilgilerine dayanılarak belirli oranlarda karıştırılarak ve daha sonra emisyon ve motor denemeleri yapılmıştır. İkinci bölümde ise, önceden hazırlanmış basit biyodizel üretim tesisinde kanola yağı metil esteri elde edilecek, bu elde edilen yakıtın kimyasal ve yakıt özellikleri incelendikten sonra motor ve emisyon denemeleri yapılmıştır.

Aşağıda denemelerin aşamaları özetlenmiştir.

- Kanola yağı ile dizel yakıtı % 20/80, % 40/60, % 60/40 ve % 80/20 oranlarında karıştırılacak, tüm karışım numunelerinin yoğunlukları belirlenecek, viskozite değerlerinin ölçülebilmesi için her bir karışımdan 200 ml numune cam kavanozlara alınması,
- Numuneler alındıktan sonra her bir karışım yakıttan 3 tekrar olarak motor ve emisyon testlerinin gerçekleştirilmesi,
- Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanım değeri olan kanola yağı metil esterinin üretilmesi,
- Bu üretilen kanola yağı esterinin fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerinin belirlenmesi,
- Üretilen ester yakıtın 3 tekrar halinde motor ve emisyon denemelerinin yapılması,
- Sonuçların değerlendirilmesi.

### 3.2.1 Kanola yağından biyodizel üretilmesi

Kanola yağı, yağ asitleri bileşimleri bakımından dizel motorlar için alternatif yakıt olarak değerlendirilebilmektedir. Yüksek viskozite probleminin çözülmesi, diğer biyodizel yakıtlarında da bilindiği üzere kanola yağından biyodizel üretmek için de ön şarttır. Bu araştırmada, vizkozite azaltma yöntemlerden biri olan yeniden esterleştirme (transesterifikasyon) işlemi kullanılmıştır. Yeniden esterleştirme yöntemi bitkisel yağların viskozitesini düşürmede kullanılan yöntemler arasında en sağlıklı olan ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Yonca – Ege Yağ Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından Manisa ilinde üretimi yapılan kanola yağı temin edilerek, biyodizel üretim ünitesinde kanola yağı biyodizeli üretilmiştir.

Kanola yağı metil ester elde etme yönteminin esası, bir trigliserid olan bitkisel yağın metil alkolle uygun miktarlarda karıştırılması, uygun katalizörün ilave edilmesi ve belirli bir sıcaklıkta reaksiyonun gerçekleştirilmesidir. Biyodizel olarak adlandırılan tüm yağların yeniden esterleştirme işlemi metanol veya etanol kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Genellikle baz katalizörler, reaksiyon zamanını kısaltıcı etkisinden dolayı tercih edilmekte ve bu nedenle denemelerde KOH tercih edilmiştir. Kanola yağından biyodizel elde etmek için, yağ biyodizel üretim düzeneğinde motorda kullanılacak hale gelinceye kadar aşağıdaki akış şemasında görülen işlemlerden geçirilmiştir. Bu işlemler Şekil 3.7’ de görülmektedir.

- Kanola yağı bir tanka konularak 70 $^{o}$C’ ye kadar ısıtıldı. Mikroişlemcili bir termostat kontrolu ile bu sıcaklığın tüm reaksiyon boyunca sabit kalması sağlandı. Yağ sıcaklığının her noktada aynı kalmasını sağlayabilmek amacı ile karıştırıcı ile yağ sürekli karıştırıldı.

- Kullanılan kanola yağının hacimsel olarak % 20’sine karşılık gelen metanol ve kanola yağının ağırlıkça 2,5 g/l yağ oranında KOH ayrı bir kapta karıştırıldı ve bir süre bekletildi.

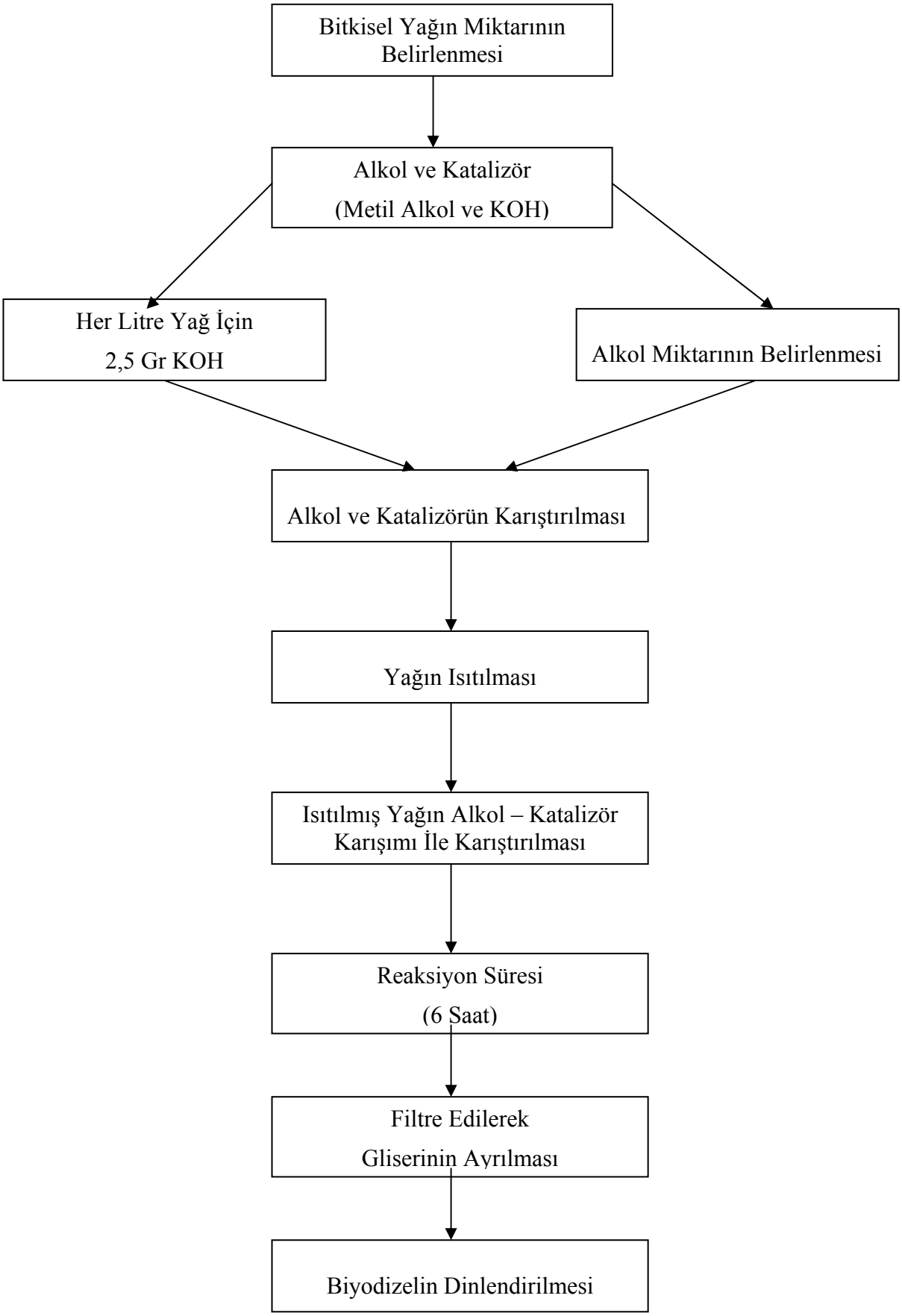
- Karışım süre ve sıcaklık kontrollü olan reaktörde 6 saat boyunca karıştırıldı. Reaktörde reaksiyonun iyi bir şekilde gerçekleşebilmesi için kullanılan karışımın sıcaklık değeri, karıştırma hızı ve reaksiyon süresi etkili olmaktadır.

- Karıştırma işleminden sonra karışımdan bir miktar numune cam kavonoza alınarak gliserinin ayrışmasının gözlenmesi amaçlandı. Dinlendirmeye alınan karışım 12 saat dinlendirilerek biyodizel ile gliserinin ayrışması sağlandı. Bu arada turnusol kağıtları ile üstteki biyodizelin pH'ına bakıldı. Reaksiyon bazik karakterli olduğu için nötürleşinceye kadar sülfürik asit ilavesi yapıldı.

- Bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel içerisinde kalan yağ asitleri, reaksiyona girmeyen alkol, katalizör madde ve ayrışma esnasında kalma ihtimali söz konusu olan gliserinin bünyeden uzaklaştırılması için yıkama işlemi yapılması gerekmektedir. Yıkama işleminde saf suyla kabarcık yöntemi tercih edildi. Bu yöntemle elde edilen biyodizel 1/1 oanında saf su ile karıştırıldı. Bir hava pompasına (akvaryum hava motoru) bağlanan hava taşı karışımın içerisine yerleştirilerek, içeriye hava gönderildi. Böylece kabarcıkların oluşması sağlanarak ve pH değeri ölçülerek karışım değeri 7 oluncaya kadar sülfürik asit ilave edildi (Eliçin 2005).

- 4 saat süren yıkama işlemi esnasında karışım kontrol edilerek köpürme yapmaması gerekmektedir.

- Su ile biyodizelin faz oluşturarak suyun dibe çökmesi için 12 saat beklendi ve su tahliye edildi. Yıkama tankının içerisinde kalan biyodizelde su kalma ihtimaline karşın, suyun kaynama noktası olan 100 $^{o}$C'ın üzerinde ısıtılarak biyodizel içindeki suyun buharlaşması sağlandı ve böylece kanola yağından biyodizel üretilmiş oldu.




Şekil 3.7 Biyodizelin üretim akış şeması

### 3.2.2 Yağ karışımlarının ve elde edilen metil esterin viskozitelerinin incelenmesi

Bitkisel yağların yakıt olarak direkt kullanılamamalarının ana nedeni viskozitedir. Viskozite bitkisel yağların, yağ asidi bileşimlerine, yoğunluklarına ve çevre sıcaklıklarına göre değişmektedir. Viskozite bitkisel yağın karbon zinciri uzunluğu ile orantılı olarak artmaktadır. Çizelge 3.5'de karışımların ve esterlerin oda sıcaklığı koşullarında viskozite değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.5 Elde edilen yakıt türlerinin viskozite değerleri

| **Yakıt Türü** | **20 $^{o}$C'da Viskozite değeri (cSt)** |
|---|---|
| Dizel yakıtı | 3,626 |
| Kanola yağı | 59,487 |
| %20 KY + %80 Dizel yakıt karışımı | 7,829 |
| %40 KY + %60 Dizel yakıt karışımı | 14,785 |
| %60 KY + %40 Dizel yakıt karışımı | 21,653 |
| %80 KY + %20 Dizel yakıt karışımı | 32,245 |
| Kanola yağı metil esteri | 6,542 |

### 3.2.3 Yağ karışımlarının ve elde edilen metil esterin yoğunluklarının incelenmesi

Deneme yakıtlarının yoğunlukları da oda sıcaklığı koşullarında 3 tekrar olarak ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır. Çizelge 3.6'da ölçülen yoğunluklar görülmektedir.

Çizelge 3.6 Elde edilen yakıt türlerinin yoğunluk değerleri

| **Yakıt Türü** | **20 $^{o}$C' da Yoğunlukları (g/cm$^{3}$)** |
|---|---|
| Dizel yakıtı | 0,779 |
| Kanola yağı | 0,886 |
| %20 KY + %80 Dizel yakıt karışımı | 0,733 |
| %40 KY + %60 Dizel yakıt karışımı | 0,740 |
| %60 KY + %40 Dizel yakıt karışımı | 0,746 |
| %80 KY + %20 Dizel yakıt karışımı | 0,751 |
| Kanola yağı metil esteri | 0,804 |

### 3.2.4 Motor denemeleri

Termik motorların deney yöntemleri ülkelere göre farklılıklar göstermektedir. Başlıca deneme yöntemleri; DIN, TSE, SAE ve CUNA deneme yöntemleridir.

**DIN** (Deutsche Industri Norm) **Deneme Yöntemi**: Almanya'da kullanılmaktadır. OECD Traktör Deneme Koduna göre yapılan motor denemeleri de bu yönteme benzemektedir. Deneme sırasında motor işletmeye hazır durumda olmaktadır. Bütün donanımlar motor üzerinde olduğu için, ölçülen güç, motorun efektif gücüdür.

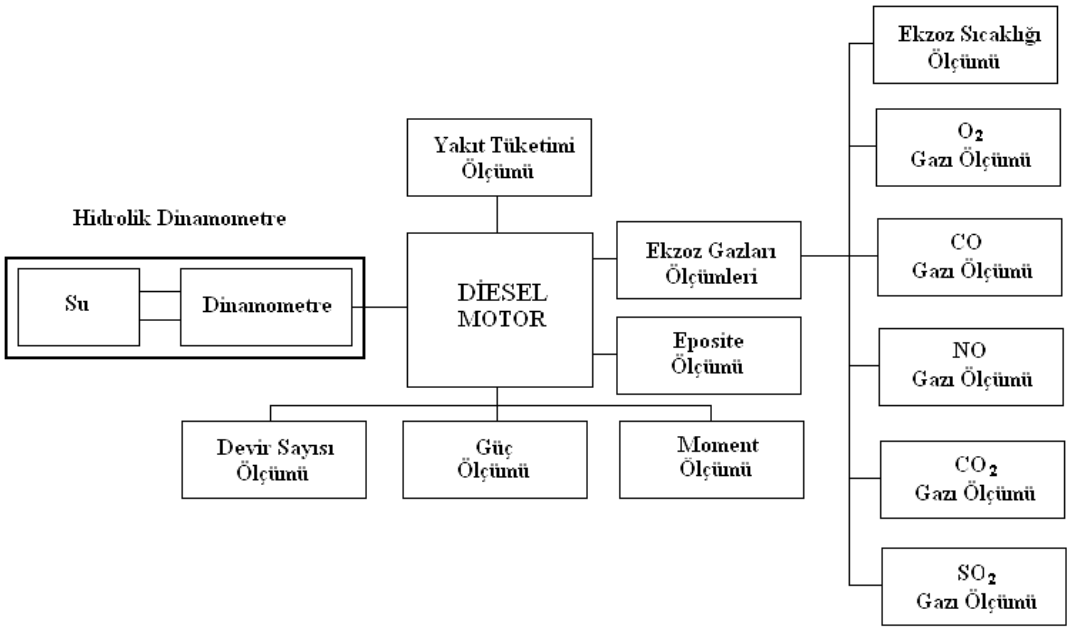
**TSE** *(*Türk Standartları Enstitüsü*)* **Deneme Yöntemi**: Bu yöntem uluslararası standartlardan yararlanılarak hazırlanmıştır. Yöntemde, motor işletilmeye hazır durumdadır ve motorun efektif gücü ölçülmektedir.

**SAE** (Society Automotive Engineers) **Deneme Yöntemi**: ABD'de uygulanan bu yöntemde motorun brüt gücü ölçülmektedir. Deneme esnasında, motor gücünü kullanan organlar ile hava filtresi, egzoz donanımı gibi motor gücünü kullanan tüm donanımlar motordan ayrılmaktadır. Ölçülen motor gücü, Alman normuna göre oranla %10-20 daha fazladır.

**CUNA** (Commissione Unificatione Normalizzazione Autoveicoli) **Deneme Yöntemi**: İtalya'da uygulanmaktadır. Deneme esnasında hava fitresi ve egzoz donanımı motordan ayrılmaktadır. Ölçülen güç, Alman normuna göre ölçülen değerden %5-10 fazladır.

Motor denemeye alınırken, emme donanımı, egzoz donanımı, yakıt donanımı, elektrik donanımı, soğutma donanımı, aşırı doldurma donanımı üzerinde takılı ve doğru bir şekilde yerleştirilmiş olmalıdır. Araç motorlarının üzerinde bulunan, ancak motorun çalışmasına etkisi olmayan klima düzeni, direksiyon güç pompası, hava kompresörü, hidrolik kaldırma pompası gibi donanımların da çıkarılması gerekmektedir. Bu donanımların çıkarılamadığı durumlarda, bunların yüksüz durumda çektikleri güç, ölçülen motor gücüne eklenmektedir. Denemede kullanılacak motorun tüm ayarları önceden yapılmalı ve deneme süresince sabit tutulmalıdır. Denemeler, motorun devir sayısı ve sıcaklığı kısa bir süre sabit kalmadıkça, motor kararlı devir sayına ulaşmadan yapılmamalıdır. Motor devir sayısı, ayarlanan ölçme kademesinde ± %1 veya ± 10 d/d'dan fazla sapmamalıdır. Dönme momenti, yakıt tüketimi ve emme havası sıcaklığı aynı anda ölçülmelidir. Moment ve yakıt tüketimi ölçümü ard arda iki kez yapılmalı ve bunların ortalaması alınmalıdır. İki ölçme arasındaki fark %2'den fazla olmamalıdır. Su soğutmalı motorlarda, soğutma suyu sıcaklığı 80 ± 5 $^{o}$C'de tutulmalıdır. Hava soğutmalı motorlarda ölçüm noktasındaki sıcaklık, imalatçı tarafından verilen en yüksek sıcaklık değerinden en fazla 20 $^{o}$C düşük olabilir (Eliçin 2005).

Denemelerin son kısmında, elde edilen farklı oranlardaki yakıt / kanola yağı karışımları ve kanola yağı metil esterinin, küçük güçlü bir dizel motorunda performans etkilerini ve emisyon karakteristiklerini incelemek için motor denemeleri yapılmıştır. Deney düzeneği daha önceden de belirtildiği gibi Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Atelyesinde bulunan deneme ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Deney tesisatını motor, hidrolik dinamometre, duman yoğunluğu ölçüm cihazı, beş gaz analiz cihazı, yakıt sarfiyatı ölçüm düzeneği ve kontrol üniteleri oluşturmaktadır. Deneme tesisatı bağlantı şeması Şekil 3.8'de görülmektedir.




Şekil 3.8 Motorun deney düzeneği ile bağlantı şekli (Eliçin 2005)

Motor, elde edilen karışımlar ve metil ester ile çalıştırılmadan önce, tesisin emniyeti açısından önemli olan, bağlantı elemanlarının kontrolu ve test düzeneğinin kalibrasyonu için başlangıçta dizel yakıtı kullanılarak sistem boşta denenmiştir. Daha sonra dizel yakıtı referans yakıt olarak denenmiş ve motor yüklenerek değerler alınmış ve diğer yakıt türleri için denemelere geçilmiştir. Her bir yakıt türü için denemeye başlanmadan önce mutlaka dizel yakıtı ile boşta çalıştırılarak diğer yakıt türünden yakıt kalıntısının kalmamasına çalışılmıştır.

Motor denemeleri tam gaz konumunda hidrolik bir dinamometre ile yapılmıştır. Denemeler her bir yakıt türü için 3 tekrar halinde yapılmış ve tekrarlar arasında en az 2 saat motorun soğuması için beklenmiştir (Eliçin 2005).

Egzoz gazı çıkışı aspiratörlü bir bacaya verilmiştir. Duman yoğunluğu ve emisyon değerlerinin ölçümleri bu aletlerin sensörleri egzoz borusu üzerinde delikler açılarak, aynı devir sayıları üzerinden alınmıştır.

Motor tam gazda iken, motor mili kademe kademe yüklenerek motor devir sayısı maksimum devirden 250'şer 250'şer azaltılarak gerekli ölçümler alınmıştır. Aynı devir ve yükte yakıt ölçme düzeneği ile 50 ml yakıtın harcanması için geçen süre ölçülmüştür. TSE'ye göre; ölçülen güç hava şartları dikkate alınarak düzeltilmektedir.

Elde edilen tüm değerler anında kaydedilmiş ve Excel programına aktarılarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve grafiklerin çizimi gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.5 Deneysel verilerin hesaplanması

Kullanılan her yakıt türü için motor karakteristik değerlerinin elde edilmesinde, standart motor deneyleri uygulanmıştır. Yapılan denemelerde doğrudan okunan dönme momenti, devir ve fren beygir gücü ve süre değerleriyle, saatlik yakıt tüketimi, efektif güç ve özgül yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Tablodan okunan dönme momenti, kgm'den Nm'ye dönüştürülmüştür. Her bir yakıt türü ve her bir yükleme durumunda yine aynı şartlar altında emisyon ve eposite değerleri ölçülerek kaydedilmiştir.

Efektif güç değeri Formül 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$N_e = \frac{M_d \times n}{9550} \quad \text{..... 3.1}$$

Formülde;

$M_d$ : Dönme momenti, (Nm)
n : Devir sayısı, (1/min)
$N_e$ : Efektif güç, (kW)' dır.

Denemelere motor tam gazda ve yüksüz olarak başlanmıştır. Daha sonra motor kademeli bir şekilde yüklenerek belirli devirlere gelmesi sağlanmış, kararlı hale gelmesi için en az 20 dakika beklenilmiş ve ölçümler kaydedilmiştir. Her yakıt cinsi için ölçümler bitince, en az iki saat motorun soğuması beklenmiş ve diğer tekrarlar gerçekleştirilmiştir.

Değişik devirlerde, 50 ml yakıtın harcanması için geçen süre ölçülmüştür. Bu değer 1 litre yakıtın harcanması için geçen süre için oranlanarak litre/saat'e çevrilmiştir. Saatlik yakıt tüketiminin kg/h olarak elde edilebilmesi için litre/saat olan saatlik yakıt tüketimini kullanılan yakıtın deneme esnasında giriş sıcaklığındaki yoğunluk ile çarpılmıştır( Oğuz 1998).

Özgül yakıt tüketimi, Formül 3.2 kullanılarak söz konusu her yakıt ve devir için hesaplanmıştır.

$$b_e = \frac{B.1000}{N_e} \quad \text{.....3.2}$$

Formülde ;

$b_e$ : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

B : Saatlik yakıt tüketimi, (kg/h)

$N_e$ : Efektif güç, (kW)'dir.

# 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Referans yakıt olan dizel yakıtı ile bitkisel yağların yakıt özelliklerinin karşılaştırılması, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin belirlenmesi ve iyileştirme çalışmaları, bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması ile ilgili araştırmaların temelini oluşturmaktadır.
Bu çalışmada yakıt olarak kullanılan kanola yağı, Avrupa standardı olarak kabul edilmesi, ülkemizde de bu standardın geçerli olması, çiftçiye teşviki yapılan bir ürün haline gelmesi ve özellikle yeniden esterleme yöntemi ile elde edilen kanola yağı metil esterinin yakıt özelliklerinin, referans yakıt olan dizel yakıtına yakın değerlere sahip olması nedeniyle kanola yağının seçilmesinde oldukça doğru bir seçim yapıldığı görülmüştür.

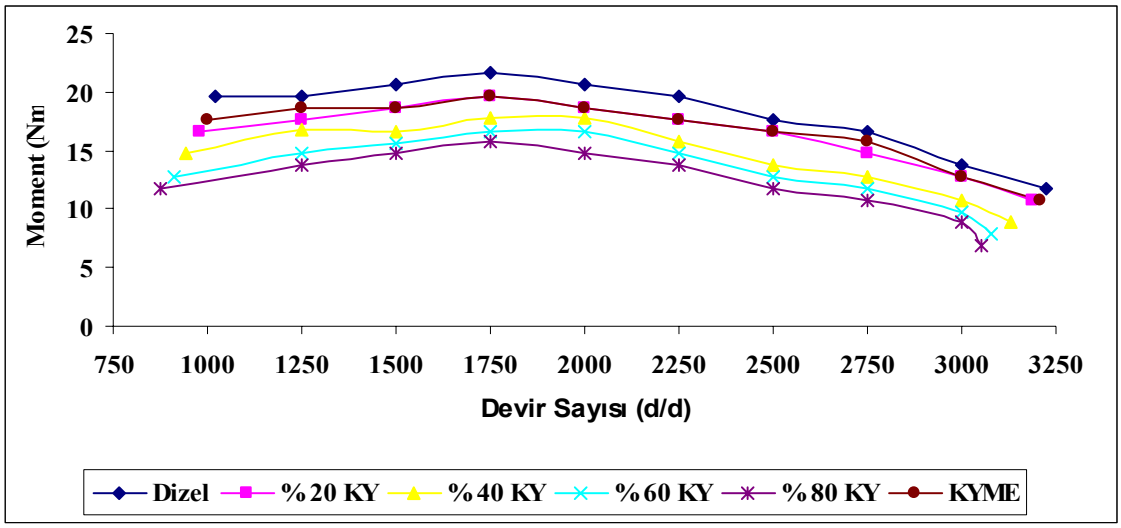
Kanola yağı % 51 – 71 oranında oleik asit ve %15 – 30 linoleik asit içeren bir yağdır. Araştırma ve uygulamalar, kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağlı yağ asitlerini içeren yağların uygun dizel yakıtı alternatifi olduğunu ve artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu durum oleik asitçe zengin yağların alternatif yakıt olarak ön plana çıkmasına sebep olmuştur. Yüksek oleik asitli bitkisel yağların oksitlenme direnci daha iyidir. Her bir yağda yağ asidi zincirinin farklı tiplerinin oranı olarak bitkisel yağların kompozisyonları değişmektedir. Monodoymamış zincirler oksitlenme direnci için iyidir. Polidoymamış zincirler fakir oksitlenme direnci verir, fakat düşük sıcaklıkta davranış özelliği iyileşmektedir. Doymuş yağ asidi zincirinin düşük sıcaklık direnci çok azdır. Bu yüzden istenen yağ çoğunlukla monodoymamış, polidoymamış zincirler ve minimum doymuş zincirlerin karışımına sahip olacaktır. Bitkisel yağların transesterifikasyonundaki temel amaç; yağ içerisindeki gliserini ayırmak, yağın kaynama noktasını, parlama noktasını, akma noktasını ve özellikle viskozitesini düşürmektir (Oğuz 2004).

## 4.1 Motor Performansı Deneme Sonuçları

Yapılan motor denemeleri sonucunda, dizel yakıtının, değişik oranlardaki dizel yakıtı / kanola yağı karışımlarının, kanola yağı metil esterinin tam gaz konumunda güç, moment, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketim değerleri devir sayısının fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

### 4.1.1 Moment değişimleri

Motor karakteristik eğrilerinden, motor momentlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri Şekil 4.1' de görülmektedir. En yüksek moment değerlerine dizel yakıtı kullanıldığında ulaşılmıştır. Dizel yakıtı 1750 devirde 21,582 Nm moment geliştirirken, aynı devirde %20 KY + %80 dizel yakıtı karışımı 19,620 Nm, %40 KY + %60 dizel yakıtı karışımı 17,758 Nm, %60 KY + %40 dizel yakıtı karışımı 16,667 Nm, %80 KY + %20 dizel yakıtı karışımı 15,696 Nm moment geliştirmiştir.

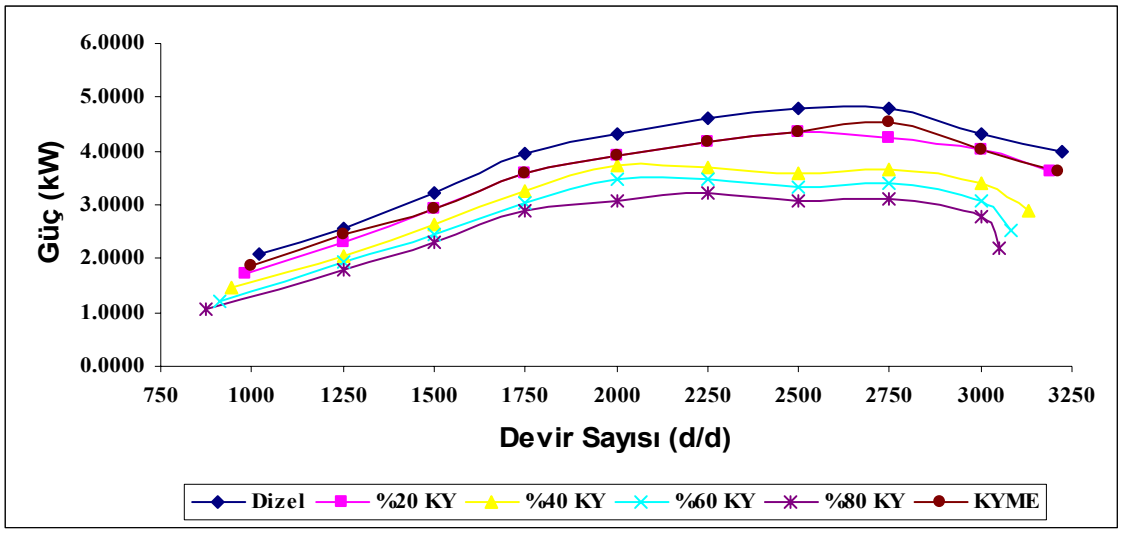



Şekil 4.1 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımlarının ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak moment değerlerinin değişimi

Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere karışıma ilave edilen her %20'lik kanola yağı'na karşılık yaklaşık olarak %10'luk bir moment düşüşü görülmüştür. Yine aynı şekilde, kanola yağı metil esteri arasında herhangi bir değişim görülmezken (1750 d/d'de 19,620 Nm), dizel yakıtından ise yaklaşık %10 oranında daha az bir momente sahip olduğu saptanmıştır.

### 4.1.2 Güç değişimleri

Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımlarından ve kanola yağı metil esteri yakıtından elde edilen motor güçlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri Şekil 4.2'de görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, dizel yakıtı ile yapılan denemelerde maksimum güce 2750 d/d'da ulaşılmış ve güç değeri ise 4,8022 kW olarak elde edilmiştir. Aynı devir sayılarına bakıldığında, %20 KY + %80 dizel yakıtı karışımı 4,2373 kW, %40 KY + %60 dizel yakıtı karışımı 3,6723 kW, %60 KY + %40 dizel yakıtı karışımı 3,3898 kW, %80 KY+ %20 dizel yakıtı karışımı 3,1073 kW güç geliştirmiştir.

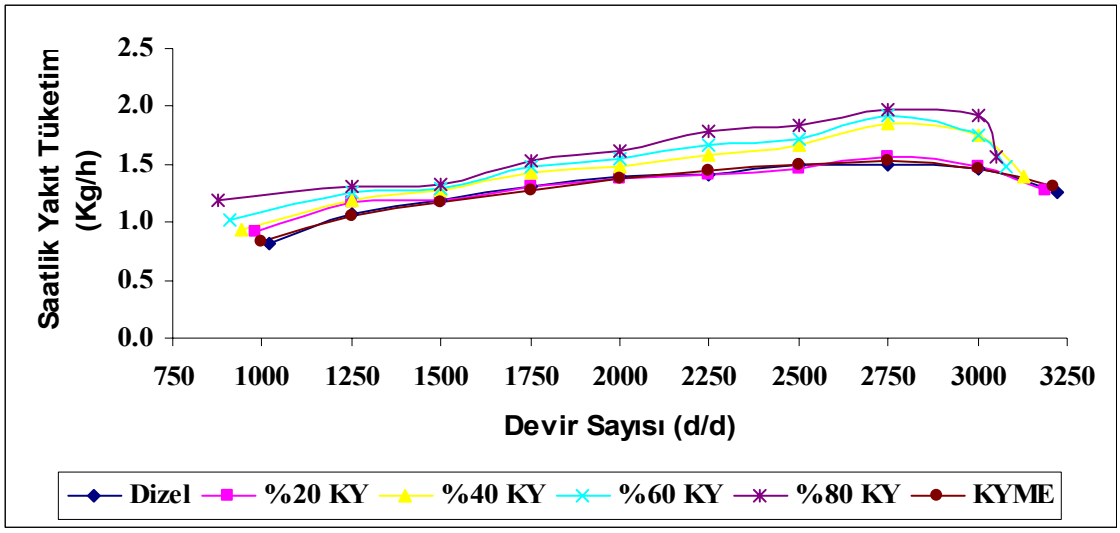



Şekil 4.2 yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak güç değerlerinin değişimi
dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri

Sonuçlara göre, %20 oranında kanola yağı artışlarına karşılık güçte az bir azalma söz konusu olmakla beraber, bu düşüş yaklaşık olarak %6 değerinde olmaktadır. Kanola yağı metil esteri, 2750 d/d'de 4,5197 kW güç geliştirirlerken, referans yakıt olan dizel yakıtı ise aynı devirde 4,8022 kW güç geliştirmektedir

### 4.1.3 Saatlik yakıt tüketimi değişimleri

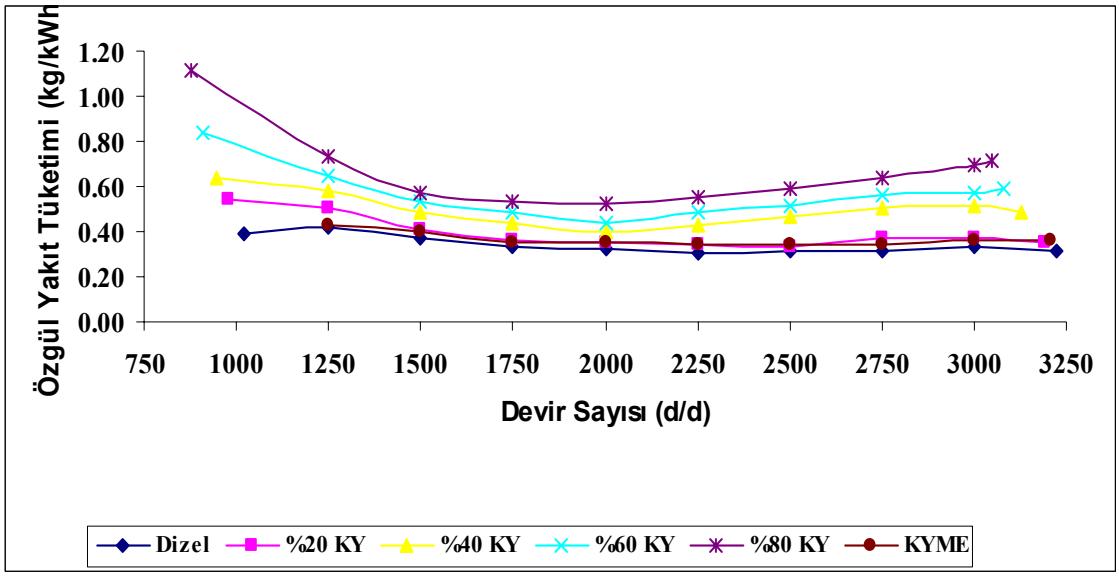
Yakıt tüketimlerinde görülen belirgin artış direkt göze çarpmaktadır. Şekil 4.3'de dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esterinin motor karakteristik değerlerinden elde edilen saatlik yakıt tüketimlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, her %20 luk yağ oranı artışına karşılık, saatlik yakıt tüketiminde %10'luk bir artış belirlenmiştir.




Şekil 4.3 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değerlerinin değişimi

### 4.1.4 Özgül yakıt tüketimi değişimleri

Dizel yakıtı ve kanola yağı/dizel yakıtı karışımlarıve kanola yağı metil esteri yakıtından elde edilen özgül yakıt tüketim değerlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri Şekil 4.4'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, dizel yakıtı en düşük özgül yakıt tüketimine 2250 d/d'da 304 gr/kWh değeriyle sahip olmuştur. Aynı devir değeri ele alındığında, %20 KY + %80 dizel yakıtı karışımı 338,3 gr/kWh, %40 KY + %60 dizel yakıtı karışımı 428,7 gr/kWh, %60 KY + %40 dizel yakıtı karışımı 481,9 gr/kWh ve %80 KY + %20 dizel yakıtı karışımı 551,2 gr/kWh değerleri saptanmıştır. Net olarak anlaşılmaktadır ki, her %20'lik yağ oranı artışına karşılık özgül yakıt tüketimlerinde yaklaşık % 6 oranında bir artış meydana gelmektedir. Bunun nedeni, yakıtın içerisindeki yağ karışım oranının artmasıyla, karışımın ısıl değerinin ters orantılı seyretmesidir. Kanola yağı metil esterinin özgül yakıt tüketimi fazla bir değişim göstermemekte ancak dizel yakıtına oranla yaklaşık % 12 oranında daha yüksek bir değere ulaştığı gözlenmiştir.



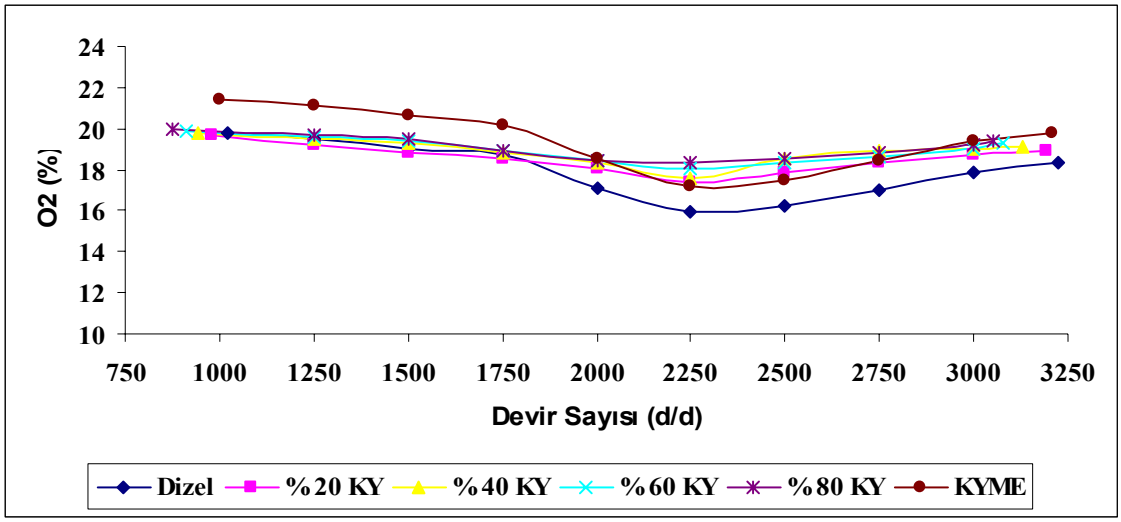

Şekil 4.4 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketim değerlerinin değişimi

## 4.2 Emisyon Değerleri Değişimleri

Motor devir sayısına bağlı olarak $O_2$, CO, NO, $CO_2$, duman yoğunluğu ve egzoz sıcaklık değerlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri belirlenmiştir.

### 4.2.1 Oksijen ($O_2$) değişimleri

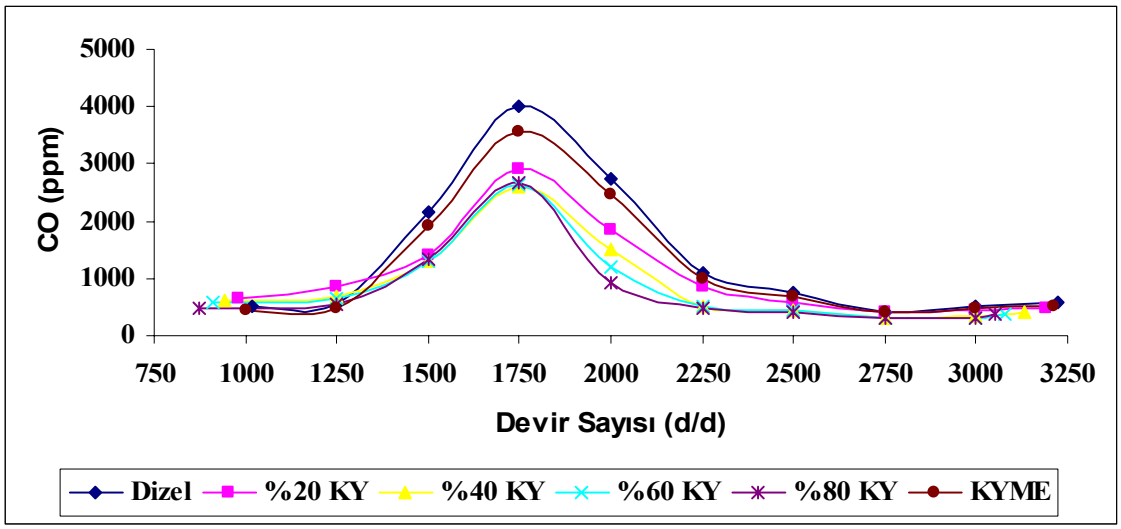
Şekil 4.5'de kanola yağı / dizel yakıt karışımlarının ve kanola yağı metil esterinin dizel yakıtı ile mukayese edilmiş değerleri görülmektedir. Karışımların içerdiği yağ oranlarına bağlı olarak, egzoz gazı içerisinde bulunan $O_2$ miktarı bir miktar artmıştır. Bunun nedeni, yanmanın tam olarak gerçekleşememesi, oksijenin silindir içerisinde reaksiyona girmemesi şeklinde açıklanabilmektedir.




Şekil 4.5 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak $O_2$ değerlerinin değişimi

### 4.2.2 Karbonmonoksit (CO) değişimleri

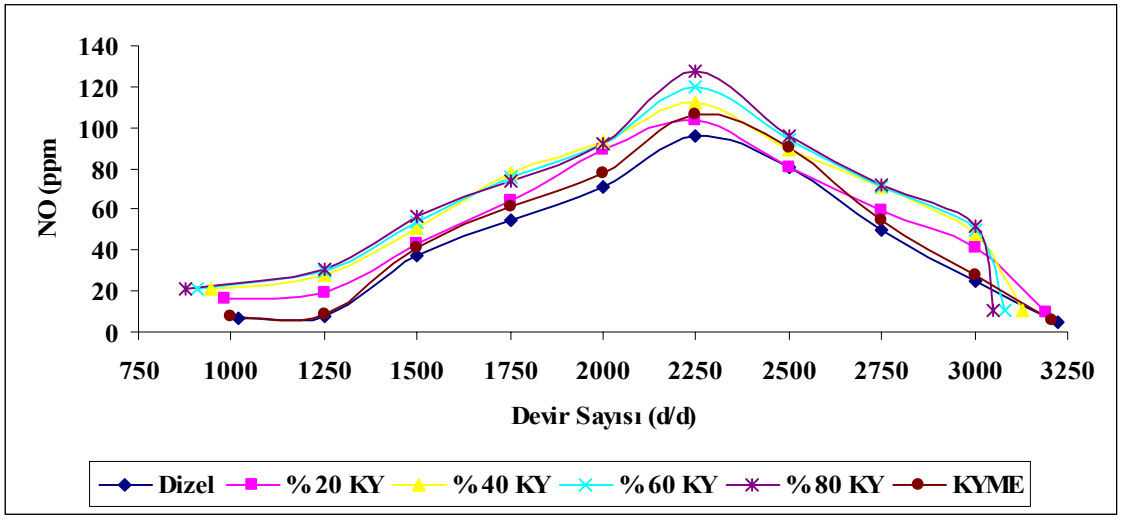
Şekil 4.6'da ise deneme yakıtlarının CO değerlerinin devir sayısına bağlı olarak gösterdikleri değişimleri görülmektedir. Devir sayısı ve karışım içerisindeki yağ oranının artmasıyla CO miktarı doğru orantılı bir şekilde azalmaktadır. Kanola yağı metil esterinde ise benzer bir durum söz konusu olup, dizel yakıtına benzer bir özellik göstermiştir. CO miktarının 1750 devir' de en yüksek seviyeye geldiği de şekilden net olarak görülebilmektedir.




Şekil 4.6 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak CO değerlerinin değişimi

### 4.2.3 Azotoksit (NO) değişimleri

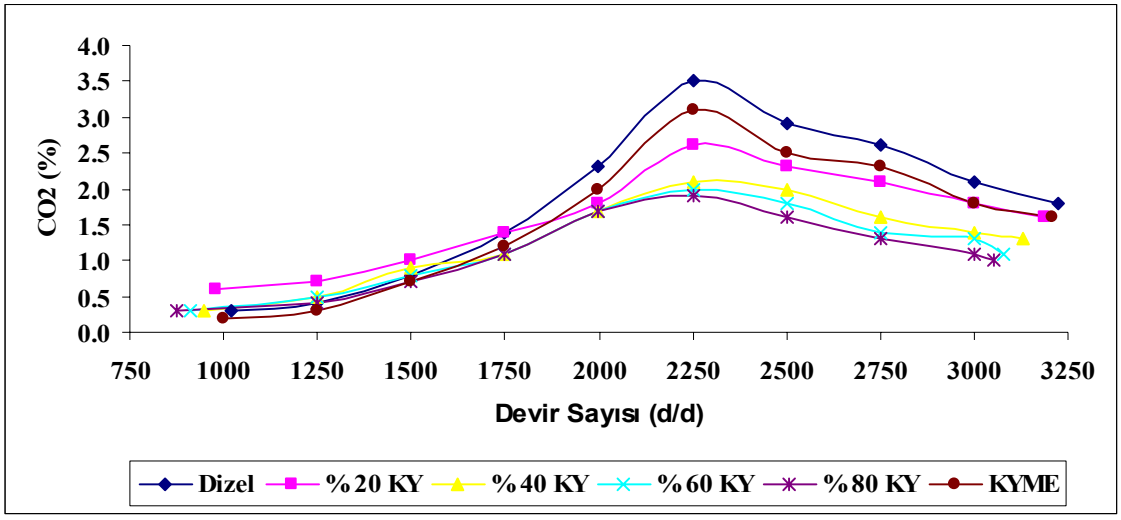
Şekil 4.7'de deneme yakıtlarının azotoksit değişimleri görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi karışımlı yakıtların ve metil ester yakıtın azotoksit değerleri dizel yakıtından daha yüksek çıkmıştır.




Şekil 4.7 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak NO değerlerinin değişimi

### 4.2.4 Karbondioksit ($CO_2$) değişimleri

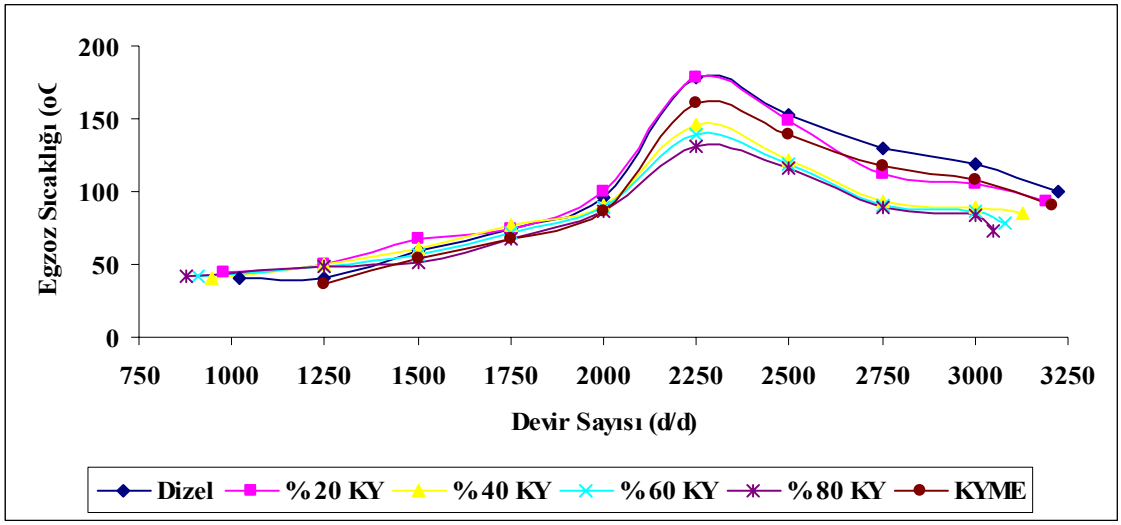
Şekil 4.8'de deneme yakıtlarının $CO_2$ değişimleri görülmektedir. Karışımlı yakıtların ve metil ester yakıtın $CO_2$ değerleri dizel yakıtından daha düşük çıkmaktadır. Bunun başlıca nedeni yine tam yanma olayının yüksek devirlerde gerçekleşememesidir.




Şekil 4.8 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esteri yakıtının motor devir sayısına bağlı olarak $CO_2$ değerlerinin değişimi

### 4.2.5 Egzoz gazı sıcaklığı değişimleri

Şekil 4.9'da deneme yakıtlarının egzoz gazı sıcaklık değişimleri görülmektedir. Kanola yağı metil esteri ve karışımlı yakıtların ısıl değerleri düşük olduğu için egzoz gazı sıcaklıkları dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır.

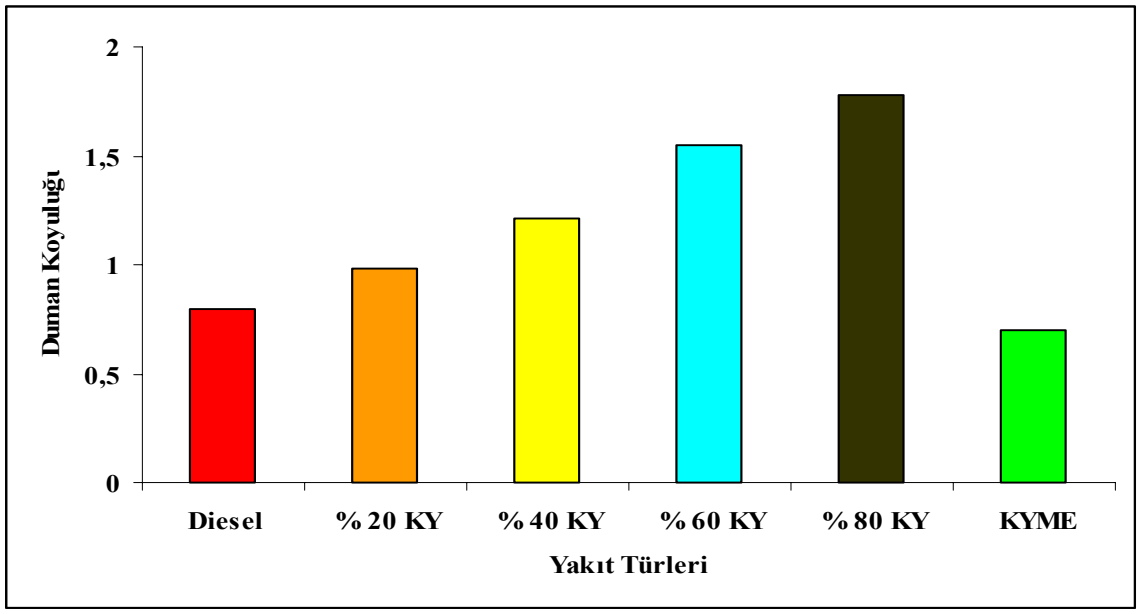



Şekil 4.9 Dizel yakıtı ve kanola yağı / dizel yakıtı karışım ve kanola yağı metil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak egzoz sıcaklık değerlerinin değişimi

### 4.2.6 Duman yoğunluğu (K faktörü) değişimleri

TSE 11365 standardına göre duman koyuluğu, egzoz gazı içerisinde bulunan, şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini (aydınlanan birim yüzey için ışık akısını) azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu % 0' dır. Işığı tamamen absorbe eden, yani geçirgen olmayan gaz için duman koyuluğu % 100' dür (TSE 11365/ Nisan 1994, Oğuz 2004).

Yapılan denemeler sonucunda seyreltme yöntemi ile elde edilen yakıtların her % 20 yağ oranı artışı ile duman yoğunluğunda az da olsa bir artış gözlemlenmiştir. Deney motorunun dizel yakıtına göre dizayn edildiği göz önüne alınırsa duman yoğunluğunun yağ oranı ile artması olası görünmektedir. Şekil 4.10'da tüm yakıt türlerinin duman yoğunluğu değerleri görülmektedir.




Şekil 4.10 Deneme yakıtlarının duman yoğunluğu değerleri

## 5. SONUÇ

Yeniden esterleme yönteminin kanola yağına uygulanması sonucu bitkisel yağların viskozitelerinin azaldığı, ısıl değerlerinde bir miktar artış olduğu ve özgül ağırlıklarının azaldığı belirlenmiştir. Bu özellikleri ile kanola yağı metil esteri dizel yakıtına daha yakın özellikler göstermiştir.

Kanola yağı kullanımı ile motor momenti ve gücünde dizel yakıtına kıyasla düşüşler gözlemlenmiş, kanola yağı metil esteri kullanımı ile moment ve güç değerinin ham kanola yağlarına oranla daha yüksek olduğu ve dizel yakıtına daha yakın olduğu saptanmıştır. Tam yanmanın gerçekleşememesi nedeniyle karışımların içerdiği yağ oranlarına bağlı olarak, egzoz gazı içerisinde bulunan $O_2$ miktarının bir miktar arttığı ve $CO_2$ emisyonunda düşüş, devir sayısına ve karışım içerisindeki yağ oranının artmasına bağlı olarak CO miktarının doğru orantılı bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, kanola yağı metil esteri ve karışımlı yakıtların ısıl değerleri düşük olduğu için egzoz gazı sıcaklıkları dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır. $NO_X$ emisyonlarında en yüksek değer % 80 KY + % 20 dizel yakıtı kullanımında görülmüştür ve bu da göstermektedir ki, karışımdaki yağ oranı arttıkça NOx emisyonları artış göstermektedir.

Kanola yağlarının kullanılması ile elde edilen efektif moment ve güç değerlerinin, dizel yakıtının efektif güç ve moment değerinden daha düşük seviyede olmasının temel sebebi, kanola yağları ve kanola yağı metil esterinin ısıl değerlerinin dizel yakıtına göre daha düşük seviyede olmasıdır. Yüksek viskozite problemi sonucu, kanola yağ karışımları tam istenen atomizasyonu sağlayamamakta ve daha iri zerrecikler halinde püskürmektedir. Bu durumun yanma süresinin uzamasına ve dolayısı ile motor karakteristik değerlerinde düşüşlere etkisi olmaktadır.

Kanola yağı ile yapılan denemelerde duman koyuluğunun, dizel yakıtına oranla daha yüksek olduğu, ancak kanola yağı metil esterinin kullanımı sonucunda duman yoğunluğunun bitkisel yağlara oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Kanola yağı karışımları denemeleri, dizel motorunda gerçekleştirilmiş, performans ve emisyon karakteristikleri belirlenmiştir. Bu araştırmanın sonuçları, ülkemizde standart olarak kabul edilmiş kanola yağının hem belli oranlarında dizel yaktı ile karıştırılarak hem de metil esterinin yakıt olarak, dizel motorlarında kullanılabileceğini göstermiştir.

## KAYNAKLAR


Afacan, T. 2005. Ulusal Yakıt; Biyodizel. Ankara.

Alibaş, K., Eyüboğlu, V. ve Kayık, S. 1993. Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılabilme olanakları. Mühendis ve Makine Dergisi. 398.

Alibaş, K. ve Ulusoy, Y. 1995. Bitkisel yağların Diesel motorlarda yakıt olarak kullanım olanakları. Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi. S. 147, Eylül 5- 7, Bursa.

Anonim. 2000. Türkiye istatistik yıllığı. T.C. Başbakanlık Devlet İstatistikleri Enstitüsü. Ankara.

Anonim. 2005. http://www.eie.gov.tr/biyodizel/bd_urtuk.html. Erişim Tarihi: 12.10.2005.

Anonim. 2005. http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primry&Domain=Production&servlet=1&hasbulk=&version=ext&language=EN. Erişim Tarihi: 14.06.2005.

Anonim. Kolza'nın tarımı, önemi ve GAP bölgesinde yapılan araştırmalar. 2005. http://www.gap.gov.tr/Turkish/Tarim/Makale/mbu10.html. Erişim Tarihi: 17.04.2006.

Anonim. 2005. www.shortcircuit.com.au . Erişim Tarihi: 01.04.2005.

Anonim. 2005. Web Sitesi http://journeytoforever.org/biofuel_library.html#ethylester3.

Antolin, G., Tianut, F.V., Briceno, Y., Castano, V., Perz, C. and Ramirez, A.I. 2002. Optimization of biodiesel production by sunflower oil transesterifcation, Biosource technology, Vol. 83, pp. 111-114.

Apfelbeck, R. 1986. Production and processing of plant oils and by-products to fuels. Biomass conversion for energy thermo chemical conversion, Proceedings of the first technical consultation Cf CNRE, Germany, October 14 – 17.

Ar, F.F. 2005. Biyodizel. Kimya Mühendisliği Dergisi. Sayı 167.

Avcıoğlu, A.O. 2002. Tarım traktörleri deney tekniği. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı Lisansüstü eğitim ders kitabı, Ankara.

Demirbas, A. 2001. Biodiesel from vegetable oils via tranesterification in supercritical methanol. Energy Conversion and Management 1620.

Demirbas, A. 2002. Biodiesel fuels from vegetable oil via catalytic and non – catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods : a survey. Energy Conversion and Management, Vol : 44, Issue : 13, pp : 2093 – 2109.

Eliçin, A.K. 2005. Yakıt olarak kullanılan fındık yağı ile küçük güçlü bir Diesel Motorunun performans karakteristiklerinin belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans Tezi. Ankara.

Encinar, J.M., Gonzalez, J.F., Rodrigez, J.J. and Tejedor, A. 2002. Biodiesel fuels from vegetable oils, transesterification of *Cyrana cardunculus* L. oils with ethanol. Energy Fuels; 16: 443-50.

Erdogan, D. 1991. Bitkisel yağların Dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması. Tarımsal Mekanizasyon 13.Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı, 25 – 27 Eylül, Konya.

Erdoğan, D., Onurbaş, A. 1994. Küçük güçlü bir dizel motorunun yakıt olarak kullanılan bazı bitkisel yağlarla ölçülen performans değerleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı. Cilt: 44, Fasikül no: 1-2.

Erdoğan, D. ve Mohammed A.A. 1997. Yakıt Olarak Kullanılan Bazı Bitkisel Yağların Dizel motor Performanslarına Etkileri". Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı, 17 – 19 Eylül, Tokat.

Francisko, V., Tinaut, F., Yolando, B., Valentin, P. and Laura, M. 2000. Optimizing of biodiesel production process from waste frying oil. 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry. Vol. I, pp. 504 – 507, 5 – 9 June Sevilla, Spain

Geyer, S.M., Jacobus, M.J. and Lestz, S.S. 1984. Comparison of diesel engine performance and emission from neat and transesterified vegatable oils. Paper No.375, Vol. 27 Transactions of the ASAE.

Glamser, S. 2000. A system for the use of rapeseed oil based engine oils. Proceeding 1st World conference on biomass for energy and Industry, 5 – 9 June 2000, Sevilla. James&James Ltd., Vol: II, pp. 1057 – 1059.

Gomez, M.E.G., Hıldıge, R.H., Leahy, J.J., Reılly, T.O., Supple, B., Malone, M. 2000. Emission and performance charactheristics of a diesel van operating on esterified waste oil and diesel fuel. Environment Monitoring and Assesment, 65:13-20.

Gürleyük, S. S. 2003. http://www.arsiv.emo.org.tr/kartus01/sempozyumlar/yeksem. Erişim Tarihi:16.11.2005.

Işığıgür, A. 1992. Türkiye kökenli aspir tohum yağlarının transesterifikasyonu ve dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilmesi. Yayınlanmamış doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ.

Kalam, M.A. and Masjuki, H.H. 2002. Biodiesel from palmoil-an analysis of its properties and potential, Biomass and Bioenergy 23: 471-479.

Karabektaş, M. 2004. Dizel motorundaa yakıt olarak biomotorin kullanımının motor performansına etkilerinin belirlenmesi. 8. Uluslar arası yanma sempozyumu, 8-9 Eylül, Ankara.

Karaosmanoğlu, F. ve Aksoy, H.A. 1994. Kullanılmış kızartma atık yağının seyreltme yöntemi ile alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi. Türkiye 6.Enerji Kongresi. s. 461, Ekim 17 – 22, İzmir.

Karaosmanoğlu, F., Cığızoğlu, K.B. ve Tüter, M. 1995. Biyomotorin uygulamaları. Mühendis ve Makina Dergisi. Sayı 431.

Karaosmanoğlu, F. 2004. Biomotorin ve Türkiye. http://www.biyomotorin biodiesel.com/biomoto.html. Erişim Tarihi: 27.04.2006.

Körbitz, W. 1999. Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. Renewable Energy 16, p. 1078-1083.

Kusdiana, D. and Saka, S. 2000. A Novel process of the biodiesel fuel production in supercritical methanol. 1st World conference and exhıbition on biomass for energy and ındustry. 5-9 June Sevilla, Spain.Volume I, pp: 563-566.

Leung, D.Y.C. 2001. Development of a clean biodiesel fuel in Hong Kong using recycled oil, Water, Air and Soil Pollution 130: 277-282.

Mohammed, A.A. 1995. Yakıt olarak bazı bitkisel yağların Diesel motor performansına etkileri. A.Ü. Fen Bilimleri Ens., Yayınlanmamış doktora tezi, Ankara

Nocker, L.D., Spirinckx, C. and Torfs, R. 1998. Comparison of LCA and external – cost analysis for biodiesel and Diesel. 2nd International Conference LCA in Agriculture, Agro Industry and Forestry. Brussels, 3 – 4 December.

Oğuz , H. 1998. Dizel yakıtı ayçiçek yağı karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılma imkanlarının araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Konya

Oğuz, H. ve Öğüt, H. 2001. Tarım traktörlerinde bitkisel kökenli yağ kullanımı. Selçuk-Teknik Online Dergisi, ISSN 1302-6178, Vol : 2, No : 2.

Oğuz, H. 2004. Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. Konya.

Öğüt, H., Oğuz, C., Oğuz, H. ve Arısoy, H. 2003. Kolzadan biyodizel üretiminin analizi. Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, 25 – 32 s. 3 – 5 Eylül Konya.

Pramanik, K. 2003. Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine, Renewable energy 23: 239-248.

Purcell, D.L., Mc Clure, B.T., Mc Donald, J. and Basu, H.N. 1996. Transient testing of soy methyl ester fuels in an indirect injection, compression ignition engine. JAOCS Journal of The American Oil Chemistst Society. vol: 73, pp:38- 388.

Rakopoulos, C.D. 1992. Comparative performance and emission studies when using olive oil as a fuel supplement in DI and IDI Diesel engine. Renewable Energy, vol. 2, pp. 327 – 331.

Ramadhas, A.S., Jayarah, S. and Muraleedharan, C. 2004. Use of vegetable oils as I.C. engine fuels – A Review. Renewable Energy, Vol : 29, pp : 727 – 742.

TSE 11365/Nisan 1994 Egzoz Gazı Kirleticileri – Trafikteki Dizel Motorlu Taşıtlar İçin Ölçüm Metodu ve Sınır Değerleri. Ankara.

Türkiye ve Biyomotorin.2005.WebSitesi:http://www.20uludağ.edu.tr/yahyau/turkiye biyohtml. Erişim Tarihi: 03.11.2005.

Ulusoy, Y., Alibas, K. 1999. Using various vegetable oil as alternative fuel in Diesel engine. 7th International Congrees on Agricultural Mechanization and Energy, 26 – 27 May pp : 297 – 301.

Ulusoy, Y., Alibaş, K. 2002. Dizel motorlarda biyodizel kullanımın teknik ve ekonomik olarak incelenmesi . Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi , 16, 37-50 s.Bursa.

Widyan, M.I.A., Tashtoush, G., Quadis, M.A. 2002. Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engines, Fuel Processing Technology 76: 91-103.

Yücesu, H.S., Altın R. ve Çetinkaya S. 1999. Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi. Turkish journal of engineering environment science, Vol : 25, 39 – 49 p.

## EK 1 İÇTEN YANMALI ve İÇTEN PATLAMALI MOTORLAR DENEME TESİSİ DENEME FORMU

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DENEME YÖNTEMİ : SAF** | | | | | | | | **TARİH :** | | | | |
| **DENENEN YAĞ : DİZEL YAKITI** | | | | | | | | **BAŞLANGIÇ SAATİ :** | | | | |
| **DENEME TİPİ : STANDART** | | | | | | | | **BİTİŞ SAATİ :** | | | | |
| **TEKRAR SAYISI : ORTALAMA** | | | | | | | | **DENEMEYİ YAPAN :** | | | | |
| **DEVİR SAYISI** | d/d | 0-10000 | 3225 | 3000 | 2750 | 2500 | 2250 | 2000 | 1750 | 1500 | 1250 | 1020 |
| **MOMENT** | kgm | - | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 2,0 |
| **MOMENT** | Nm | - | 11,772 | 13,734 | 16,677 | 17,658 | 19,620 | 20,601 | 21,582 | 20,601 | 19,620 | 19,620 |
| **EFEKTİF GÜÇ** | kW | - | 3,9753 | 4,3143 | 4,8022 | 4,6225 | 4,6225 | 4,3143 | 3,9548 | 3,2357 | 2,5680 | 2,0955 |
| **ÖZGÜL YAKIT SARF.** | kg/kWh | - | 0,3172 | 0,3374 | 0,3101 | 0,3134 | 0,3040 | 0,3251 | 0,3297 | 0,3685 | 0,4171 | 0,3870 |
| **SAATLİK YAKIT SARF.** | kg/h | - | 1,2610 | 1,4560 | 1,4894 | 1,4490 | 1,4056 | 1,4026 | 1,3041 | 1,1924 | 1,0712 | 0,8120 |
| **SÜRE** | sn | 0-3600 | 111,32 | 96,44 | 94,28 | 96,89 | 99,87 | 100,11 | 107,64 | 117,72 | 131,04 | 172,80 |
| **SÜRE** | h | | 0,03092 | 0,02678 | 0,02618 | 0,02691 | 0,02774 | 0,02780 | 0,02990 | 0,03270 | 0,03640 | 0,04800 |
| **$O_2$** | % | 0-25 | 18,3 | 17,9 | 17,0 | 16.2 | 15,9 | 17,1 | 18,7 | 19,0 | 19,5 | 19,8 |
| **CO** | ppm | 0-5000 | 593 | 497 | 426 | 756 | 1100 | 2753 | 3996 | 2171 | 553 | 498 |
| **NO** | ppm | 0-4000 | 5 | 25 | 50 | 81 | 96 | 71 | 55 | 37 | 8 | 7 |
| **TS (15 cm)** | $^oC$ | 0-1000 | 100 | 119 | 130 | 153 | 178 | 96 | 75 | 60 | 41 | 40 |
| **$CO_2$** | % | | 1,8 | 2,1 | 2,6 | 2,9 | 3,5 | 2,3 | 1,4 | 0,8 | 0,4 | 0,3 |
| **$K_1$** | | - | | | | | | | | | | |
| **VİSKOZİTE (..... $^oC$)** | Cst | - | | | | | | | | | | |
| **YOĞUNLUK** | g/l | - | 779,86 | | | | | | | | | |
| **Hu** | kj/kg | - | 43350 | | | | | | | | | |
| **Patm** | bar | - | | | | | | | | | | |
| **NOTLAR :** | RÖLANTİ 1100 d/d<br>$T_{ORTAM}$ 18,3 $^oC$<br>AĞIRLIK 0,038993 | | | | | | | | | | | |

## EK 2 İÇTEN YANMALI ve İÇTEN PATLAMALI MOTORLAR DENEME TESİSİ DENEME FORMU

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DENEME YÖNTEMİ : SEYRELTME** | | | | | | | | **TARİH :** | | | | | |
| **DENENEN YAĞ : KANOLA YAĞI** | | | | | | | | **BAŞLANGIÇ SAATİ :** | | | | | |
| **DENEME TİPİ : %20 KANOLA YAĞI + %80 DİZEL YAKITI** | | | | | | | | **BİTİŞ SAATİ :** | | | | | |
| **TEKERRÜR SAYISI : ORTALAMA** | | | | | | | | **DENEMEYİ YAPAN :** | | | | | |
| **DEVİR SAYISI** | d/d | 0-10000 | 3190 | 3000 | 2750 | 2500 | 2250 | 2000 | 1750 | 1500 | 1250 | 980 | |
| **MOMENT** | kgm | - | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | |
| **MOMENT** | Nm | - | 10,791 | 12,753 | 14,715 | 16,667 | 17,658 | 18,639 | 19,620 | 18,639 | 17,658 | 16,677 | |
| **EFEKTİF GÜÇ** | kW | - | 3,6045 | 4,0061 | 4,2373 | 4,3630 | 4,1602 | 3,9034 | 3,5952 | 2,9275 | 2,3112 | 1,7113 | |
| **ÖZGÜL YAKIT SARF.** | kg/kWh | - | 0,3544 | 0,3712 | 0,3698 | 0,3356 | 0,3383 | 0,3526 | 0,3633 | 0,4088 | 0,5075 | 0,5407 | |
| **SAATLİK YAKIT SARF.** | Kg/h | - | 1,2774 | 1,4870 | 1,5672 | 1,4644 | 1,4075 | 1,3763 | 1,30615 | 1,19684 | 1,1730 | 0,9253 | |
| **SÜRE** | sn | 0-3600 | 103,21 | 88,65 | 84,12 | 90,01 | 93,67 | 95,77 | 100,91 | 110,14 | 112,36 | 142,47 | |
| **SÜRE** | h | - | 0,02866 | 0,02462 | 0,02336 | 0,02500 | 0,02601 | 0,02660 | 0,02803 | 0,03059 | 0,03121 | 0,03957 | |
| **$O_2$** | % | 0-25 | 18,9 | 18,7 | 18,3 | 17,9 | 17,4 | 18,1 | 18,5 | 18,8 | 19,2 | 19,7 | |
| **CO** | ppm | 0-5000 | 465 | 438 | 415 | 597 | 853 | 1841 | 2910 | 1414 | 872 | 659 | |
| **NO** | ppm | 0-4000 | 10 | 41 | 59 | 81 | 104 | 89 | 64 | 43 | 19 | 16 | |
| **TS (15 cm)** | °C | 0-1000 | 93 | 105 | 112 | 148 | 179 | 100 | 74 | 67 | 50 | 44 | |
| **$CO_2$** | % | | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 2,6 | 1,8 | 1,4 | 1,0 | 0,7 | 0,6 | |
| **$K_1$** | | - | | | | | | | | | | | |
| **VİSKOZİTE (..... °C)** | Cst | - | | | | | | | | | | | |
| **YOĞUNLUK** | g/l | - | 733,23 | | | | | | | | | | |
| **Hu** | kj/kg | - | | | | | | | | | | | |
| **Patm** | bar | - | | | | | | | | | | | |
| **NOTLAR :** | RÖLANTİ 1060 d/d<br>$T_{ORTAM}$ 18,7 °C<br>AĞIRLIK 0,036615 | | | | | | | | | | | | |

## EK 3 İÇTEN YANMALI ve İÇTEN PATLAMALI MOTORLAR DENEME TESİSİ DENEME FORMU

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DENEME YÖNTEMİ : SEYRELTME** | | | | | | | | **TARİH :** | | | | | |
| **DENENEN YAĞ : KANOLA YAĞI** | | | | | | | | **BAŞLANGIÇ SAATİ :** | | | | | |
| **DENEME TİPİ : %40 KANOLA YAĞI + %60 DİZEL YAKITI** | | | | | | | | **BİTİŞ SAATİ :** | | | | | |
| **TEKERRÜR SAYISI : ORTALAMA** | | | | | | | | **DENEMEYİ YAPAN :** | | | | | |
| **DEVİR SAYISI** | d/d | 0-10000 | 3130 | 3000 | 2750 | 2500 | 2250 | 2000 | 1750 | 1500 | 1250 | 945 | |
| **MOMENT** | kgm | - | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | |
| **MOMENT** | Nm | - | 8,829 | 10,791 | 12,753 | 13,734 | 15,696 | 17,758 | 17,758 | 16,677 | 15,696 | 14,715 | |
| **EFEKTİF GÜÇ** | kW | - | 2,8936 | 3,3898 | 3,6723 | 3,5952 | 3,6980 | 3,7189 | 3,2540 | 2,6194 | 2,0544 | 1,4561 | |
| **ÖZGÜL YAKIT SARF.** | kg/kWh | - | 0,4828 | 0,5166 | 0,5033 | 0,4643 | 0,4287 | 0,3984 | 0,4369 | 0,4841 | 0,5821 | 0,6420 | |
| **SAATLİK YAKIT SARF.** | Kg/h | - | 1,3973 | 1,7514 | 1,8484 | 1,6693 | 1,5857 | 1,4817 | 1,4219 | 1,2681 | 1,1960 | 0,9349 | |
| **SÜRE** | sn | 0-3600 | 95,45 | 79,32 | 72,15 | 79,91 | 84,12 | 90,01 | 93,81 | 105,17 | 111,50 | 142,57 | |
| **SÜRE** | h | - | 0,02651 | 0,02115 | 0,02004 | 0,02219 | 0,02336 | 0,02500 | 0,02605 | 0,02921 | 0,03097 | 0,03962 | |
| **$O_2$** | % | 0-25 | 19,1 | 19,0 | 18,9 | 18,5 | 17,6 | 18,3 | 18,8 | 19,3 | 19,5 | 19,8 | |
| **CO** | ppm | 0-5000 | 405 | 330 | 321 | 452 | 528 | 1514 | 2612 | 1296 | 696 | 601 | |
| **NO** | ppm | 0-4000 | 11 | 48 | 71 | 89 | 112 | 93 | 78 | 51 | 28 | 21 | |
| **TS (15 cm)** | °C | 0-1000 | 85 | 89 | 93 | 121 | 146 | 91 | 77 | 61 | 50 | 41 | |
| **$CO_2$** | % | | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 2,0 | 2,1 | 1,7 | 1,1 | 0,9 | 0,5 | 0,3 | |
| **$K_1$** | | - | | | | | | | | | | | |
| **VİSKOZİTE (..... °C)** | Cst | - | | | | | | | | | | | |
| **YOĞUNLUK** | g/l | - | 740,86 | | | | | | | | | | |
| **Hu** | kj/kg | - | | | | | | | | | | | |
| **Patm** | bar | - | | | | | | | | | | | |
| **NOTLAR :** | RÖLANTİ 1030 d/d<br>$T_{ORTAM}$ 19,7 °C<br>AĞIRLIK 0,037043 | | | | | | | | | | | | |

## EK 4 İÇTEN YANMALI ve İÇTEN PATLAMALI MOTORLAR DENEME TESİSİ DENEME FORMU

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DENEME YÖNTEMİ : SEYRELTME** | | | | | | | | **TARİH :** | | | | | |
| **DENENEN YAĞ : KANOLA YAĞI** | | | | | | | | **BAŞLANGIÇ SAATİ :** | | | | | |
| **DENEME TİPİ : %60 KANOLA YAĞI + %40 DİZEL YAKITI** | | | | | | | | **BİTİŞ SAATİ :** | | | | | |
| **TEKERRÜR SAYISI : ORTALAMA** | | | | | | | | **DENEMEYİ YAPAN :** | | | | | |
| **DEVİR SAYISI** | d/d | 0-10000 | 3080 | 3000 | 2750 | 2500 | 2250 | 2000 | 1750 | 1500 | 1250 | 910 | |
| **MOMENT** | kgm | - | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | |
| **MOMENT** | Nm | - | 7,848 | 9,810 | 11,772 | 12,753 | 14,715 | 16,667 | 16,667 | 15,596 | 14,715 | 12,753 | |
| **EFEKTİF GÜÇ** | kW | - | 2,5310 | 3,0816 | 3,3898 | 3,3384 | 3,4668 | 3,4904 | 3,0541 | 2,4496 | 1,9260 | 1,2152 | |
| **ÖZGÜL YAKIT SARF.** | kg/kWh | - | 0,5861 | 0,5700 | 0,5647 | 0,5164 | 0,4819 | 0,4413 | 0,4851 | 0,5303 | 0,6498 | 0,8427 | |
| **SAATLİK YAKIT SARF.** | Kg/h | - | 1,4835 | 1,7566 | 1,9143 | 1,7241 | 1,6708 | 1,5404 | 1,4817 | 1,2991 | 1,2516 | 1,0241 | |
| **SÜRE** | sn | 0-3600 | 90,56 | 76,48 | 70,17 | 77,92 | 80,39 | 87,21 | 90,67 | 103,42 | 107,32 | 131,18 | |
| **SÜRE** | h | - | 0,02515 | 0,02124 | 0,01949 | 0,02164 | 0,02233 | 0,02422 | 0,02518 | 0,02872 | 0,02981 | 0,03643 | |
| **$O_2$** | % | 0-25 | 19,3 | 19,0 | 18,6 | 18,3 | 18,1 | 18,4 | 18,9 | 19,4 | 19,6 | 19,9 | |
| **CO** | ppm | 0-5000 | 390 | 325 | 310 | 438 | 509 | 1191 | 2652 | 1318 | 657 | 590 | |
| **NO** | ppm | 0-4000 | 11 | 50 | 71 | 94 | 120 | 92 | 76 | 54 | 30 | 21 | |
| **TS (15 cm)** | °C | 0-1000 | 79 | 86 | 91 | 119 | 139 | 89 | 72 | 57 | 49 | 42 | |
| **$CO_2$** | % | | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,8 | 2,0 | 1,7 | 1,1 | 0,8 | 0,5 | 0,3 | |
| **$K_1$** | | - | | | | | | | | | | | |
| **VİSKOZİTE (…… °C)** | Cst | - | | | | | | | | | | | |
| **YOĞUNLUK** | g/l | - | 746,21 | | | | | | | | | | |
| **Hu** | kj/kg | - | | | | | | | | | | | |
| **Patm** | bar | - | | | | | | | | | | | |
| **NOTLAR :** | RÖLANTİ 1000 d/d<br>$T_{ORTAM}$ 18,7 °C<br>AĞIRLIK 0,0373105 | | | | | | | | | | | | |

## EK 5 İÇTEN YANMALI ve İÇTEN PATLAMALI MOTORLAR DENEME TESİSİ DENEME FORMU

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DENEME YÖNTEMİ : SEYRELTME** | | | | | | | | **TARİH :** | | | | | |
| **DENENEN YAĞ : KANOLA YAĞI** | | | | | | | | **BAŞLANGIÇ SAATİ :** | | | | | |
| **DENEME TİPİ : %80 KANOLA YAĞI + %20 DİZEL YAKITI** | | | | | | | | **BİTİŞ SAATİ :** | | | | | |
| **TEKERRÜR SAYISI : ORTALAMA** | | | | | | | | **DENEMEYİ YAPAN :** | | | | | |
| **DEVİR SAYISI** | d/d | 0-10000 | 3050 | 3000 | 2750 | 2500 | 2250 | 2000 | 1750 | 1500 | 1250 | 875 | |
| **MOMENT** | kgm | - | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | |
| **MOMENT** | Nm | - | 6,867 | 8,829 | 10,791 | 11,772 | 13,734 | 14,715 | 15,696 | 14,715 | 13,734 | 11,772 | |
| **EFEKTİF GÜÇ** | kW | - | 2,1931 | 2,7735 | 3,1073 | 3,0816 | 3,2357 | 3,0816 | 2,8762 | 2,3112 | 1,7976 | 1,0785 | |
| **ÖZGÜL YAKIT SARF.** | kg/kWh | - | 0,7147 | 0,6923 | 0,6345 | 0,5943 | 0,5512 | 0,5265 | 0,5311 | 0,5750 | 0,7300 | 1,1160 | |
| **SAATLİK YAKIT SARF.** | Kg/h | - | 1,5666 | 1,9202 | 1,9716 | 1,8315 | 1,7836 | 1,6227 | 1,5277 | 1,3290 | 1,3123 | 1,1989 | |
| **SÜRE** | sn | 0-3600 | 86,42 | 70,51 | 68,67 | 72,68 | 75,91 | 83,44 | 88,61 | 101,87 | 103,16 | 122,90 | |
| **SÜRE** | h | - | 0,02400 | 0,01958 | 0,01907 | 0,02018 | 0,02108 | 0,02317 | 0,02461 | 0,02829 | 0,02865 | 0,03136 | |
| **$O_2$** | % | 0-25 | 19,4 | 19,2 | 18,8 | 18,5 | 18,3 | 18,4 | 18,9 | 19,5 | 19,7 | 20,0 | |
| **CO** | ppm | 0-5000 | 371 | 321 | 308 | 422 | 492 | 938 | 2687 | 1346 | 549 | 491 | |
| **NO** | ppm | 0-4000 | 11 | 52 | 72 | 96 | 128 | 92 | 74 | 57 | 31 | 21 | |
| **TS (15 cm)** | °C | 0-1000 | 73 | 84 | 89 | 116 | 131 | 87 | 68 | 51 | 48 | 42 | |
| **$CO_2$** | % | | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 1,7 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 0,3 | |
| **$K_1$** | | - | | | | | | | | | | | |
| **VİSKOZİTE (…… °C)** | Cst | - | | | | | | | | | | | |
| **YOĞUNLUK** | g/l | - | 751,97 | | | | | | | | | | |
| **Hu** | kj/kg | - | | | | | | | | | | | |
| **Patm** | bar | - | | | | | | | | | | | |
| **NOTLAR :** | RÖLANTİ 1060 d/d<br>$T_{ORTAM}$ 17,3 °C<br>AĞIRLIK 0,0375985 | | | | | | | | | | | | |

## EK 6 İÇTEN YANMALI ve İÇTEN PATLAMALI MOTORLAR DENEME TESİSİ DENEME FORMU

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DENEME YÖNTEMİ : TRANSESTERİFİKASYON** | | | | | | | | **TARİH :** | | | | | |
| **DENENEN YAĞ : KANOLA YAĞI** | | | | | | | | **BAŞLANGIÇ SAATİ :** | | | | | |
| **DENEME TİPİ : METİL ESTER** | | | | | | | | **BİTİŞ SAATİ :** | | | | | |
| **TEKERRÜR SAYISI : ORTALAMA** | | | | | | | | **DENEMEYİ YAPAN :** | | | | | |
| **DEVİR SAYISI** | d/d | 0-10000 | 3210 | 3000 | 2750 | 2500 | 2250 | 2000 | 1750 | 1500 | 1250 | 1000 | |
| **MOMENT** | kgm | - | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | |
| **MOMENT** | Nm | - | 10,791 | 12,753 | 15,696 | 16,677 | 17,658 | 18,639 | 19,620 | 18,639 | 18,639 | 17,658 | |
| **EFEKTİF GÜÇ** | kW | - | 3,6271 | 4,0061 | 4,5197 | 4,3657 | 4,1602 | 3,9034 | 3,5952 | 2,9275 | 2,4396 | 1,8490 | |
| **ÖZGÜL YAKIT SARF.** | kg/kWh | - | 0,3594 | 0,3646 | 0,3383 | 0,3408 | 0,3461 | 0,3526 | 0,3542 | 0,3985 | 0,4332 | | |
| **SAATLİK YAKIT SARF.** | Kg/h | - | 1,3037 | 1,4610 | 1,5294 | 1,4881 | 1,4401 | 1,3765 | 1,2735 | 1,1668 | 1,0569 | 0,8344 | |
| **SÜRE** | sn | 0-3600 | 97,32 | 84,86 | 82,96 | 85,26 | 88,12 | 92,17 | 99,64 | 108,72 | 120,04 | 152,06 | |
| **SÜRE** | h | - | 0,02703 | 0,02412 | 0,02304 | 0,02368 | 0,02447 | 0,02560 | 0,02767 | 0,03020 | 0,03334 | 0,04223 | |
| **$O_2$** | % | 0-25 | 19,8 | 19,4 | 18,4 | 17,5 | 17,2 | 18,5 | 20,2 | 20,6 | 21,1 | 21,4 | |
| **CO** | ppm | 0-5000 | 528 | 470 | 418 | 672 | 979 | 2450 | 3550 | 1932 | 492 | 443 | |
| **NO** | ppm | 0-4000 | 6 | 28 | 55 | 90 | 106 | 78 | 61 | 41 | 9 | 8 | |
| **TS (15 cm)** | °C | 0-1000 | 91 | 108 | 118 | 139 | 161 | 87 | 68 | 54 | 37 | 36 | |
| **$CO_2$** | % | | 1,6 | 1,8 | 2,3 | 2,5 | 3,1 | 2,0 | 1,2 | 0,7 | 0,3 | 0,2 | |
| **$K_1$** | | - | | | | | | | | | | | |
| **VİSKOZİTE (..... °C)** | Cst | - | | | | | | | | | | | |
| **YOĞUNLUK** | g/l | - | 804,79 | | | | | | | | | | |
| **Hu** | kj/kg | - | | | | | | | | | | | |
| **Patm** | bar | - | | | | | | | | | | | |
| **NOTLAR :** | RÖLANTİ 1035 d/d<br>$T_{ORTAM}$ 17,3 °C<br>AĞIRLIK 0,0352395 | | | | | | | | | | | | |

# ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Bahar ALPGİRAY

Doğum Yeri: İstanbul

Doğum Tarihi: 08.11.1981

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Yenilevent Lisesi (1995-1998)

Lisans: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Teknolojisi Bölümü (2000-2004)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı (2004-2006)

Çalıştığı Kurum ve Yıl

New Holland Trakmak Traktör ve Ziraat Makinaları Tic. A.Ş. (2006-….)