

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MENENGİÇ (PİSTACİA TEREBİNTHUS L.) YAĞININ BİR DİZEL
MOTORUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdal ÇILGIN

(08119106)

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi.

Programı: Otomotiv

ŞUBAT-2011

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MENENGİÇ (PİSTACİA TEREBİNTHUS L.) YAĞININ BİR DİZEL
MOTORUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdal ılğın

(08119106)

Tezin Enstitüye Verildiğı Tarih:

Tezin Savunulduğı Tarih :

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cumalı İLKILIÇ (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri :

ŞUBAT–2011

ÖNSÖZ

Mevcut yakıt kaynaklarının sınırlı olması belirli bölge ve ülkelerde bulunması kullanımından kaynaklanan çevre ve iklim problemleri yaratması gibi nedenlerden dolayı ülkeleri alternatif yakıt arayışlarına yönlendirmiştir.

Bu yakıtlardan biride bitkisel yağlardan elde edilen biyodizeldir. Biyodizel üretilebilir ve çevre dostu olması gibi nedenlerden dolayı alternatif enerji kaynaklarının başında gelmektedir.

Bu tez çalışmasında, menengiç (bıttım) yağından üretilen biyodizelin yakıt özellikleri ve tek silindirli bir dizel motorunda test edilerek motor performansı ve emisyon karakteristikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Tez çalışmam süresince, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bana her konuda büyük bir özveriyle yardımcı olan, daima yol gösteren değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cumalı İLKILIÇ'a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan, Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde görevli Sayın Arş. Gör. Hüseyin AYDIN'A, bıttım yağından biyodizel yakıtı üretilmesinde yardımcı olan Dicle Üniversitesi Kimya Bölümünde görevli Sayın Prof. Necmettin PİRİNÇLİOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Erdal ÇILGIN

ELAZIĞ–2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	VII
TABLoların LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yakıtlar	1
1.1.1. Sıvı Yakıtların Genel Özellikleri.....	1
1.2. Dizel Yakıtlar.....	4
1.2.1. Dizel Yakıtlarının Sınıflandırılması.....	4
1.2.2. Dizel Yakıtlarından İstenen Özellikler.....	4
1.3 Dizel Motorlarında Yanma Safhaları.....	5
1.3.1. Tutuşma Gecikmesi	5
1.3.2. Kontrolsüz (Ani) yanma	6
1.3.3. Difüzyon kontrollü yanma	6
1.3.4. Art Yanma	7
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	8
3. BİYODİZEL.....	16
3.1. Bitkisel Yağların Viskozitesini düşürme Yöntemler.....	17
3.1.1. Seyreltme yöntemi	17
3.1.2. Mikro emülsiyon oluşturma yöntemi.....	18
3.1.3. Piroliz yöntemi.....	18
3.1.4. Süper kritik yöntemi.....	19
3.1.5. Transesterifikasyon.....	19
3.2. Biyodizel Yakıtının Özellikleri.....	19
3.2.1. Viskozite.....	21
3.2.2. Yoğunluk.....	22

3.2.3.	Setan Sayısı.....	22
3.2.4.	Isıl Değer.....	23
3.2.5.	Akma ve Bulutlanma Noktaları	23
3.2.6.	Akış Özellikleri.....	24
3.2.7.	Parlama Noktası.....	24
3.3.	Bıttım Bitkisi.....	25
4.	MATERYAL VE METOT.....	27
4.1.	Deneylerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri.....	27
4.2.	Motor Test Cihazı (dinamometre)	28
4.3.	Yakıt Tüketimi Ölçüm Düzeni.....	30
4.4.	Gaz Analiz Cihazı.....	31
4.5.	Kızıl Ötesi termometre.....	32
4.6.	Deneyin Yapılışı.....	33
4.7.	Hesaplanan Büyüklükler.....	34
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	36
5.1.	Bıttım Yağından Biyodizel Üretimi.....	36
5.2.	Motor Performansı.....	41
5.2.1.	Motor Momenti.....	41
5.2.2.	Efektif Motor Gücü.....	42
5.2.3.	Özgül Yakıt Tüketimi.....	42
5.2.4.	Ortalama Efektif Basınç.....	43
5.2.5.	Egzoz Gaz Sıcaklığı.....	44
5.3.	Egzoz Emisyonları.....	45
5.3.1.	Azot Oksit (NO _x)	45
5.3.2.	Hidrokarbon (HC)	46
5.3.3.	Karbonmonoksit (CO)	47
5.3.4.	O ₂ Emisyonu	48
5.3.5.	CO ₂ Emisyonu:	49
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	52
	KAYNAKLAR.....	54
	ÖZGEÇMİŞ.....	60

ÖZET

Petrol rezervlerinin belirli ülkelerin tekelinde olması, yakın gelecekte tükenme tehlikesinin bulunması kullanımı esnasında çevreye ve canlılara zarar vermesi gibi nedenlerden dolayı alternatif yakıt arayışı hız kazanmıştır. Bu alternatifler içerisinde özellikleri ile petrol kökenli yakıtlara yakın değerleri olan aynı zamanda yenilenebilir bitkisel yağlar ön plana çıkmıştır.

Bu çalışmada bittim yağından yeniden esterleşme yöntemi ile bittim yağı metil esteri üretilmiş olup üretilen biyo-yakıtın(biyodizel) normal dizel yakıtı ile %10 (B10), %25(B25) ve %50 (B50) oranlarında karıştırılarak yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen B10, B25, B50 karışımları tek silindirli bir dizel motorunda test edilmiş olup, motorun tam gaz değişik devir sayılarında motor performansı ve egzoz emisyonları açısından dizel yakıtı ile karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bittim Yağı Metil Esteri, Emisyon, Performans,

SUMMARY

Searching for alternative fuel has accelerated due to petroleum reserves are in certain countries' monopoly, the risk of depletion of petroleum in the near future and consumption of the petroleum products is harmful to both living beings and environment. The renewable vegetable oil which has similar properties to those of petroleum based fuel has come forward among the alternatives.

In this study, it has been produced the methyl ester of bittim oil by using reesterification of bittim oil. The physical and chemical properties of the produced biofuel were determined by mixing it with normal diesel fuel at the ratio of % 10 (B10), % 25 (B25) and % 50 (B50). The acquired B10, B25, B50 mixtures were tested in a one-cylinder diesel engine, and they were evaluated and compared with diesel fuel in terms of the engine's performance at varied engine revolution per minute with full throttle.

Key words: The methyl ester of bittim oil, emission, performance

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Bitkisel yağın metanol ile transesterifikasyon denklemi.....	19
Şekil 3.2: Viskozite ölçüm cihazı	21
Şekil 3.3. Parlama noktası ölçüm cihazı	24
Şekil 3.4. Bıttım Bitkisi	26
Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan BT–140 model hidrolik dinamometre şematik görüntüsü	27
Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan BT–140 model hidrolik dinamometre.....	29
Şekil 4.3. Yakıt tüketimi ölçüm ünitesi	31
Şekil 4.4. Gaz analiz cihazı	32
Şekil 4.5. Kızılötesi termometre	33
Şekil 5.1. Yağın ısıtılması	37
Şekil 5.2. Metanol katalizör	38
Şekil 5.3. Metanol katalizörün yağa ilavesi	38
Şekil 5.4. Dinlendirme kabı	39
Şekil 5.5. D2 ve D2- bıttım biyodizel karışımı yakıtların tam gazda motor devrine bağlı moment değişimleri	41
Şekil 5.6. D2 ve D2- bıttım biyodizel karışımı yakıtlarında motor gücünün tam gazda motor devrine bağlı değişim	42
Şekil 5.7. D2 ve D2- Bıttım biyodizel karışımı yakıtlarında tam gazda motor devrine bağlı ÖYT değişimi	43
Şekil 5.8. D2 ve D2- bıttım biyodizel karışımı yakıtlarında tam gazda motor devrine bağlı ortalama efektif basınç değişimi	44
Şekil 5.9. D2 ve D2- bıttım biyodizel karışımı yakıtlarında tam gazda motor devrine bağlı egzoz manifold cidarındaki sıcaklık değişimleri	45
Şekil 5.10. Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için NO _x emisyonunun motor devir sayısına göre değişim	46
Şekil 5.11. Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için HC emisyonunun motor devir sayısına göre değişimi	47

Şekil 5.12. Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için CO emisyonunun motor devir sayısına göre değişimi	48
Şekil 5.13. Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için O ₂ emisyonunun motor devir sayısına göre değişimi	49
Şekil 5.14 Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için CO ₂ emisyonunun motor sayısına göre değişim.....	51
Şekil 5.15 Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için CO ₂ O ₂ ve CO emisyonunun motor devir sayısına göre değişim.....	51
Şekil 5.16 Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için NO _x ve HC emisyonlarının motor devir sayısına göre değişim.....	51

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Yakıtların Alevlenme Noktaları	2
Tablo 1.2. Yakıtların Yüzey Gerilim Değerleri.....	3
Tablo 3.1. Bitkisel yağların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	20
Tablo 3.2. Bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtlarının yakıt özellikleri	20
Tablo 4.1. Deney Motorunun teknik özellikleri	28
Tablo 4.2. Motor test cihazının teknik özellikleri	29
Tablo 4.3. Motor test tezgâhı (bremze) izleme/kontrol cihazı teknik özellikleri.....	30
Tablo 4.4. Gaz analiz cihazın teknik özellikler.....	32
Tablo 4.5. Raytek Raynger ST4 kızıl ötesi termometrenin teknik özellikleri.....	33
Tablo 5.1. Bittım yağının ve Bittım B100'ün yakıt özellikleri	40
Tablo 5.2. Bittım biyodizel karışımlarının ve dizel yakıtının özellikleri	40

SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ

Hu	: Alt ısı değeri (kJ/kg)
Pme	: Ortalama efektif basınç
KMA	: Krank mili açısı
Md	: Döndürme Momenti (Nm)
Pe	: Efektif motor gücü
VH	: Toplam strok hacmi (m ³)
İ	: Çevrim/devir (dört zamanlı motorlarda ½)
be	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
AÖN	: Alt ölü nokta
ÜÖN	: Üst ölü nokta
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi (g/kW h)
B100	: %100 biyodizel yakıtı
B50	: %50 biyodizel + %50 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
B25	: %25 biyodizel + %75 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
B10	: %10 biyodizel + %90 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
NaOH	: Sodyum hidroksit
cSt	: Sentistok (mm ² /s)
EN	: Avrupa Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ppm	: Milyonda bir parçacık
PM	: Partikül Madde (Particulate Matter)
HC	: Hidrokarbon
CO	: Karbon monoksit
NOx	: Azot Oksitler
SO2	: Kükürtdioksit
EPA	: Amerikan Çevre Koruma Ajansı (U.S.Environmental Protection Agency)
SS	: Setan sayısı
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (American Society For Testing and Materials)

1. GİRİŞ

1.1. Yakıtlar

İçten yanmalı pistonlu motorlarda yakıt enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü silindir içinde yakıt ile hava arasındaki kimyasal reaksiyonla meydana gelmektedir. Bundan dolayı yakıt-hava karışımı en az reaksiyon süresi kadar silindir içerisinde kalmalıdır. Bunun için motorlarda yanma reaksiyonunu kısa bir sürede oluşturacak özellikteki yakıtlar tercih edilir. İçten yanmalı motorlarda genel olarak sıvı hidrokarbonlar ve ender olarak da alkoller yakıt olarak kullanılmaktadır

1.1.1. Sıvı Yakıtların Genel Özellikleri

İçten yanmalı motorlarda kullanılan benzin ve dizel yakıtının motor yakıtı olarak kullanım yerine ve amacına göre belirli özelliklere sahip olmalıdır. Bu nedenle yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Yakıtın özgül kütlesi: Özgül kütle, ilk yaklaşımla yakıtın yapısı ve tutuşma kabiliyeti için bir fikir verir. Moleküller içindeki hidrojen atomları sayısı (m/n) oranı arttıkça özgül kütle azalmaktadır. Özgül kütle genellikle 20°C'de kg/m³ olarak verilmektedir. Amerikan standartlarında ise, API sayısı (American Petroleum Institute) özgül kütle ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Özgül kütle genel olarak dizel yakıtı için 830-950 kg/m³ iken benzin için 700-800 kg/m³ değerleri arasındadır.

Yakıtın Yapısal Bileşimi: Genel olarak parafin naften tipi yakıtlarda karbon miktarı %86, aromatlarda ise %89 civarındadır. Kükürt yakıt içinde istenmeyen bir elemandır. Çünkü yanma sonucu oluşan SO₂ su ile reaksiyona girerek H₂SO₄ oluşturur ve bu asit, özellikle soğuk motor silindir çeperlerinde ve egzoz sisteminde yoğunlaşarak korozyona neden olur. Ayrıca sülfirik asit çevre ve insan sağlığına da zararlı olduğundan ASTM (American Society for Testing and Materials) ve Avrupa topluluğu standartlarına göre yakıt içindeki kükürt miktarı % 0.5 ile sınırlandırılmıştır.

Yakıtın Isıl Değeri: Yakıtın ısı değeri genellikle birim kütesinin enerjisi (kJ/kg veya kcal/kg) ile verilmektedir. Gaz yakıtlarda ise ısı değeri, uygulamada birim hacminin enerjisi (kJ/l, kJ/m³ veya kcal/m³) olarak verilmektedir. Motorlarda yanma sonucu sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğu için, ısı değeri, alt ısı değeri olarak verilmektedir. Hidrokarbonlarda yakıtın alt ısı değerini hidrojen miktarına, diğer bir deyişle özgül kütleyle bağlamak mümkündür.

Benzin veya dizel yakıtı için alt ısı değerleri,

$$H_u = 42000 - 44000 \text{ kJ/kg}$$

$$H_u = 10200 - 10500 \text{ kcal/kg olarak verilebilir.}$$

Yakıtın Alevlenme Noktası: Alevlenme noktası yakıt buharının açık alev ile temas ettiğinde bir an içinde alev aldığı sıcaklıktır. Alevlenme noktasının (sıcaklığının) belirlenmesinde kullanılan Marcusson yönteminde, sıvı yakıt açık bir kap içerisinde alttan yavaş yavaş ısıtılır ve sıcaklığı sürekli olarak ölçülür. Bu sırada yakıt buharı, sıvı yüzeyinden belirli bir uzaklıkta olan açık bir alevle, kısa zaman aralıkları içinde temas ettirilir ve alevlenmenin ilk olarak ortaya çıktığı sıcaklık belirlenir. Belirlenen bu sıcaklık alevlenme sıcaklığı olarak bilinmektedir. Alevlenme noktası, bir yandan sıcaklıkla, diğer yandan da hava yakıt karışımının tutuşma sınırları ile ilgili olduğundan yakıtın buharlaşma miktarına, dolayısı ile buharlaşma basıncına da bağlıdır. Eğer alevlenme 5 saniye kadar devam ediyorsa bu sıcaklığa yanma sıcaklığı denir. Alevlenme sıcaklığı, yangın emniyeti ve depolama koşullarının belirlenmesi açısından önemlidir.

Tablo 1.1. Yakıtların Yüzey Alevlenme noktaları

Yakıtın cinsi	Alevlenme noktaları	Birimi
Benzin	25	°C
Dizel yakıtı	55	°C
Gazyağı	65	°C

Alevlenme sıcaklığı yakıtların taşınması sırasında ve depolanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Dizel yakıtı için bu değer 55°C, benzin için 25°C ve ağır dizel içinde 65°C

olarak belirlenmiştir. Alevlenme sıcaklığının yüksek olması nedeni ile dizel yakıtı, normal şartlar altında depolama bakımından bir sorun oluşturmaz.

Yakıtın Viskozitesi: Viskozite sıvı yakıtın akıcılığı için bir ölçü olup, özellikle dizel motorlarının yakıt besleme ve püskürtme sistemlerinde önemli bir parametredir. Viskozite küçüldükçe borulardaki akış direnci azalır, ayrıca püskürtme ile oluşan yakıt demeti içinde yakıt damlacık çapları küçülür, yanma iyileşir ve is (yanmamış karbon tanecikleri) miktarı da azalır. Viskozitenin çok küçük olması durumunda püskürtme sistemindeki kaçaklar artmaktadır. Sıcaklık viskoziteye önemli derecede etki ettiğinden, viskozite her zaman sıcaklık ile birlikte verilmektedir. Motor yakıtlarının viskoziteleri 50°C de 7,6 - 38mm² olmalıdır. Viskoziteleri 38 mm² üzerinde olan yakıtlar 40-100°C'a kadar ısıtılarak kullanılırlar.

Yakıtın Yüzey Gerilimi: Yüzey gerilimi püskürtme anında yakıt demetinin parçalanmasında önemli olan bir özelliktir. Yakıtın yüzey gerilimi yoğunlukla artar, sıcaklıkla azalmaktadır. Çeşitli yakıtlar için yüzey gerilimi değerleri Tablo 1.2.'de görülmektedir.

Tablo 1.2. Yakıtların Yüzey Gerilim Değerleri

Yakıtın cinsi	Yüzey gerilimi	Birimi
Benzin	0.019-0.023	N/ m ²
Dizel yakıtı	0.023-0.032	N/ m ²
Gazyağı	0.028-0.029	N/ m ²

Yakıtın Donma Sıcaklığı: Bu değer kış şartları için büyük önem taşımaktadır. Donma noktası benzin için -65°C dizel yakıtı için -10°C civarındadır. Bu nedenle dizel yakıtı kış şartlarında akıcılığının azalması veya donma gibi sorunlar ortaya çıkarmaktadır

1.2. Dizel Yakıtlar

Dizel yakıtı petrolün rafineri işlemi sırasında fraksiyon kulesinde yaklaşık 160°C’de başlayıp tamamı 391°C’de buharlaşan ve ham petrolden arındırılarak elde edilen bir yakıttır. Karbon atomu sayısı 8 ile 16 arasında olup sıvı HC bileşenlerini ihtiva eder. Az miktarda kükürt, azot, kül ve su ihtiva eden dizel yakıtı Türkiye’de mazot olarak adlandırılmaktadır.

1.2.1. Dizel yakıtlarının sınıflandırılması

Kullanıcılar tarafından tek isim olarak bilinen dizel yakıtı bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar No.1-D, No.2-D ve No.4-D olarak adlandırılmaktadır.

No.1-D: Petrolün damıtılmasında elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan dizel motorlarında kullanılan uçucu-damıtık bir yakıt yağdır.

No.2-D: Damıtık ve kraking ürünlerini ihtiva eden, No.1-D’ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.

No.4-D: Damıtma ve kraking ürünlerinden ve bazı artıklardan oluşan düşük veya orta hız motor yakıtıdır

1.2.2. Dizel yakıtlarından istenen özellikler

Dizel yakıtı için en önemli özellikler viskozite, yüzey gerilimi ve tutuşma sıcaklığıdır.

Viskozite ve yüzey gerilimi: Yüksek hızlı dizel motorları küçük boyutta olduklarından bunlarda kullanılan püskürtme enjektörleri belli bir ölçünün altındaki delik çaplarında imal edilemezler. Bu bakımdan belli küçüklükte damlacıklar elde edilebilmesi için bu motorların yakıtlarının viskozitelerinin 15.2 mm²/sn den küçük olması istenir. Alçak hızlı dizelerde kullanılan yakıtın viskozitesi ise en fazla 38 mm²/sn olmalıdır. Aynı şekilde yakıtın yüzey gerilimi de azaldıkça damlacık çapı küçülmektedir.

Tutuşma meyli: Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin benzinin tersine yüksek olması istenir. Tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesinin (TG) zaman olarak büyük olması durumunda yanma için ayrılabilen KMA aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkar. Bu durum da dizel vuruntusuna sebep olmaktadır. Dizel yakıtının tutuşma meylinin ölçüsü olarak Setan sayısı kullanılmaktadır. Setan sayısı düz zincir yapıda parafin grubundan bir yakıt ($C_{16}H_{34}$) olup setan sayısı 100 olarak kabul edilmiştir.

1.3 Dizel Motorlarında Yanma Safhaları

1.3.1. Tutuşma gecikmesi

Dizel motorlarda yanma odası içerisinde sıkıştırılmış olan havanı üzerine püskürtülen dizel yakıtı sıkıştırma sonucunda ısınmış olan havadan ısı alarak buharlaşarak alevlenir. Yakıtın püskürtülmesi ile yakıtın alevlenmesi arasında geçen zamana tutuşma gecikmesi adı verilir. Tutuşma gecikmesi süresinin artması motorun sesli ve vuruntulu çalışmasına etki edeceği için bu sürenin belirli bir zamanı geçmemesi gerekmektedir. Tutuşma gecikmesini etkileyen başlıca faktörleri işletme, yapısal ve yakıt faktörleri olmak üzere üçe ayırmak mümkündür. İşletme faktörleri motor devir sayısı, emme havasının sıcaklığı ve basıncı, motorun yük durumu ve yanma odası içerisindeki oksijenin miktarıdır. Motor devir sayısının artması ile tutuşma gecikmesinin zaman olarak azalmasına rağmen, krank mili açısı olarak da artmaktadır. Emme havasının sıcaklığı ve basıncının artması ile tutuşma gecikmesi süresi de azalmaktadır. Motor yükünün artması ile tutuşma gecikmesi hem zaman hem de krank mili açısı bakımından azalmaktadır. Yanma odasındaki sıkıştırılmış havanın içindeki oksijen miktarı azaldıkça tutuşma gecikmesi de artmaktadır. Motorun yapısal faktörleri içerisinde en önemli olanları sıkıştırma oranı, motorun soğutma şartları ve püskürtme kalitesidir. Sıkıştırma oranının artması, sıcaklık ve basıncın da artmasına sebep olmakta ve bunun sonucunda tutuşma gecikmesi azaltmaktadır. Motorun boyutlarına bağlı olarak motorda yakıtın püskürtüldüğü bölgelerin sıcaklıkları değiştiği için yüksek sıcaklık tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Bununla birlikte ön yanma odalı dizel motorlarda ön yanma odası daha yüksek sıcaklıkta tutularak tutuşma gecikmesi

azaltılmaktadır. Yakıtın viskozitesi ve püskürtme basıncına bağlı olarak yakıtın yanma odası içerisine püskürtülmesi halinde farklı boyutlarda damlacıklar oluşur ve bu damlacıkların ortalama sayısı önemli olduğu için, ortalama damlacık çapı büyüdükçe tutuşma gecikmesi de artmaktadır. Dizel motorlarında kullanılan yakıtların setan sayısının artması ile tutuşma gecikmesi de azalmaktadır. Setan sayısının yüksek olması halinde yakıt enjektörden çıkar çıkmaz enjektör ucuna çok yakın bir yerde tutuşur ve bu da enjektörün uç kısmında karbon birikimine sebep olmaktadır. Setan sayısının düşük olmasına bağlı olarak tutuşma gecikeceğinden dolayı yanma odası içerisinde yakıt birikir ve daha sonra ani tutuşmaya yani dizel vuruntusuna sebep olmaktadır.

1.3.2. Kontrolsüz (ani) yanma

Tutuşma gecikmesi süresi içinde silindire püskürtülen yakıt ısınır oksijenle karışır ve buharlaşır. İlk alev çekirdeği meydana geldiği anda, yakıtın hepsi birden yanmaya katılır ve hızlı bir yanma oluşur ve yanma odası içerisindeki basınç maksimum oluncaya kadar ani kontrolsüz yanma fazı gerçekleşir. Hızlı yanma basıncın aniden yükselmesine ve motor parçaları arasındaki boşlukların birden alınmasını oluşturacağından, motor vuruntulu ve sert çalışır. Bu vuruntuya dizel vuruntusu denir. Günümüzde bu vuruntuyu azaltmak nedeniyle başlangıçta püskürtülen yakıtın miktarının düşürülmesi için kademeli püskürtme yöntemi geliştirilmektedir. Genel olarak kontrolsüz yanma süresi yaklaşık 6°KMA civarında gerçekleşmekte ve her bir krank mili açısında basınç artışı 200-300 kPa arasında olmaktadır[2].

1.3.3. Difüzyon kontrollü yanma

Kontrolsüz yanmanın sonunda silindir içindeki basınç ve sıcaklık enjektörden püskürtülen yakıtı doğrudan yakabilecek bir değere ulaşır bu nedenle püskürmeye devam eden yakıt hiçbir gecikme olmadan yanar ve basınç en yüksek noktaya kadar yükselir. Kontrolsüz yanma sonucu ulaşılan basınç, yanmanın devam etmesine rağmen pistonun aşağıya inmesinden dolayı daha fazla artış gösterememektedir. Maksimum basınca ulaşılan zaman ile maksimum sıcaklığa ulaşılan zaman arasında geçen faz difüzyon kontrollü yanma olarak adlandırılmaktadır. Bu fazda silindir içine püskürtülen yakıtın miktarı ayarlanarak sıcaklık ve basınç yükselmesi kontrol altında tutulmaktadır. Bu faz içerisinde

buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı, yanma hızını belirlemektedir. Burada püskürtölen yakıtın ortalama damlacık çapı, silindir içindeki hava hareketleri ve hava fazlalık katsayısı önemlidir. Dizel motorlarında yakıtın buharlaşması ve tutuşması tek bir noktada olmayıp birden fazla noktada gerçekleşmektedir. Karışımın oluşum hızı yakıtın yanma hızını da kontrol etmektedir. Karışımın oluşum hızı ve yanma hızı yüksek tutularak yanma sıcaklığının yüksek olduğu ÜÖN'ya yakın konumlarda tamamlanması gerekir. Aksi takdirde yanma, yanma sıcaklığının düştüğü ve genleşmenin oluştuğu fazda devam eder. Bu durum is oluşumuna ve motor veriminin düşmesine sebep olmaktadır.

1.3.4. Art yanma

Yakıtın silindire püskürtölmesinin bitmesi ile yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma fazı başlar. Bu fazda yakıtın silindire püskürtölmesi bitmiş ve piston AÖN'ya doğru inmektedir. Art yanmada, yanma hızı, difüzyon hızı ve karışım oluşum hızıyla belirlenmektedir. Ayrıca zengin karışımlarda eksik yanmış veya yanma fırsatı bulamamış yanma ürünleri de oksijen buldukça art yanma sırasında yanarlar. Genişleme sırasında gerçekleşen art yanma ÜÖN'dan sonra 70-80°KMA kadar devam eder. Yanma egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Lauperta vd. (2007), yaptıkları literatür çalışmasına göre SCI Journals'da 1992-2005 yılları arasında yayınlanmış çalışmaların yaklaşık %96'sında tam yükte biyodizel yakıtının kullanılması ile dizel motorunun efektif gücünde azalmanın meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu azalmanın, yakıtın cinsine, motor tipine, çalışma sıcaklığına ve yükleme şartlarına göre değiştiği ifade edilmiştir. Ayrıca bu güç kaybının asıl sebebi yakıtın düşük ısı değeri ve yüksek viskozitesinden kaynaklanan kötü atomizasyon sonucu oluşan kötü yanma olarak gösterilmektedir [3].

Koçak (2005), fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmiştir. Fındık yağı metil esteri, 4 silindirli direkt püskürtmeli ve turbo şarjlı bir dizel motorunda 1750-4500 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test sonuçlarına göre; fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı değerlerine yakın çıkmıştır. Motor gücü torku değerlerinde ortalama azalma oranı sırasıyla %1,16 ve %1,61 olarak belirtilmiştir. Özgül yakıt tüketiminde, fındık yağı metil esterinin dizel yakıtına göre ısı değeri düşük olması ve yoğunluğun yüksek olmasından dolayı artış göstermiştir. Özgül yakıt tüketiminde ortalama artış miktarı ise %11,8 olarak ölçülmüştür[4].

Groboski ve McCormick (1998), biri yüksek setan sayılı %20 ve diğeri yükseltilmiş olmak üzere %20 biyodizel içeren yakıtlar ile yaptıkları testler sonucunda setan sayısı yükseltilmiş %20'lik yakıtın daha düşük CO emisyon miktarları verdiğini göstermişlerdir[5].

Ullman vd. (1994), yaptıkları çalışmada biyodizelin içeriğindeki oksijen miktarına bağlı olarak setan sayısının arttığını veya azaldığını ve buna bağlı olarak da CO emisyon miktarının azaldığını ortaya koymuşlardır[6].

Erganeman vd. (1997), normal dizel, zeytinyağı, soya, mısır ve ayçiçeği yağı ile elde edilen biyodizel ile sıkıştırma oranı 19 olan bir motorla yapmış oldukları çalışmalar sonucunda NOx emisyonlarını dizel yakıtı NOx emisyonları ile karşılaştırmışlardır. En

düşük NO_x emisyonunu dizel yakıtı kullanımı ile elde edildiğini ve biyodizel yakıtlarında NO_x emisyonunun arttığını belirtmişlerdir [7].

Aksoy vd. (2009), kanola yağından tranesterifikasyon yöntemi ile elde ettikleri biyodizel yakıtına ön ısıtma uygulayarak motor performans ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Bu çalışmada, motor performansında ön ısıtma uygulaması ile ön ısıtmasız yakıtı göre artış gözlenmiştir[8].

Bayrakçeken vd. (2008), soya yağından biyodizel elde etmiş ve bu yakıtın motor performans ve emisyonları üzerinde ki etkilerini tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda incelenmiş ve dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Biyodizel yakıtı ile motor momenti ve gücünde sırası ile %4.2 ve %3'lük bir azalma gözlenirken, özgül yakıt tüketiminde %12.8'lik bir artış gözlemişlerdir. Biyodizel kullanımı ile CO, HC ve NO_x emisyonlarında ise, dizel yakıtına göre %4.1, %4.47 ve %9.23 artarken, duman emisyonlarında %19.5'lik bir azalma gözlemişlerdir[9].

Demirsoy ve Kındıroğlu (1997), ayçiçeği, pamuk ve soya yağlarının dizel yakıtı ile değişik oranlardaki karışımlarını tek silindirli, direk püskürtmeli bir dizel motorunda kullanmışlardır. Bu çalışmada, bitkisel yağların dizel yakıtı ile olan karışımlarından dizel yakıtı kullanımına göre yaklaşık aynı güç değerleri ve yüksek devirlerde daha yüksek özgül yakıt tüketiminin olduğunu, karışımdaki yağ oranının artmasıyla beraber özgül yakıt tüketiminin de arttığını belirlemişlerdir[10]

İlkılıç ve diğ. (1997), ayçiçeği yağının dizel yakıtı olarak kullanımında meme ucunda karbon birikintileri oluştuğunu ve oluşan bu karbon birikintilerinin meme delik çapında daralmaya sebep olduklarını ve bu daralmanın da atomizasyonu zamanla kötüleştirdiğini belirlemişlerdir[11]

Ulusoy ve Alibaş (2002), bitkisel yağların parlama noktasının yüksek oluşu depolama güvenliği sağlarken, tutuşma yönünden de zorluk çıkarmakta, akma ve donma noktalarının da yüksek oluşu bitkisel yağların direk olarak kullanımında motorda ilk çalışma başta olmak suretiyle çalışmasından problem oluştuğunu belirtmişlerdir[12].

Eliçim ve Erdoğan (2006), fındık yağı metil ve etil esteri ile dizel yakıtı karışımlarının düşük güçlü bir dizel motorunda kullanmışlardır. Fındık yağı ve dizel yakıtı karışımı ile yapılan testlerde duman koyuluğunun dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu, fakat fındık yağı metil ve etil metil esterlerinin kullanımı ile duman koyuluğunun karışım yakıtına oranla daha düşük olduğunu belirtmişlerdir[13].

İleri (2005), kanola yağı metil esterini bir dizel motoruna alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve performans değerlerinin dizel yakıtına yakın olduğunu bildirmiştir. Egzoz emisyonları miktarlarında da önemli ölçüde düşmelerin meydana geldiğini ifade etmiştir[14].

Koçak (2005), fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmak için, 4 silindirli direkt püskürtmeli ve turbo şarjlı bir dizel motorunda 1750-4500 d/d arasında tam yük testine tabi tutmuştur. Test sonuçlarına göre; fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerlerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olduğunu görmüştür. Motor momenti ve güç değerlerinde ortalama azalma oranı sırasıyla %1,16 ve %1,61 olmuştur. Fındık yağı metil esterinin ısı değeri dizel yakıtına göre düşük ve yoğunluğun da yüksek olmasından dolayı özgül yakıt tüketiminden artış göstermiş ve bu artış miktarı ise %11,8 olarak ölçülmüştür[15].

Utlu vd. (2001), yaptıkları araştırma sonucunda, atık kızartma yağının metil ester olarak kullanılmasını Türkiye açısından değerlendirilmiş ve bu esterlerin dizel yakıtına alternatif yakıt olabilecek kapasiteye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Üretilen yakıtın çevre dostu olduğunu ve çevreyi kirletme katkısının olmayacağını, ayrıca Türkiye'nin tarım potansiyelini daha doğru kullanıma yönelteceğini ve yeni iş alanlarını oluşturabileceğini vurgulamışlardır[16].

Utlu ve Hepbaşlı (2006), yaptıkları çalışma ile bitkisel yağlardan viskozitenin yüksekliğinin bitkisel yağ kullanımındaki en önemli dezavantaj olduğunu belirtmişlerdir. Bitkisel yağların viskoziteleri ve ısı değerlerinin zincir uzunluğu ile artmakta ve çift bağ sayılarıyla azaldığını ifade etmişlerdir[17].

Rakopoulos vd. (2004), biyodizel hakkında yaptıkları literatür çalışmasında ise, özgül yakıt tüketiminin biyodizelin içerdiği oksijen miktarıyla doğru orantılı olarak arttığını ortaya koymuşlardır. Bunun sebebi ise, artan oksijen miktarının yakıtın ısı kapasitesini düşürdüğünü belirtmişlerdir[18].

Yavuz vd. (2008), yaptıkları bitkisel yağ çalışmasıyla esterleştirme işlemini katalizör kullanarak kısa zincirli alkoller ile organik asitleri elde etmişlerdir Kimyasal bir süreç ile bitkisel yağlardan esterleştirme yöntemi kullanılarak üretilen biyodizel yakıtını dizel motorlarında herhangi bir modifikasyon yapılmadan rahatlıkla kullanmışlardır[19].

Sekmen (2007), tarafından yapılan çalışmada keten tohumu ve karpuz çekirdeklerinden biyodizel üretilmiş ve dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2 oranında karıştırılarak direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. Biyodizel karışımlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre motor moment ve gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde artış belirlenmiştir. Biyodizel karışımları ile CO, HC ve duman emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında artma gözlenmiştir [20].

Karabektaş ve Ergen (2007), tarafından yapılan çalışmada soya yağından transesterifikasyon metodu ile üretilen biyodizel yakıtı, performans karakteristikleri ve egzoz emisyonları yönünden dizel yakıtıyla karşılaştırılmıştır. Biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre efektif güç ve motor momentinde ortalama %3,07 oranında azalma, özgül yakıt tüketiminde ise ortalama %8 oranında artış gözlenmiştir. Egzoz emisyonları dizel yakıtına göre CO ve duman emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında ortalama %29,51 ve CO₂ emisyonlarında %7,61 oranında artış olduğu görülmüştür [21].

Haşimoğlu vd. (2008), tarafından yapılan çalışmada, kullanılmamış rafine ayçiçeği yağlarından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiştir. Bu yakıtın aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda, kısmi yük şartlarında motor performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yakıt olarak biyodizel kullanılması ile genel olarak özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve azot oksit emisyonları artma, egzoz gazı sıcaklığı ve duman emisyonunda azalma gözlenmiştir[22].

Çelikten ve Aslan (2008), tarafından yapılan çalışmada, kanola ve soya yağı metil esterlerinin motor performans ve emisyon değişimleri 4 zamanlı ve 4 silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda en yüksek motor performansı dizel yakıtı ile sağlanmış, daha sonra kanola ve soya yağı metil esterlerinin performansları sıralanmıştır. Kanola yağı metil esteri en düşük duman ve CO emisyon değerini vermiştir. NOx emisyon değeri kanola ve soya metil esterleri kullanımı ile artış göstermiştir[23].

Keskin vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada tall yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyodizelin dizel yakıtı ile %90 oranındaki karışımının (B90 yakıtı) motor performans ve emisyonlarına etkisini tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda incelemişlerdir. Dizel yakıtı değerlerine göre, B90 yakıtında moment ve güç değerlerinde sırasıyla %2,99 ve %2,94'e varan oranlar da azalmalar görülürken, motorun özgül yakıt tüketimi değerlerinde ortalama %7,63 oranında artış gözlenmiştir. B90 yakıtı kullanımı ile CO emisyonu değerlerinde %35,44'e kadar, duman emisyonlarında ise %13,27'ye kadar varan azalmalar tespit edilmiştir. Ayrıca, NOx emisyonlarında %13,29 oranına varan artışlar görülmüştür[24].

Kalligeros vd. (2003), yaptıkları çalışmada, ayçiçeği ve zeytin yağı metil esterleri ve dizel yakıtını, her bir bitkisel yağ metil esterinin dizel yakıtı ile %10, %20 ve %50 karışımlarını, maksimum gücü 3.8 kW, sıkıştırma oranı 19/1, tek silindirli bir dizel motorda test ederek, yakıt tüketiminde %10'lara varan artışlar olduğunu belirtmişlerdir[25].

Cıgızoğlu vd. (1997), ön yanma odalı bir dizel motorda, kullanılmış ayçiçeği yağı ile dizel yakıtını belirli oranlarda karıştırarak yaptıkları çalışmada, karışım yakıtla elde edilen motor karakteristik değerlerinin dizel yakıtı ile oluşan değerlere yakın olduğu sonucuna varmışlardır[26]

Gürü vd. (2008), tarafından yapılan deneysel bir çalışmada; tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda, hayvansal biyodizelin performans ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada deneyler; dizel yakıtı ve %10 hayvansal

biyodizel + %90 dizel yakıtı karışımı (B10) ile tam yük çalışma şartlarında, 1800-3000 d/d motor hızı aralığında yapılmıştır. Deneylerde, B10 yakıtı ilavesi ile motor momenti önemli bir değişim göstermemiştir. Biyodizel yakıtının alt ısı değeri düşük olması sebebiyle motorun özgül yakıt tüketimi %5.2 oranında artmıştır. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile CO emisyonu %13, is emisyonu %9 azalmış, NOx emisyonu ise %5 artmıştır[27].

Altın (1998), saf ayçiçek yağı, saf soya yağı, bu yağlar ile bu yağların metil esterlerinin dizel yakıtı ile eşit karışımları ve %100 dizel yakıtı kullanarak deneyler yapmıştır. Bu çalışmada; dizel motorda tam yük-değişik hız ve sabit devir, değişik yük deneyleri ile emisyon ölçümü yapılmıştır. Dizel motor elemanlarını incelemek için rölantide 25 saat, %50 yükte 1300 d/d'da 25 saat olmak üzere 50 saatlik dayanıklılık testine tabi tutmuştur. Bu çalışmada; bitkisel yağların ve metil esterlerinin kısa süreli performans ve emisyon deneylerinde dizel yakıtından elde edilen sonuçlara yakın değerler elde edildiği, motorda oluşan birikintilerin uzun süreli çalışmalar için problem teşkil edebildiği ve bu nedenle bitkisel yağların iyileştirilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır[28].

Yücesu ve Altın (1999), kanola yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı üzerine yaptıkları araştırmalarında, tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda çeşitli devirlerde motor performansı ve egzoz emisyonunu değerlerini incelemişlerdir. Kanola yağı ve dizel yakıtı ile yapılan testler sonucunda; motor devir sayısına bağlı olarak dizel yakıtının, kanola yağından daha yüksek moment ve güç değerleri üretebildiği, özgül yakıt tüketimine bakıldığında, kanola yağının dizel yakıtına göre sarfiyatının daha yüksek olduğu ve kanola yağı termik veriminin dizel yakıtından yaklaşık %9 düşük olduğunu bildirmişlerdir[29].

Zang ve Gerpen (1996), soya yağı metil esteri ve dizel yakıtı karışımları ile, 4 zamanlı, 4 silindirli, sıkıştırma oranı 16.8/1 ve aşırı doldurmalı bir motorda performans ve emisyon testleri yaptıklarını ve bitkisel yağ metil esteri ve dizel yakıtı karışımlarının kullanılması durumunda elde edilen motor performans eğrilerinin, dizel yakıtına benzer sonuçlar arz ettiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada; özgül yakıt tüketimi açısından bitkisel yağ metil esteri ve dizel yakıtı karışımlarının daha yüksek olduğu ölçülmüştür[30].

Radu ve Mircea [1997], direkt püskürtmeli, 3 silindirli ve 17/1 sıkıştırma oranlı dizel motorunda ayçiçek yağı ve dizel yakıtı karışımlarını kullanarak yaptıkları çalışmalarında, %20, %40 ve tam yükte maksimum güç, moment ve yakıt sarfiyatı deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak, bitkisel yağ ve dizel karışımlarının; düşük yanma ısı ve yüksek viskoziteye sahip olduğunu ve ham olarak kullanılan bitkisel yağ yakıtlarına göre; güç, moment ve yakıt sarfiyatı açısından daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir[31].

Koehler (1994), kolza yağını içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaları genel olarak değerlendirmiştir. Kanola yağı metil esterinin dizel yakıtı ile karşılaştırmasına ilişkin olarak; kolza yağından elde edilen yakıtın enerji değerinin yüksek olduğunu, yakıtın yanma sonucu açığa çıkan atık gazların atmosfere olan etkisi yönünde olumlu sonuçlar verdiğini ve %15-30 oranında daha az zararlı emisyonların oluştuğunu tespit etmiştir. Ayrıca; biyodizelin zehirsiz olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgendiği, biyodizelin dolumu sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığı, biyodizelin iyi bir yağlama kabiliyetine sahip olduğu ve böylece motor aşınmasını yüksek derecede engellediği hususlarına değinmiştir[32].

Czerwinski'nin 1994 yılında bazı bitkisel yağlar ile etil alkolü dizel yakıtına belli bir oranda karıştırarak yüksek hızlı bir dizel motorunda denemiştir. Olumlu sonuçların alındığı deneylerden sonra %53 ayçiçeği yağı, %13,3 etanol, %33,4 bütanol kullanarak elde ettiği emülsiyonda, 40°C'deki viskozitesi 6,3 cSt (centistokes) ve setan sayısını 25 olarak belirlenmiştir. Düşük viskozite ve daha iyi püskürtme özelliklerinin, karışımdaki % bütanol miktarının arttırılmasıyla değiştiğini belirtmiştir[33].

Usta vd. (2006), tarafından yapılan çalışmada kullanılmış ayçiçeği yağından esterleştirme yöntemiyle biyodizel üretilmiştir. Üretilen biyodizel yakıtı, dizel yakıtı ile farklı oranlarda karıştırılarak 4 zamanlı, 4 silindirli indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda güç, özgül yakıt tüketimi, termik verim, yağlama yağı sıcaklığı, egzoz gazı sıcaklığı, CO, NO_x, SO₂ ve duman emisyonları bakımından karşılaştırılmıştır. Biyodizel yakıtının ısı değeri dizel yakıtından düşük olmasına rağmen, motor gücünde ve torkunda belirgin bir değişim gözlemlenememiştir. Biyodizel karışım oranının artmasıyla özgül yakıt tüketiminde artış elde etmişlerdir. Buna ek olarak, CO, SO₂ ve duman emisyonlarında azalma ve NO_x emisyonunda artış tespit etmişlerdir[34].

Agarwal vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda ön ısıtma uygulanmış Jatropha yağı ve karışımlarının performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Egzoz gazlarındaki artık ısı kullanılarak arttırılan yakıt sıcaklığı ile Jatropha yağı ve dizel yakıtı ile olan karışımlarının viskozitesi düşürülmüştür. Daha düşük karışım konsantrasyonlarında dizel yakıtına çok yakın performans ve emisyon değerleri elde edilmiştir. Daha yüksek karışım konsantrasyonlarında ise performans ve emisyon değerleri olumsuz yönde değişmiştir[35].

Ergen (2006), tarafından yapılan çalışmada, pamuk yağı metil esterinin motor performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Biyodizelin viskozitesini azaltmak için belirli sıcaklıklarda (60°C, 90°C ve 120°C) ön ısıtmaya tabi tutmuş ve ön ısıtma uygulanan biyodizel yakıtı tek silindirli, dört zamanlı, direk enjeksiyonlu, hava soğutmalı bir dizel motorunda kullanılmıştır. Optimum ön ısıtma uygulama sıcaklığı olarak 90°C belirlenmiştir. Bu ön ısıtma sıcaklığında fren termal verimi ve CO emisyonunda gelişme elde edilirken NOx emisyonunda artış gözlenmiştir[36].

3. BİYODİZEL

Biyodizel kavram olarak, kanola (kolza), soya, pamuk, ayçiçeği, keten tohumu, yerfıstığı, fındık, palmye ve bittim yağı gibi bitkisel yağlardan, bunun yanı sıra bitkisel veya hayvansal atık yağlardan (evsel ve sanayi kaynaklı atık yağlar) ve hayvansal yağlardan (balık yağı, tavuk yağı gibi) transesterifikasyon ve diğer bazı yöntemler ile üretilen yağ esterleridir. Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soydiesel Geliştirme kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir. Dizel motorlarda yakıt olarak kullanıldığı ve ayrıca daha çok bitkisel yağlardan elde edildiği için “Biyodizel” adını almaktadır.

Biyodizel yakıtı saf olarak kullanabildiği gibi petrolden elde edilen dizel yakıtı ile de karıştırılarak kullanılabilir. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanabileceği yukarıda bahsedilen çalışmalardan da anlaşılacağı gibi ilk olarak 1900’lü yılların başında Rudolph Diesel bir sergide yer fıstığı yağı ile dizel motorunu çalıştırarak göstermiştir. Fosil kökenli bir yakıt olan petrolün elde edilmesi kolay ve bütün içten yanmalı motorların tasarımının ona göre yapıldığı için yaygınlaşması kolay olmuştur, ancak bazı siyasi ve ekonomik olaylar sonucu ekonomik krizlere sebep olmuştur. İkinci Dünya Savaşı, 1970’lerdeki petrol darboğazları, petrol krizleri ve yeni dönemde çevre bilincinin artması yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır[37].

Biyodizel yakıtı saf olarak kullanılabildiği gibi dizel yakıtı ile karıştırılarak da kullanılmaktadır[38]. Literatürde bu karışımlara bir standart isim verilmek istenmiş ve genellikle bazı çalışmalarda aşağıdaki şekilde isimlendirilmektedir.

- B10 → % 10 Biyodizel yakıtı + % 90 Dizel yakıtı
- B25 → % 25 Biyodizel yakıtı + % 75 Dizel yakıtı
- B50 → % 50 Biyodizel yakıtı + % 50 Dizel yakıtı
- B100 → % 100 Biyodizel

Dünya devletleri tarafından biyodizel yakıtı için standartlar oluşturulmuştur. Bu standartlar arasında halen Biyodizel yakıtı için EN 14214 ve EN 14213 Avrupa birliği standartları ile ASTM D6751 Amerikan Standardı yürürlüktedir. Ülkemizde de EN

Standartları temel alınarak Türk Standartları Enstitüsü tarafından taşıtlarda kullanılan biyodizel yakıtı için TS EN 14214 standardı çıkarılmıştır. Ayrıca TS 3082 EN 590 Türk Standardı dizel motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtlara en çok %5 oranında biyodizel yakıtı katılmasına müsaade etmektedir[39].

Dizel motorlarında rahatlıkla kullanılabilen biyodizel yakıtı, petrol kökenli yakıtlara göre daha az emisyon üretmektedir ve ayrıca kükürt içermemektedir. Biyodizelin içerdiği oksijen miktarı, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında %11 oranında daha fazla olduğu için biyodizel kullanımında karışım oluşumu daha iyi olmakta ve sonuçta egzoz emisyonlarında önemli derecede azalmalar görülmektedir [40].

3.1. Bitkisel Yağların Viskozitesini Düşürme Yöntemleri

Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılabilmesi için viskozite ve yoğunluğunun düşürülmesi gerekmektedir. Yüksek viskoziteli yakıtlar püskürtme esnasında enjektörlerde problemler çıkarmaktadırlar. Viskozitesinin düşürülmesi için bu yağların bazı kimyasal işlemlere tabi tutulması gerekir. Bu nedenle, bitkisel yağların dizel yakıtına alternatif olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Bu problemin çözümü için beş yöntem kullanılmaktadır.

- a. Seyreltme
- b. Mikroemülsiyon oluşturma
- c. Piroliz
- d. Süper kritik yöntem
- e. Transesterifikasyon

3.1.1. Seyreltme yöntemi

Uygun bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıtına katılarak yağın viskozitesi düşürülmektedir. Ziejewski ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada hacimsel olarak %25 ayçiçek yağı ve %75 dizel yakıtı ile oluşturulan karışımın 40°C'deki viskozitesi 4,88 mm²/s olarak bulunmuştur. ASTM (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)

standartlarında dizel yakıt için belirlenen üst sınır $4,0 \text{ mm}^2/\text{s}$ olduğundan söz konusu karışımın direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında rahatlıkla kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca bitkisel yağ ile dizel yakıtı karıştırıldığı zaman yoğunluk farkından dolayı bir karışımama aralığı mevcuttur. Seyreltme uygulamalarında, en çok tercih edilen bitkisel yağlar, ay çiçek yağı, soya yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı ve kullanılmış kızartma atık yağlarıdır[41].

3.1.2.Mikro emülsiyon oluşturma yöntemi

Bitkisel yağların viskozite sorununun çözümü için bitkisel yağların emülsiyonlarının elde edilmesi gerekir. Metil ya da etil alkol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağların mikro emülsiyon durumuna getirilmesi ile viskozite değeri düşürülebilir. Bu yöntemde, alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle mikro emülsiyonun da setan sayısı da düşük olmaktadır ve düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesi gibi sakıncaları da mevcuttur[42].

3.1.3. Piroliz yöntemi

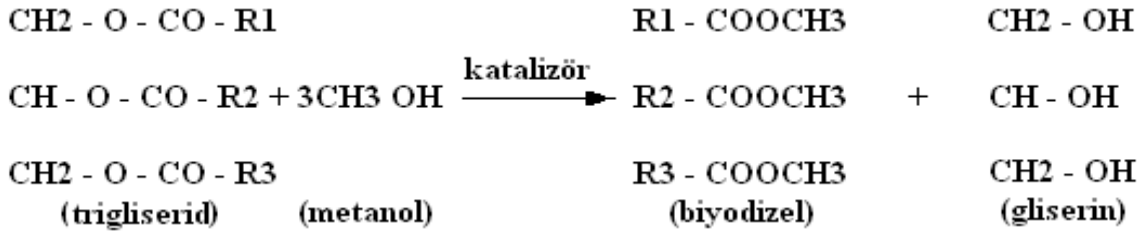
Bitkisel yağların molekülleri yüksek sıcaklıklarda daha küçük moleküllere parçalanması işlemi olarak bilinmektedir. Bu yöntemle bitkisel yağın viskozitesi oldukça düşürülmekte fakat piroliz işlemi ek gider gerektirdiği için tercih edilen bir işlem değildir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için kullanılan iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi, bitkisel yağları ısı etkisi ile kapalı bir kapta parçalamak, diğeri ise ASTM standardına göre bitkisel yağı distilasyon ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır[43].

3.1.4. Süper kritik yöntemi

Biyodizel üretimi transesterifikasyon yönteminden farklı olarak, katalizör kullanmadan 350°C gibi yüksek sıcaklık ve 240 saniye gibi kısa sürelerde gerçekleştirilmektedir[44].

3.1.5. Transesterifikasyon yöntemi

Bitkisel yağların mono hidrik bir alkolle (metanol, etanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) varlığında esas ürün olarak yağ asidi esteri ve gliserin vererek yeniden esterleştirilmesi işlemidir. Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Yağ asidi trigliseridin metanol ile reaksiyonu Şekil 3.1’de görülmektedir[45, 46].



Şekil 3.1. Bitkisel yağın metanol ile transesterifikasyon denklemi

3.2. Biyodizel Yakıtının Özellikleri

Biyodizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına yakın değerlerde olması istenmektedir. Bu özelliklerin bazıları dizel yakıtına göre daha iyi ve bazıları da biraz daha kötü olmaktadır. Biyodizel yakıtı düşük sıcaklıklarda dizel yakıtına oranla viskozitesi biraz yükselmektedir. Biyodizel dizel yakıtına karıştırıldığı vakit daha düşük bir akma noktasına sahip olmaktadır. Biyodizel yakıtı bitkisel yağlardan elde edildiği için bu yağların bazı özelliklerinin bilinmesi gerekir. Aşağıdaki Tablo 3.1’de bazı bitkisel yağların ve Tablo 3.2’de bu bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikler görülmektedir.

Tablo 3.1 Bitkisel yağların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri [47].

Bitkisel Yağ	Isıl Değer Kj/kg	Kinematik Viskozite mm ² /sn (40 °C)	Yoğunluk (15°C)	Parlama Noktası °C	Akma Noktası °C	Bulutlanma noktası °C	% C
Yer fıstığı	39964	22.72	0.8880	198	-6	0	70.002
Pamuk	39173	27.02	0.8830	218	-17	-1	72.7005
Aspir	39772	28.33	0.9050	226	-14	-2	67.2242
Kanola	40123	31.23	0.9030	234	-30	-14	72.3939
Susam	39445	25.78	0.8990	245	-10	1	68.9628
Keten	39552	26.61	0.9180	226	-30	-6	67.2569
Soya	40115	28.08	0.9050	242	-18	-4	71.2397
Ayçiçeği	39827	31.52	0.9060	262	-18	-7	53.9418

Tablo 3.2 Bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtlarının yakıt özellikleri [47].

Biyodizel	Isıl Değer Kj/kg	Yoğunluk (15 °C)	Kinematik viskozite	Akma Noktası(°C)	Bulutlanma Noktası (°C)	%C	Ester verimi %	Setan Sayısı
Yerfıstığı	40099	0.8485	4.42	-8	0	62	79	53.59
Pamuk yağı	40201	0.8558	3.63	-20	-9	60	91	52.05
Aspir yağı	40258	0.8703	3.90	-24	-5	59	89	53.14
Kanola yağı	39876	0.8652	3.95	-30	-13	63	96	56.07
Susam yağı	40397	0.8672	4.20	-14	-6	62	69	50.48
Keten yağı	39952	0.8842	4.35	-30	-11	70	84	45.41
Ayçiçeği	39649	0.8740	4.60	-19	-6	62	81	46.80
Dizel yakıtı	42900	0.82-0.86	2.5-3.5	-33	-16	-	-	49-55

3.2.1. Viskozite

Sıvıların akmaya karşı göstermiş oldukları direnç viskozite olarak adlandırılmaktadır. Viskozite, sıvıların kalın ya da ince oluşunu sayısal olarak ifade eden bir göstergedir. Sıcaklık arttıkça bir sıvının viskozitesi azalır, yani ısı almış olan sıvılar daha kolay akmaktadır. Bunun için viskozite değeri sıcaklığa bağlı olarak değiştiğinde bir anlam ifade edebilmesi için daima hangi sıcaklıkta olduğunun belirtilmesi gerekir. En çok kullanılan viskozite birimleri şöyledir: Centistoke cSt. (canti stok), mm^2/s , Engler derecesi, Centipoise cp (santipuez), Redwood seconds, Saybolt Seconds.

Dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanma odasına püskürtülmesi gerektiği için viskozitesinin yüksek olması istenmeyen bazı sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Yüksek viskoziteli olan bir yakıt enjektörden iri tanecikler halinde püskürtülür. Dolayısıyla iri tanecikli bir püskürtme yanmanın kötüleşmesine sebep olur ve buna bağlı olarak motor performansının da kötüleşmesine sebep olmaktadır. Aynı zamanda yüksek viskoziteli bir yakıtta pompa plancırına yeteri kadar yakıt dolmadığından motorun volümetrik verimi düşer ve sonuç olarak motor gücü ve momentinde bir azalma meydana gelmektedir.



Şekil 3. 2. Viskozite ölçüm cihazı

3.2.2. Yoğunluk

Yoğunluk, birim hacmin ağırlığı olarak bilinmektedir. İçten yanmalı motorlar için kullanılan yakıtların önemli bir özelliğidir. Bu özellik biyodizel yakıtı için de önemli bir kimyasal özelliktir. Biyodizel yakıtları için yoğunluğun yüksek olması, biyodizelin elde edilişi sırasında gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığı anlamına gelmektedir. Genellikle bitkisel kökenli yağlardan elde edilen biyodizel yakıtlarının yoğunlukları dizel yakıtına yakın olmakla birlikte biraz daha fazladır. Biyodizellerin normal dizel yakıtına göre daha yüksek yoğunluğa sahip olması nedeniyle pompadan gönderilen yakıt miktarı azalmakta sonuç olarak motorun volumetrik veriminde düşüş meydana gelmektedir.

3.2.3. Setan Sayısı

Setan sayısı, dizel yakıtın kendi kendine tutuşabilme kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Benzindeki oktan sayısı gibi ölçülebilen bir özelliktir. Setan sayısı yüksek olan yakıt kolay tutuşabilir ve hızlı bir şekilde yanabilir. Setan sayısı dizel motorlarında yanma işlemini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Dizel motorlarda yakıt yanma odası içerisinde yanma zamanında herhangi bir kıvılcım olmaksızın basıncın ve sıcaklığın etkisi ile kendiliğinden tutuşur. Setan sayısının önemi burada ortaya çıkar, çünkü motorlarda yapılan hesaplamalar sonucu yakıtın yanmasının en verimli olduğu motor zamanı yani pistonun ÜÖN'ü krank mili cinsinden 4-5 derece geçtiği an olarak belirlenmiştir. Setan sayısı yakıtın vurutuya karşı direncini gösterir. Yakıtın tutuşma kabiliyeti yani setan sayısı yüksek olmalıdır ki, yanma olayı zamanında kendiliğinden kolayca meydana gelebilsin. Eğer setan sayısı yeteri kadar yüksek değil ise yakıtın tamamı yanması gereken zaman aralığında yanamaz. Yanma zamanından sonra yanan yakıt fazla verimli olmaz. Yani piston aşağıya doğru uzaklaştığı için yanmasının oluşturduğu basınç pistonu fazla bir itme gücü sağlayamaz. Setan sayısı düşük olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi safhası uzar. Dolayısıyla bu safhada püskürtülen yakıt miktarı da artar. Yanmanın başlaması ile birlikte bu safhada püskürtülen yakıtın tamamı bir anda yanmaya başlar. Sonuç olarak silindir içerisinde ani bir basınç artışı meydana gelir. Bu ani basınç artışı motor parçalarına etki ederek motorun gürültülü çalışmasına ve yanmanın kötüleşmesine sebebiyet vermektedir. Bu duruma dizel vuruntusu adı verilmektedir.

Sonuçta vuruntulu çalışan bir motorda; güç kaybı, ilk harekette zorlanma, karbon birikintisi, motorun geç ısınması, fazla yakıt tüketimi gibi aksaklıklar meydana gelebilmektedir. Setan sayısının yüksek olması büyük dizel motorlarda istenmez hatta bu motorlarda Setan sayısının düşük olduğu bir yakıt kullanılan motorda motor ilk harekete daha zor geçer, çalışmaya başladıktan sonra beyaz duman atma süresi artar, Vuruntu yaparak güç kaybına ve malzeme yorulmasına yol açabilir ve istenilen verim elde edilemez.

3.2.4. Isıl Değer

Bir yakıtın birim kütlesinin tam olarak yakılması sonucu açığa çıkan ısı miktarına ısı değeri adı verilir. Isıl değer aynı zamanda yanma ısısı ya da kalorifik değer olarak da adlandırılabilir. Özel bir kalorimetreye ölçülen ısı değeri, joule/kilogram cinsinden ya da benzer bir birimle ifade edilir. Bir yakıtın ısı değeri ne kadar yüksek ise yakıttan yanma sonucu elde edilebilecek enerji miktarı da o kadar artar [48]. Genel olarak bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtlarının ısı değeri petrol türevi olan dizel yakıtından daha düşüktür. Bu nedenle biyodizel kullanımında aynı gücü elde edebilmek için tüketilen yakıt miktarı daha fazla olmaktadır yani özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Biyodizel yakıtlarının ısı değerinin dizel yakıtına nazaran daha düşük olması ayrıca motorun termik veriminin düşmesine sebep olmaktadır. Bundan dolayı aynı motor şartlarında biyodizel yakıtının kullanılması ile motor gücü ve torku daha düşüktür[49].

3.2.5. Akma ve Bulutlanma Noktaları

Akma noktası bir yakıtın akmaya devam edebildiği en düşük sıcaklık olarak bilinmektedir. Bulutlanma noktası ise yakıtın jelleşmeye başladığı sıcaklık derecesini ifade eder. Akma ve bulutlanma noktaları yakıtın soğuk iklimlerde kullanılabilirliği hakkında bir fikir vermektedir. Bazı bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtlarında akma ve bulutlanma noktaları dizel yakıtına göre daha yüksektir. Bu durum bu yakıtların özellikle kış aylarında kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir.

3.2.6. Akış Özellikleri

Biyodizel yakıtı dizel yakıtından daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta, kullanımında problem çıkarmakta ve dolayısıyla motorun düzensiz çalışmasına sebep olmaktadır. Soğuk akış özelliği iyi olmayan bir yakıtın kullanımı, motorun yakıt beslenme elemanlarına zarar vermektedir. Ayrıca motorun ilk harekete geçişi zorluğu ortaya çıkmaktadır[50].

3.2.7. Parlama Noktası

Parlama noktası bir sıvının bir alev cephesiyle karşılaştığında alev almaya başladığı noktadır. Bir yakıtın parlama noktasının yanma üzerinde herhangi önemli bir etkisi yoktur. Ancak yakıtın taşınması ve depolanması sırasında yakıtın emniyetini gösteren bir özelliktir. Parlama noktası, petrol kökenli dizel yakıtına nazaran daha yüksek olan biyodizel yakıtların taşınması ve depolanmaları sırasında oldukça emniyetlidirler.



Şekil 3. 3. Parlama noktası ölçüm cihazı

3.3. Menengiç (*Pistacia Terebinthus* L.) Bitkisi

Menengiç (*Pistacia terebinthus* L.), yurdumuzda Akdeniz ve dünyada Batı Asya'nın tipik bir bitkisi olarak bilinmektedir. Anacardiaceae familyasına ait olan bu ağaç, Türkiye'nin Doğu Anadolu, İç Anadolu, Karadeniz bölgesinin iç kesimlerinde, Akdeniz Bölgesinin dağlık kırsal kesimlerinde ve Güney Doğu Anadolu bölgesinin bazı kesimlerinde ekimi yapılmadan kendiliğinden yetişen bir ağaç türüdür. Aynı zamanda, Türkiye'de menengiç ağacı, kıyı kesimlerdeki kayalık ve tepelik yerlerde veya Toros dağlarındaki çam ormanlarında, yaklaşık 1600 m yükseklikte yetişmektedir. Mart ve nisan aylarında çiçek açan, bir önceki yıla ait sürgünlerde gelişen çiçekler kırmızısı erguvan; küremsi küçük, meyveler ise olgunlaştığında mavimsi yeşil renktedir.

Ülkemizin doğal bitki örtüsünün bir parçası halindedir. 2000 yıl kadar yaşayabilen menengiç ağacı, yörelere göre Çitlenbik, Çıtlık, Çitemik, Çedene, Bıttım gibi farklı isimler almıştır. Bu çalışmada, bu bitki yöresel bir isim olan bıttım olarak adlandırılmıştır. Botanik sınıflandırmada bitkiler aleminden, iki çenekliler sınıfından olup Sapindales takımındandır. Bitki olarak fıstık ağacına benzerlik gösteren ve sakız ağacıgiller familyasından olun menengiç bitkisi fıstık ağaçlarının anacıdır, yani üzerine Antep fıstığı aşılanmaktadır. Halk tarafından da fıstık anacı olarak bilinen menengiç (bıttım) ağacı ilaç, sabun, yağ, kahve, çay ve çerezlik olarak kullanılmaktadır.

Bıttım ağacının boyu 6–9 metreye kadar ulaşmaktadır. Alkali topraklarda en iyi gelişmeyi sağlar ve yavaş yavaş büyür. Karşılıklı dizilmiş bileşik yapraklar 5–11 parlak yaprakçıktan oluşur ve reçine kokusu vermektedir. Mart ve Nisan aylarında kırmızısı mor renkli çiçekler açmaktadır. Meyvesi küçük küre biçiminde olup olgunlaşınca kahverengine dönüşür ve sert bir kabuk tarafından korunur. Bu meyve genellikle halk arasında yaban fıstığı diye adlandırılır. Ekim ve Kasım aylarında olgunlaşan tohumlar yağ çıkarımı veya yemiş olarak tüketilmek için toplanır. Bıttım ağacı meyvelerinden, geleneksel yöntemler kullanılarak elde edilen yağ sabun üretiminde kullanılır. Elde edilen sabun Siirt ve yöresinde bıttım sabunu olarak adlandırılır ve kullanımında hiçbir yan etkisi bulunmamaktadır.

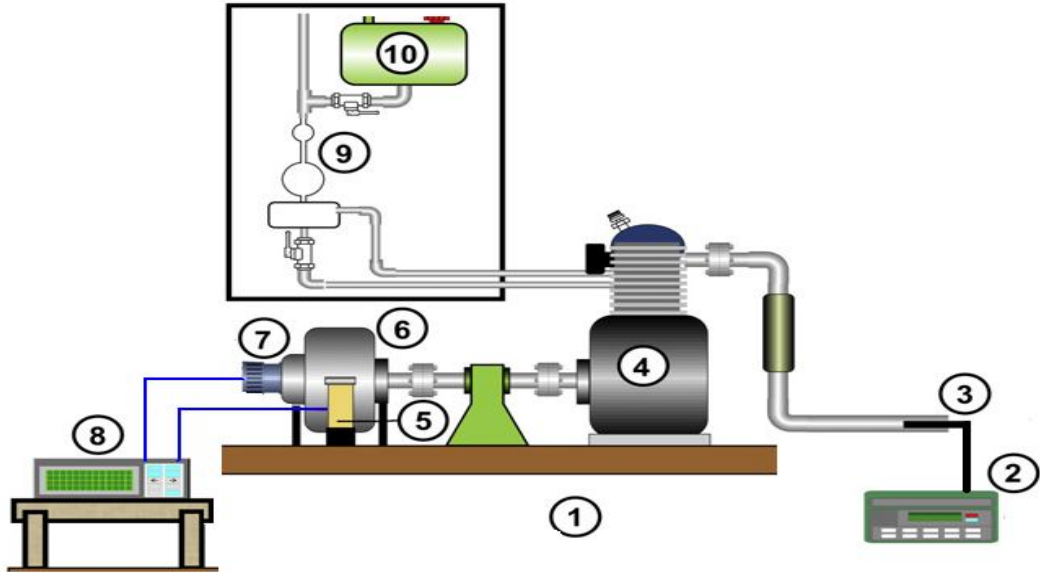


Şekil 3.4. Bıttım Bitkisi

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Deneylerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri

Deneyler, Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır. Deneyler için, maksimum gücü 10 HP, silindir hacmi 406 cc, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı Rainbow marka bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan hidrolik dinamometrenin şematik görünüşü Şekil.4,1’de görülmektedir.



Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan BT–140 model hidrolik dinamometrenin şematik görünüşü

1. Motor test yatağı şasisi, 2. Egzoz emisyonu ölçüm cihazı, 3. Gaz analiz cihazın sondası, 4. Dizel motoru, 5. Yük ayarı tertibatı, 6. Dinamometre, 7. Takometre, 8. Kontrol ünitesi, 9. Yakıt ölçüm ünitesi, 10. Yakıt tankı.

Deneysel çalışmalarda kullanılan Rainbow–186 Dizel marka motor test düzeneğinde tek silindirli dizel motor ve bir dinamometre bulunmaktadır. Deney sisteminde yakıt ölçüm düzeninde 50 ve 100 ml hacminde olan bölmelerdeki yakıtın harcanma zamanı kronometre ile ölçülerek tespit edilir ve gerekli bağıntılar kullanılarak özgül yakıt tüketimi bulunmaktadır. Deney Motoruna ait teknik özellikler Tablo 4,1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney Motorunun teknik özellikleri

Markası	Rainbow–186 Dizel
Püskürtme sistemi	Direkt püskürtmeli
Silindir sayısı	1
Strok hacmi	406 cc
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum moment	25.21 Nm (1800 d/d’da)
Maksimum güç	10 HP
Maksimum motor devri	3600 d/d $\pm$ 20
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Püskürtme basıncı	19.6 $\pm$ 0.49 Mpa (200 $\pm$ 5 Kgf/cm ²)
Ortalama piston hızı	7.0 m/sn (3000 d/d’da)

4.2. Motor Test (Dinamometre) Cihazı

Bu çalışmada biyodizel yakıtı ile dizel yakıtını test etmek amacıyla yapılan motor deneylerinde maksimum gücü 50 kW, maksimum devri 7500 d/d olan BT-140 model bir hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motor test cihazının teknik özellikleri Tablo 4.2’de ve bu cihazın resmi de Şekil 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Motor test cihazının teknik özellikleri

Fren Modeli	BT-140
Maksimum frenleme gücü	50 HP
Maksimum devir	7000 d/d
Maksimum moment (Tork)	250 Nm
Yük hücresi kapasitesi	1000 N
Maksimum güç için su sarfıyatı	$V_{\max} 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$
Fren suyu basıncı	1–2 Kg/cm ²
Fren kontrol tipi	Kayıcı fan perdeleri ile
Ağırlık sistemi	Metrik-Elektr. Yük Hücresi
Fan adedi	1
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz.
Dönüş yönü	Sağ dönüşlü



Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan BT–140 model hidrolik dinamometre

Motor test standı (Bremze) kontrol cihazının teknik özellikleri Tablo.4.3’de verilmiştir. Bu test cihazının üzerinde motor devrini rpm(d/dak.) cinsinden, motor gücünü beygir gücü (HP) ve motor momentini kg.m olarak gösteren dijital ekranlar mevcuttur. Ayrıca motora

uygulanan yük %10'luk dilimler halinde kademeli olarak değiştirilebilmektedir. Böylece deneyler sırasında motora uygulanan yük azaltılıp artırılabilir. Motor test cihazının teknik özellikleri Tablo 4.3'te görülmektedir.

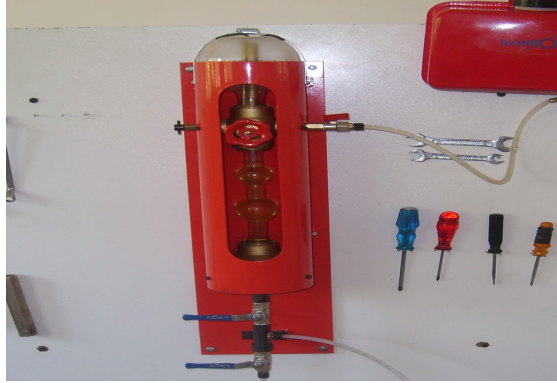
Tablo 4.3. Motor test (bremze) tezgâhı kontrol cihazının teknik özellikleri

Modeli	PC101BMS
Doğruluk sınıfı	% 0.2
Hassasiyet	± 1 Digit
Ölçüm hızı	5 ölçüm / saniye
Ağırlık ölçüm tipi	Lineer (Yük Hücresi-Load-Cell)
Devir ölçüm giriş tipi	Manyetik algılayıcı
Ekran tipi	3x6 adet, 7- Bölgeli LED, 2x16 karakter LCD
Güç sarfıyatı	16 W
Çalışma ortam sıcaklığı	0-50° C
Çalışma gerilimi	220 $\pm$ %5 VAC
Çıktı	Döküm almak için paralel yazıcı bağlı

4.3. Yakıt Tüketimi Ölçüm Düzeni

Yakıt tüketimi ölçüm cihazı ile yakıt tüketim değeri bir saatlik yakıt tüketimi olarak alınmaktadır. Yakıt tüketimi değişimlerini incelerken, saatlik yakıt tüketiminin motor gücüne oranı olan özgül yakıt tüketimi değerlerinden yararlanılır. Yakıtın hacminin ölçülmesinde en basit yöntem, bir kap içerisinde hareket eden yakıt yüzeyinin iki ölçü çizgisi arasından geçme süresinin kronometre ile saptanmasıdır. İki çizgi arasındaki hacim hesaplanarak bu hacmin ne kadar süre içerisinde geçmesine göre birim sürede tüketilen yakıt miktarı bulunur. Bu süreden hareket edilerek, saatlik yakıt tüketimi litre/saat olarak bulunur. Bu değer yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak, kg/h olarak yakıt tüketimi belirlenir.

Bu çalışmada yakıt ölçüm düzeninde 50 ve 100 ml hacminde olan bölmelerdeki yakıtın harcanma zamanı kronometre ile saptanarak ilgili bağıntıdan özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.



Şekil 4.3. Yakıt tüketimi ölçüm ünitesi

4.4. Gaz Analiz Cihazı

Bittim yağından elde edilen biyodizel yakıtı hacimsel olarak dizel yakıtı ile %10 biyodizel+%90 dizel yakıtı (B10 yakıtı), %25 biyodizel+%75 dizel yakıtı (B25 yakıtı) ve %50 biyodizel+%50 dizel yakıtı (B50 yakıtı) şeklinde karıştırılarak yeni üç adet karışım elde edilmiş, bu karışımlar ve dizel yakıtının (D2 yakıtı) yanması sonucu oluşan emisyon gazlarının analizi için Şekil.4.4'te görülen CAPELEC CAP 3200 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 4,4'te görülmektedir.

Bu gaz analiz cihazı ile egzoz emisyon ürünleri olan yanmamış hidrokarbonlar (HC) (ppm), karbondioksit (CO₂) (%), karbon monoksit (CO) (%), oksijen (O₂) (%), azot oksitleri (NO_x) (ppm) ve lamda (-) değerleri ölçülmektedir.



Şekil 4.4: Gaz analiz cihazı

Tablo 4.4. Gaz analiz cihazın teknik özellikleri

Parametre	Ölçme Aralığı	Hassasiyet
HC	0-20000 ppm	1 ppm
CO ₂	%0-20	%0,1
CO	%0-15	%0,001
O ₂	%0-21,7	%0,01
Lamda	0,6-1,2	0,001
NO _x	0-5000 ppm	1 ppm

4.5. Kızıl Ötesi Termometre

Bu çalışmada yapılan testlerde yakıtların yanması sonucu oluşan egzoz emisyonu gazlarının sıcaklıklarını egzoz manifoldundan ölçmek için Şekil.4.6’da görülen Raytek Raynger ST4 kızıl ötesi termometre cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile ancak egzoz borusu üzerindeki sıcaklık ölçülmektedir. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 4.5’te görülmektedir.



Şekil 4.5.Kızılötesi termometre

Tablo 4.5. Raytek Raynger ST4 kızıl ötesi termometrenin teknik özellikleri

Özellik	Raytek Raynger ST4
Sıcaklık ölçüm aralığı	(-32°C ile +545°C), (-25°F ile +950°F)
Lazer görüşü	Tek nokta
Yayılma oranı	% 95
Hassasiyet	%±1
Algılama verme süresi	500 µsn

4.6. Deneyin Yapılışı

Deneye başlamadan önce motorun yağlama yağı ve hava filtresi yenisiyle değiştirilmiştir. Püskürtme basıncı, yakıt püskürtme avansı ve motorun diğer ayarlanabilir aksamaları katalog değerlerine uygunluğu tespit edilmiştir. Motor ve hidrolik dinamometrenin ile egzoz emisyonu cihazı bağlantıları kontrol edilmiştir.

Motor çalıştırılarak yaklaşık beş dakika süreyle ısınması veya çalışma sıcaklığına (90°C) ulaşması beklenmiştir. Ölçümlere, motor çalışma sıcaklığına geldikten sonra başlanmıştır. Her yakıt ile yapılan test tamamlandığında ve yakıt tamamen tükendiğinde motor test öncesindeki gibi dinlenmeye bırakılmıştır. Motor ısındıktan sonra gaz kolu tam gaz

konumuna getirilerek motora kademeli yük uygulanmıştır. hidrolik dinamometre kontrol paneli üzerinde bulunan yük kontrol kolu yardımı ile sırasıyla 1000 dev/dak, 1500 dev/dak, 2000 d/dk, 2500 de çalıştırılarak performans ve emisyon değerleri için gerekli veriler alınmıştır. Tüm testler aynı ortam ve koşullarda yapılmıştır. Deneyler önce dizel yakıtı (D2 yakıtı), B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtı sırasına göre yapılmıştır.

4.7. Hesaplanan Büyüklükler

Motorun Döndürme Momenti

Motorun döndürme momenti veya torku motor gücü ve motorun devir sayısına bağlı olarak değişen bir performans değeridir. Motorun döndürme momentinin hesaplanmasında aşağıdaki denklem (4.1) kullanılmıştır.

$$Md = \frac{9549.P_e}{n} \quad (4.1)$$

Md = Döndürme momenti (Nm)

P_e = Efektif güç (kW)

n = Motor devir sayısı (d/d)

Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi deney sırasında tüketilen yakıt miktarının elde edilen yani hesaplanan güce oranıdır. Özgül yakıt tüketiminin hesaplanmasında aşağıdaki denklem (4.2) kullanılmıştır.

$$b_e = \frac{\dot{V} \cdot \rho \cdot 3600}{P_e} \quad (4.2)$$

b_e = özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

$\dot{V}$ = Saniyede geçen yakıt hacmi (cm^3/sn)

ρ = Yakıtın yoğunluğu (g/cm^3)

Ortalama Efektif Basınç

Motorla bir strok boyunca motorun gerçekte çevrimdekine eşdeğer motor gücünü vermesi için pistonu etki etmesi gereken basınçtır. Deneyler sırasında motor devrine bağlı olarak oluşan efektif basınç değerleri aşağıdaki formül (4.3) ile hesaplanmıştır.

$$P_{me} = \frac{60Pe}{V_H \cdot n \cdot \dot{I}} \quad (4.3)$$

P_{me} : Ortalama efektif basınç (kPa)

V_H : Toplam strok hacmi (m^3)

n = Motorun devir sayısı(dev/dk)

$\dot{I}$: çevrim/devir (dört zamanlı motorlarda $\frac{1}{2}$)

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın temel amacı bittim bitkisinden üretilen yağı biyodizel yakıtına dönüştürmek ve üretilen biyodizel yakıtının dizel yakıtı ile değişik bazı oranlarda karıştırılarak bir dizel motorunda kullanabilirliğini araştırdıktan sonra bu yakıtın saf olarak kullanılabilme imkanlarını araştırmaktır. Bunun için bittim bitkisinden elde edilen bittim yağı metil esteri yukarıdan da belirtildiği gibi, dizel yakıt ile %10, %25 ve %50 oranlarında karıştırılarak tek silindirli bir dizel motorunda denenmiş ve elde edilen motor performans ve emisyon değerleri dizel yakıtından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

5.1. Bittim Yağından Biyodizel Üretimi

Bittim yağının yüksek viskozite ve yoğunluk probleminin çözülmesi ve biyodizel üretimi için bir kimyasal dönüşüm yöntemi olan transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, bitkisel yağların yüksek viskozitesini düşürmek için kullanılan en etkili metotlardan biridir. Metil ester elde etmenin esası, yağ ile metil veya etil alkolün reaksiyona girmesinde kullanılan katalizörün uygun bir şekilde kullanılmasıdır. Biyodizel olarak adlandırılan yağ esterleştirme işlemi metil alkol veya etil alkol kullanılarak yapılmaktadır.

Esterleştirme reaksiyonunda katalizör olarak asit veya alkali metaller kullanılabilir. Ancak dönüşüm reaksiyonlarında alkali katalizörlerin kullanılması durumunda reaksiyon süresi kısalmaz ve bitkisel yağın biyodizele dönüşüm oranı artar. Tansesterifikasyon işleminde alkali katalizörlerin kullanıldığı reaksiyon, aynı miktar asit katalizör kullanıldığı diğer reaksiyonlara göre daha hızlı meydana gelmektedir. Optimum reaksiyon sıcaklığı alkolün kaynama noktasına yakın olup yaklaşık 60°C'dir. Alkali reaksiyonlarda bitkisel yağ 90 dakika süre içerisinde yaklaşık %90–98 oranında metil estere dönüşmektedir[75].

Dicle Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü laboratuvarında transesterifikasyon metodu ile bittim yağında metil ester (biyodizel) üretilmiş ve üretilen biyodizel yakıtı Dicle Üniversitesi laboratuvarında analizi gerçekleştirilmiştir.

Bittim yağından biyodizel elde etmek için uygulanan işlem basamakları sırası ile aşağıdaki şekildedir.

1. Bittim yağı 500 ml'lik bir behere yerleştirilerek ısıtıcı üzerine bırakıldı ve 58°C'de sabit tutulmuştur. Homojen bir denge sağlamak amacı ile yağın içerisine manyetik karıştırıcı bırakılarak 1000 devir/dak'lık bir hız ile karıştırıldı. Bu işlem Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Yağın ısıtılması

2. Isıtılmış olan yağ, hacimsel olarak %20'si %0.4 NaOH ihtiva eden metanol katalizör maddesi olarak bir kaba konulup manyetik karıştırıcı ile 30-40°C'de katalizör çözülene kadar karıştırıldı. Daha sonra metanol ve NaOH karışım 55°C'de bekleyen bittim yağının içine karıştırılarak yeni bir karışım elde edildi. Bu işlem şekil 5.2 görülmektedir



Şekil 5.2. Metanol katalizör

Daha sonra metanol ve NaOH karışımı 58°C’de bekleyen bittim yağının içine karıştırılarak yeni bir karışım elde edildi. Bu işlem Şekil 5.3’de görülmektedir.



Şekil 5.3. Metanol katalizörün yağa ilavesi

3. Karıştırma kabında karışım 90 dakika süre ile ortalama 1000 d/d’da dönen manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Bu sürede sıcaklık 60°C olarak sabitlendi.

4. 90 dakika karıştırma işleminden sonra karışımı dinlendirmek amacıyla ayırma hunisine alındı. Cam ayırma hunisine alınan numune alta gliserin üste biyodizel olacak şekilde birbirlerinden ayrışması için bekletildi. Bu işlem Şekil 5.4’de görülmektedir.



Şekil 5.4 Dinlendirme kabı

5. Dinlendirme hunisine alınan karışım, 12 saat bekletilerek biyodizel ve gliserinin ayrışması sağlandı. Dinlendirme fazı oluştuğundan sonra gliserin hunilerin altında bırakılarak biyodizele dönüşen bittim yağı dinlendirme kabından alındı.

6. Bitkisel yağdan elde edilen biyodizel içerisindeki fazla yağ asitleri, reaksiyona girmeyen alkol, katalizör madde ve ayrışma esnasında yerinde kalma ihtimali olan gliserinin ester içinde uzaklaştırılması için yıkama işlemine tabi tutuldu. Yıkama işleminde saf suyla kabarcık yöntemi tercih edildi. Bu yöntemle biyodizel 1:1 oranında saf su katılarak bir manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı.

7. Yıkama işleminden sonra biyodizel 4 saat bekletilerek su ile faz oluşturarak suyun dibe çökmesi sağlandı ve dibe çöken su tahliye edildi.

8. Yıkama hunisinin içerisine alınan biyodizelde su kalma ihtimaline karşın suyun kaynama noktası olan 100°C üzerinde ısıtılarak biyodizel içerisindeki suyun buharlaşması

sağlandı ve geriye kalan biyodizel başka kapalı bir kaba alındı. Elde edilen biyodizel yakıtı ile bittim yağının kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlendi ve bu özellikler Tablo 5.1’de görülmektedir.

Tablo 5.1. Bittim yağının ve bittim biyodizelinin (B100 yakıtı) yakıt özellikleri

Parametreler	Bittim Yağı	B100 yakıtı
Kinematik viskozite (mm ² /s)	44,85	4,1
Isıl Değeri (MJ/kg)	39.1	40,01
Yoğunluk(15°C’de) (g/ml)	0,920	0,8848
Parlama Noktası (°C)	228	75

Elde edilen biyodizel yakıtı dizel yakıtı ile hacimsel olarak %10, %25 ve %50 oranlarında karıştırıldı. Bittim yağından elde edilen biyodizel yakıtının kimyasal ve fiziksel özellikleri laboratuvarında belirlendi. Araştırmada kullanmak üzere saf biyodizel (B100), %10 biyodizel karışımı (B10), %25 biyodizel karışımı (B25) ve %50 biyodizel karışımı (B50) yakıtların ile dizel yakıtının (D2 yakıtı) özellikleri belirlenerek Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

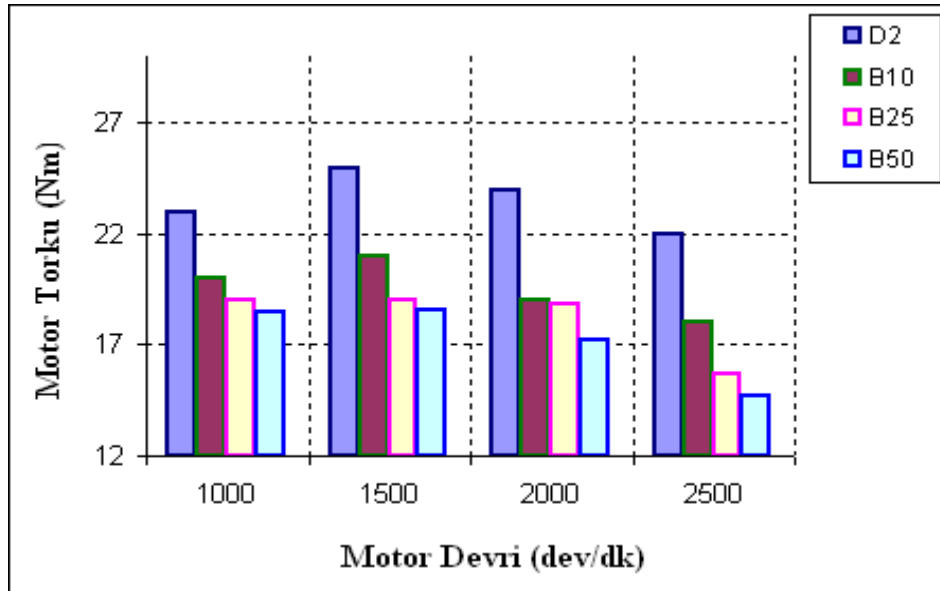
Tablo 5.2. Bittim biyodizeli, biyodizel karışımları ve dizel yakıtının özellikleri

Parametreler	B10	B25	B50	B100	D2 yakıtı
Kinematik Viskozite (mm ² /sn),(40°C’de)	3.706	3.775	3.892	4,123	3,666
Isıl Değeri (kJ/kg)	42714	42014	41111	4001	43350
Yoğunluk (gr/cm ³), (15°C)	0,836	0,834	0,860	0,885	0,843
Parlama noktası (°C)	63	65	69	75	60
Setan indisi	49.54	50.35	51.70	54.4	49

5.2. Motor Performansı

5.2.1. Motor Momenti

Deney motoru çalışma şartlarına getirildikten sonra, motor tam gaz konumuna getirilip gaz pedalı sürekli bu konumda tutulmuştur. Bu durumda dinamometrenin yük artırma düğmesi ile motor yüklenmeye başlanmış ve 1000, 1500, 2000 ve 2500 d/d'da moment değerleri ölçülmüştür. Dizel yakıtı, B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtı ile tam gazda, yukarıda belirtilen motor devirlerinde yapılan deneylerden elde edilen değerler grafik haline getirilerek moment değişimleri Şekil 5.5'da gösterilmiştir.

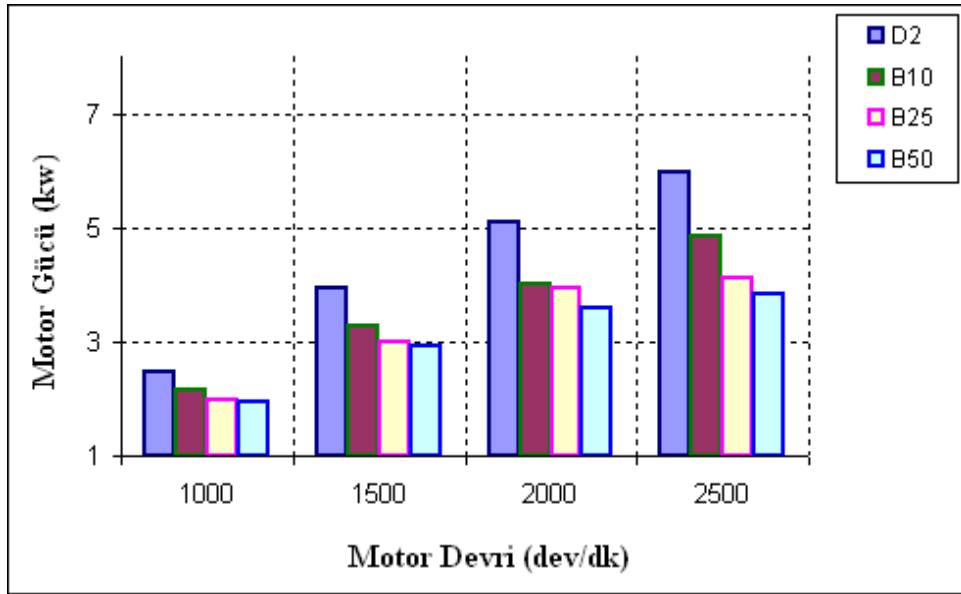


Şekil 5.5. D2 yakıtı, B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtının tam gazda motor devrine bağlı moment değişimleri

Şekil 5.5'de görüldüğü gibi D2 yakıtı ile elde edilen moment değeri B10, B25 ve B50 yakıtlarından motorun bütün devirlerinden elde edilenlerden daha yüksek çıkmıştır. Karışımdaki biyodizel yüzdesi arttıkça motorun döndürme momentinde azalma meydana gelmesinin nedeni, bu yakıtların D2 yakıtına oranla daha yüksek viskozite ve yoğunluğa ayrıca D2 yakıtından daha düşük ısı değere sahip olması ile açıklanabilir. Maksimum döndürme momenti 1500 d/d'da, D2 yakıtı için 25,8 Nm, B10 yakıtı için 20,94 Nm, B25 yakıtı için 19,03 Nm ve B50 yakıtı için 18,60 Nm olarak ölçülmüştür.

5.2.2. Efektif Motor Gücü

Motor efektif gücünün tam gazda devir sayısına bağlı olarak dizel yakıtı ve dizel-biyodizel karışım yakıtları değişimleri Şekil 5.6'da görülmektedir. Yapılan deneylerde, dizel yakıtı, dizel biyodizel karışım yakıtları kullanıldığında dizel yakıtına göre, karışım yakıtlarının ürettiği güç daha düşük olarak tespit edilmiştir bu farklılıkların bittim yağı metil ester karışımlarının, düşük ısı değeri ile yüksek yoğunluk ve yüksek viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü yüksek viskozite ve yoğunluk, yakıtın enjektörden daha büyük zerrecikler halinde püskürtülmesine sebep olmaktadır. Bu durum dizel motorlarında yanmayı etkileyen en önemli parametre olan tutuşma gecikmesini artırmakta ve böylece yanmanın kötüleşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca bittim yağı biyodizel karışımlarının ısı değerinin, dizel yakıtının ısı değerinden düşük olması, karışımların kullanılmasında elde edilen güç değerlerinin düşük çıkmasına sebep olmaktadır.

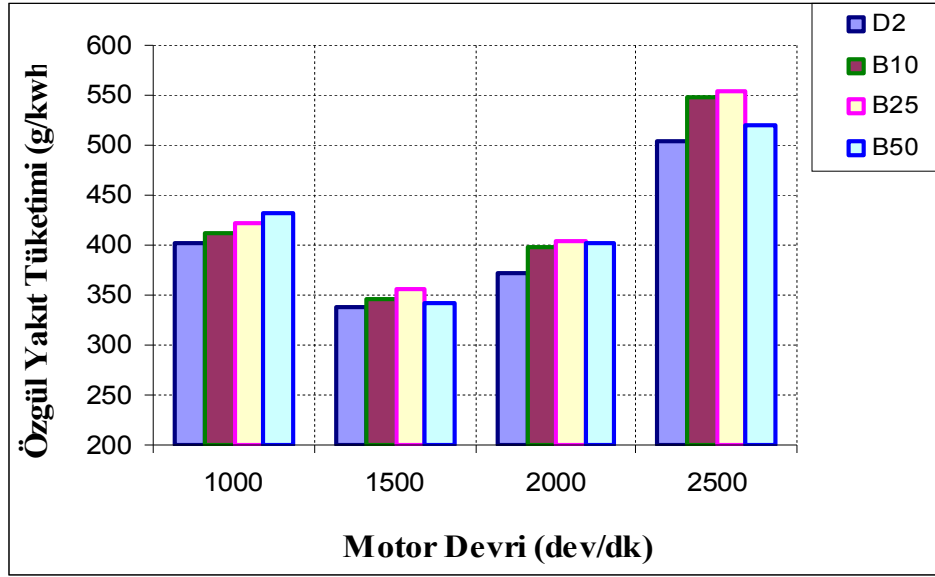


Şekil 5.6. D2 yakıtı, B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtının tam gazda motor devrine bağlı güç değişimleri

5.2.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Dizel yakıtı, dizel yakıt-bittim biyodizel karışımı yakıtlarının tam gazda motorun 1000, 1500, 2000 ve 2500 d/d devirlerine bağlı özgül yakıt tüketim (ÖYT) değişimleri Şekil 5.7'de görülmektedir. Motor tam gazda çalışırken şekilde görüldüğü gibi minimum özgül

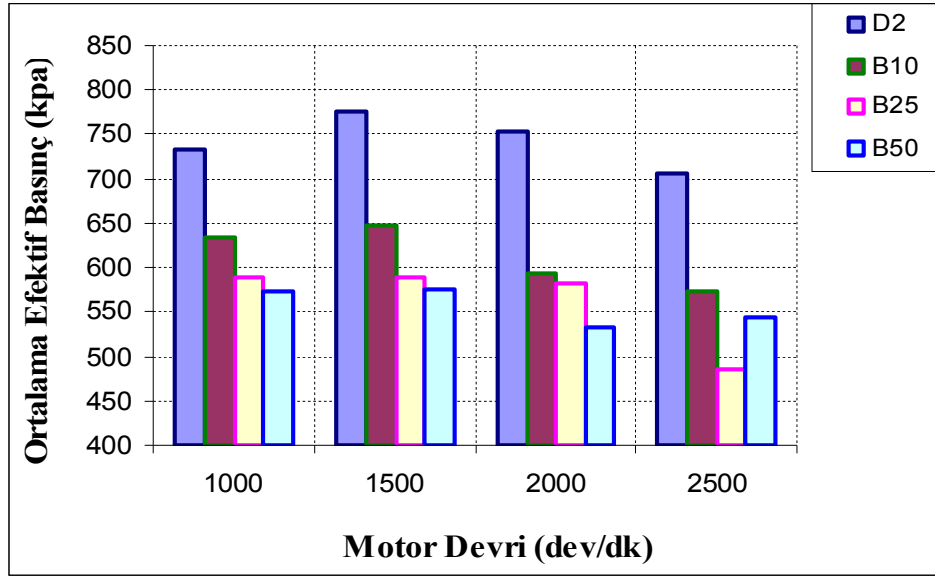
yakıt tüketimi motorun 1500 d/d'lık hızında gerçekleşmiştir. Burada dizel yakıtına göre karışımlarda ÖYT daha fazla çıkmıştır. Bu fazlalığın en önemli sebebi bu karışımların dizel yakıtı içeriği oranına göre yakıtların ısı değerlerinin düşük olmalarıdır. Yakıtların ısı değerlerinin düşük olmaları birim güç başına tüketilen yakıt miktarını artırmaktadır.



Şekil 5.7. D2 yakıtı, B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtının tam gazda motor devrine bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri

5.2.4. Ortalama Efektif Basınç

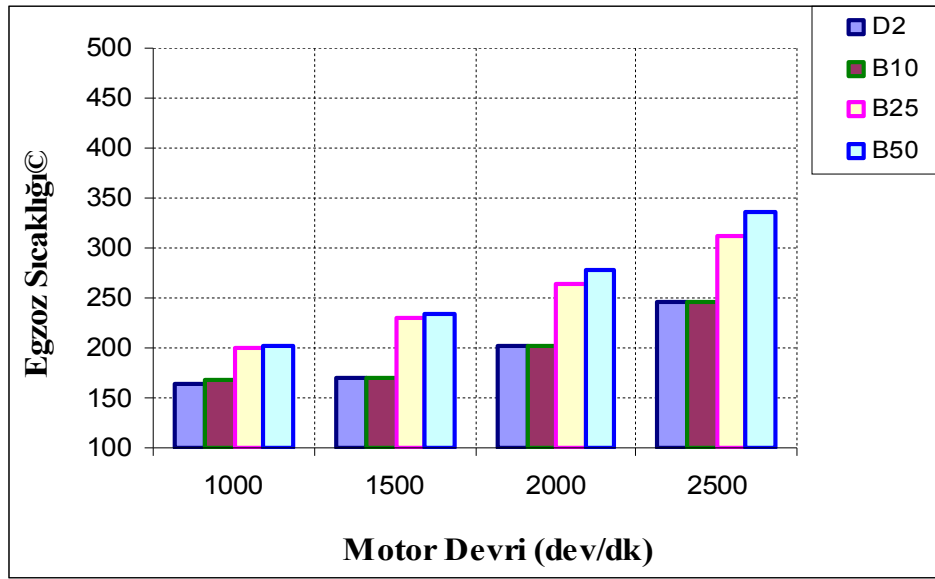
Efektif basınç, motorun çalışma süresinde gerçek çevrime eşdeğer bir güç vermesi için, iş zamanı boyunca pistonun yüzeyine etki eden basınç olarak bilinmektedir. Motorlarda efektif basınç, motor momentini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Efektif basıncın azalması ile motor momenti azalır ve artması ile de motor momenti artmaktadır. Motor tam gaz konumuna getirilip gaz pedalı sürekli bu konumda tutulmuştur. Bu durumda dinamometrenin yük artırma düğmesi ile motor yüklenmeye başlanmış ve 1000, 1500, 2000, ve 2500 d/d'da güç değerleri ölçülmüştür. Ortalama efektif basıncı yukarıda verilen bağıntı ile hesaplanmış ve elde edilen değerler dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için grafik şekline dönüştürülerek Şekil 5.8'de görülmektedir. Maksimum ortalama efektif basınç değerleri 1500 d/d'lık motor hızında D2 yakıtı ile 776,35 kPa, B10 yakıtı 648,66 kPa, B25 yakıtı 589,16 kPa ve B50 yakıtı 575,36 kPa elde edilmiştir.



Şekil 5.8. D2 yakıtı, B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtının tam gazda motor devrine bağlı ortalama efektif basıncı değişimleri

5.2.5. Egzoz Gaz Sıcaklığı

Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlarının kullanımı sırasında motor devrine bağlı olarak egzoz gazı çıkış sıcaklığı değişimi Şekil 5.9’da görülmektedir. Şekil incelendiği zaman egzoz gazı sıcaklığının motorun düşük devirlerinde düşük ve yüksek devirlerinde ise yüksek görülmektedir. Bütün motor hızlarında D2 yakıtına göre B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtının egzoz gazı sıcaklıkları yüksektir. Biyodizel karışımlarının D2 yakıtına göre oksijen içeriğinin yüksek oluşu yanmayı iyileştirmekte ve yanma sıcaklığını da yükseltebileceği şeklinde düşünülebilir. Aynı zamanda oksijenin fazlalığı yanmanın sürünge olmasına, yani egzoz borusunda da devam edebileceği şeklinde açıklanabilir. Ayrıca karışımları yüksek setan sayılarından dolayı yanmanın erken başlaması yani tutuşma gecikmesi sahasının kısılması ile yüksek sıcaklıkların meydana gelmesi şeklinde tanımlanabilir.



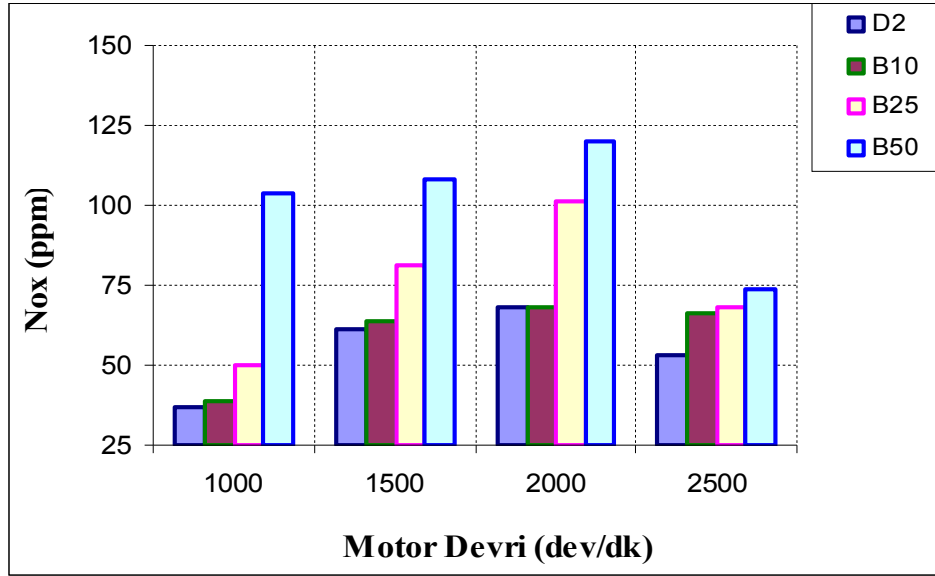
Şekil 5.9. D2 yakıtı, B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtının tam gazda motor devrine bağlı egzoz gazı sıcaklık değişimleri

5.3. Egzoz Emisyonları

5.3.1. Azot Oksit (NO_x)

Azot oksit oluşumunu etkileyen bir çok faktör olmasına rağmen yanma odasındaki sıcaklık çok önemlidir. $1800^{\circ}K$ 'nin üzerindeki yanma sıcaklıklarında azot oksitlerin oluşum hızı daha yüksektir. NO_x oluşumu için bu sıcaklıkta kalma süresi de önemli bir parametredir. Azot oksitlerin oluşumunda ortam sıcaklığının hava yakıt oranı dolayısıyla hava fazlalık katsayısının da önemli bir rolünün olduğu bilinmektedir. Yanmanın iyileştiği durumlarda sıcaklık yükselmekte ve buna bağlı olarak da oksijen moleküllerinin ayrılması ile beraber NO_x oluşum hızı da artmaktadır. Hava fazlalık katsayısının artması ile silindir cidarlarının daha yavaş soğuması sonucu egzoz sistemi sıcak kalmakta ve azot oksit oluşumu egzoz sisteminde de devam etmektedir. Dizel yakıtı, dizel yakıtı-biyodizel karışımı yakıtlarının tam gazda ve motorun 1000, 1500, 2000 ve 2500 d/d devirlerine bağlı azot oksit emisyonlarının değişimleri Şekil 5.10'da görülmektedir. Şekil 5.10 incelendiğinde, genel olarak bütün yakıtlar için motor devri arttıkça NO_x emisyonunda artış olduğu dikkati çekmektedir. Bununla birlikte, Şekil 5.10 incelendiğinde, motorun hızının yükselmesi ile beraber biyodizel yakıtının karışım yakıt içindeki oranı arttıkça NO_x emisyon değerinin de artmış olduğu görülmektedir. Söz konusu artışın ise 2000 d/da ya

kadar bütün test yakıtları için sürmekte daha sonra düşmektedir. Biyodizel karışımlarının özgül yakıt tüketiminin D2 yakıtına göre daha fazla olması ve içeriğindeki oksijenin zenginliği, yanma odası içerisinde yüksek ortam sıcaklığına, yanmanın oksijen fazlalığından dolayı egzozda da devam etmesi gibi sebeplerle daha yüksek azot oksit oluşumu meydana gelmektedir.



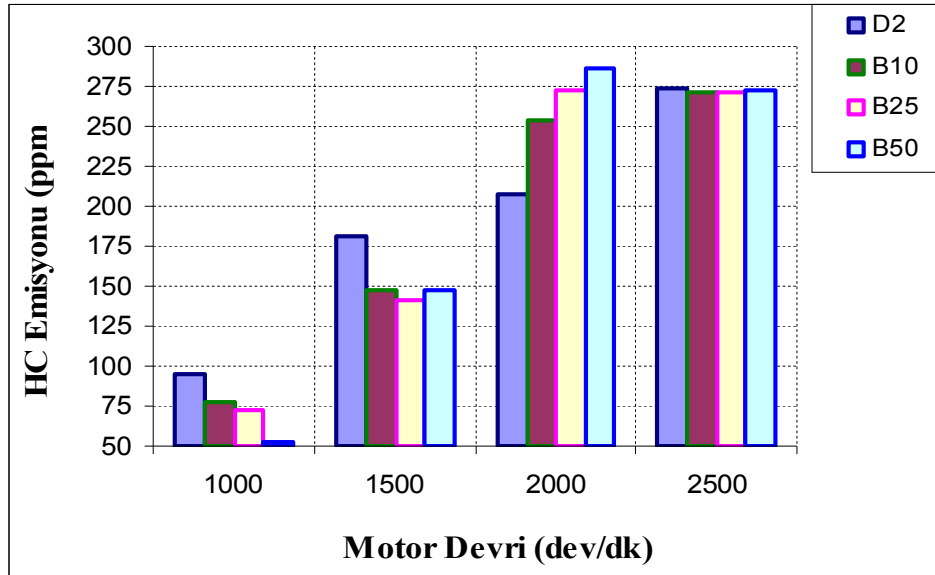
Şekil 5.10. D2 yakıtı, B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtının tam gazda motor devrine bağlı olarak NOx değişim

5.3.2. Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon emisyonları organik bileşenlerden oluşmakta ve eksik yanma sonucu meydana gelmektedir. HC emisyonları genellikle zengin karışımlarda daha fazla oluşmaktadır. Çok fakir karışımlardan da yanma kötüleştiği için veya eksik yanma meydana geldiği için HC emisyonlar yine artmaktadır. Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için HC emisyonunun motor devrine göre değişimi Şekil 5.11’de görülmektedir.

Emisyonlar içerisinde yanmamış HC’ların bulunmasının başka bir nedeni de, yanma odasında oksijenin yetersizliğinden dolayı eksik yanma olmasıdır. Düşük devirlerde biyodizel-dizel ve karışımlarının kullanılmasıyla elde edilen yanmamış HC emisyonu D2 yakıtına göre daha düşük seviyededir. Yüksek devirlerde ise biyodizel-dizel karışım

yakıtlarının bütün oranları için HC emisyonları D2 yakıtına oranla daha yüksek çıkmıştır. Biyodizel karışımlarının kullanımı ile yanmamış HC emisyonundaki azalmanın temel nedeni olarak, biyodizelin içeriğinde bulunan oksijenin zengin yakıt-hava karışım bölgelerinde yeterli yanmayı sağlaması gösterilebilir.

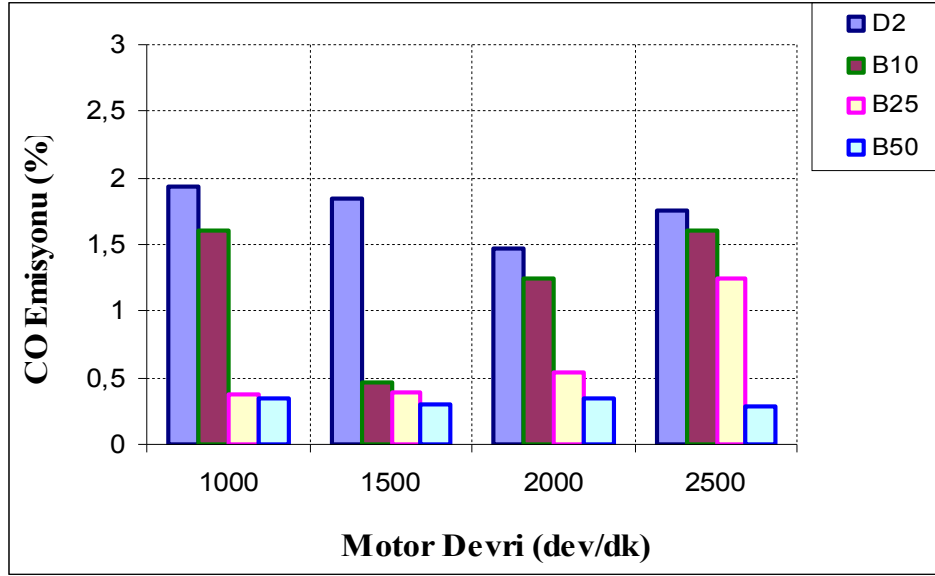


Şekil 5.11. D2 yakıtı, B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtının tam gazda motor devrine bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi

5.3.3. Karbonmonoksit (CO)

Karbon monoksit (CO) emisyonu bir eksik yanma ürünü olarak bilinmektedir. Yanma odası içerisinde bulunan oksijen miktarı yanma olayını büyük ölçüde etkilemektedir. Oksijenin miktarının azlığı veya yetersizliği yanma odası içerisinde eksik yanmaya sebep olmaktadır. Yanma süresinin az olması da yanmayı etkileyeceği için CO miktarında artışa sebep olmaktadır.

D2 yakıtı ve biyodizel karışımlarının motorda test edilmesiyle meydana gelen CO emisyonunun motor devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 5.12’de görülmektedir. Şekil 5.12. incelendiğinde, D2 yakıtından B50 yakıtı kullanımına doğru CO emisyonunda azalma olduğu görülmektedir. Aynı zamanda motorun bütün hızlarında B50 yakıtı, B25 yakıtı ve B10 yakıtının kullanımıyla elde edilen CO emisyonu, D2 yakıtının kullanımına göre azalma göstermiştir.

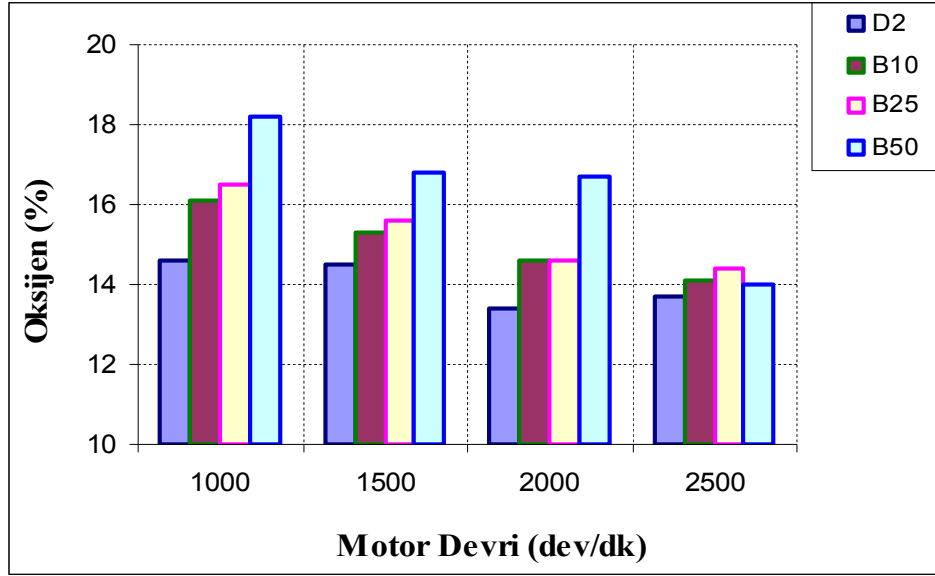


Şekil 5.12. D2 yakıtı, B10 yakıtı, B25 yakıtı ve B50 yakıtının tam gazda motor devrine bağlı olarak CO emisyonunun değişimi

Aynı zamanda, CO emisyonu motorda kullanılamayan kayıp kimyasal enerjiyi ifade ettiği için önemli bir parametre olarak bilinmektedir. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni hava-yakıt oranının düşük olmasıdır. CO oluşumunu, kullanılan yakıtın kimyasal ve fiziksel özellikleri, püskürtme karakteristikleri, motor yükü, hava-yakıt oranını önemli derecede etkilemektedir. Bu durum, biyodizel karışımlarının özgül yakıt tüketiminin D2 yakıtına oranla daha yüksek olmasına rağmen gerçekleşmiştir. Biyodizel ve karışımlarının kullanılması ile CO emisyonundaki azalmanın temel nedeni biyodizelin içeriğindeki oksijenin bulunmasıdır. Biyodizel karışımlarının oksijen içeriği motorun her devrinde yanma için gerekli olan oksijen miktarını karşıladığı için eksik yanma oluşmamaktadır. Eksik yanma olmadığı için de CO emisyonları azalmaktadır. Karışımındaki biyodizel yüzdesi ile ilişkili olarak CO emisyonunda azalma olması biyodizel kullanımı ile silindir içerisindeki hava-yakıt reaksiyonlarının arttığını göstermektedir

5.3.4. Oksijen (O₂)

Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için O₂ emisyonunun motor devrine göre değişimi Şekil 5.13’de görülmektedir



Şekil 5.13. Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için O₂ emisyonunun motor devir sayısına göre değişimi

Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında En düşük O₂ emisyon değerleri dizel yakıtı ile yapılan deneylerde ortaya çıkmıştır. Karışım yakıtındaki biyodizel oranı arttıkça O₂ değeri de buna paralel olarak artış göstermiştir. D2 ve karışım yakıtının kullanıldığı deneylerde O₂ emisyonunun, dizel yakıtına göre yüksek olması, bittim yağı metil esterinin kimyasal yapısında ortalama %10 oranında O₂ bulunmasından kaynaklanmaktadır.

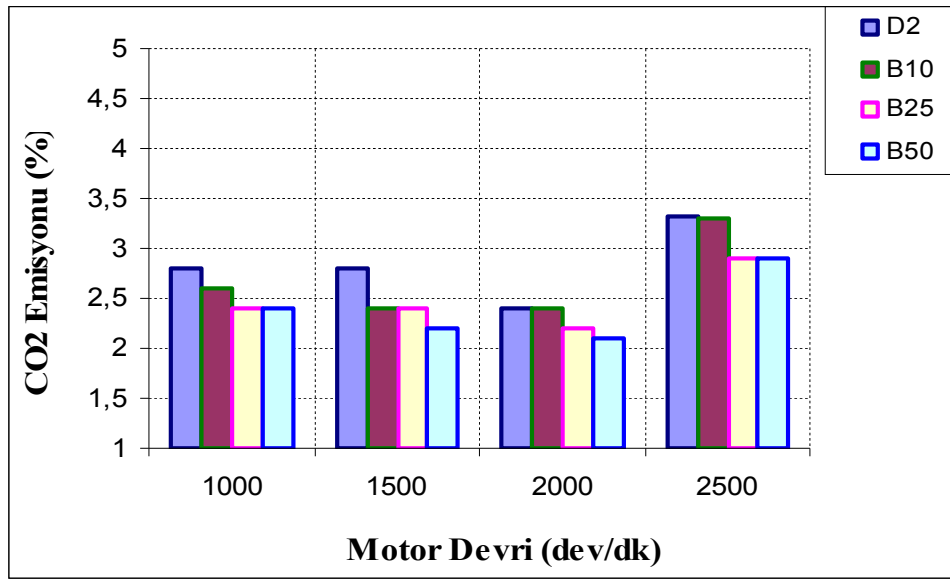
5.3.5. CO₂ Emisyonu

Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için CO₂ emisyonunun motor devrine göre değişimi Şekil 5.14’de görülmektedir karbon içerikli yakıtların tam olarak yanmasıyla ortaya çıkan CO₂ tam yanmayı ifade ettiği içinde önemli bir parametredir.

Şekil 5.14.’de görüldüğü üzere D2 yakıt kullanımından B50 yakıtı kullanımına doğru gidildikçe CO₂ emisyonunda 1000, 1500, 2000 d/d’da azalma olurken 2500 d/d’da artış gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi olarak motor devri arttıkça volumetrik verimin azaldığı ve bu azalmanın da yanma eğilimini bozduğu şeklinde düşünülmüştür. Motorlarda hava/yakıt oranı, yanmanın kalitesini belirlediği için CO ve CO₂ emisyonlarının üretimini

önemli ölçüde etkilemektedir. Hava/yakıt oranının küçük değerlerinde CO emisyonu maksimum seviyede olmaktadır. CO'nun maksimum seviyede olması CO₂ miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Hava/yakıt oranının büyük değerlerinde ise bunun tersi görülmektedir. Karbonmonoksit oluşumu karbon ve hidrojen ihtiva eden yakıtların oksijenle oksidasyonundan kaynaklanmaktadır. Çıkan ürünlerin parçalanması ile CO oluşmaktadır.

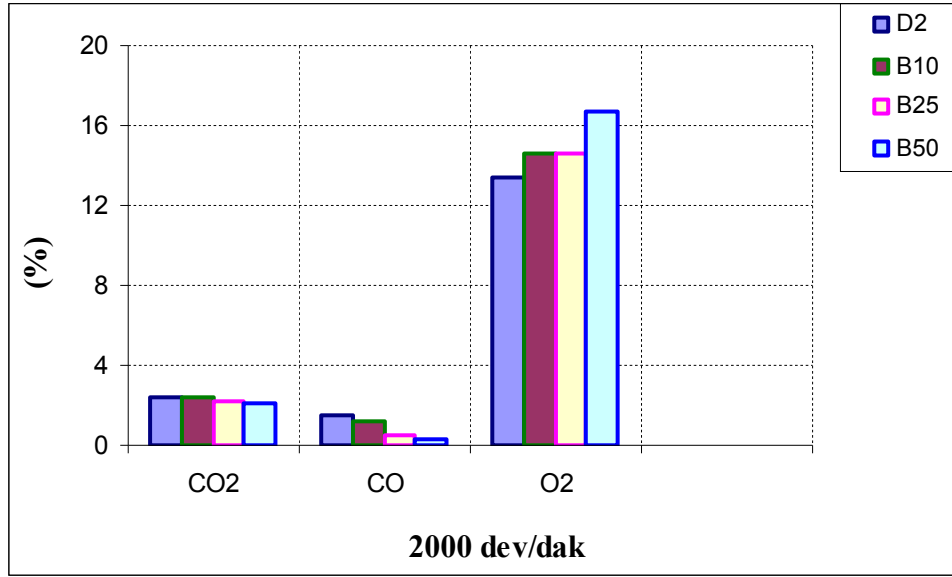
Püskürtme sırasında fakir karışımlarda CO₂ oluşumu tamamlandığı halde CO tamamlanmayıp sınırdan kalır. Sıcaklık ve basınç yükseldikçe oksidasyon reaksiyonlarına bağlı olarak CO konsantrasyonları artar. Alevin çekirdek kısmında ise yüksek oranda CO gazı oluşmaktadır. Yakıt hava oranı kontrol altında tutulduğu oranda CO emisyonu azaltılabilir ve CO₂ oranı da buna bağlı olarak yükselir. Oksijenin parçalanarak CO₂'i oluşturmak için CO ile reaksiyona girmesi ile beraber yanma odası sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 5.14. Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için CO₂ emisyonunun motor devir sayısına göre değişimi

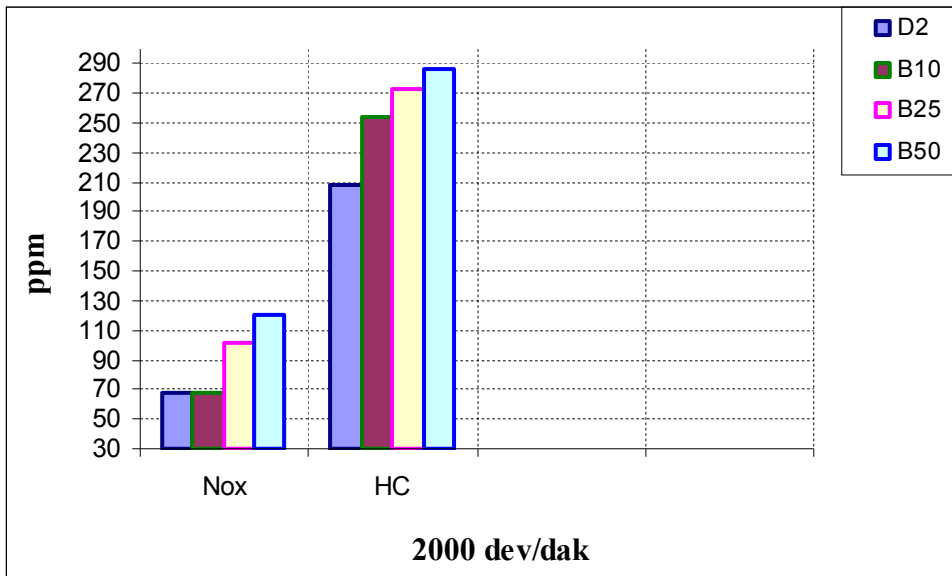
Egzoz emisyonlarında % olarak değerlendirilen ürünlerin oluşumu motorun 2000 d/d hızında incelendiği vakit (Şekil 5.15) CO₂ emisyonları hemen hemen eşit olarak görülmektedir. CO emisyonları biyodizel oranına bağlı olarak bir düşme göstermektedir.

O₂ miktarında biyodizelin artış oranına göre bir yükselme mevcuttur. Bu da biyodizelin içeriğindeki oksijenden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.15. Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için CO₂, O₂ ve CO emisyonunun motor devir sayısına göre değişimi

Egzoz emisyonlarında ppm olarak değerlendirilen ürünlerin oluşumu motorun 2000 d/d hızında incelendiği vakit (Şekil 5.16) NO_x emisyonları biyodizelin içeriğine göre artış göstermektedir. HC emisyonları da aynı şekilde bir yükselme göstermiştir.



Şekil 5.16. Dizel yakıtı ve biyodizel-dizel karışımı yakıtlar için NO_x ve HC emisyonunun motor devir sayısına göre değişimi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Artan enerji taleplerinin, mevcut enerji kaynakları ile karşılanması kısa bir süre sonra mümkün olmayacaktır. Aynı zamanda fosil kaynaklı enerji tüketimindeki artış küresel ısınma başta olmak üzere hava kirliliği ve iklim değişikliğine de neden olmaktadır. Tüm bu nedenlerle yeni ve yenilenebilir temiz enerji kaynaklarına ciddi bir şekilde ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada bu yakıtlardan biri olan bittım bitkisinin tohumlarından elde edilen yağa esterleştirme yönteminin uygulanması ile biyo yakıt üretilmiş ve bu yakıtın da bir dizel motorunda yakılması ile dizel motorları için dizel yakıtına bir alternatif yakıt olarak düşünülebilir. Bu yakıtın yapılan kimyasal ve fiziksel analizleri sonucunda ham bittım yağına göre esterleştirilmiş yağın viskozitesi ile yoğunluğunun azaldığı, ısı değerlerinde bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir.

Bittım yağından elde edilen biyodizel B10 yakıtı, B20 yakıtı ve B50 yakıtı dizel yakıtı karışımı ile elde edilmiş ve bu yakıtlarının özellikleri dizel yakıtına yakın olduklarından bu yakıtlar tek silindirli bir motor üzerinde performans ve egzoz emisyonlarının etkisini değerlendirmek için tam gaz ve motorun değişik devirlerinde denenmiştir. Bu yakıtların motor performans değerleri, dizel yakıtına göre biraz düşük çıkmıştır. Güç ve moment değerlerindeki bu düşüşün temel sebebi, bittım yağı metil esterinin ısı değerinin dizel yakıtına göre düşük, viskozite ve yoğunluğunun ise yüksek olmasıdır. Bu yakıtların dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimi ise dizel yakıtından yüksektir. Çünkü biyodizel yakıtı ve karışımlarının ısı değerleri dizel yakıtına göre daha düşüktür. Motoru aynı devirde çalıştırmak için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulmasının bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. Motor deneylerinde egzoz gazlarında O_2 , CO_2 , CO , HC , NO_x emisyonları ölçülmüştür. Emisyon ölçümleri sonucunda CO , CO_2 emisyonlarında dizel yakıtına göre azalmalar olurken biyodizel içerikli yakıtlarda NO_x ve O_2 emisyonlarında artış HC emisyonunda ise dizel yakıtına göre motorun düşük devirlerinde düşük ve yüksek devirlerde yakın değerler almıştır.

Sonuç olarak bittım yağından elde edilen biyodizel yakıtı ve karışımları olan B10 yakıtı, B20 yakıtı ve B50 yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına yakın olduğu, motor üzerinde her hangi bir değişiklik yapılmadan bittım yağının

biyodizelinin kullanılabilmesi, zararlı emisyon oranlarında bittim yağı metil esteri karışımlarının dizel yakıtına göre daha iyi olması gibi üstünlükler bu yakıtın dizel yakıtına bir alternatif yakıt olduğunu ortaya koymaktadır.

Ülkemizin değişik yörelerinde kendiliğinde yetişen bittim yani menengiç bitkisinin yaygınlaştırılması ülkemizin ekonomisine büyük katkılar sağlayacaktır. Yabani olarak kendiliğinde yetişen bu bitkilerin, kişiler veya devletin kontrolünde yetiştirilmesi ve üzerine fıstık aşısının yapılması da başka bir avantaj sağlamaktadır. Bittim bitkisinin yaygınlaştırılması ile yağının da bollaşması sonucu bu yağlara alkol katılması, etil alkol ile esterleştirilmesi ve bu yakıtların motor aksamı üzerindeki etkileri de araştırılabilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] **Vermeersch, G.**, 2000, Development of a Biodiesel Activity, 3. *International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils*, Würzburg-Almanya.
- [2] **Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen A.**, 1995, İçten Yanmalı Motorlar, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Matbası, Ankara.
- [3] **Lapuerta, M., Armas, O., Fernandez, J.R.**, 2008. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions, ScienceDirect., *Progress In Energy and Combustion Science*, 34, 198-223.
- [4] **Koçak, M. S.**, 2005. Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [5] **Graboski M.S., McCormick R.L.**, 1998. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progr Energy Combust Sci* , 24, 125–164.
- [6] **Ullman T. L., Spreen K.B., Mason R.L.**, 1994. Effects of cetane number, cetane improver, aromatics, and oxygenates on 1994 heavy-duty diesel engine emissions. *SAE paper*, 941020.
- [7] **Ergeneman M., Özaktas T., Karaosmanoglu F. and Arslan H. E.**, 1997. Ignition Delay Characteristics of some Turkish vegetable oil-diesel fuel blends., *Petroleum Science and Technology*, 15, 7 & 8, 667 -683.
- [8] **Aksoy, F., Bayrakçeken, H., Baydır, Ş.A., Yavuz, H.** 2009. Kanola Yağı Metil Esterine Ön Isıtma Uygulamasının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 1, 25-33.

- [9] **A. Bayrakçeken, H., Yavuz,H., Aksoy, F., Ve Baydır, Ş.,** 2009. Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük.*
- [10] **Demirsoy, M ve Kındıroğlu, K.,** 1997. Diesel motorlarında alternatif yakıt olarak değişik yağların kullanılması. Otomotiv Teknolojisi Bilim Haftası 97, 26-30 Mayıs Çukurova Üniversitesi Yayınları, Adana.
- [11] **İlkılıç, C., Bayındır. H., ve Öner, C.,** 1997. Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak ayçiçeği yağının kullanılması.Otomotiv Teknolojisi Bilim Haftası 97 26-30 Mayıs Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [12] **Ulusoy, Y., ve Alibaş, K.,** 2002. Dizel motorlarda biodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi, Uludağ sempozyumu,16-18, 945-952, İstanbul.
- [13] **Eliçin, A.K. Erdoğan, D.,** 2007. Fındık Yağı Metil ve Etil Esteri ile Diesel Yakıtı Karışımlarının Küçük Güçlü Bir Diesel Motorda Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 13, 2, 137-146
- [14] **İleri, E.,** 2005. Kanola Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [15] **Koçak, M.S.,** 2005, Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [16] **Utlı, Z.,** Biyodizel Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Atık Kızartma Yağlarının Değerlendirilmesi, web site: <http://www.emo.org.tr>, KK Astsubay Meslek Yüksek Okulu, Otomotiv Bilimleri, Balıkesir.

- [17] **Utlı Z, Hepbaşı A.**, 2006. Assessment of the Energy and Exergy Utilization Efficiencies in the Turkish Agricultural Sector, *International Journal of Energy Research*, 30, 659-670.
- [18] **Rakopoulos CD, Hountalas DT, Zannis TC, Levendis YA.**, 2004. Operational and environmental evaluation of diesel engines burning oxygen-enriched intake air or oxygen-enriched fuels: a review. *SAE paper*, 2004-01-2924.
- [19] **Yavuz, H., Aksoy, F., Bayrakçeken, H., Baydır, S. A.**, 2008. Değişik bitkisel yağ metil esterlerinin üretilmesi, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması, *Makine teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5, 2, 23-30.
- [20] **Sekmen, Y.**, 2007. Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin dizel motorda yakıt olarak kullanılması, *Teknoloji*, 10, 4, 295-302.
- [21] **Karabektaş, M., Ergen, G.**, 2007. Soya yağı metil esterinin motor performans karakteristikleri ve NOx emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1, 21-26.
- [22] **Haşimoğlu, C., İçingür, Y. ve Özsert, İ.**, 2008. Turbo şarjlı bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 23, 1, 207-213.
- [23] **Çelikten, İ. ve Arslan, M. A.**, 2008. Dizel yakıtı, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin direkt püskürtmeli bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 23,4, 829-836.
- [24] **Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D.**, 2007. Tall Yağı Biyodizelinin Dizel Yakıtı İle %90 Oranındaki Karışımının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22, 1, 57-63.

- [25] **Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anostopoulos, G., Teas, Ch. and Sakellaropoulos, F.** 2003. An investigation of using biodiesel/marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine *Biomass and Bioenergy*, 24,2, 141-149.
- [26] **Cigizoglu, K. B., Özaktas, T. ve Karaosmanoglu, F.,** 1997. Used Sunflower Oil as an Alternative Fuel for Diesel Engines, *Energy Sources*, 19, 6, 559-566.
- [27] **Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C. ve Sahin, F.,** 2008. Mg Katkılı Hayvansal Kökenli Biyodizelin Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi, *10. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, 366-370, Sakarya.
- [28] **Altın, R.,** 1998. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [29] **Yücesu, H. S., Altın, R.,** 1999. Kanola Yağının Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12, 4, 1045-1058.
- [30] **Zhang, Y., Van Gerpen, J.H.,** 1996. Combustion analysis of esters of soybean oil in a diesel engine, SAE Paper No. 960765.
- [31] **Radu, R., Mircea, Z.,** 1997. The use of sunflower oil in diesel engines, *SAE* paper No. 972979.
- [32] **Koehler., E.,** 1994. Fachzeitschrift fuer Oel-und Eiweisspflanzen, 1, 8.
- [33] **Czerwinski, J.,** 1994. Performance of HD-DI-diesel engine with addition of ethanol and rapeseed oil. *SAE paper No. 940545*. Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.

- [34] **Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E.**, 2006. An Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Diesel Fuel no. 2 / Waste Sunflower Oil Methyl Ester Blends, 9th International Combustion Symposium, Kırıkkale, 89–103.
- [35] **Agarwal D., Agarwal A. K.**, 2007. Performance and emissions characteristics of Jatropha oil (preheated and blends) in a direct injection compression ignition engine, *Applied Thermal Engineering* 27, 2314–2323.
- [36] **Ergen, G.**, 2006. Ön ısıtma uygulanarak kullanılan biyodizel yakıtının motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [37] **Küçükşahin, F.**, (1999). Dizel Motorları ve Gemi Dizel Makinelerinin Yapıları ve Çalışma İlkeleri, Birsan yayınevi, İstanbul.
- [38] **Taşdan, K.**, 2005. Biyoyakıtların Türkiye Tarım Ürünleri Piyasalarına Olası Etkileri Biyobenzin – Etanol, **web site:** <http://www.biyomotorin-biodiesel.com>, *Tarım ve Mühendislik*, Sayı: 75.
- [39] **İlkılıç, C.**, 2007. Biyodizel Yakıtın Dizel Motoru Performansına Etkileri, *Mühendis ve Makine*, 48, 565, 20-27.
- [40] **Hofman, V.**, 2003. Biodiesel Fuel, NDSU Extension Service, North Dakota State University of Agriculture, Applied Science and US Department of Agriculture cooperating, Fargo, North Dakota.
- [41] **Oğuz, H.**, 2004. Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkânlarının incelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya

- [42] **Pinto, A.C., Guarieiro, L.L.N., Rezende, J.C., Ribeiro, N.M., Torres, E.A., and Lopes, E.A.,** 2005. Biodiesel: an overview, *Journal of Brazil Chemical Society*, 16, 6B, 1313–1330.
- [43] **Ulusoy, Y., Alibas, K.,** 1999. Using various vegetable oil as alternative fuel in Diesel engine. *7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, 26 –27 May, 297 – 301.
- [44] **Kusdiana, D. and Saka, S.,** 2000. A Novel process of the biodiesel fuel production in supercritical methanol, 1st World conference and exhibition on biomass for energy and industry, 5-9 June, Sevilla, Spain. Volume I, 563-566.
- [45] **Srivastava, A. And Prasad, R.,** 2000. Triglycerides-based Diesel Fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, 111-113.
- [46] **İlkılıç, C.,** 2011. An Analysis of Exhaust Emissions on a Diesel Engine Operation by *Biodiesel, Energy Sources, Part A*, 33, 4, 298–306.
- [47] **Aydın, S.,** 2010. Aspir yağından Biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [48] **Heywood J.,** (1998) *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Mc. Graw-Hill Science, Newyork, 667s.
- [49] **Karahan, Ş.,** 2006. Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkisi, *Ulusal Biyodizel Sunuşayı*, Ankara.
- [50] **Akyarlı,A.,** 2004. Biyodizelin yakıtın uluslar arası standartlarda üretimi *Bioenerji Sempozyumu*, İzmir,

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Erdal ÇILGIN

Doğum Yeri: OVACIK

Doğum Yılı: 19.10.1974

Eğitim

İlköğretim:1981–1989, Fevzi Çakmak İlköğretim okulu, TUNCELİ

Lise: 1990–1993,Tunceli Namık Kemal Teknik Endüstri Meslek Lisesi

Lisans: 1995–1999, F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv

Öğretmenliği Anabilim Dalı, ELAZIĞ

Yüksek Lisans: 2008... F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD, ELAZIĞ

Yabancı Dil: İngilizce