

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

**DİZEL MOTORLARDA BİYO-ETANOL BİYO-DİZEL VE DİZEL
YAKITI KARIŞIMLARININ MOTOR YÜKÜNE BAĞLI OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

İbrahim AYZ

**Yüksek Lisans Tezi
Anabilim Dalı: Makine Eğitimi
Programı: Otomotiv
Danışman: Doç. Dr. Cengiz ÖNER**

NİSAN-2014

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORLARDA BİYO-ETANOL BİYO-DİZEL VE DİZEL YAKITI
KARIŞIMLARININ MOTOR YÜKÜNE BAĞLI OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim AYZ

(11119104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 07 Nisan 2014
Tezin Savunulduğu Tarih: 05 Mayıs 2014

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cengiz ÖNER (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ

Yrd. Doç. Dr. Halit Lütfi YÜCEL

NİSAN-2014

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, dizel motorlarda biyoetanol ve dizel yakıtı karışımlarının kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Ayrıca dizel-biyodizel-biyoetanol karışım yakıtlarının referans yakıt dizel ile karşılaştırılarak motorun efektif verim ve egzoz emisyonları incelenmiştir. Fosil kökenli yakıt rezervlerinin yakın bir zamanda bitecek olması, bu yakıtların çevreye olan olumsuz etkileri ve küresel ısınmanın artmasına neden olmaları biyoetanolin ve biyodizelin taşıt performansını artırıcı, çevreyi koruyucu, maliyeti düşürücü etkenlerin çözümünde önemli bir alternatif kaynak olması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasının her aşamasına bilgisiyle ve tecrübesiyle desteğini esirgemeyen çok kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Cengiz ÖNER'e saygılarımı ve sevgilerimi sunar, teşekkürü borç bilirim. Deneysel çalışmalarım sırasında yardımlarını eksik etmeyen sayın Doç. Dr. Şehmus ALTUN, Öğr. Gör. Fevzi YAŞAR, Öğr. Gör. Mehmet ÖZMEN, Öğr.Gör. Selman AYDIN ve Mak.Müh. İsmail SEVEN'e teşekkür eder saygılarımı sunarım. Ayrıca, Batman Üniversitesi Rafineri ve Petro-Kimya programı laboratuvarı personeline yakıt analizlerinin yapılmasında gösterdikleri ilgiden dolayı teşekkür ederim. Maddi ve manevi desteklerini hiç eksik etmeyen ve fazlasıyla ilgi ve yardımlarını gördüğüm aileme sevgilerimi sunar, teşekkür ederim.

İbrahim AYZ

ELAZIĞ-Nisan 2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SİMGELER	IX
KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. BİYOYAKITLAR	3
2.1. Biyodizel.....	4
2.1.1. Biyodizelin Özellikleri.....	5
2.1.2. Biyodizel Emisyonları	6
2.2. Biyoetanol.....	7
2.2.1. Biyoetanolün Özellikleri.....	8
2.2.2. Biyoetanol'ün Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması.....	11
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	12
4. MATERYAL VE METOT	18
4.1. Atık Kızartma Yağlarından Biyodizel Üretimi.....	18
4.2. Yakıt Özelliklerinin Analizi.....	22
4.3. Motor Testlerinde Kullanılan Yakıtlar	24
4.4. Deney Seti.....	25
4.4.1. Egzoz Emisyonu ve Duman Ölçüm Cihazı	27
4.4.2. Egzoz Gazı Sıcaklığı Ölçümü	28
4.4.3. Yakıt Tüketimi	29
4.5. Özgül Yakıt Tüketimi Hesaplama.....	29
4.6. Efektif Verim Hesaplama	30
4.7. Deneyde Uygulanan Metot	30
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	31
5.1. Motor Performans Testlerinin Değerlendirilmesi	31
5.1.1. Yakıt Tüketimi Değişimi	31

5.1.2. Efektif Verim ve Egzoz Sıcaklığı Değişimi.....	34
5.2. Egzoz Emisyonu Testlerinin Değerlendirilmesi	36
5.2.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları Değişimi	37
5.2.2 Azot oksit (NO _x) Emisyonları Değişimi	39
5.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları Değişimi.....	41
5.2.3. Duman (İs) Emisyonları Değişimi	42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	54

ÖZET

Günümüzde, petrol rezervlerinin sınırlı ve giderek tükeniyor olmasından dolayı, taşımacılık, endüstri ve tarımsal faaliyetler gibi geniş bir kullanım alanına sahip içten yanmalı motorlar için alternatif yakıtların bulunması ve geliştirilmesi çalışmalarına büyük bir ilgi gösterilmektedir. Bununla beraber petrol kökenli yakıtların aşırı kullanılmaları çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olan kirleticileri artırmaktadır. Bu durum alternatif yakıt arayışlarının önemini daha da artırmaktadır. Bu bağlamda, biyodizel ile biyoetanol içten yanmalı sıkıştırma ile ateşlemeli (dizel motorlar) motorlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, dizel motorlarda biyoetanol ve dizel yakıtı karışımlarının kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla dizel yakıtı ve biyoetanol-dizel yakıtı karışımı 3 silindirli ve direk püskürtmeli dizel motorunda sabit devir ve değişik yük şartlarında test edilmiş, performans ve emisyon parametreleri incelenmiştir. Dizel motorunun yüklenmesinde motordan hareket alan jeneratör kullanılmıştır. Ayrıca, atık kızartma yağlarından üretilen biyodizel ve onun dizel yakıtı ile karışımı ve dizel-biyodizel-biyoetanol karışımı da test edilmiştir. Deneysel sonuçlar alternatif yakıt karışımlarının yakıt tüketimini artırdığını, CO, NO_x ve duman emisyonlarının ise düştüğünü göstermiştir. Özellikle yakıttaki yüksek biyoetanol oranlarında duman emisyonlarında önemli bir derecede azalma meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyoetanol, Biyodizel, Performans, Emisyon

SUMMARY

Experimental Investigation of Usage of Bioethanol, Biodiesel and Diesel Blends in Diesel Engines Depending on Engine Load

There is a great interest to find and develop alternative fuels for using in internal combustion engines which are mainly used in transportation, industry and agricultural facilities as petroleum has limited reserves and it is run out. In addition, excessive use of petroleum based fuels increase air pollution which has negative effects on environment and health. This increases importance of researching alternative fuels. In this context, biodiesel and bioethanol have mostly been used in internal combustion compression ignition (diesel engines) engines.

In this work, usage of blends of bioethanol and diesel in diesel engines has been investigated experimentally. For this purpose, blended fuels were tested in a 3-cylinder and direct injection diesel engine powered generator under constant speed and variable load conditions, and the performance and emissions were investigated. Besides, biodiesel derived from waste frying oil and its blends with diesel and diesel-bioethanol-biodiesel blends were tested, too. Experimental results showed that fuels blends containing bioethanol or biodiesel increased fuel consumption while reduced emissions like CO, NO_x and smoke in the exhaust. Moreover, smoke opacity reduced considerably with using blends containing bioethanol.

Keywords: Bioethanol, Biodiesel, Performans, Emissions

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.1. Reaksiyon için hazırlanmış yağ numunesi	19
Şekil 4.2. Biyodizel üretiminde kullanılan cihaz	19
Şekil 4.3. Cam kaplar içerisinde metil ester ile gliserin ayrıştırılması	20
Şekil 4.4. Reaksiyon sonucu elde edilen gliserin	20
Şekil 4.5. Metil ester yıkama işlemi	21
Şekil 4.6. Reaksiyon sonucu elde edilen biyodizelin görüntüsü	21
Şekil 4.7. Biyodizel üretiminde takip edilen işlem basamakları	22
Şekil 4.8. Deney yakıtları.....	25
Şekil 4.9. Deney setinin görünüşü.	26
Şekil 4.10. Deney setinin şematik görünüşü.	27
Şekil 4.11. Egzoz gazı analiz ve duman ölçüm cihazı.....	28
Şekil 4.12. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi.	29
Şekil 5.1. Deney yakıtlarının yakıt tüketimi değerleri değişimi.	32
Şekil 5.2. Deney yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri değişimi.	33
Şekil 5.3. Deney yakıtlarının efektif verim değerleri değişimi	34
Şekil 5.4. Deney yakıtlarının egzoz sıcaklığı değerleri değişimi.	36
Şekil 5.5. Deney yakıtlarının karbon monoksit (CO) emisyon değerleri değişimi	38
Şekil 5.6. Deney yakıtlarının azot oksit (NO _x) emisyon değerleri değişimi	39
Şekil 5.7. Deney yakıtlarının Hidrokarbon (HC) emisyon değerleri değişimi	42
Şekil 5.8. Deney yakıtlarının duman emisyon değerleri değişimi	43

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Çevre Koruma Ajansına (EPA) göre dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında ortalama biyodizel emisyon değerleri.....	6
Tablo 2.2. Çeşitli tahıllardan dünyadaki biyoetanol üretim potansiyeli, litre/ton	8
Tablo 2.3. Biyoetanolün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması.....	9
Tablo 2.4. Biyoetanolün bazı önemli özelliklerinin dizel ile karşılaştırılması.....	10
Tablo 4.1. Biyoetanol, biyodizel ve dizel yakıtının özellikleri.....	23
Tablo 4.2. Deney yakıtlarının viskozite ve yoğunluk değerleri.....	24
Tablo 4.3. Yakıtların yüzdellik karışım değerleri.....	25
Tablo 4.4. Deney motorunun teknik özellikleri.....	26
Tablo 4.5. Capelec Cap 3200 gaz analiz cihazın teknik özellikleri	27
Tablo 5.1. Deney yakıtlarının yakıt tüketimi değerleri (g/h).....	32
Tablo 5.2. Deney yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri.....	33
Tablo 5.3. Deney yakıtlarının efektif verim değerleri.....	34
Tablo 5.4. Deney yakıtlarının egzoz sıcaklığı değerleri.....	36
Tablo 5.5. Deney yakıtlarının karbon monoksit (CO) emisyon değerleri.....	38
Tablo 5.6. Deney yakıtlarının azot oksit (NOx)ppm emisyon değerleri.....	39
Tablo 5.7. Deney yakıtlarının azot oksit (HC)ppm emisyon değerleri	41
Tablo 5.8. Deney yakıtlarının duman emisyon değerleri	43

SİMGELER LİSTESİ

B	: Yakıt tüketimi (gr/h)
Be	: Özgül yakıt tüketimi (gr/kWh)
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece (Sıcaklık)
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
H ₂ O	: Su buharı
HC	: Hidrokarbon
HP	: Motor Gücü
Hu	: Alt ısı değer (kj/kg)
KOH	: Potasyum hidroksit
NaOH	: Sodyum hidroksit
NO _x	: Azot oksit
Pe	: Efektif motor gücü (kW)
SO ₂	: Kükürt dioksit
SO _x	: Kükürt oksitler
η_T	: Termik verim
η_e	: Efektif verim
λ	: Hava fazlalık katsayısı

KISALTMALAR

Ark.	: Arkadaşları
B100	: %100 biyodizel
B90E10	: %90 biyodizel ve %10 etanol yakıtından oluşan karışım yakıt
BDE	: Biyodizel dizel etanol
Bkz.	: Bakınız
D80B20	: %80 dizel ve %20 biyodizel yakıtından oluşan karışım yakıt
D90B10	: %90 dizel ve %10 biyodizel yakıtından oluşan karışım yakıt
DI	: Direk enjeksiyon
Diğ.	: Diğerleri
DY	: Dizel Yakıtı
(E10)90B10	: %90 E10 ve %10 biyodizel yakıtından oluşan karışım yakıt
E10	: %10 Etanol ve %90 dizel yakıtından oluşan karışım yakıt
EN	: Avrupa standartları
ETBE	: Etil tertiarı bütül eter
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
IDI	: İndirek enjeksiyon
PAH	: Polisislik aromatik hidrokarbonlar
PM	: Partikül madde

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji üretiminde yaygın olarak petrol kökenli yakıtlar taşımacılık, endüstri ve inşaat işleri gibi birçok alanda enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber dünya petrol rezervlerinin sınırlı ve giderek tükeniyor olması ve bu yakıtların yanmaları sonucu ortaya çıkan gazların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri alternatif yakıt arayışlarının önemini artırmaktadır. İçten yanmalı motorlarda petrol ürünü yakıt kullanımının azaltılması ve bu motorlarda yanmadan kaynaklanan zararlı emisyonların azaltılması için uzun zamandan beri hidrojen, bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen biyodizel ve alkoller gibi alternatif yakıtlar kullanılmaktadır. Bunların arasında biyodizel ve biyoetanol içten yanmalı sıkıştırma ile ateşlemeli (dizel motorlar) motorlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Biyodizel, Türkiye’de mevcut olanaklarla uygulamaya alınabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biridir [2]. Biyodizel üretimi, özellikle 2000’li yıllardan sonra dünyada ve ülkemizde hız kazanmıştır. Biyodizel, hammaddesini yaygın olarak tarımsal ürünlerden alan, atık yağdan üretilen ve diğer alternatif enerji kaynaklarına oranla arz miktarı kolaylıkla ayarlanabilen ve depolanabilen önemli bir yakıttır. Biyodizel üretiminin rüzgâr ve güneş enerjisi gibi diğer alternatif enerji kaynakları üretimine kıyasla, daha az maliyetli ve kolay üretiliyor özellikte olması, üretiminin giderek yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır [3]. Bununla birlikte, biyodizel üretiminin özellikle tarım, sanayi ve çevre sektörlerinin birlikte çalışmasına olanak vermesi, bu sektörlere ilave istihdam ve gelir olanakları da sağlaması, biyodizel teknolojisinin hızlı gelişmesine neden olmaktadır [4]. Biyodizel, bitkisel veya hayvansal yağların kısa zincirli bir alkol ile katalizör eşliğinde reaksiyona girmesi sonucu elde edilir [5]. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak di- ve monoglisidler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur [6]. Biyodizel, dizel motor yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz etkileyen kükürt’ü, aromatik hidrokarbonları, metalleri ve ham petrol artıklarını bünyesinde içermez. Biyodizel yakıtlar genellikle 16 ile 20 arasında karbona sahip hidrokarbon zincirlerinden oluşur ve ağırlığının yaklaşık %11’ini oksijen oluşturur [7]. Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır [8]. Genel olarak, biyodizelin

oksijen içeriği; yanma bölgelerinde gerekli oksijeni sağlayarak, HC, CO ve is emisyonlarında önemli azalmalar sağlamaktadır. Özellikle fosil dizel yakıtlarının aromatik bileşikler ve kükürt içermesi, is ve partikül emisyonlarının oluşmasına neden olmaktadır [9].

Dizel motorlar için dikkate alınan bir diğer yenilenebilir alternatif yakıt biyoetanol'dür. Biyoetanol; şeker pancarı, şeker kamışı gibi şekerce zengin veya mısır, buğday, arpa, patates gibi nişastaca zengin tarım ürünlerinin çeşitli kimyasallar ve enzimler eklenerek mayalanması ile üretilen temiz, çevre dostu ve yenilenebilir bir yakıttır [10]. Brezilya'da şeker kamışı ile uygulaması olup Türkiye'de de birkaç adet kurulu tesis mevcuttur [10]. Biyoetanol, yakıt olarak değişik kullanım yerlerinde değerlendirilebilir. Yapılan çalışmalar sonucu, biyoetanolün petrol ile çalışan araç motorlarında herhangi bir katkı maddesine gerek kalmadan başarılı bir şekilde kullanılabilceği ve motorlarda biyoetanolün kullanılmasıyla açığa çıkan zararlı hidrokarbon ve CO₂ gazı emisyonunun önemli oranda düştüğü belirlenmiştir. Benzine katıldığında oktan sayısını artırır, CO₂ ve hidrokarbonlar gibi zararlı gaz emisyonlarını azaltır [11]. Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılması ile ilgili çalışmalar incelendiğinde ise; biyoetanolün düşük setan sayısı, viskozitesi ve yağlayıcılık özelliklerinden dolayı direk olarak kullanılmadığı bununla beraber dizel yakıtına katılarak kullanılması halinde özellikle egzoz emisyonlarında önemli iyileşmeler sağladığı görülmektedir. Örneğin, biyoetanolün dizele göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanma işleminin iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azot oksitlerin NO_x ve CO'in azalmasını sağlamaktadır. Biyoetanolün yanması sonucu CO, CO₂ ve NO_x gazları oluşmaktadır. Sera etkisini önemli ölçüde etkileyen CO₂ emisyonlarında ortalama %10 azalma olmaktadır [12]. NO_x motor silindiri içinde yüksek sıcaklık ve basınç altında, havadaki azot ve oksijenin birleşmesi ile oluşur. Biyoetanolün yanması ile oluşan ısı azdır, dolayısıyla çok fazla miktarda NO_x meydana gelmesi için gerekli koşul oluşmaz [13]. Biyoetanolün egzoz emisyonundaki bu tür iyileştirmeleri biyoetanolü alternatif yakıt kullanımında etkin kılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılan biyodizel ve biyoetanol bir 3-silindirli ve direk püskürtmeli dizel motor tarafından tahrik edilen jeneratör setinde yakıt olarak kullanılmıştır. Çalışmada, biyodizel ve biyoetanol dizel yakıtı ile karıştırılarak sabit motor devrinde ve değişik yük şartları altında test edilmiştir ve yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı ve egzoz emisyonları ile duman yoğunluğu ölçülmüştür.

2. BİYOYAKITLAR

Biyoyakıtlar petrol, kömür gibi doğal yakıtlar ya da nükleer yakıtlardan farklı olarak, yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyoyakıtlar içeriklerinin hacim olarak en az %80'ini son on yıl içerisinde toplanmış canlı organizmalardan elde etmiş her türlü yakıt olarak tanımlanmaktadır [14]. Biyoyakıtlar kaynaklarına ve tiplerine göre değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Ormanlardan, tarım ve balıkçılık ürünlerinden veya belediye atıklarından, tarım-sanayi, gıda sektörü ve gıda sektörünün ürün ve atıklarından üretilen biyoyakıtlar, yakacak odun, odun kömürü ve odun parçaları gibi katı, etanol, biyodizel ve piroliz yakıtlar veya biyogaz gibi gaz formunda olabilirler. Biyoyakıtlar; birincil (işlenmemiş) ve ikincil (işlenmiş) biyoyakıtlar olmak üzere iki temel sınıfa ayrılmaktadırlar [3]:

* Birincil biyoyakıtlar; yakacak odun, odun talaşı ve parçaları, doğal haliyle kullanılan organik materyallerdir(hasat sonrası). Yanmış yakıtlar, genellikle pişirme için enerji, ısınma ve enerji üretimi ihtiyacı için kullanılan enerji kaynaklarıdır.

* İkincil biyoyakıtlar; katı (odun kömürü), sıvı (etanol, biyodizel ve diğer biyoyakıtlar), gazlar (biyogaz, sentetik gaz ve hidrojen gibi ulaşımı ve yüksek ısı kullanımını gerektiren endüstrileri içinde bulunduran geniş çapta kullanılabilen yakıtlar) olarak sınıflandırılabilir [4]. Dünyada ikincil biyoyakıtlar içerisinde yaygın olarak kullanılan ve dikkatleri çeken biyoetanol(etanol) ve biyodizel önemli biyoyakıt çeşitleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada değişik yöntemlerle ve farklı hammaddelerin kullanımı ile üretilen biyoetanol ve biyodizel yakıtları aşağıda ayrıntılı olarak incelenmiştir. Biyoetanol (etanol); yaygın olarak şeker kamışı ve mısırdan elde edilen biyoetanol, otomobiller ve diğer motorlu araçlarda tek başına bir yakıt olarak yada benzine karıştırılan bir katkı maddesi olarak kullanılabilir. Etanol, hava kirliliğini azaltmak yada petrol ürünlerinin tüketimini azaltmak amacıyla, benzinle değişik oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. En yaygın uygulamalar E10 ya da E85 diye bilinen sırasıyla %10 ve %85 etanol içeren karışımlardır. Etanol sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak sağladığı çevresel ve ekonomik yararlar nedeniyle fosil yakıtlara göre avantajlar sağlamaktadır [15]. Bünyesinde yüksek oranda şeker veya nişasta-selüloz gibi şekere dönüştürülebilir madde bulunduran hammaddeler etanol üretiminde kullanılabilirler. Dünya etanol piyasası nişasta ve şekere dayalı olarak gelişim göstermektedir. Yaygın hammadde olarak kullanılan şeker ürünleri

şeker kamışı, şeker pancarı ve kullanımı artan tatlı sorgum gibi tarımsal ürünlerdir. Yaygın hammadde olarak kullanılan nişastalı ürünler incelendiğinde ise, mısır, buğday ve cassava gibi tarımsal ürünlerle karşılaşılmaktadır.

Biyodizel; diğer bir önemli biyoyakıt türü olan biyodizel, organik yağların baz ve alkolle karıştırılarak dizel yakıtı çevrilmesi sonucu elde edilmekte, kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak, hatta donmuş yağ ve balık yağı gibi hayvansal yağlar da biyodizel yapımında kullanılabilir [10]. Dünyada biyoyakıt üretimi amacıyla değişik tarımsal ürünler hammadde olarak kullanılmaktadır. Etanol üretiminde fermantasyon ve damıtma yöntemi için hammadde olan şeker bitkileri (şeker kamışı, şeker pancarı ve tatlı sorgum) ve saccarification, fermantasyon ve damıtma işlemi için hammadde olan nişastalı bitkiler (mısır, buğday, arpa, pirinç, patates ve cassava) kullanılmaktadır. Biyodizel üretiminde kullanılan hammaddeye bakıldığında yağlı bitkilerin (kolza, palm, soya, ayçiçeği, yerbıstığı ve jatropha) hammadde olarak yaygın kullanımıyla karşılaşılmaktadır [1].

2.1. Biyodizel

Bitkisel, hayvansal ve kullanılmış/atık yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyodizel yakıtı petrol dizeline alternatif olarak araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizelin, dizel yakıtına göre kirletici egzoz emisyonlarının daha düşük seviyelerde olduğu belirtilmektedir [16]. Biyodizelin biyolojik olarak parçalanabilmesi, zehirleyici etkisi bulunmaması ve düşük emisyon profili, yüksek setan sayısı, yüksek oksijen içeriği, kükürt ve aromatik içermemesi, üstün yağlama yeteneği onu cazip kılan özellikleri olarak sıralanabilir [17]. Bununla beraber oksijenli alternatif yakıtların dizel motorlarda kullanımı, enerji güvenliği, bölgesel hava kalitesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından önemlidir [18].

Soya fasulyesi, mısır ve ayçiçeği gibi bitkisel yağlar ile birlikte hayvansal yağlarda biyodizel üretiminde kullanılmaktadır [19]. Biyodizel saf olarak kullanılabilmesi gibi petrolden elde edilen dizel yakıtla karıştırılarak da kullanılabilir. Sebze yağlarının yakıt olarak kullanılabilmesini ilk olarak 1900'lü yılların başında Rudolph Diesel yer fıstığı

yağıyla dizel motoru çalıştırarak göstermiştir [20]. Biyodizel enerji kaynağında önemli bir sektör oluşturma aşamasında çok hızlı bir potansiyel kazanmaktadır. Bunun nedenleri;

- Dizel yakıt yerine doğrudan kullanılabilmesi,
- Dizele yakın bir yakıt verimi olması
- Hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilebilir olması,
- Enerji tarımı için işgücü ve ekonomik sektör oluşturması,
- Çevreci olmasıdır [21].

Biyodizel ile ilgili en yaygın araştırma yapılan yerler; bazı Avrupalkeleri, Amerika, Yeni Zelanda ve Kanada'dır. En çok kullanılan deneme alanları ise; kamyon, araba, lokomotif, otobüs, traktör ve deniz araçlarıdır. Karşılaşılan en önemli dezavantaj ise maliyet fiyatı konusunda olmaktadır. şu anda 26\$ olan petrole karşı biyodizelin fiyatı 40 50\$ civarında olmaktadır. Eğer devletlerin çevreci bakış açısı gelişirse sübvansiyon uygulamak faydalı olacaktır [20].

2.1.1. Biyodizelin zellikleri

-Biyodizel, orta uzunlukta C_{16} - C_{18} yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijenli zincir yapısı, biyodizeli petrol kökenli dizelden ayıran en önemli özelliktir [22].

-Biyodizel, motorine çok yakın alt ısıl değer, motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu zellik, biyodizeli kullanım, taşınım ve depolamada daha güvenli bir yakıt haline getirmektedir.

-Biyodizel, motorine göre % 8 daha az enerji içerir.

-Biyodizel karanlık, temiz, kuru, bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalı. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak elik, paslanmaz elik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilebilir.

-Biyodizelin viskozitesi (ağdalılık ölçüsü, kıvamı) mümkün oldukça düşük olmalı.

-Biyodizelin kükürt oranı 15 ppm'i (milyonda 15 parçayı) geçmez.

-İyot değer 100–120 arasında olmalı. Aksi halde motor yağını polimerleştirip bozabilir. Tortu oluşturur. Depolama problemleri de ortaya çıkabilir [23] [20].

2.1.2. Biyodizel Emisyonları

Yapılan birçok çalışmada alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizelin, karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), kükürt oksitler (SO_x), partikül maddeler (PM), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve nitrik polisiklik aromatik hidrokarbon (NPAH) emisyonlarının petrol dizeline göre daha düşük seviyelerde olduğu, fakat NO_x emisyonlarında bir miktar artış meydana geldiği belirtilmiştir [18][24]. Tablo 2.1.'de Çevre Koruma Ajansı'na (Environmental Protect Agency) göre saf biyodizel (B100) ve motorin ile hacimsel olarak %20 oranındaki karışımının dizel yakıtı kullanımına göre kirletici egzoz emisyonlarındaki ortalama değişimler verilmiştir. Tablo 2.1.'e göre biyodizel kullanımında NO_x hariç diğer tüm emisyonlarda petrol esaslı dizel yakıtı kullanımına göre büyük azalmalar olmaktadır.

Tablo 2.1. Çevre Koruma Ajansına (EPA) göre dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında ortalama biyodizel emisyon değerleri

EMİSYONLAR	B100 (%)	B20(%)
Karbon Monoksit (CO)	-48	-12
Azot Oksit (NO _x)	+10	+2/-2
Toplam Yanmamış Hidrokarbonlar (THC)	-67	-20
Partikül Maddeler (PM)	-47	-12
Kükürt	-100	-20
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar	-80	-13
N-Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (Nitratlı-PAH's)	-90	-50
Ozon (O ₃)	-50	-10

Çevresel açıdan bakıldığında biyodizel kullanımının büyük avantajlar sağladığı anlaşılmaktadır. Biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile CO₂'ye dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez yani biyodizel CO₂ emisyonları için doğal bir yutak olarak düşünülebilir. Kükürt emisyonları, saf biyodizel kullanımıyla neredeyse tamamen yok edilmektedir. Biyodizelin, dizel motorlarda kullanımı ile yanmamış hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve partikül madde (PM) miktarında önemli düşüşler elde edilmiştir. Azot oksitlerin (NO_x) emisyonları aynı veya biraz artmıştır. CO emisyonları biyodizel kullanımı ile dizel kullanımına göre %48 oranında azalmıştır. Partikül maddeleri solunak insan sağlığı için son derece zararlıdır. Biyodizel kullanımı ile dizel kullanımına kıyasla, partikül madde miktarında %47 oranında bir azalma görülmüştür [25].

Sonuç olarak, araştırmacıların biyodizel kullanımı konusunda elde ettikleri ortak sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

-Maksimum %5'lik bir verim kaybının, ancak aşırı yük gibi özel durumlarda belirlenebildiğini,

-Yakıt filtrelerinde veya yakıt pompalarında herhangi bir probleme rastlanmadığını, ayrıca motor üzerinde teknik bir değişim olmadan biyodizelin kullanılabilceğini

-Biyodizelin kış aylarında da kullanılabilceğini, kış aylarında motorun ilk çalışmasının sorun çıkarmadığını,

-Kanola ve kanola metil esteri kullanımı sonucu atmosferdeki CO₂ oranının azaltılmasının mümkün olacağını,

-Biyodizel'in emisyonlarının zararsız olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgeindiğini, ayrıca dolum sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını,

-Biyodizelin iyi bir yağlama yeteneğine sahip olduğunu ve böylece yüksek derecede motor aşınması oluşturmadığını,

-Biyodizelin yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazların, dizel yakıtına göre; %15 daha az CO, %27 daha az HC, sadece %5 daha fazla NO_x, %22 daha az partikül, %50 daha az is ve %10 daha düşük alt ısı değeri, buna karşın ortalama yakıt tüketiminin yaklaşık olarak dizelden %3 fazla olduğunu,

-Bitkisel yağların asıl avantajının, yağların biyolojik olarak çözünebilir olduğu, özellikle gemilerde, koruma altındaki su bölgelerinde, endüstri bölgelerinde veya benzer şekildeki hassas bölgelerde kullanılmasının daha da anlamlı ve kaçınılmaz olacağı sonucuna varılmıştır [21].

2.2. Biyoetanol

Biyoetanol, içerisinde yeterince glikoz ihtiva eden veya glikoza dönüştürülebilen şekerlerin bulunduğu (sukroz, nişasta, selüloz gibi) hammaddelerden üretilir [26]. Biyoetanol üretiminde kullanılan hammaddeler üç ana grup altında toplanabilir:

- 1) Sukroz içeren hammaddeler (örnek olarak şeker pancarı, süpürge darısı şerbeti ve şeker kamışı verilebilir),
- 2) Nişasta içeren hammaddeler (örnek olarak buğday, mısır ve arpa verilebilir),
- 3) Lignoselulozik hammaddeler (örnek olarak saman, odun ve çimen verilebilir).

Günümüzde, Amerika Birleşik Devletleri'nde mısır, Brezilya'da şeker kamışı ve pancarı ve Avrupa'da buğday biyoetanol üretiminde kullanılan temel hammaddelerdir. Buda göstermektedir ki günümüzde üretilen biyoetanolün neredeyse tamamı tahıl menşelidir. Bu çerçevede, çeşitli tahıllardan dünyadaki biyoetanol üretim potansiyelleri Tablo 2.2.'de verilmiştir [27].

Tablo 2.2. Çeşitli tahıllardan dünyadaki biyoetanol üretim potansiyeli

Tahıl	Biyoetanol Üretimi, litre/ton tahıl
Arpa	250
Mısır	360
Patates	110
Şeker Pancarı	110
Buğday	340

Dalı darı etanol üretiminde mısıra göre iki kat daha verimlidir. Biyoetanol, glikozun maya tarafından fermente edilmesi ile üretilir. Biyoetanol üretiminde biyokütle şu aşamalardan geçmektedir. Rafine ederek nişasta haline getirmek, sıvılaştırmak ve sakarifikasyon (hidroliz yöntemi ile nişasta glikoza dönüşür), fermantasyon, damıtma, dehidrasyon ve opsiyonel olarak denaturasyon işlemleri yapılmaktadır. Fermantasyon sırasında karbondioksit gazı açığa çıkar [20].

2.2.1. Biyoetanolün Özellikleri

Biyoetanolün kapalı formülü C_2H_5OH , açık formülü CH_3CH_2OH olarak bilinmektedir. Biyoetanol, içerisinde etil alkol bulunan, şeker, şekeri çevrilebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilen berrak, renksiz, uçucu ve kendine has kokusu olan bir alkoldür. Biyoetanol patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi tarım ürünlerinden elde edilir [24]. Tablo 2.3.'de Biyoetanolün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 2.3. Biyoetanolün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması [20].

YAKITLAR		Etanol	Hidrojen	Metan	Metanol	Benzin	Dizel
Kimyasal Denklemi		C ₂ H ₅ OH	H ₂	CH ₄	CH ₃ OH	C ₈ H ₁₈	-
C / H Oranı		0,333	0	0,25	0,25	0,556	0,520
Moleküler Kütle (g / mol)		46,07	2,02	16,04	32,04	91,4	0,520
Isıl Değer	(Mj / kg)	26,9	119,93	50,8	20,1	43,4	43,1
	(Mj/litre)	21,3	8,41	20,8	15,9	31,8	-
Stokiyometrik Karışım	Kütlesel:	8,96	34,32	7,2	6,44	14,7	14,5
	Hacimsel:	14,3	2,38	9,53	7,14	45,79	-
Mol ürünler / Mol reaktantlar		1,06	0,85	1	1,06	1,04	-
Buharlaştırma Isısı (Mj/kg)		0,856	0,447	0,509	1,102	0,272	0,3
Tutuşma Sınırı % Hacim		3,5-19	4,1-74	5-15	6-37	1,3-7,6	-
Laminer Alev Hızı (m/s)		-	2,91	0,37	0,52	0,37	-
Adyabatik Alev Sıcaklığı		1924	2110	1954	1878	1993	-
Difüzyon Katsayısı (m ² /s)		-	0,61	0,16	-	0,08	-
Kaynama Noktası (°C)		78,7	-252,35	161,3	65,1	32-221	175
Donma Noktası (°C)		-114,1	-259	-	-97,6	-56	-
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)		392	574-591	632	470	257	-
Oktan Sayısı	ROS	106	130	130	110	91-100	-
	MOS	87	-	105	87	82-94	-

Biyoetanolün son zamanlardaki en yaygın ve en çok araştırılan kullanım alanı ise motorlu araçlarda yakıt olarak kullanımınıdır. İçten yanmalı motorlarda kullanım için hem teknik hem ekonomik açıdan en uygun olan alkoller etanol ve metanoldür. Metanolden birim miktar başına elde edilebilen enerji miktarı etanoldakine göre %35 daha düşük olduğu için, yapılan çalışmalar daha çok etanol üzerinde yoğunlaşmaktadır. Tüm alkoller gibi etil alkolün yapısında da bulunan oksijen yanma ısısını düşürmektedir. Ayrıca etanolün oktan sayısının yüksek olması, içten yanmalı motorlu araçlarda oktan artırıcı olarak kullanımına da olanak sağlamaktadır. Oktan sayısı 108 olan etil alkolün ETBE (etil tertiarü bütül eter) formunda benzine eklenmesi, son zamanlarda uygulanan bir yöntem olmakla birlikte aynı zamanda biyoetanolün günümüzdeki en yaygın kullanım şeklidir. Biyoetanol benzine farklı oranlarda karıştırılabilmekte ve karışım bu orana göre

adlandırılmaktadır. %10 oranında etanol ve %90 oranında benzinden oluşan E10 karışımı, şu anda kullanılan içten yanmalı motorlarda modifiye gerektirmeden kullanılabilir. Motorlar modifiye edildiği takdirde %85'e kadar etanol eklenebilir. Bu uygulamada karşılaşılan en büyük problemler; korozyon ve etil alkolün buhar basıncının düşük olması sebebiyle soğuk havada ilk ateşlemenin zor gerçekleşiyor olmasıdır [21].

Biyometanol, yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında kullanımında birtakım sorunlar meydana gelmektedir. Kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından biyometanolün Otto motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Tablo 2.4. Biyometanolün bazı önemli özelliklerinin dizel No. 2 ile karşılaştırılması görülmektedir [28].

Tablo 2.4. Biyometanolün bazı önemli özelliklerinin dizel ile karşılaştırılması

ÖZELLİK	DİZEL	BIYOETANOL
Yoğunluk (kg/m ³ , 15 °C'de)	841,5	788
Viskozite (mm ² /sn, 40 °C'de)	2,9	0,67
Kükürt (% kütleli)	0,68	0
Isıl Değer (kJ/kg)	44631	26749
Setan Sayısı	45-50	5-15

Biyometanolün en önemli dezavantajlarından biri içinde bulunan suyun yakıt donanımında ve emme sistemi üzerindeki korozif etkisidir. Biyometanolün korozif özellikleri nedeni ile korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Ayrıca etanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve çok çabuk nemlenmesi etanol benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir. İçerisinde su bulunmayan alkol ve benzini karıştırmak mümkün olmasına rağmen az miktarda su ihtiva eden karışımlarda bu mümkün olmamakta ve faz ayrışması oluşmaktadır [28].

2.2.2. Biyoetanol'ün Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması

Biyoetanol en yaygın olarak taşımacılık ve tarım alanında motorlarda kullanılmaktadır. Biyoetanol direkt olarak benzinin yerine veya oktan yükseltici olarak benzinle karıştırılarak kullanılmaktadır. Biyoetanol buji ile ateşlemeli motorların birçoğunun karbüratöründe modifikasyon yapılarak benzin yerine kullanılabilir. Biyoetanolün tam yanması için gerekli hava/yakıt oranı 9/1 dir. Benzinde bu oran 14.5/1 dir. Bu nedenle aynı miktarda hava ile yanabilecek biyoetanol miktarı benzinden biraz daha fazladır. Biyoetanol oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle, yüksek oktanlı yakıtların (benzin) yerine geçmeye en uygun alternatif yenilenebilir yakıtlardandır. Bununla birlikte, dizel yakıtı göre daha küçük moleküler yapıya sahip olması ve yapısında oksijen bulundurması, dizel yakıtında bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metaller içermemesinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etki yapmaktadır. Direkt olarak biyoetanol kullanabilen motorlarda saf biyoetanolle % 15 oranında kurşunsuz benzin katılarak daha verimli bir yakıt elde edilebilir, bu yakıt birçok ülkede E85 adıyla ticari olarak satılmaktadır. Araçlarda biyoetanol kullanılması durumunda yakıt tüketimleri benzin kullandığı duruma göre % 10 – 15 oranında artış gösterir [29].

Biyoetanol modifiye edilmiş dizel veya sıkıştırılmış hava ile ateşlemeli motorlarda ve turbo beslemeli dizel motorlarda da ilave düzenlemelerle kullanılabilir. Ancak çeşitli sorunlar nedeniyle yaygın bir uygulama alanı bulamamıştır. Bu motorlarda biyoetanol veya biyoetanol karıştırılmış motorin kullanımı çalışmaları da artarak devam etmektedir. Ülkemizde henüz bilinmeyen ve ilgili mevzuatımızda da tanımlanmayan biyoetanol ve dizel karışımı; Motorinin emisyon değerlerinden özellikle partikül madde miktarını önemli oranda azaltan, motorda ciddi bir değişikliği gerektirmeyen, motorinin yağlama ve soğuk akış özelliklerini geliştiren, biyolojik ayrışması hızlı, motorine sorunsuz olarak karıştırılabilen çevre dostu yeni bir yakıt olarak bilinmektedir [10].

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dünya'da etanol adına yapılmış alternatif yakıt çalışmalarına bakıldığında genel olarak bu çalışmaların daha çok etanolün benzin katkı maddesi üzerine yapıldığını görülmektedir. Biyoetanolün dizel motorlarındaki performansı üzerine olan etkileri ise ülkemizde bazı akademik çevreler tarafından araştırılmıştır.

Tarımsal alanda kullanılan makinelerde dizel yakıtı yerine biyoetanol-dizel karışımları kullanımının uygulanabilirliği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, dizel yakıtı yerine biyoetanol-dizel karışımları kullanılmasıyla yakıt tüketiminde 0,38-1,78 \$/hektar artma CO, HC emisyonlarında ise önemli azalmalar kaydedilmiştir. Biyoetanol üretiminde kullanılan bitkisel kökenli hammaddelerin üretimine destek verilmesi durumunda maliyeti düşecek ve biyoetanol-dizel karışımları daha yaygın kullanılabilir olacaktır [12].

Altun yaptığı doktora tez çalışmasında, hayvansal yağ esaslı biyodizel yakıtı kullanımında bitkisel yağ esaslı biyodizel yakıtları kullanımına göre karşılaştırıldığında motor performansında önemli bir değişimin olmadığı ancak, bitkisel yağ esaslı biyodizel kullanımında çoğunlukla NO_x emisyonlarında artış olduğunun bildirilmesine karşın, yaptığı çalışmada daha düşük NO_x emisyonlarının elde edilmesinde hayvansal yağ esaslı yakıtın kullanılmasının etkili olduğunu belirtmiştir. Bununla beraber CO emisyonlarındaki biyodizel konsantrasyonu ile orantılı olmayan azalmanın daha iyi açıklanabilmesi için farklı biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının (B60, B70 gibi) daha uygun laboratuvar şartlarında denenmesi gerektiğini belirtmiştir. Bununla beraber deneysel sonuçlar hayvansal iç yağlardan üretilen biyodizel yakıtının ve yaptığı çalışmada test edilen karışım oranlarının direk püskürtmeli dizel motorlarında modifikasyonsuz bir şekilde dizel yakıtı yerine kullanılabilirliğini göstermiştir. Ayrıca hayvansal iç yağı metil esterinin parlama noktasının yükseltilmesi için üretim aşamasında distilasyon veya başka bir metotla içeriğindeki fazla alkol çıkarılabileceğini. Biyodizel kullanıldığında özellikle düşük motor hızlarında yüksek motor gücü ve daha düşük egzoz emisyonu değerlerinin elde edilmesinden dolayı bundan sonraki çalışmalarda, yüksek motor hızlarında püskürtme avansının artırılması biyodizelin motor performansını geliştireceğini belirtmiştir[18].

Usta vd. (2004a) yaptığı çalışmada, dizel yakıtına etanol eklenmesinin (hacimsel olarak %10 ve %15 oranında) dört zamanlı, dört silindirli ön yanma odalı turbo dizel motorda ve farklı püskürtme basınçlarında (150, 200 ve 250 bar) kullanılmasının motorun

performansı ve egzoz emisyonu üzerine etkileri incelemiştir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki etanol eklenmesi ile CO, is ve SO₂ emisyonlarında azalma olduğunu diğer yandan NO_x emisyonlarında ise %12,5 (%10 etanol içeren karışımda) ve %20 (%15 etanol içeren karışımda) artış olduğunu ortaya koymuş ve püskürtme basıncının artması ise özellikle 1500- 2500 1/min aralığında CO ve is emisyonlarında azalmaya ve bir miktar motor gücünün düşmesine sebep olduğunu belirtmiştir [30].

Altun ve Öner vd. Bir dizel motorunun egzoz emisyonlarını deneysel bir çalışmada, biyodizel-dizel-etanol (BDE) karışımı kullanılarak yaptıkları çalışmada petrol kökenli dizel yakıtı ve B20 olarak bilinen biyodizel-dizel karışımı yakıtlarını karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada atık pişirme yağlarından elde ettikleri biyodizeli kullanarak, 4 silindirli, doğal emişli ve direk püskürtmeli bir dizel motorunda tam yük şartlarında deney gerçekleştirildiğini ifade etmektedirler. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında karışım yakıtlar için fren özgül yakıt tüketiminin arttığını gözlemlemişlerdir. Karbon monoksit (CO) emisyonunun karışım yakıtlar için düşük olduğu, azot oksit (NO_x) emisyonları ise dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında B20 için biraz yüksek iken BDE yakıtı için düşük olduğunu gözlemlemişlerdir [31].

Çelikten (2004) yaptığı çalışmada, dizel yakıtına hacimsel olarak %10 oranında etanol eklenmesinin dört zamanlı, dört silindirli ön yanma odalı turbo dizel motorda ve tam yük şartlarında kullanılmasının motorun performansı ve egzoz emisyonu üzerine etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışmasında dizel yakıtına %10 oranında etanol ilave edilmesi ile motor gücünde ve torkunda düşüşler, yakıt tüketim miktarında da azalmalar meydana geldiğini ve bunun yanında O₂ artar iken, NO_x ve CO emisyonları kısmen, CO₂, SO₂ ve duman emisyonlarında ise oldukça fazla oranlarda azalmalar olduğunu gözlemlemiştir. [32].

Şahin (2002) yaptığı çalışmada, farklı oranlardaki benzin ve etanol fumigasyonunun, motor performansı ve egzoz gazları emisyonları üzerindeki etkilerini teorik olarak incelemiştir. Bu amaçla dizel motoru çevrimi için Termodinamiğin Birinci Kanununa dayanan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Söz konusu model, demetin oluşumu, yakıt-hava karışımı, girdap, ısı transferi ve emisyon modelleri gibi alt modellerden oluşan çok bölgeli yanma modeli kavramlarını içermektedir. Saf dizel yakıtı ve farklı fumigasyon oranlarındaki dizel yakıt-benzin-etanol karışımlarının yakıt olarak kullanıldığı dört ve altı silindirli turboşarlı iki farklı dizel motorunun performans parametreleri ve egzoz gazları emisyonlarını teorik olarak hesaplamıştır. Değişken eşdeğerlik oranlarında, benzin

fumigasyonu attıkça efektif güç, özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve karbon monoksit (CO) oranının arttığını, öte yandan, efektif verim ve azot oksit (NO) konsantrasyonunun azaldığını belirtmiştir. Sabit eşdeğerlik oranlarında benzin fumigasyonu attıkça efektif güç, efektif verim ve CO oranı arttığını, bununla birlikte, ÖYT ve NO konsantrasyonu azaldığını ifade etmektedir. Değişken eşdeğerlik oranlarında etanol fumigasyonu attıkça efektif güç, efektif verim ve CO oranı artmakta olduğunu, bunun yanında, ÖYT ve NO konsantrasyonunda ise azalma olduğunu belirtmiştir. Sabit eşdeğerlik oranlarında etanol fumigasyonu attıkça efektif güç, efektif verim ve NO konsantrasyonu ve buna bağlı olarak da ÖYT önemli ölçüde arttığını, ayrıca, CO oranında genel olarak artma eğilimi gösterdiğini belirtmiştir [33].

Ejder (2007) yaptığı çalışmada, gelecekte fosil kaynaklı yakıtlara alternatif olarak kullanılması düşünülen etanol ve biyodizel yakıtların direkt püskürtme sistemine sahip bir dizel traktör motorunun farklı karışım oranlarında test edilmesi suretiyle performans karakteristiklerinin değişimlerini incelemiştir. Mevcut biyodizel-dizel ve etanol-dizel yakıtları farklı oranlarda birbirlerine karıştırılması suretiyle test motorunun performans karakteristikleri belirlediğini ifade etmektedir. Deney motorunun yüklenmesini Schenk 130kW marka ve tip bir elektromanyetik fren ile yapmıştır. Önce motor, referans dizel yakıt ile test etmiş ve elde edilen bu performans karakteristiklerini motorun alternatif yakıt deneylerinde referans oluşturmuştur. Her bir yakıt karışımı için yapılan deney sonuçlarını referans karakteristikleri ile karşılaştırarak mevcut biyodizel ve etanolün farklı oranlarda kısa süreli performans testlerinde kullanılabilirlik durumunda dizel yakıtına yakın sonuçlar verdiklerini gözlemlemiştir. Böylece, performans yönünden biyodizel ve etanolün önemli bir alternatif yakıt kaynağı olabileceğini ortaya koymuştur [21].

Aktaş (2009) yaptığı çalışmayı tam yükte ve 1800 1/min sabit motor hızında önce saf benzin ile sonra benzine hacimsel olarak %5'ten %20'ye kadar %5'lik artışlarla etanol karıştırılarak (E5, E10, E15 ve E20) gerçekleştirilmiştir. En son, %5 soya biyodizel-%95 benzin (B5) ve %10 soya biyodizel-%90 benzinden oluşan (B10) karışımlar hazırlayarak, bu karışımlara %5'ten %20'ye kadar %5'lik artışlarla etanol karıştırarak deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak da; benzine %10 biyodizel karıştırıldığı zaman tork ve güçte %10,5 oranında düşüş ve özgül yakıt sarfiyatında %13 oranında artış olduğunu gözlemlemiştir. Aynı zamanda, CO emisyonunun da bir miktar düştüğü ancak, HC ve NO_x emisyonunun bir miktar yükseldiğini tespit etmiş. Benzin ve B5'e %20 etanol ilave edildiğinde performansta %50 ve CO emisyonunda %47 oranında azalma olmasına

rağmen, NO_x emisyonunda %46 artış gözlemlendiğini ifade etmektedir. En iyi performans ve emisyonun %15-20 etanol içeren B10 ile elde edildiği tespit etmiştir [34] [12].

Schafer (1988) dizel yakıtı yerine kullanılabilir alternatif bitkisel yakıtın, metanol veya etanol gibi ucuz bir alkolle, kimyasal reaksiyonla elde edilebileceğini ve bu esterlerin özelliklerinin dizel yakıtının özelliklerine benzer olduğunu bildirmiştir. Bitkisel yağ asidi esterleriyle(ROME) çalışan dizel motorlarının kullanımı hakkında şimdiye kadar elde edilen araştırmaların geniş ölçüde olumlu sonuçlar verdiğini ve bunların; enjektörler üzerinde kömürleşmenin olmadığı, yanma odasında katmanlaşma görülmediği, yakıt tüketiminin dizel yakıtına benzer olduğu ve is emisyonunun, dizel motorunun emisyon şartlarına benzerlik gösterdiği, motorun uzun süreli çalışmasıyla ortaya çıkan aşınma durumu, dizel yakıtı kullanımına benzer sonuçlar verdiğini, uzun süreli çalışma durumunda ise segmanlarda sıkışmanın görüldüğünü bildirmiştir [20].

Şahin ve Durgun (2004) tarafından yapılan çalışmada, etanol fumigasyonunun dizel motoru çevrim parametreleri, motor karakteristikleri ve egzoz gazları emisyonları üzerindeki etkileri sayısal olarak incelemişler. Bu amaçla önce dizel motoru çevrimlerini; hem saf dizel yakıtı hem de hafif yakıt fumigasyonu durumlarında hesaplayabilen bir paket bilgisayar programı, çok bölgeli termodinamik esaslı yanma modeline dayalı olarak geliştirilmişler. Geliştirilen bilgisayar modelinin dizel motoru çevrimlerini; hem saf dizel yakıtı hem de hafif yakıt fumigasyonu durumlarında yeterli duyarlılıkta hesaplayabildiğini belirleyerek değişik sayısal uygulamalar yapılmışlar. Yapılan çalışmada, sabit eşdeğerlik oranlarında etanol fumigasyonunun etkileri; iki farklı turboşarjlı motorda sayısal olarak incelemişler ve genel olarak her iki motorda efektif gücün, efektif verimin artmasına karşın, özgül yakıt tüketimi (ÖYT) de artış olduğunu ve ayrıca söz konusu uygulamanın egzoz gazları açısından da pek iyileştirici sonuçlar vermediğini gözlemlemişler[33] [20].

Bir yüksek lisans çalışmasında, dizel yakıtına hacimsel oranda (% 10 ve % 20) etanol katkısının bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiş. Sonuç olarak etanol dizel yakıtı karışımları ile CO, is, ve SO₂ emisyonları azalırken NO_x emisyonlarında artış motor gücünde ise azalma olduğu belirtilmiştir [35] [12].

Hansen ve ark., deneysel çalışmalarında % 10, % 20 ve % 30 oranında etanol-dizel yakıt karışımlarının emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışma ile optimum şartlarının % 20 etanol-dizel karışımı ile olduğu belirleyerek, bu çalışma şartları ile is emisyonlarında % 55, HC emisyonlarında % 70 ve CO emisyonlarında ise % 45 azalma sağlandığını gözlemlemişlerdir [36].

Bilgin ve ark., etanol dizel yakıtı karışımlarını farklı sıkıştırma oranlarında deneyerek optimum performansı sağlamayı amaçlamışlardır. Deneylerinde % 2, 4, 6 oranında etanolü dizel yakıtı ile karıştırarak 19:1, 21:1, 23:1 sıkıştırma oranlarında denemişler ve motor performansındaki olumsuz etkinin minimum düzeyde kalmasını sağlayabilecek optimum sıkıştırma oranını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda en optimum etanol miktarının % 4 olduğu gözlenmiş ve 21:1 sıkıştırma oranında termik verimde % 3,5'lik bir artış sağlandığını gözlemlemişlerdir [12].

Hansen ve ark., deneysel çalışmalarında, ikişer adet traktör ve biçerdöverde % 10 etanol-dizel yakıtı karışımları ile performans ve emisyon karşılaştırması yapmışlardır. Deneylerde her araçta CAN bus yolu ile bilgi toplayan bir data kartı kullanarak çalışma safhalarında performansları incelemişler. Karşılaştırmalar neticesinde dizel yakıtına göre etanol-dizel karışımlarının motor gücünü düşürerek yakıt tüketiminde % 4-5 oranında bir artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir [36].

Yapılan bir çalışmada, turbo doldurmalı, 6 silindirli ve 24 supaplı ağır hizmet tipi bir dizel motorunda %10-15 etanol-dizel karışımlarının emisyonlar üzerindeki etkilerini incelemişler. Etanol karışımları ile partikül, CO ve HC emisyonlarında azalma NOx emisyonlarında artma sağlamışlar. En düşük emisyon değerleri ise %15 etanol-dizel karışımı ile elde etmişler[12].

Ajav ve ark., çalışmalarında modifiye edilmiş bir dizel motorunda buharlaştırılmış etanol-dizel yakıtı ile çalışma şartlarında performans emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada, ön ısıtmaya tabi tutulan etanol yakıtı, dizel motoruna eklenen bir karbüratör düzeneği ile emme zamanında hava ile birlikte silindirlere emilerek, beş farklı yük şartlarında gerçekleştirilen bu çalışmanın sonucu olarak, etanol katkısı ile % 75 motor yüküne kadar özgül yakıt tüketiminde azalma ve efektif verimde artma daha sonra ise özgül yakıt tüketiminde artma ve efektif verimde ise azalma olduğunu gözlemlemişler [36].

Özdemir yaptığı çalışmada motorun tam yük konumunda 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 1/min şartlarında Dizel+Biyodizel, Dizel+Biyodizel+Etanol karışımları farklı oranlarda bir dizel motorda kullanarak performans ve egzoz emisyon değerlerini incelemiştir. Yapılan çalışmada elde edilen test sonuçlarının mevcut biyodizel ve etanolün farklı oranlarda kısa süreli performans testlerinde kullanılmaları durumunda dizel yakıtı yakın sonuçlar verdiklerini belirtmiştir. Böylece, performans yönünden bir miktar düşüş

olsa da egzoz emisyonlarındaki azalma göz önüne alınarak biyodizel ve etanolün önemli bir alternatif yakıt kaynağı olarak kullanılabileceğini ifade etmektedir [20].

Pang ve ark. (2006) çalışmalarında, yakıt olarak Biyodizel-etanol-dizel yakıtlarını kullanmışlar, performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. 1800 d/d sabit motor devrinde yükü değiştirerek yaptıkları deney sonucunda, HC emisyonlarında biyodizel-etanol-dizel yakıtı karışımlarında yük arttıkça kısmen bir azalama, CO emisyonlarında bir miktar artış, NOx emisyonlarında %10 oranında bir artış ve CO₂ emisyonlarında da bir miktar artış olduğunu belirtmişlerdir. Motor performans parametrelerinde, yük arttıkça biyodizel-etanol-dizel yakıtı karışımının motor gücünde kısmen azalma, özgül yakıt tüketiminde bir miktar artış ve motor torkunda kısmen azalma olduğunu ortaya koymuşlardır [36].

Can ve ark. (2004) çalışmalarında, turboşarjlı, indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda, farklı enjeksiyon basınçlarında (150-200-250 bar), hacimsel olarak %10-15 etanol katkılı dizel yakıtının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Homojenliği sağlamak için %1 oranında isopropanol eklemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, enjeksiyon basıncı arttıkça, özellikle 1500-2000 d/d motor devirleri arasında, NOx emisyonunda artış, CO, is ve SO₂ emisyonlarında da azalma olmadığını motor gücünde ise az da olsa azalma olduğunu belirtmişlerdir [30].

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Atık Kızartma Yağlarından Biyodizel Üretimi

Biyometanol dizel yakıtı karışımlarında biyodizel yakıtı kullanmak için atık kızartma yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir.

Kızartma işlemi esnasında kızgın yağ içerisinde ısı ve kütle transferiyle birlikte pişme ve kuruma gerçekleşmektedir. Yağdan gıdaya ısı aktarılmakta ve gıdadan su buharlaşmakta ve gıda tarafından yağ absorblanmaktadır. Kızartma esnasında oluşan reaksiyonlar, hidroliz, oksidasyon ve polimerleşme olarak sınıflandırılabilirler. Kızartma yağlarının atmosferik oksijen içerisinde özellikle yüksek sıcaklığa (160°C-200°C) maruz kalarak kullanım sürelerine bağlı olarak yapılarında fiziksel (viskozitede artış, akma noktasında artış, renkte koyulaşma) ve kimyasal (serbest yağ asitlerinde artış, karbonilli bileşiklerde ve yüksek molekül ağırlıklı ürünlerde artış, doymamışlık derecesinde azalma) değişimler olmaktadır [37].

Bu çalışmada Batmanda bulunan özel bir hastanenin yemekhanesinden alınan atık kızartma yağından biyodizel üretilmiştir. Atık kızartma yağı; tuz eklenmemiş, susuz, katı palm esaslı bitkisel kızartma yağı olarak bilinmektedir. Üretim Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Rafineri ve Petro-Kimya programı laboratuvarında yapılmıştır. Üretim için manyetik karıştırıcı, ısıtıcı, sıcaklık ölçer, hassas terazi, ısıtma kabı, cam kaplar, huniler, kâğıt ve bez filtreler ve gerekli yardımcı aparatlar kullanılmıştır. Yağın transesterifikasyonu için % 99,7 saflıkta metil alkol ve % 98 saflıkta potasyum hidroksit (KOH) Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Rafineri ve Petro-Kimya laboratuvarından sağlanmıştır. Bu tür kızartma yağları üzerinde yapılan çalışmalarda yağın transesterifikasyonu için alkol olarak metanol, alkol/yağ molar oranı 5:1, katalizör olarak da potasyum hidroksit (KOH) tercih edilmiştir. Yapılan çalışmalardan faydalanılarak izlenen prosedür ve kullanılan parametreler doğrultusunda yapılan çalışmada biyodizel üretimi için hacimsel olarak %20 oranında metil alkol, reaksiyon sıcaklığı 60-65 °C (metil alkolün kaynama noktasının altındaki sıcaklık) ve katalizör olarak yağın ağırlıkça %0.35 kadar KOH kullanılmıştır. Yani 5 lt bir kızartma yağı için 1lt metil alkol katalizör için de 17,5 gr KOH kullanılmıştır. Biyodizel üretim aşamaları aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir.

Öncelikle kızartma yağı süzülerek 10 litrelik bir kap içerisinde 110-120 °C ye kadar bir (1) saat ısıtılarak içerisindeki suyun buharlaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra kızartma

yağı 70 °C ye kadar soğutulup kâğıt süzgeçten geçirilerek süzölmüştür. Şekil 4.1.'de reaksiyon için hazırlanmış yağ numunesi görölmektedir.



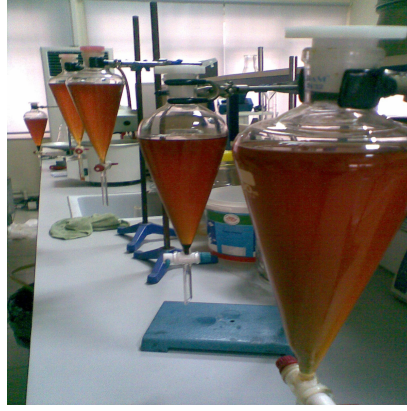
Şekil 4.1. Reaksiyon için hazırlanmış yağ numunesi

Soğutulan yağ Şekil 4.2.'de görölen cihazın reaksiyon odasına konulmuştur. Bu cihaz reaksiyon odası ve reaksiyon odasını etrafını ve alt kısmını kapsayan bir su haznesinden oluşmaktadır. Su haznesindeki suyu ısıtmak ve belirli bir sıcaklıkta tutmak için termostatlı ısıtıcı ve reaksiyon odasını karıştırmak için bir elektrik motoru ile tahrik edilen bir karıştırıcı bulunmaktadır. Reaksiyon odasının ısıtılması için 2500W gücünde bir ısıtıcı cihazın alt kısmındaki su haznesine yerleştirilmiştir. Reaksiyona giren maddelerin ısıtıcı ile direk teması önlemek için bu şekil bir ısıtma yöntemi tercih edilmiştir. Böylelikle rezistans karışımın aşındırıcı etkisinden korumuş olmaktadır. Isıtıcı için kullanılan termostat su sıcaklığını 40-80 °C arasındaki sıcaklık değeriinde tutabilmektedir.



Şekil 4.2. Biyodizel üretiminde kullanılan cihaz

Reaksiyondan önce termometre ile reaksiyon odasının sıcaklık kontrolü yapılmıştır. Sıcaklık 65 °C geldiğinde önceden hazırlamış olduğumuz 17,5 gr KOH (yağın ağırlığının %0,35), 1lt metil alkol içerisinde çözününceye kadar karıştırılıp elde edilen karışım bir hortum ve huni vasıtasıyla reaksiyon odasına bırakılıp vanası kapandı. Cihaz üzerindeki elektrik motoru çalıştırılarak yaklaşık bir saat kadar karıştırıldı. Elde edilen karışım reaksiyon odasında on iki saat kadar bekletildi.



Şekil 4.3. Cam kaplar içerisinde metil ester ile gliserin ayrıştırılması

Daha sonra karışım Şekil 4.3.'teki cam kaplar içerisine alınarak gliserin ve metil esterin birbirinden ayrılması sağlandı. Gliserin metil estere göre daha ağır olduğu için cam kapların tabanına çökmektedir. Biriken gliserin cam kapların alt kısmındaki vanalardan başka bir kaba alınmıştır.



Şekil 4.4. Reaksiyon sonucu elde edilen gliserin

Elde edilen gliserin (Şekil 4.4.) yan ürünü, kullanılmamış katalizör ve bir asit ile nötralize edilmiş sabunlar içerir. Bazı durumlarda bu fazın geri kazanılması sırasında oluşan tuz, gübre olarak kullanılmak üzere geri kazanılır. Su ve alkol, ham gliserin olarak satışa hazır olan % 80–88 saflıkta gliserin elde etmek amacıyla uzaklaştırılır. Daha sofistike işlemlerde gliserin %99 veya daha yüksek saflığa kadar distillenir ve kozmetik ve ilaç sektöründe kullanılır [21].

Elde edilen metil ester içerisine sıcak saf su bırakılıp iyice çalkalanıp yıkanması sağlandı. Su metil esterden daha ağır olduğu için cam kapların dibine çöken su musluklar vasıtasıyla dışarı alındı. Bu işlem iki defa gerçekleştirilerek metil esterin yıkanması sağlandı. Şekil 4.5.'de metil ester yıkama işlemi görülmektedir.



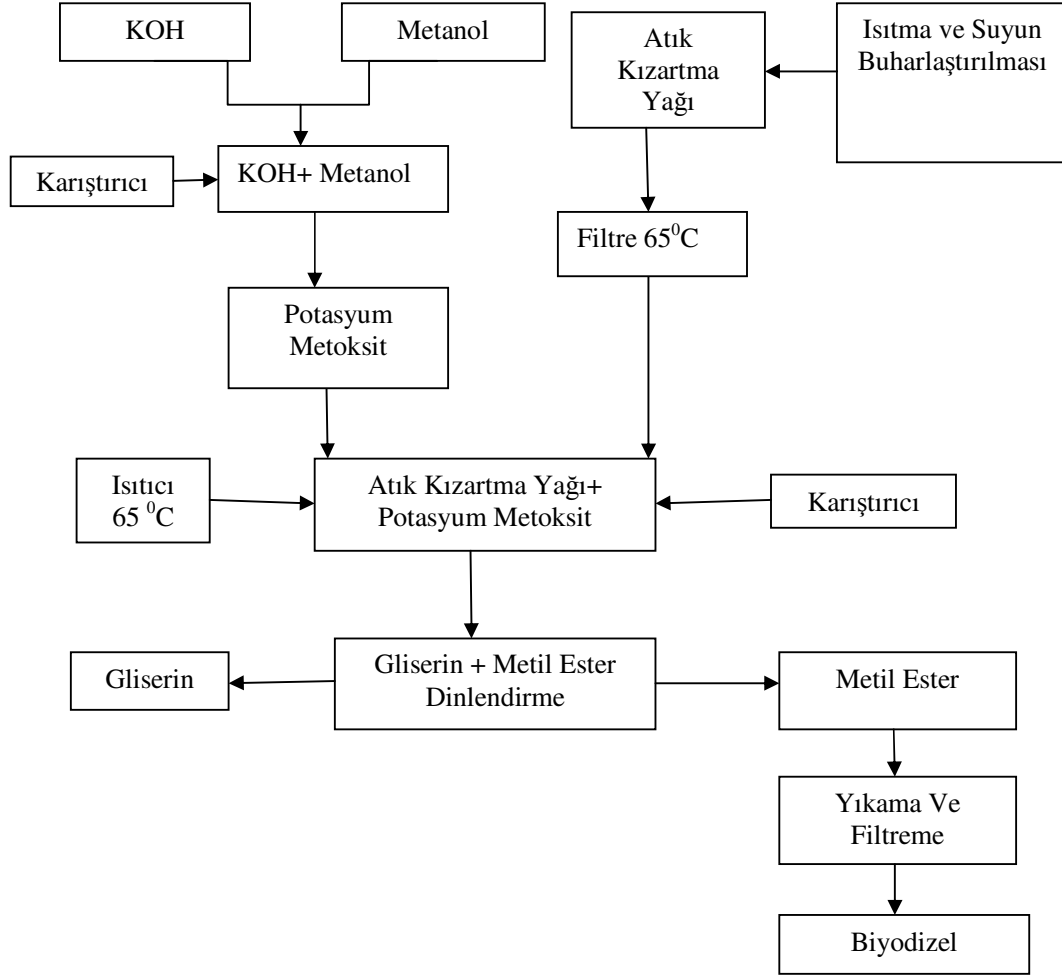
Şekil 4.5. Metil ester yıkama işlemi

Daha sonra metil esterin içerisinde bir miktar su kalacağı düşünülerek elde edilen yakıt bir kap içerisine bırakılıp bir saat kadar 110-120 °C de ısıtılarak içerisindeki suyun buharlaştırılması sağlandı. Sonuç olarak Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi kırmızımsı renkte 40°C sıcaklıkta viskozitesi 5,8 mm²/s ve 15°C sıcaklıkta yoğunluğu 0,887 g/cm³ olan bir biyodizel elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Reaksiyon sonucu elde edilen biyodizelin görüntüsü

Biyodizel üretiminde takip edilen işlem basamakları aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir.



Şekil 4.7. Biyodizel üretiminde takip edilen işlem basamakları

4.2. Yakıt Özelliklerinin Analizi

Kızartma yağından elde edilen biyodizelin bazı yakıt özellikleri Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Rafineri ve Petro-Kimya programı laboratuvarında yapılan analizler ile belirlenmiştir. Biyoetanol ve dizel yakıtının yakıt özellikleri ise literatürden alınmıştır. Tablo 4.1.'de biyoetanol, dizel ve biyodizelin belirlenen yakıt özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Biyoetanol, biyodizel ve dizel yakıtının özellikleri

Özellik	ASTM D 6751	EN 14214	Biyodizel	Biyoetanol	Dizel Yakıtı
Viskozite (mm^2/sn) (40°C 'de)	1.9-6	3.5-5	5,04	1,13	3,6663
Isıl Değeri (KJ/kg)	-	-	41641	27000	42700
Yoğunluk (kg/m^3) (15°C)	-	860-900	879	789	843,51
Parlama Noktası ($^\circ\text{C}$)	Min.130	Min.120	174	420	60
Akma Noktası ($^\circ\text{C}$)	-	-	6,60	-117	-15
Setan Sayısı	Min.47	51	55	5-15	50
Kükürt miktarı (%kütle)	-	-	0	-	0,29
Karbon (%kütle)	-	-	76,74	52,1	87.12
Hidrojen (%kütle)	-	-	12,24	13,1	12.88
Oksijen (%kütle)	-	-	11,02	34,7	-

Kızartma yağının viskozitesi dizel yakıtına göre çok yüksektir fakat metil ester şekline dönüştükten sonra viskozitesi önemli ölçüde azalmıştır. Biyodizelin 40°C 'de kinematik viskozite değeri EN 14214 standardında 3,5-5 mm^2/sn arasında belirtilmiştir. Bu çalışmada üretilen biyodizel yakıtının viskozite değeri belirtilen standartlara yakın çıkmıştır. Tabloda verilen biyoetanol, biyodizel ve dizel yakıtının özellikleri karşılaştırıldığında biyodizelin viskozitesi daha yüksek çıkmıştır. Biyodizel-dizel ve biyodizel-biyoetanol yakıtı karışımlarında ise viskozite düşmüştür. Tablo 4.2. Deney yakıtlarının viskozite, yoğunluk ve oksijen değerleri verilmiştir. Viskozite, dizel motorlarında kullanılacak olan yakıtlar için çok önemli bir özelliktir. Yüksek viskoziteye sahip bir yakıt, atomizasyonun bozulmasına ve bazı motor hasarlarına sebep olur. Yüksek viskoziteli yakıtların sistemde hızlı basınç yükselmesine sebep olmasından dolayı püskürtme avansında artış meydana gelebilir. EN 14214 biyodizel standardında 15°C ' de yoğunluk 860-900 kg/m^3 değerleri arasında sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada üretilen biyodizelin yoğunluk değerleri bu sınırlar içerisinde. Kızartma yağının yüksek olan yoğunluğu metil ester şekline dönüştükten sonra önemli bir şekilde azalmış ve karışım yakıtlarında bu azalma devam etmiştir. Tabloda verilen yoğunluk değerleri karşılaştırıldığında biyodizelin yoğunluğu dizel yakıtı ve biyoetanol yoğunluğuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yakıtların

taşınması ve depolanması sırasında alevlenme tehlikesine karşın parlama noktasının belli bir değerin üstünde olması gerekmektedir. EN 14214 standardında biyodizelin parlama noktasının en az 120 °C olması gerektiği belirtilmiştir. Dizel yakıt No.2 için EN 590 standardında bu değer 60 °C'dir. Bu çalışmada üretilen biyodizel yakıtının parlama noktası değeri bu sınırların üstünde (174 °C) olması taşıma ve depolamada dizel yakıtından daha güvenli olduğunu göstermektedir. Yakıtların ısı değerleri karşılaştırıldığında ise biyodizelin sahip olduğu ısı değeri dizel yakıtına göre düşük biyoetanole göre yüksek çıkmıştır.

Biyometanol, biyodizel ve dizel yakıtı karışımlarının viskozite ve yoğunluk değerleri Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Rafineri ve Petro-Kimya programı laboratuvarında belirlenmiş ve bu değerler Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Deneysel yakıtlarının viskozite ve yoğunluk değerleri

Özellik / Yakıt	DY	B100	D80B20	D90E10	B90E10	(E10)90B10
Viskozite (mm ² /sn) (40 °C)	3,6663	5,040	2,8559	2,3583	3,1422	2,8299
Yoğunluk (kg/m ³) (15 °C)	843,51	879	845	838	857	848
Oksijen Miktarı (% Kütleli)	0	11.02	2,204	3,47	13,55	4,225

4.3. Motor Testlerinde Kullanılan Yakıtlar

Deneysel yakıt olarak, biyometanol, kızartma yağından elde edilen biyodizel ve ticari dizel yakıtı (motorin) kullanılmıştır. Yakıtlar hacimsel olarak %80 dizel+%20 biyodizel (D80B20), %90 dizel+%10 biyometanol (D90E10), %90 biyodizel+%10 biyometanol (B90E10), ve %90 (E10)+%10 biyodizel karışımları ile %100 dizel ve saf olarak %100 biyodizel (B100) kullanılmıştır. Tablo 4.3.'te yakıtları yüzdeleri karışımları, Şekil 4.8.'de Motor testlerinde kullanılan yakıtlar, Tablo 4.1.'de Dizel yakıtı, biyodizel ve biyometanole ait özellikler ve Tablo 4.2.'de test yakıtlarının viskozite ve yoğunluk değerleri verilmiştir.

Tablo 4.3. Yakıtların yüzdelik karışım değerleri

Yakıt	Dizel	Biyodizel	Biyootenol
DY	100	0	0
B100	0	100	0
B20	80	20	0
E10	90	0	10
E10B90	0	90	10
(E10)90B10	81	10	9



Şekil 4.8. Deney yakıtları

4.4. Deney Seti

Deney seti, egzoz gazı analiz cihazı, duman ölçüm cihazı, Tablo 4.4.'de teknik özellikleri verilen üç silindirli dizel motordan ve yardımcı araçlardan oluşmaktadır. Deney seti Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü laboratuvarında bulunmaktadır. Şekil 4.9.'da deney seti görülmektedir. Şekil 4.10.'da deney seti şematik olarak gösterilmiştir. Deney seti kontrol panelinde, motor hızı, yükünü, voltaj ve amper değerlerini görüntüleyen dijital göstergeler, 1500 ml'lik yakıt tüketimi ölçüm kabı ve hassas terazi bulunmaktadır. Ayrıca deney setinin egzoz çıkışında egzoz sıcaklığı değerlerinin okunabilmesi için dijital bir termometre kullanılmıştır.

Tablo 4.4. Deney motorunun teknik özellikleri

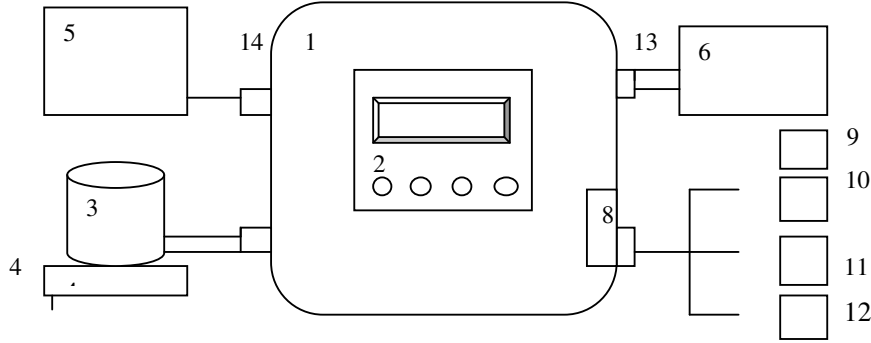
MARKASI	INTER IDE 314 N6 DİZEL
Püskürtme sistemi	Direkt püskürtmeli
Soğutma sistemi	Su soğutmalı
Silindir sayısı	3
Silindir dizilişi	Düz sıralı
Çap x Strok	80-90 lt
Strok hacmi	1,4
Sıkıştırma oranı	22,5:1
Prime motor çıkış Gücü	17 HP
Stand –dy motor çıkış Gücü	18 HP
Yakıt sarfiyatı %50 yük	2,1 lt/h
Yakıt sarfiyatı %75 yük	2,9 lt
Yakıt sarfiyatı %100 yük	3,8 lt



Şekil 4.9. Deney setinin görünüşü.

Deneylerde motorun yüklenmesi için farklı güçlerdeki ısıtıcılar kullanılmıştır. Bu ısıtıcılar vasıtasıyla jeneratörden güç çekerek motorun yüklenmesi sağlanmıştır. Deney motorunun devri 1500 dev/dak ayarlanarak çalışma yapılmıştır. Deney motorunun kontrol

paneli üzerindeki fişlere takılan ısıtıcılar vasıtasıyla motora uygulanan yük kademeli olarak değiştirilebilmektedir.



Şekil 4.10. Deney setinin şematik görünüşü.

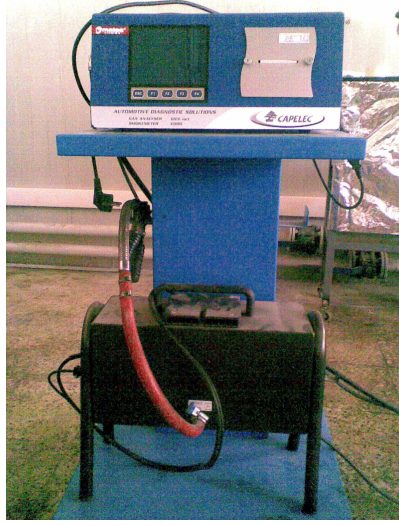
1. Test motoru 2. Kumanda paneli ve Devir yük göstergeleri 3. Yakıt haznesi 4. Hassas terazi 5. Hava tankı 6. Egzoz emisyon ve Duman ölçüm cihazı 8. Yük bağlantı prizi 9. 1,5 kw ısıtıcı 10. 2 kw ısıtıcı 11. 2,5 kw ısıtıcı 12. 3 kw ısıtıcı 13. Egzoz manifoldu (Egzoz sıcaklığı ölçümü) 14. Emme manifoldu

4.4.1. Egzoz Emisyonu ve Duman Ölçüm Cihazı

Deneylerde egzoz gazlarının analizi için Capelec Cap 3200 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Tablo 4.5.'de gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir. Bu cihaz hacimsel % olarak CO₂ ve O₂, % ve ppm olarak CO, ppm cinsinden NO_x ve SO₂ emisyonlarını elektrokimyasal olarak ölçebilmektedir. Şekil 4.11.'de egzoz gazı analiz cihazı görülmektedir.

Tablo 4.5. Capelec Cap 3200 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
NO _x	0-5000 ppm	1 ppm



Şekil 4.11. Egzoz gazı analiz ve duman ölçüm cihazı

Bu cihazın numune alma probu egzoz borusuna uygun bir şekilde yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Egzoz gazı ölçümleri motor çalışma sıcaklığında ve cihaz probunun belirli bir süre (5 sn) egzoz borusunda kalmasıyla alınmıştır. Cihazın okuduğu değerler cihaz hafızasına tarih ve saati ile kaydedilerek daha sonra cihaz üzerinde bulunan bir yazıcı ile çıktı şeklinde alınmıştır.

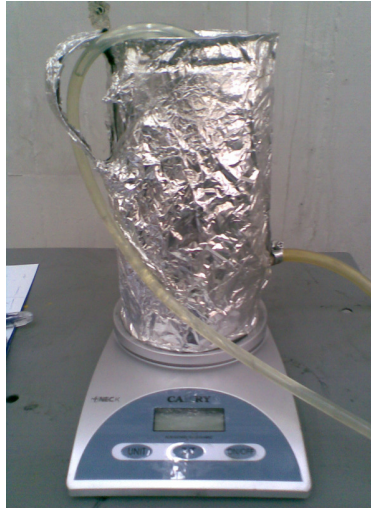
Duman ölçümü için de yine Capelec Cap 3200 marka duman ölçer kullanılmıştır. Bu cihaz egzoz gazlarındaki duman miktarını $K (m^{-1})$ olarak ölçebilmektedir. Bu cihaz ile otomatik ölçüm yapılabilmektedir. Emisyon ölçümü yapıldıktan sonra duman ölçümü için ölçüm cihazının probu egzoz borusuna uygun bir şekilde yerleştirilerek verilen yüklerde ölçüm alınmıştır.

4.4.2. Egzoz Gazı Sıcaklığı Ölçümü

Sıcaklık ölçümünde dijital göstergeli tabanca tipi termometre ölçme cihazı kullanılmıştır. Egzoz gazının çıkış sıcaklığının ölçülmesi için, her bir karışımda belli bir çalışmadan sonra egzoz manifoldu çıkışına tabanca termometre tutularak sıcaklık ölçümü yapılmıştır.

4.4.3. Yakıt Tüketimi

Deney setinde yakıt, şekilde görülen hazne üzerinden motora gönderilmektedir. Yakıt ölçüm düzeneğinde 1500 ml lik metal hazne ve Şekil 4.12.'te görülen hassas dijital terazi bulunmaktadır. Yakıt tüketiminin ölçümü için yakıt haznesi hassas dijital terazi üzerine konulup, yakıtın tüketilmesi için geçen süre bir kronometre ile belirlenmiştir. Üç dakikada tüketilen kütleli yakıt miktarı belirlenerek kütleli debiye (kg/h) dönüştürülmüştür.



Şekil 4.12. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi.

4.5. Özgül Yakıt Tüketimi Hesaplama

Bölüm 5.1.1.'de hesaplanan yakıt tüketimi ve efektif motor gücü değerlerine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

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

Burada, be: Özgül yakıt tüketimi (kg/kWh)

B: Saatlik yakıt tüketimi (kg/h)

Pe: Efektif motor gücü (kW)

4.6. Efektif Verim Hesaplama

Efektif verim, özgül yakıt tüketimi ve yakıtın alt ısı değeri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\eta_e = \frac{3600}{be.Hu}$$

η_e = Efektif verim (%),

be = Özgül yakıt tüketimi (kg/kWh),

Hu = Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg).

4.7. Deneyde Uygulanan Metot

Deneylere başlamadan önce yağ kontrolü, hava filtresinin temizlenmesi gibi bir takım motor bakımları yapılmıştır. Daha sonra testler için gerekli yardımcı aparatlar yerlerine yerleştirilmiştir. Biyodizel, dizel-biyodizel, biyoetanol-dizel, biyoetanol-biyodizel, dizel-biyoetanol-biyodizel yakıtlarının testleri motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Motor 1500 d/d getirilerek dizel yakıtı ile bir süre boşa çalıştırılarak motor çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Yükleme her 1500 d/d da üç ayrı kademede yapılmış. Yük kademeleri %40, %60 ve %80 yüklenecek şekilde yani 4 kW, 6,5 kW ve 8,5 kW ısıtıcılar kullanılarak oluşturulmuştur. Motor 1500 dev/dak'da çalıştırılırken her bir yakıt için ölçüm yapıldığı da göstergede voltaj ve akım değerleri alınarak güç $Güç = V \times A$ formülü ile hesaplanmıştır. Her kademede karışımlar sonucu elde edilen yakıtların her biriyle yakıt tüketimi, sıcaklık, voltaj, amper ve emisyon ölçümleri yapılmıştır. Yakıt tüketiminin hesaplanması için yakıt haznesi hassas terazi üzerine konularak ölçüm yapılmıştır. Bir yakıt türü için ölçümler tamamlandığında motor durdurulup, diğer yakıt türü yakıt haznesine eklenip çalışmaya geçilmiştir. Ölçüm bir önceki deney yakıtının hatlarda tamamen bittiğinden ve yeni yakıtın sisteme girdiğinden emin olunduktan sonra alınmıştır. Test yakıtları kasım ayında mümkün olduğu kadar aynı saatlerde denenmiştir. Deneylerde, motor gücü (HP), yakıt tüketim zamanı, egzoz gazı sıcaklığı, egzoz emisyonu ve duman miktarı ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen bu veriler ile efektif motor gücü (kW), yakıt tüketimi (kg/h), özgül yakıt tüketimi (kg/kWh) ve efektif verim (%) değerleri hesaplanmıştır.

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde biyodizel, dizel yakıtı ve biyoetanol karışım yakıtlarının üç kademeli yükte ve sabit motor devrinde yapılan yakıt tüketimi, efektif verim, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu test sonuçları verilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan değerler tablo ve grafikler halinde belirtilmiştir. Dizel, biyodizel, biyodizel-dizel, dizel-biyoetanol ve dizel-biyodizel-biyoetanol karışım yakıtlarının yakıt tüketimi, efektif verimi, özgül yakıt tüketimi, egzoz emisyonu dizel yakıtı ile karşılaştırılarak deney sonuçları değerlendirilmiştir. Bu bölümde, yakıtlar hacimsel olarak %80 dizel+%20 biyodizel (B20), %90 dizel+%10 biyoetanol (E10), %90 biyodizel+%10 biyoetanol (B90E10), ve %90 (E10)+%10 biyodizel ((E10)90B10) karışımları ile %100 dizel (DY) ve saf olarak %100 biyodizel (B100) olarak adlandırılmıştır.

5.1. Motor Performans Testlerinin Değerlendirilmesi

DY, B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 yakıtlarının motor performansı testlerinden elde edilen, yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve egzoz sıcaklığı değerleri dizel yakıtı kullanımına göre karşılaştırılmıştır.

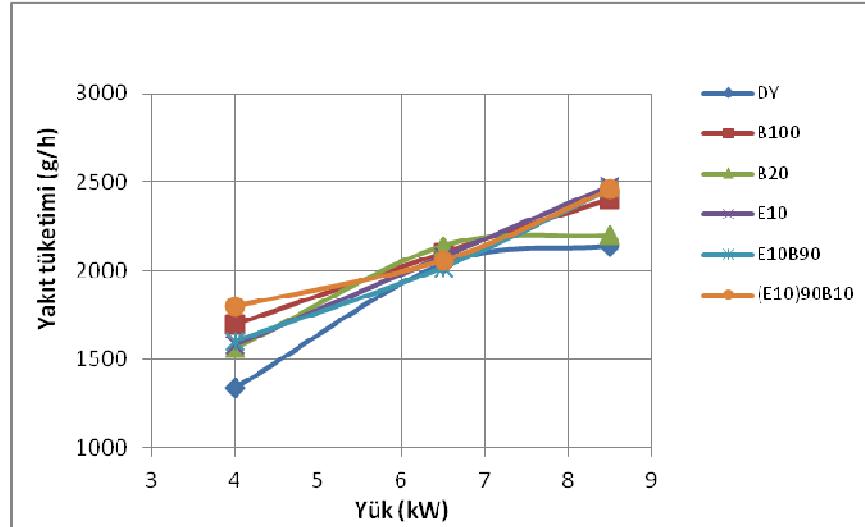
5.1.1. Yakıt Tüketimi Değişimi

DY, B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 yakıtlarının değişik motor yüklerinde kullanılmasıyla elde edilen yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi değerleri Tablo 5.1. ve Tablo 5.2.'de verilmiştir. Şekil 5.1.'de birim zamanda tüketilen yakıt miktarı grafiksel olarak verilmiştir. Şekilde tüm yakıt türleri için yük artmasıyla yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir. Biyodizel ve karışım yakıtlarının yakıt tüketimleri dizel yakıtı kullanımına göre yüksek çıkmıştır. En yüksek yakıt tüketimi değerleri (E10)90B10 yakıtı kullanıldığında elde edilmiş, karışım yakıtlarında biyodizel ve biyoetanol oranının artmasıyla da yakıt tüketimi artış göstermiştir. B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 kullanımında dizel yakıtı kullanımına göre yakıt tüketiminde ortalama olarak sırasıyla %12.2, %6.8, %11.2, %11.4 ve %14.4 artış olmuştur. Biyodizel ve karışımlarının kütleli yakıt tüketimi değerlerinin dizel yakıtına göre yüksek olması ısıl değerinin düşük,

yoğunluğunun ise yüksek olmasından kaynaklandığı literatürden bilinmektedir. Biyoetanol ilavesi yakıt tüketiminde artışa sebep olmaktadır. Yakıt tüketimindeki bu artışın karışım içerisinde biyoetanol ilavesiyle orantılı olduğu görülmektedir. Nitekim Yahya ve Marley, ısı değeri nispeten düşük olan yakıt türlerinin benzer güç üretebilmeleri için daha fazla yakıt tüketmeleri gerektiğini belirtmiştir. Srivastava ve Verma, biyodizelin ve biyoetanolün ısı değerinin düşük olmasından dolayı dizel yakıtı ile aynı güç üretebilmesi için daha fazla miktarda yakıtın püskürtüldüğünü belirtmiştir [18]. Bununla beraber Kumar ve ark., yüksek viskozitenin bir sonucu olarak karışım oluşumu ve yakıt atomizasyonunun kötüleşmesinin de yakıt tüketimini artırdığını belirtmişlerdir.

Tablo 5.1. Deney yakıtlarının yakıt tüketimi değerleri (g/h)

YÜK KW	DY	B100	B20	E10	E10B90	(E10)90B10
4	1340	1700	1560	1580	1600	1800
6,5	2040	2100	2140	2080	2090	2095
8,5	2140	2400	2200	2480	2460	2460



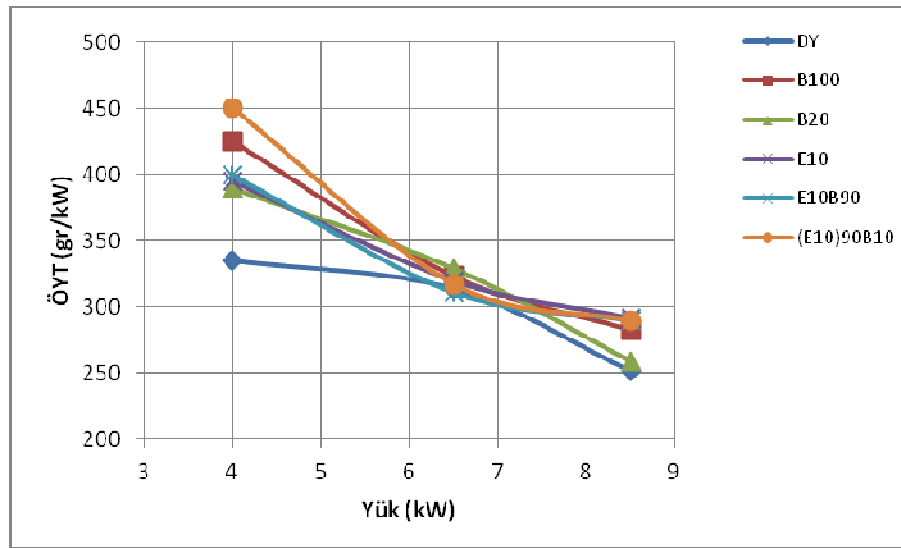
Şekil 5.1. Deney yakıtlarının yakıt tüketimi değerleri değişimi.

Özgül yakıt tüketimi; birim güç başına tüketilen yakıt miktarı olarak tarif edilmektedir. Şekil 5.2.'ye bakıldığında bütün yakıt türleri için özgül yakıt tüketiminin düşük yüklerde yüksek ve yükün artmasıyla da düştüğü görülmektedir. Özgül yakıt tüketimi motor gücüne bağlı olarak değişmektedir. Özgül yakıt tüketiminin yüksek olduğu düşük motor yüklerinde, motor gücünün düşük olması, yüksek ısı kayıpları, ortam sıcaklığı ve havanın yetersiz olması nedeniyle yanma şartlarının kötüleşmesi gibi bir takım

olumsuzluklar da özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olduğu literatürde bilinmektedir. Motor yükü arttıkça içeriye yeterli miktarda hava alınması ve gaz sıcaklığının artması ile yanmanın iyileşmesi neticesinde özgül yakıt tüketimi de düşmektedir.

Tablo 5.2. Deney yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri.

YÜK KW	DY	B100	B20	E10	E10B90	(E10)90B10
4	335	425	390	395	400	450
6,5	313,84615	323,076923	329,230769	320	321,538462	322,3076923
8,5	251,76471	282,352941	258,823529	291,764706	289,411765	289,4117647



Şekil 5.2. Deney yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri değişimi.

Tüm yakıt türleri arasında en düşük özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtı kullanıldığında, en yüksek özgül yakıt tüketiminin de (E10)90B10 kullanıldığında elde edildiği Tablo 5.2.'de ve Şekil 5.2.'de görülmektedir. B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 kullanımında özgül yakıt tüketimi dizel yakıtı kullanımına göre ortalama olarak sırasıyla %12.2, %6.8, %11.2, %11.4 ve %14.4 artmıştır. Biyodizel, biyoetenol ve karışımlarının yakıt tüketimlerinin dizel yakıtına göre yüksek olması, benzer güç vermelerine karşın özgül yakıt tüketimlerini artırmıştır.

Biyoetenol ilavesi özgül yakıt tüketiminde artışa sebep olmaktadır. Özgül yakıt tüketimindeki bu artışın karışım içerisinde biyoetenol ilavesiyle orantılı olduğu görülmektedir. Dizel+biyodizel içerisinde biyoetenol ilave ettikçe motor momentinin

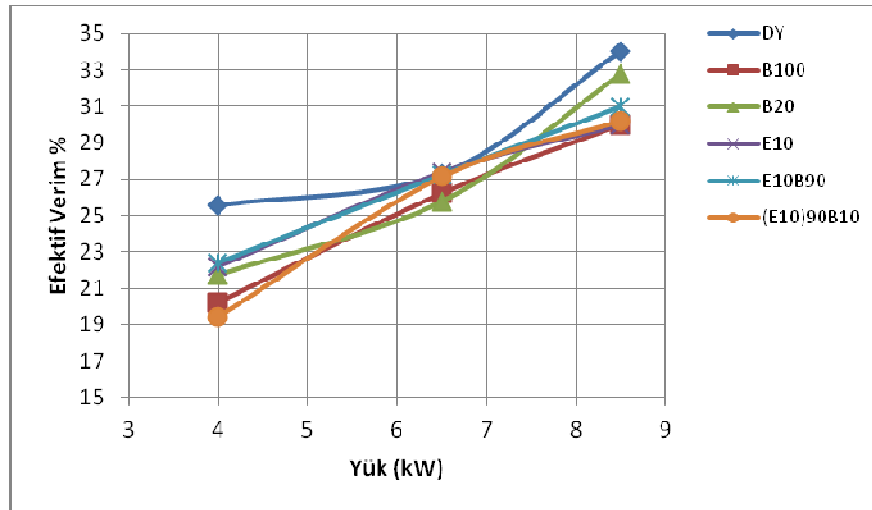
düşmesinden dolayı motor gücü azalmakta ve özgül yakıt tüketiminde bir artma meydana gelmektedir.

5.1.2. Efektif Verim ve Egzoz Sıcaklığı Değişimi

Efektif verim ısı enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürüldüğünü belirtmektedir. Yapılan çalışmada yakıtların her biri için her devir sayısında hesaplanan özgül yakıt tüketimi ve yakıtın ısıl değeri kullanılarak efektif verim değerleri bölüm 4.6.'da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 5.3. Deney yakıtlarının efektif verim değerleri

YÜK KW	DY	B100	B20	E10	E10B90	(E10)90B10
4	25,586354	20,21764	21,72559	22,15882	22,40087	19,42643
6,5	27,310924	26,21848	25,73569	27,35229	27,22142	27,12282
8,5	34,045394	30	32,73652	29,99929	30,96055	30,20573



Şekil 5.3. Deney yakıtlarının efektif verim değerleri değişimi

DY, B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 yakıtlarının değişik yüklerde kullanılmasıyla elde edilen efektif verim değerleri Tablo 5.3.'te, egzoz sıcaklığı değerleri Tablo 5.4.'de verilmiştir. Ayrıca; Şekil 5.3.'te efektif verim, Şekil 5.4.'de egzoz sıcaklığı değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Biyodizel ve karışım yakıtları kullanıldığında dizel yakıtına göre efektif verimde düşüş olmuştur. Tablo 5.3.'te en düşük efektif verim değerlerinin B100 kullanımında elde edildiği görülmektedir. Yakıt türlerindeki biyodizel

oranının azalmasıyla efektif verimde artış olmuştur. Biyoetanol karışımlarında ise dizel yakıtı göre efektif verim düşmüştür fakat biyodizel ve karışımlarına göre efektif verim yükselmiştir.

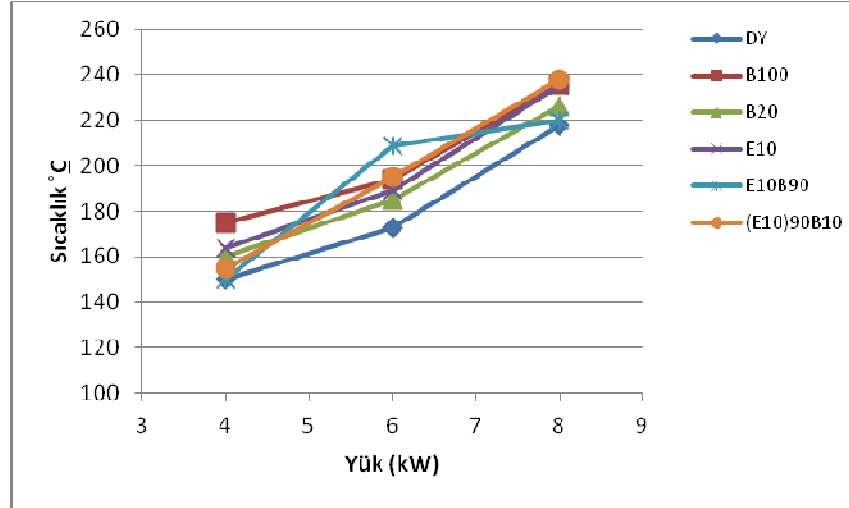
B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 karışımlarının kullanımında dizel yakıtı kullanımına göre efektif verimde ortalama olarak %12,08, %7,75, %8,54, %7,31 ve %11,19 azalma olmuştur. Aynı yükte yakıt tüketimindeki artışın nedenlerinden biri, karışım içerisindeki biyodizel miktarının artmasından dolayı viskozitenin artması, ısı değerinin azalmasına bağlı olarak yanmanın kötüleşmesinden kaynaklanabilir. Eksik yanma yakıt tüketimini artırıp aynı motor yüklerinde efektif verimi düşürmektedir. Kızartma yağından elde edilen biyodizelin viskozitesi dizel yakıtının viskozitesinden yaklaşık %35 daha yüksek, ısı değeri ise yaklaşık %2,2 daha düşüktür. Biyodizel kullanıldığında efektif verimin düşmesi viskozitesinin yüksek ve ısı değerinin ise düşük olmasına bağlanabilir. Nitekim yakıt türlerindeki biyodizel miktarının azalmasıyla efektif verimin artış göstermesi bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir. Biyoetanol kullanıldığında efektif verimdeki düşüşün nedeni karışım içerisindeki biyoetanolün ısı değerinin düşük olmasının yanında, biyoetanolün viskozitesinin, yoğunluğunun ve setan sayısının düşük olmasının etkili olduğu söylenebilir. Düşük viskozite kaçaklara ve düşük yoğunluk ise kütleli olarak daha az yakıtın silindirlere püskürtülmesine neden olmaktadır. Ayrıca setan sayısının düşük olması tutuşma gecikmesi süresinin uzamasına, yanma veriminin kötüleşmesi ile motor gücü ve momentin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle biyoetanol uygulamalı karışımlarda setan sayısını yükseltici katkı maddelerinin de kullanılmasında yarar görülmektedir [29].

Tablo 5.4. ve Şekil 5.4.'de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri için egzoz sıcaklığı değerleri yükün artmasıyla artmıştır. En yüksek egzoz sıcaklığı değerleri 8,5 kw'lık motor yükünde dizel yakıtı için 218 °C, B100 için 236 °C, B20 için 226 °C, E10 için 235 °C, B90E10 için 220 °C ve (E10)90B10 için 238 °C olarak ölçülmüştür. Ortalama olarak en yüksek egzoz sıcaklığı değerleri (E10)90B10 yakıtı kullanıldığında elde edilmiştir. Düşük ve yüksek motor yüklerinde biyodizel, biyoetenol ve karışımlarının kullanımında dizel yakıtı kullanımına göre daha yüksek egzoz sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Altın düşük motor hızlarında biyodizelin yanması için yeterli zamanın olması ve biyodizelin sahip olduğu yüksek viskozite ve setan sayısından dolayı daha yavaş ve uzun bir yanmanın gerçekleşmiş olması düşük motor hızlarında biyodizel kullanımında daha yüksek egzoz sıcaklığı elde edilmesini açıklamaktadır. Ayrıca biyodizelin oksijen içermesi daha iyi bir

yanmaya ve bununda daha yüksek egzoz sıcaklığı değerleri vermesine neden olduğunu belirtmiştir. Puhan ve ark., biyodizel kullanıldığında yanmanın daha uzun devam etmesinden dolayı egzoz sıcaklığının daha yüksek çıktığını belirtmiştir [18]. Çanakçı, egzoz gazı sıcaklığının tutuşma gecikmesinden etkilendiğini ve biyodizelin setan sayısının yüksek olmasından dolayı daha düşük tutuşma gecikmesi periyodu sergilediğini ve bunun da biyodizel kullanıldığında egzoz gazı sıcaklığını artırdığını belirtmiştir [38].

Tablo 5.4. Deney yakıtlarının egzoz sıcaklığı değerleri

YÜK KW	DY	B100	B20	E10	E10B90	(E10)90B10
4	150	175	160	164	150	155
6,5	173	194	185	189	209	195
8,5	218	236	226	235	220	238



Şekil 5.4. Deney yakıtlarının egzoz sıcaklığı değerleri değişimi.

5.2. Egzoz Emisyonu Testlerinin Değerlendirilmesi

Atmosferdeki hava kirliliğini artıran önemli nedenlerden biri de taşıtların egzozlarından yayılan kirlenici emisyonlardır. İçten yanmalı motorlarda yakıt deposu, karter havalandırma, yakıt sistemi ve egzoz emisyonlarında hava kirlenici emisyonları çıktığı belirtilmektedir [39].

Yanma, yakıt ile havadaki oksijen arasında yüksek hızla oluşan kimyasal reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar sonucu ısı ve ışık açığa çıkar. İdeal yanmada, karbondioksit ve su buharı ürün olarak çıkmaktadır. Hava içindeki azot (N_2) reaksiyona

girmez, alındığı gibi havaya geri verilmektedir. Su buharı (H₂O) zararlı değildir ve kirletici bir özellik taşımamaktadır. Karbondioksit (CO₂) doğrudan insan sağlığı ve çevre üzerinde zararlı etkilere sahip değildir. Ancak, yanma sonucu atmosfere en çok salınan ve sera etkisi yapan gazdır. Yanmaya katılan hava gerekenden çok veya az olabilir. Yanmaya katılan hava gereken miktarda olsa bile, yanma odasında yakıt ile havanın iyi karışmaması nedeniyle zengin ve fakir karışım bölgeleri oluşabilmekte ve tam yanma gerçekleşmeyebilmektedir. Ayrıca motorlarda yanma için yeterli zaman olmayışı eksik yanma ürünleri üzerinde etkili olmaktadır. Hidrokarbon yakıtlar içerisinde bulunan farklı oranlardaki kükürt ve yakıtta çeşitli nedenlerle eklenen katkı maddeleri de yanma sonucunda kirletici madde olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla içten yanmalı motorlarda yanma sonucunda yanmamış hidrokarbonlar (HC), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), aldehitler (R:CHO) ve partiküller (is, metaller, sıvı yağ ve yakıt tanecikleri), kükürt dioksit (SO₂) ve kurşun bileşenleri kirletici olarak ortaya çıkmaktadır [40]. Bu emisyonların zehirleyici niteliği yanında atmosferde uzun süre kalmaları durumunda, fotokimyasal sise ve asit yağmurlarına neden olmaları diğer emisyon kaynaklarına göre taşıt egzoz emisyonlarını daha önemli yapmaktadır [39].

Bu bölümde dizel yakıtı, biyodizel, biyoetenol ve karışım yakıtların kullanılmasıyla ölçülen karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x) ve duman emisyonları değerleri dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak grafikler ve tablolar halinde verilmiş, sonuçlar yorumlanmıştır.

5.2.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları Değişimi

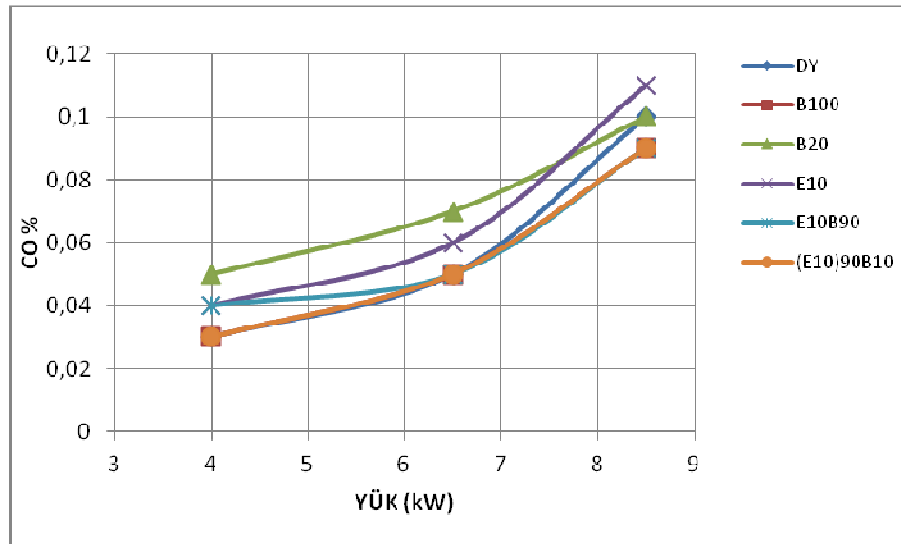
CO emisyonları içten yanmalı motorlarda birçok parametreye bağlıdır. Yanma işlemi sırasında yakıtın tam yanmamasından kaynaklanır. Gaz sıcaklığının düşük olması, yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂'ye dönüşüm için yeterli zamanın olmamasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırır. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Eğer HFK 1'den küçük ise, yani karışım zengin bir karışım ise yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıttaki karbonun tümü CO₂'e dönüşemeyerek bir kısmı CO oksitlenecektir. Dizel motorları fakir karışımla çalışan (HFK>1) motorlar olduğundan egzoz emisyonlarında az miktarda CO görülmektedir. Bu değer benzinli motorlara göre çok düşüktür. Dizel motorlarında CO oluşmasının ana nedeni yanma odasındaki yerel zengin karışımlar ve yanma süresinin

yetersiz oluşu şeklinde açıklanmaktadır. Motorda silindir içinin tümü ele alındığından oksijen genel olarak yetersiz kalacağı gibi, karışımın tam homojen olmaması durumunda da silindir içinde belirli bir konumda yerel olarak da yetersiz olabilmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi CO emisyonunun oluşumu büyük ölçüde hava fazlalık katsayısına (HFK) bağlıdır [41].

DY, B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 yakıtlarının kullanılmasıyla elde edilen karbon monoksit emisyonu değerleri Tablo 5.5.'te verilmiştir. Ayrıca; Şekil 5.5.'te karbon monoksit (CO) emisyonu değişimi grafiksel olarak gösterilmektedir. Şekil 5.5. ve Tablo 5.5.'deki değerler incelendiğinde motor yükünün artmasıyla test yakıtlarının CO emisyonlarının arttığı görülmektedir. Dizel yakıtı, biyodizel, biyoetanol ve karışımları ile birlikte kullanıldığında elde edilen CO emisyonu değerleri dizel yakıtı kullanımına göre düşük yüklerde ve yüksek yüklerde hemen hemen aynı olduğu %1-2 oranını da bir artış ve azalış olduğu görülmektedir. Literatürleri incelediğimizde ise dizel yakıtına göre biyodizel ve biyoetanol karışımlarının CO emisyonlarının azaldığı bilinmektedir. Genel olarak dizel motorlarda bütün yakıt türleri için egzoz emisyonlarındaki CO yüzdesinin çok küçük bir değer olduğu söylenebilir.

Tablo 5.5. Deney yakıtlarının karbon monoksit (CO) emisyon değerleri

YÜK KW	DY	B100	B20	E10	E10B90	(E10)90B10
4	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03
6,5	0,05	0,05	0,07	0,06	0,05	0,05
8,5	0,1	0,09	0,1	0,11	0,09	0,09



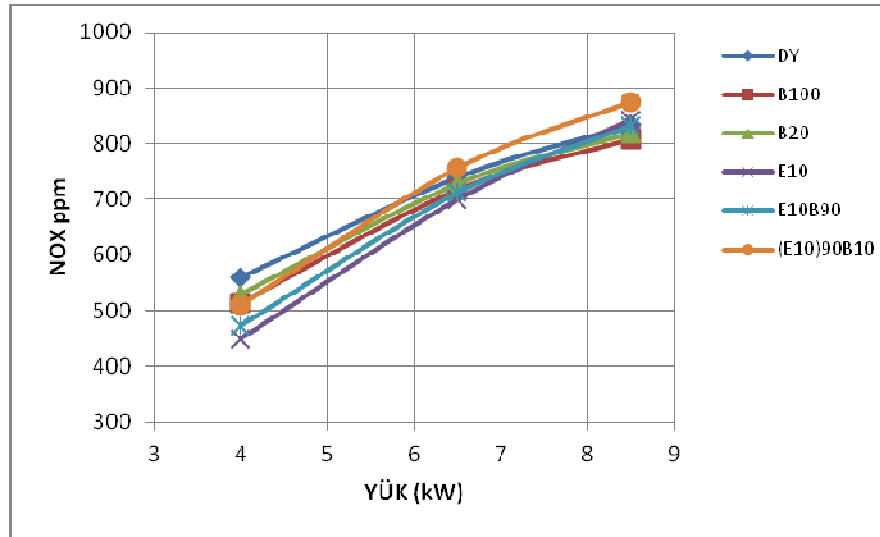
Şekil 5.5. Deney yakıtlarının karbon monoksit (CO) emisyon değerleri değişimi

5.2.2 Azot oksit (NO_x) Emisyonları Değişimi

NO_x terimi NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam konsantrasyonunu gösterir. Dizel motorlarında kullanılan fazla havanın oksijeni, aşırı sıcak ortamlarda yeterli zamanı bulunduğu azot ile reaksiyona girerek NO_x'leri oluşturur. Normal şartlar altında havanın içinde azot (N₂) yanma sonucu reaksiyona girmez. Ancak motor içindeki yanmada ulaşılan yüksek sıcaklıklarda, havanın içerisindeki azotun oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler (NO_x) meydana gelmektedir. Azot içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijen ile temasında N'un bir kısmı NO₂ ve öteki NO_x'lere dönüşmektedir. Sonuç olarak, azot oksit oluşumunu silindir içi sıcaklığın büyük ölçüde etkilediği, sıcaklık arttıkça azot oksidin hızla arttığı anlaşılmaktadır. Azot oksit oluşumunu etkileyen bir diğer parametre de hava fazlalık katsayısıdır. HFK=1,1 civarında azot oksit oluşumu en fazla olmaktadır. Ancak HFK 1,1'den büyük olursa, yani daha fakir karışım halinde, silindir içi sıcaklık, reaksiyona giren gaz miktarının azalması ile düşecek ve NO_x emisyonunda hızlı bir azalma gözlenecektir [42].

Tablo 5.6. Deney yakıtlarının azot oksit (NO_x)ppm emisyon değerleri

YÜK KW	DY	B100	B20	E10	E10B90	(E10)90B10
4	559	515	530	450	474	510
6,5	739	717	728	700	712	755
8,5	834	808	819	843	832	874



Şekil 5.6. Deney yakıtlarının azot oksit (NO_x) emisyon değerleri değişimi

DY, B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 yakıtları ile ölçülen azot oksit emisyonları (NO_x) Tablo 5.6.'da verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.6.'da dizel yakıt hacimsel olarak belli oranda biyodizel ve biyoetanol ilavesinin NO_x emisyonlarına etkisi motor yüküne bağlı olarak değişimi görülmektedir. Motor yükü arttıkça NO_x artmaktadır. Saf biyodizel ve dizel yakıtına biyodizel ilavesi NO_x emisyonunda referans yakıt dizele göre düşük seviyelerdedir. Bu düşüş dizel yakıtı içindeki biyodizel oranının artmasıyla orantılı olarak düştüğü görülmektedir. Biyodizel yakıtı içerisinde %10 civarında oksijen bulunması yanma performansını iyileştirmekte ve yanma sonu sıcaklıklarının artması sonucu ve ayrıca biyodizelin özgül yakıt tüketiminin daha yüksek olmasından dolayı NO_x emisyonlarının düşük çıkmasına sebep olmaktadır. Dizel yakıtına hacimsel olarak belli oranda biyoetanol ve biyoetanol-biyodizel karışımları ilave edildiğinde NO_x emisyonun referans yakıt dizele göre düşük yüklerde ve yüksek yüklerde azaldığı görülmektedir. Fakat (E10)90B10 yakıtında ise yüksek yüklerde artış görülmektedir. Saf biyoetanol ve saf biyodizel karışımında (E10B90) ise dizel yakıtına göre düşük yüklerde ve yüksek yüklerde NO_x emisyonu azalmıştır. Karışım içerisindeki biyoetanol miktarı arttıkça NO_x seviyesi referans yakıt dizel göre azalmaktadır. Bu azalışın nedeni ise, karışımın setan sayısının düşük olmasına bağlı olabilir. Daha önceden bahsedildiği gibi yanma sıcaklıklarının artmasıyla da NO_x emisyonlarında artış görülmektedir. Fakat bu çalışmada beklenen artış görülmemektedir. Yüksek yüklerde (E10)90B10 yakıtının NO_x emisyonunun fazla olması bu düşmeyi doğrulamaktadır.

Test yakıtları arasında en düşük NO_x emisyonları düşük yüklerde E10 yakıtında, yüksek yüklerde ise B100 yakıtında elde edilmiştir. En yüksek NO_x emisyonları ise düşük yüklerde dizel yakıtında yüksek yüklerde ise (E10)90B10 yakıtından elde edilmiştir. Genel olarak biyodizel, biyoetanol ve karışım yakıtları kullanıldığında dizel yakıtı kullanımına göre daha düşük NO_x emisyonları elde edilmiş ve B100, B20, E10 ve B90E10 kullanımında dizel yakıtı kullanımına göre ortalama olarak, sırasıyla %4,3, %2,6, %6,6, %5,4 daha düşük fakat (E10)90B10 yakıtı çok az bir oranda yüksek NO_x emisyonu ölçülmüştür. Biyodizel ve karışımları kullanıldığında da özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre yüksek olması ve içerisinde oksijen içermesine rağmen daha düşük NO_x emisyonları elde edilmesi yakıtın dizel yakıtına göre yüksek setan sayısı ve daha düşük parlama noktasına sahip olması ile açıklanabilir. Setan sayısının artması ile NO_x emisyonları azaldığı literatürden bilinmektedir [18] [22] [38].

5.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları Değişimi

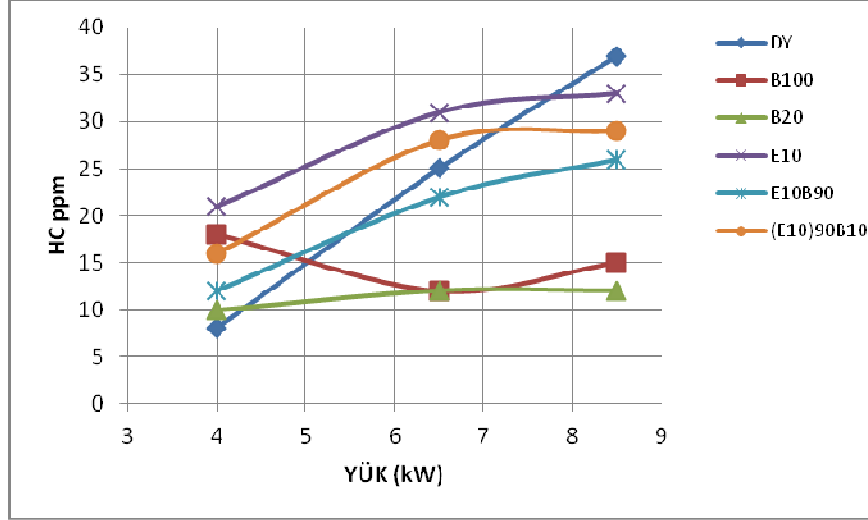
Egzoz gazları içerisindeki hidrokarbon bulunması yakıtın tam olarak yakılmadığını gösterir. Hidrokarbon oluşumunun ana nedeni sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması sonucunda (HFK 1'den küçük–zengin karışım) yanmanın tamamlanamamasıdır. [20] [41].

HC emisyonları yanma odası tasarımı, yakıt cinsi, enjeksiyon sistemi ve çalışma parametresi ile yakından ilişkilidir. Hava- yakıt oranı, motor hızı ve yükü, ana çalışma değişkenleri olarak alındığında yanma odası ve dolgu sistemi tasarımı önemli iki tasarım parametresidir. Silindir hacmi, yanma odasının şekli, silindir çapı, kurs boyu ve sıkıştırma oranı, yanma odası yüzey/hacim oranı HC emisyonlarını etkilemektedir. Bununla birlikte HC emisyonları yanmanın özellikle yavaş seyrettiği çevrimlerde hava/yakıt oranı ve püskürtme zamanının tam ayarlanmaması sebebiyle, yanmanın tam gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır. HC miktarı yanmamış yakıt taneciklerinin oranıyla birlikte artmaktadır [43].

DY, B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 yakıtları ile ölçülen Hidrokarbon (HC) değişimleri Tablo 5.7.'de verilmiştir. Şekil 5.7.'de dizel yakıtı hacimsel olarak belli oranda biyodizel ve biyoetenol ilavesinin HC emisyonlarına etkisi motor yüküne bağlı olarak değişimi görülmektedir. Grafik incelendiğinde motor yükü arttıkça HC miktarı genel itibarıyla artmaktadır. Saf biyodizel ve dizel yakıtına biyodizel ilavesi HC emisyonunda referans yakıt dizel göre düşük yüklerde yüksek seviyelerde fakat yüksek yüklerde ise bu oran düşmektedir.

Tablo 5.7. Deney yakıtlarının azot oksit (HC)ppm emisyon değerleri

YÜK KW	DY	B100	B20	E10	E10B90	(E10)90B10
4	8	18	10	21	12	16
6,5	25	12	12	31	22	28
8,5	37	15	12	33	26	29



Şekil 5.7. Deney yakıtlarının Hidrokarbon (HC) emisyon değerleri değişimi

Dizel yakıtına hacimsel olarak belli oranda biyodizel ve biyoetanol-biyodizel karışımları ilave edildiğinde HC emisyonunun referans yakıt dizele göre düşük yüklerde az bir oranda yüksek çıkarken, yüksek yüklerde HC emisyonunun azaldığı görülmektedir. Saf biyoetanol ve saf biyodizel karışımında (E10B90) ise dizel yakıtına göre düşük yüklerde yüksek çıkarken, yüksek yüklerde HC emisyonu azalmıştır. Test yakıtları arasında en düşük HC emisyonları düşük yüklerde DY yakıtında, yüksek yüklerde ise B100 ve B20 yakıtında elde edilmiştir. En yüksek HC emisyonları ise düşük yüklerde E10 yakıtında yüksek yüklerde ise dizel yakıtından elde edilmiştir. Genel olarak biyodizel, biyoetanol ve karışım yakıtları kullanıldığında dizel yakıtı kullanımına göre daha düşük HC emisyonları elde edilmiş. Dizel ve biyodizel karışımına biyoetanol ilavesi HC emisyonunun azalmasına yol açmıştır. HC emisyonlarındaki bu düşüş yanma olayının iyileşmesi ve yanma veriminin yüksek olmasıyla açıklanmaktadır. Ayrıca biyoetanol yakıtının içerisinde bulunan karbon miktarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurması HC emisyonlarının azalmasında önemli bir etken olduğu söylenebilir[20]. Fakat genel itibariyle düzensiz yanmadan dolayı verimli bir sonuç elde edilememiştir.

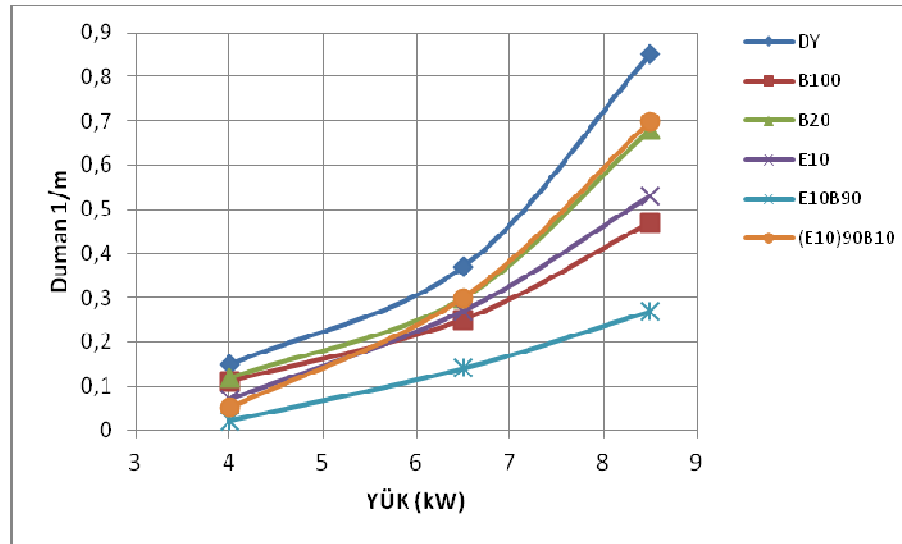
5.2.3. Duman (İs) Emisyonları Değişimi

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda is, hidrokarbonların erimesiyle bir difüzyon alevinin yanma noktalarının yakıtça zengin tarafında oluşur. Yerel sıcaklık değişimi ve

oksijen konsantrasyonu dağılımı is oluşum mekanizmasının temel fiziksel büyüklükleridir. Bununla beraber yakıtın yüksek oksijen içeriği, düşük C/H oranı ve aromatik bileşenlerin olmaması duman oluşumunda önemli bir etkiye sahiptir [18].

Tablo 5.8. Deney yakıtlarının duman emisyon değerleri

YÜK KW	DY	B100	B20	E10	E10B90	(E10)90B10
4	0,15	0,11	0,12	0,07	0,02	0,05
6,5	0,37	0,25	0,3	0,27	0,14	0,3
8,5	0,85	0,47	0,68	0,53	0,27	0,7



Şekil 5.8. Deney yakıtlarının duman emisyon değerleri değişimi

DY, B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 yakıtlarının kullanılmasıyla elde edilen duman emisyonu değerleri Tablo 5.8.'de görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.8.'de dizel yakıtı hacimsel olarak belli oranda biyodizel ve biyoetanol ilavesinin duman emisyonlarına etkisi motor yüküne bağlı olarak değişimi görülmektedir. Motor yükü arttıkça duman emisyonu artmaktadır. Saf biyodizel ve dizel yakıtına biyodizel ilavesi duman emisyonunda referans yakıt dizele göre düşük seviyelerdedir. Bu düşüş dizel yakıtı içindeki biyodizel oranının artmasıyla orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Dizel yakıtına hacimsel olarak belli oranda biyoetanol ve biyoetanol-biyodizel karışımları ilave edildiğinde duman emisyonun referans yakıt dizele göre düşük yüklerde ve yüksek yüklerde azaldığı görülmektedir. Saf biyoetanol ve saf biyodizel karışımında da (E10B90) aynı şekilde dizel yakıtı göre düşük yüklerde ve yüksek yüklerde duman emisyonu

azalmıştır. Sonuç olarak biyodizel, biyoetanol ve karışımları kullanıldığında dizel yakıtına göre daha düşük duman (is) emisyonları ölçülmüştür. Bu değerler ortalama olarak, B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10 yakıtları kullanıldığında ölçülen duman yoğunluğu değerleri dizel yakıtı kullanımına göre sırasıyla %40, %20, %35,5, %68,8 ve %22,2 oranında daha düşük olmuştur. Biyodizel, biyoetanol ve karışımları kullanıldığında duman miktarının dizel yakıtına göre düşük çıkmasının nedeni biyodizelin ve biyoetanolün oksijen içermesidir. Nitekim yakıt türlerindeki biyodizel ve biyoetanol oranının artmasıyla duman miktarının azaldığı Şekil 5.8.'de görülmektedir. Biyodizel kullanıldığında daha düşük duman oluşumunun bir başka nedeni ise biyodizelin karbon içeriğinin dizele göre daha düşük olması olabilir. Biyodizel kütleli olarak %76.74, biyoetanol %52,1 oranında karbon içerirken dizel yakıtında bu değer %87.12 olduğu görülmektedir (Tablo 4.1.). Daha düşük karbon içeren biyodizel ve biyoetanolün yapısındaki oksijen yanma sırasında oksitlenme miktarını artırarak duman oluşumunu azaltmaktadır. Biyodizelin içerisinde %11 civarında oksijen bulunurken biyoetanolde bu oran %30 civarındadır. Tablo 3.3. görüldüğü gibi biyodizelin ve biyoetanolün aromatik bileşenleri içermemesi duman emisyonlarında önemli azalmalar sağlamaktadır. Ayrıca, biyodizel ve biyoetanolün ısı değerinin dizel yakıtına göre düşük olmasının da duman oluşumunu azalttığı söylenebilir.

İs oluşumunun önemli parametrelerinden biriside yakıtın setan sayısı olduğu bilinmektedir. Setan sayısı 70'den büyük olan aromatik yakıtlar isli olarak yanmaktadır. Bu nedenle yakıtların setan sayısı arttıkça is oranı da artmaktadır. Deney sonuçlarına bakıldığında yüksek yüklerde en fazla is dizel yakıtında görülmektedir. Dizel yakıtı setan sayısının diğer yakıtlara yüksek olması dikkate alındığında is oluş miktarı sıralamasının uygun olduğu anlaşılmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dizel motorlarda biyoetanol ve dizel yakıtı karışımlarının kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla dizel yakıtı ve biyoetanol-dizel yakıtı karışımı 3 silindirli ve direk püskürtmeli dizel motorlu bir jeneratörde sabit devir ve değişik yük şartlarında test edilmiş, performans ve emisyon parametreleri incelenmiştir. Ayrıca, atık kızartma yağlarından üretilen biyodizel ve onun dizel yakıtı ile karışımı ve dizel-biyodizel-biyoetanol karışımı da test edilmiştir. Batmanda özel bir hastanenin yemekhanesinden temin ettiğimiz kızartma yağını, Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Rafineri ve Petro-Kimya programı laboratuvarında transesterifikasyon, sonucu biyodizele dönüştürülerek, dizel yakıtı, biyoetanol karışım yakıtlarının üç kademeli yükte ve sabit motor devrinde (1500d/d) yapılan çalışmada yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları belirlenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan değerler sonucu efektif verim, özgül yakıt tüketimi, egzoz emisyon değerleri belirlenerek tablo ve grafikler halinde verilmiştir. Biyodizel, dizel, biyodizel-dizel, dizel-biyoetanol ve dizel-biyodizel-biyoetanol karışım yakıtlarının (DY, B100, B20, E10, B90E10 ve (E10)90B10) efektif verimi, özgül yakıt tüketimi, egzoz emisyonu, dizel yakıtı ile karşılaştırılarak deney sonuçları değerlendirilmiş ve sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Yakıt tüketimi incelendiğinde tüm test yakıtlarında yükün artmasıyla birlikte bir artış görülmüştür. Yakıt tüketimi düşük yüklerde düşük iken yüksek yüklerde yükselmiştir. Biyoetanol biyodizel ve karışım yakıtlarının yakıt tüketimleri dizel yakıtı kullanımına göre yüksek çıkmıştır. En yüksek yakıt tüketimi değerleri (E10)90B10 yakıtı kullanıldığında elde edilmiş, karışım yakıtlarında biyodizel ve biyoetanol oranının artmasıyla da yakıt tüketimi artış göstermiştir. Bunun nedeni biyodizelin ve biyoetanolün ısı değerinin düşük olmasından dolayı dizel yakıtı ile aynı güç üretebilmesi için daha fazla miktarda yakıtın püskürtüldüğünü ve yüksek viskozitenin bir sonucu olarak karışım oluşumu ve yakıt atomizasyonunun kötüleşmesinin de yakıt tüketimini artıracığı literatürden alınan bilgiler doğrultusunda tahmin edilmektedir.

Özgül yakıt tüketimleri incelendiğinde tüm test yakıtlarında yükün artmasıyla birlikte bir azalma görülmüştür. Özgül yakıt tüketimi düşük yüklerde yüksek iken yüksek yüklerde düşmüştür. Buda yüksek yüklerde yanmanın iyileşmesiyle açıklanabilir. Tüm yakıt türleri arasında en düşük özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtı kullanıldığında, en

yüksek özgül yakıt tüketiminin de (E10)90B10 kullanıldığında elde edildiği gözlemlenmiştir. Dizel yakıtın içerisine biyodizel ve biyoetanol ilave edilmesi özgül yakıt tüketimini artırmaktadır. Biyodizel ve karışım yakıtlarının viskozitesi ve yoğunluğu dizel yakıtınınkinden yüksek olması özgül yakıt tüketiminin yüksek olmasının nedenleri arasındadır. Biyoetanol ilavesinin özgül yakıt tüketiminde artışa sebep olması karışım içerisine biyoetanol ilavesiyle orantılı olduğu görülmektedir. Dizel ve biyodizel içerisine biyoetanol ilave ettikçe motor momentinin düşmesinden dolayı motor gücü azalmakta ve özgül yakıt tüketiminde bir artışa sebep olmaktadır.

Motor efektif verim incelendiğinde yükün artmasıyla orantılı olarak bir artış görülmektedir. Dizel+biyodizel karışımlarında referans yakıt dizele göre bir miktar azalma görülmüştür. Bu azalmanın karışım içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla orantılı olduğu görülmüştür. Dizel-Biyoetanol karışımlarında dizel yakıtı göre efektif verim düştüğü ancak dizel-biyodizel karışımlarına göre yükseldiği görülmektedir. Dizel+biyodizel+biyoetanol karışımlarında ise efektif veriminin düştüğü ve yanmanın kötüleştiği gözlemlenmiştir. Genel olarak karışım içerisindeki biyodizel ve biyoetanol oranı arttıkça motor efektif veriminin azaldığı görülmüştür. Biyodizel kullanıldığında efektif verimin düşmesi viskozitesinin yüksek ve ısıl değerinin düşük olmasına bağlanabilir. Biyoetanol kullanıldığında efektif verimdeki düşüşün nedeni ise karışım içerisindeki biyoetanolün ısıl değerinin düşük olmasının yanında, biyoetanolün viskozitesinin, yoğunluğunun ve setan sayısının düşük olmasından kaynaklanabilir.

Motor egzoz sıcaklık değeri dizel yakıtlarında, dizel-biyodizel, dizel-biyoetanol ve biyodizel-biyoetanol karışımlarında yükün artmasıyla birlikte bir artış görülmektedir. Karışımların egzoz sıcaklık değeri dizel yakıt ile karşılaştırıldığında yine artış gözlenmiştir. En yüksek egzoz sıcaklığı değerleri 8,5 kW'lık motor yükünde (E10)90B10 için 238 °C, olarak ölçülmüştür. Ortalama olarak en yüksek egzoz sıcaklığı değerleri (E10)90B10 yakıtı kullanıldığında elde edilmiştir. Düşük ve yüksek motor yüklerinde B100 kullanımında dizel yakıt kullanımına göre daha yüksek egzoz sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Biyodizelin oksijen içermesi daha iyi bir yanmaya ve bunda daha yüksek egzoz sıcaklığı değerleri vermesine neden olduğu düşünülmektedir.

CO emisyonları incelendiğinde yüke bağlı olarak tüm karışımlarda yükün artmasıyla orantılı olarak bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış yanma esnasında yeterli oksijeni bulmamasından kaynaklanabilir. Dizel-biyodizel, dizel-biyoetanol, dizel-biyodizel-biyoetanol karışımlarında dizel yakıtı göre CO emisyon değerleri incelendiğinde ise dizel

yakıtın CO emisyon değerlerine yakın çıktığı gözlemlenmiştir.

HC emisyonları incelendiğinde yükün artmasıyla orantılı olarak bir artış veya azalma görülmemekte buda karışım yakıtlarının motor içerisindeki düzensiz yanmasından kaynaklandığı tahmin edilmekte. Genel itibariyle incelendiğinde motor yükü arttıkça HC miktarı artmaktadır. Saf biyodizel ve dizel yakıtına biyodizel ilavesi HC emisyonunda referans yakıt dizele göre düşük yüklerde yüksek seviyelerde fakat yüksek yüklerde ise bu oran düşmektedir. Dizel yakıtına hacimsel olarak belli oranda biyodizel ve biyoetanol-biyodizel karışımları ilave edildiğinde HC emisyonun referans yakıt dizele göre düşük yüklerde az bir oranda yüksek çıkarken, yüksek yüklerde HC emisyonunun azaldığı görülmektedir. Genel olarak biyoetanol, biyodizel ve karışım yakıtları kullanıldığında dizel yakıtı kullanımına göre daha düşük HC emisyonları elde edilmiş. Dizel ve biyodizel karışımına biyoetanol ilavesi HC emisyonun azalmasına yol açmıştır. HC emisyonlarındaki bu düşüş yanma olayının iyileşmesi ve yanma veriminin yüksek olmasıyla açıklanmaktadır. Ayrıca biyoetanol yakıtının içerisinde bulunan karbon miktarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurması HC emisyonlarının azalmasında önemli bir etken olduğu söylenebilir.

NO_x emisyonları incelendiğinde; bütün karışımlarda yüke bağlı olarak artış görülmüştür. Dizel-biyoetanol, dizel+biyodizel, dizel+biyodizel+biyoetanol karışımlarında referans yakıt dizele göre bir azalma görülmüştür. Saf biyodizel ve dizel yakıtına biyodizel ilavesi NO_x emisyonunda referans yakıt dizele göre düşük seviyelerdedir. Biyodizel karışımlarında NO_x düşük çıkması setan sayısının yüksek olmasına bağlı olabilir. Bu düşüş dizel yakıtı içindeki biyodizel oranının artmasıyla orantılı olarak düştüğü görülmektedir. Biyodizel yakıtı içerisinde %10 civarında oksijen bulunması yanma performansını iyileştirmekte ve yanma sonu sıcaklıklarının artması sonucu ve ayrıca biyodizelin özgül yakıt tüketiminin daha yüksek olmasından dolayı NO_x emisyonlarının düşük çıkmasına sebep olabilir. Karışım içerisindeki biyoetanol miktarı arttıkça NO_x seviyesi referans yakıt dizel göre azalmaktadır. Bu azalışın nedeni ise, karışımın setan sayısının düşük olmasına bağlı olabilir

Duman is emisyonları incelediğinde ise; tüm yakıtlarda yükün artmasıyla birlikte bir artış görülmektedir. Dizel yakıtına hacimsel olarak belli oranda biyoetanol ve biyoetanol-biyodizel karışımları ilave edildiğinde duman emisyonun referans yakıt dizele göre düşük yüklerde ve yüksek yüklerde azaldığı görülmektedir. Saf biyoetanol ve saf biyodizel karışımında da (E10B90) aynı şekilde dizel yakıtına göre düşük yüklerde ve yüksek yüklerde

duman emisyonu azalmıştır. Sonuç olarak biyodizel, biyoetanol ve karışımları kullanıldığında dizel yakıtına göre daha düşük duman (is) emisyonları ölçülmüştür. Biyodizel, biyoetanol ve karışımları kullanıldığında duman miktarının dizel yakıtına göre düşük çıkmasının nedeni biyodizelin ve biyoetanolün oksijen içermesi olarak açıklanabilir. Biyodizel kullanıldığında daha düşük duman oluşumunun bir başka nedeni ise biyodizelin karbon içeriğinin dizele göre daha düşük olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca setan sayısının artması is oluşumunda etkili olmaktadır.

Yapılan çalışmada elde edilen test sonuçları mevcut biyoetanol ve biyodizelin farklı oranlarda kısa süreli performans testlerinde kullanılmaları durumunda dizel yakıtına yakın sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. Böylece, performans yönünden bir miktar düşüş olsa da egzoz emisyonlarındaki azalma göz önüne alınarak biyodizel ve biyoetanolün önemli bir alternatif yakıt kaynağı olarak kullanılabilceği ortaya konulmuştur. Ayrıca bütün yakıt türlerinin orta yük konumunda çalıştırılması motor performansı ve emisyon açısından daha uygun olacaktır.

Bununla birlikte petrol ürünü yakıtların giderek tükeniyor olması ve maliyet göz önüne alındığında atık kızartma yağından elde edilen biyodizel ve biyoetanol yakıtlarının dizel yakıtlarına belirli oranlarda katılmasıyla hem ekonomik açıdan hem de petrol ürünleri yakıtlarının tüketimi açısından faydalı olacağı tahmin edilmektedir.

Atık kızartma yağından elde edilen biyodizel ve biyoetanol yakıtları karışımlarına bazı katkı maddeleri katılıp vizkozite, yoğunluk ve setan sayısı gibi özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanıp motor verimi ve egzoz emisyonlarında daha verimli sonuçlar alınabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Baliç, F.**, Dizel Motorunda Etil Alkol Fumigasyonunun Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Mayıs 2007
- [2] **Acaroğlu, M.**, AB ve TTürkiye’de biyodizel potansiyeli ve biyodizel üretiminin geleceği. TTürkiye’de bitkisel ve atık/hayvansal yağlardan biyodizel üretiminde durum saptanması. 02 aralık 2005, AAnkara.
- [3] **Yaşar, B.**, Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel üretim ve kullanım olanaklarının Türkiye tarımı ve ab uyum süreci açısından değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı Adana, 2009
- [4] **Sabancı, A., Ören M. N., Yaşar B., Öztürk H. H., Atal M.**, Türkiye’de biyodizel ve biyoetanol üretiminin tarım sektörü açısından değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineler Bölümü 01330 Adana
- [5] **Karaosmanoğlu, F.**, Biyomotorin ve Türkiye, 2007 www.biyomotorin-biyodiesel.com/biomoto.html.
- [6] <http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html>.
- [7] **Çetin, M., Kul, H.**, Erzincan’ın biyodizel yakıt amaçlı tarımsal üretim potansiyeli Erzincan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Otomotiv programı 24109 Erzincan, 5.Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu “Bildiriler Kitabı” Haziran 2009
- [8] **Yamık H.** Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkânlarının araştırılması. Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bil. Ense. Ankara, Türkiye, (2002)
- [9] **Özsezen, A. N., Çanakçı M.** Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi. Analysis of performance and emmissions in a diesel engine fueled with biodiesel and blends. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 15, Sayı 2, Sayfa 173-180 2009,

- [10] **Baydan, E.**, Biyoetanol, metil ester ve dizel yakıt karışımlarının dizel motorlarda kullanımının motor performansına etkisinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Makine Eğitimi Anabilim Dalı Konya 2008
- [11] **Şengil, M.**, Karışım bitkisel yağ etil ve metil esterinin dizel motorlarında kullanılabilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, Mart 2005.
- [12] **Uslu, K.**, Dizel motorlarında farklı püskürtme avanslarında dizel yakıtı+etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisi. Yüksek Lisans Tezi Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı İstanbul 2006
- [13] **Yörük, S.**, İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [14] **Taşyürek, M., Acaroğlu, M.**, Biyoyakıtlarda (biyomotorinde) emisyon azaltımı ve küresel ısınmaya etkisi uluslararası küresel iklim değişikliği ve çevresel etkileri konferansı, Konya (2007).
- [15] **Bayındır, H., Yücesu, S.H.**, Buji ile ateşlemeli motorlarda etanol benzin karışımlarının çevre kirliliğine etkileri. Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji dergisi, Yıl 3, Sayı 2-3, 2000.
- [16] **Altun, Ş., Öner, C.**, Gaseous emission comparison of a compression-ignition engine fueled with different biodiesels International Journal of Environmental Science and Technology ISSN 1735-1472 Volume 10 Number 2 Int. J. Environ. Sci. Technol. 10:371-376 DOI 10.1007/s13762-012-0142-7 (2013)
- [17] **Altun, Ş., Öner, C.** Hayvansal yağların dizel motor yakıtı olarak değerlendirilmesi. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010, (3t)1-11 How to cite this article Evaluation of animal fats as diesel engine fuel electronic journal of vehicle technologies, 2010
- [18] **Öner, C. Altun, Ş.** Hayvansal iç yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretilmesi. Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü – Elazığ Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları; 2008

- [19] **Altun, Ş.** Performance and exhaust emissions of a DI diesel engine fueled with waste cooking oil and inedible animal tallow methyl esters. Department of Machine Education, Technical Education Faculty, Batman University, Turkish J. Eng. Env. Sci. 35, 107-114. C TUBITAK doi:10.3906/muh-1004-108 72100 Batman-TURKEY (2011)
- [20] **Özdemir, M.** Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi Karabük Haziran 2011
- [21] **Ejder, S. B.,** Etanol-dizel, biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2007
- [22] **Demirci, A., Gümüş M., Sayın C., Atmaca M., Binark A. K., Işkan M. O.,** Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda biyodizel- dizel karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisi. Marmara Üniversitesi, İstanbul. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ
- [23] **Oral, M.,** Farklı yakıtlarla dizel motorun performans ve is emisyon karakteristiklerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-93 2008
- [24] **Öner, C., Altun, Ş.,** Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine Applied Energy 86 (2009) 2114-2120
- [25] **Balat, M.,** Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review, Sila Science and Energy Company, 52,858-875.) 2010.
- [26] **Melikoğlu, M., Albostan A.,** Türkiye'de biyoetanol üretimi ve potansiyeli. 2010 Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 26, No 1, 151-160, 2011
- [27] **Meral, R., Kanberoğlu, S. G.,** Tahıllardan etanol üretimi. Ethanol production from cereals. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
- [28] **Acaroğlu, M.,** alternatif enerji kaynakları. Atlas Yayın Dağıtım İstanbul, Temmuz, 2003.

- [29] **Usta, N., Özer, C., ve Öztürk E.**, Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11 (3): 325-334 (2004b).
- [30] **Can, Ö., Çelikten, Ş., Usta, N.**, Etanol karışımli motorin yakıtının dizel motoru egzoz emisyonlarına etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(2): 219-224. 2005
- [31] **Altun, Ş., Öner, C., Yaşar, F., Fırat, M.**, Dizel Motoru Emisyonlarında Yakıt Olarak Biyodizel-Dizel-Etanol Karışımının Etkisi”, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi 2011, (3), 1-6 How to cite this article Altun Ş, Öner C, Yaşar F, Fırat M.,“Effect of a Mixture of Biodiesel-Diesel-Ethanol as Fuel on Diesel Engine Emissions”, Electronic Journal of Vehicle Technologies, 2011, (3) 1-6
- [32] **Çelikten, Ş.**, Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda, dizel ve dizel-etanol yakıt karışımlarının performans ve emisyon değişimlerine etkisi. Teknoloji Dergisi, 7 (1): 11-18 (2004)
- [33] **Şahin, Z.**, Dizel motorlarda dizel yakıtı-hafif yakıt karışımlarının kullanılmasının yanmaya ve motor performansına etkisi. Doktora Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 183 (2002)
- [34] **Aktaş, A., Sekmen, Y.**, Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi. Gazi Üniversitesi, MMF Dergisi, 23 (1): 199-206 (2008)
- [35] **Can, Ö.**, Etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, fen bilimleri enstitüsü, Ankara, (2003)s
- [36] **Örs, İ.**, Benzin-etanol karışımlarının taşıt performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı Konya, 2007
- [37] **Altun, Ş., Yaşar F., Adın H.**, Atık kızartma yağlarının alternatif dizel motor yakıtı olarak değerlendirilmesi. VI. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu, 21-22 Ekim Kayseri 2011
- [38] **Çanakçı, M., Alptekin, E.**, Hayvansal kökenli yağlardan biyodizel üretimi. VI. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu (YEKS 2011), 21–22 Ekim 2011, Kayseri

- [39] **Akyaz, S.**, Benzin-tersiyer bütül alkol ve benzin naftalin karışımlarının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 12-15, 36-149 (2007).
- [40] www.kirklareli.edu.tr/download/by-files/45795920.html Kırklareli Üniversitesi LMYO Emisyon Teknolojileri
- [41] **Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O.A., Arslan, H.**, Taşıtlardan kaynaklanan egzoz kirleticileri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 13-14 (1998).
- [42] **Özer, S., Akçay, M., Gölcü, M., Yazıcı, H.**, Tek silindirli benzinli bir motorda kısmi yüklerde bütanol ilavesinin performansa ve emisyonlara etkisi. J. of Thermal Science and Technology 2012 TIBTD Printed in Turkey ISSN 1300-3615 55 ısı bilimi ve tekniği dergisi, 32, 2, 55-62, 2012
- [43] **Vezir, A.**, Metanol-benzin karışımlarının MgO-ZrO₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 10-92 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

1980 Kahramanmaraş-Afşin doğumluyum. 1997 yılında Osmaniye Teknik Lisesi makine bölümünden mezun olduktan sonra 1999 yılında Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünü kazandım. Buradan 2003 yılında mezun oldum. 2010 ve 2011 yılları arasında Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim dalında derslere girdim. 2011 yılı eylül ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladım. Evli ve iki çocuk babasıyım.

İbrahim AYZ