



**DİZEL-BİYODİZEL KARIŞIMINA METALİK ESASLI KARBON
NANOTÜP KATKI MADDESİ İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANSI VE
EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Elif SÜRER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2020

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.


Elif SÜRER
28/01/2020

DİZEL-BİYODİZEL KARIŞIMINA METALİK ESASLI KARBON NANOTÜP KATKI
MADDESİ İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Elif SÜRER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2020

ÖZET

Bu çalışmada, tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorunda B20 harman yakıtına 25, 50, 75 ve 100 ppm konsantrasyonlarında metalik esaslı karbon nanotüp ilavesinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Testlerin gerçekleştirilmesi için hazırlanan B20 karışım yakıtına ait biyodizel Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Biyodizel Laboratuvarında atık ayçiçeği kızartma yağları kullanılarak transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiştir. Standart dizel ve biyodizel ile hazırlanan harmandan MWCNT (çok duvarlı karbon nanotüp) katkısının ilavesi ile B20MWCNT25, B20MWCNT50, B20MWCNT75, B20MWCNT100 yakıtları elde edilmiştir. Dizel motorunda karbon nanotüp ilaveli yeni yakıtların kullanılmasıyla tam gaz konumunda 1.600, 1.800, 2.000, 2.200, 2400 ve 2.600 dev/dk hızlarında yapılan deneyler sonucunda farklı devir hızları itibariyle tork, güç, özgül yakıt tüketimi, silindir içi basınç egzoz emisyonlarına ait değerler B20 biyodizel harman yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak karbon nanotüp ilaveli harman yakıtın dizel motorlarında kullanılabileceği belirlenmiştir. MWCNT katkı miktarının artışı ile motor gücünde ve motor torkunda artış gözlemlenirken daha iyi bir yanmanın gerçekleşmesi ile özgül yakıt tüketiminde azalmalar görülmüştür. HC, CO ve partikül madde emisyonlarında katkı maddesi ihtivasındaki artışa bağlı olarak azalma gözlenirken NO_x emisyonlarında ise silindir içi basınç ve sıcaklığın yükselmesi nedeniyle artış görülmüştür.

Bilim Kodu : 93008
Anahtar Kelimeler : Egzoz Emisyonları, Karbon Nanotüp Katkısı, Tek Silindirli Dizel Motoru, Yakıt Harmanı
Sayfa Adedi : 63
Danışman : Doç. Dr. Hamit SOLMAZ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF METALLIC BASED CARBON NANOTUBE
ADDITIVE ON DIESEL-BIODIESEL BLEND ON ENGINE PERFORMANCE AND
EXHAUST EMISSIONS

(M. Sc. Thesis)

Elif SÜRER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2020

ABSTRACT

In this study, the effects of adding metallic based carbon nanotubes to B20 blend fuel at 25, 50, 75 and 100 ppm concentrations on engine performance and exhaust emissions were investigated in a single cylinder four-stroke diesel engine. The biodiesel of the B20 mixed fuel prepared to carry out the tests was produced by the transesterification method in Gazi University Automotive Engineering Biodiesel Laboratory using waste sunflower frying oils. B20MWCNT25, B20MWCNT50, B20MWCNT75, B20MWCNT100 fuels were obtained from the blend prepared with standard diesel and biodiesel with the addition of MWCNT (multi-walled carbon nanotube) additive. The results of torque, power and specific fuel consumption results and different exhaust emission values at different engine speeds as a result of testing new fuels with carbon nanotube additions in the diesel engine at full throttle positions at 1,600, 1,800, 2,000, 2,200, 2,400 and 2,600 rpm compared with blended fuel. As a result, it has been determined that carbon nanotube added blend fuel can be used in diesel engines. While an increase in the engine power and engine torque was observed with the increase of MWCNT additive amount, a decrease in specific fuel consumption was observed with a better combustion. While a decrease was observed in HC, CO and particulate emissions due to the increase in additive content, NO_x emissions increased due to the increase in the cylinder pressure and temperature.

Science Code : 93008
Key Words : Carbon Nanotube Additive, Exhaust Emissions, Fuel Blend, Single
Cylinder Diesel Engine
Page Number : 63
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hamit SOLMAZ

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum tez çalışmamın her aşamasında beni yönlendiren, yardımlarını ve mesleki tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hamit SOLMAZ'a, yine mesleki tecrübelerini ve yardımlarını eksik etmeyen Sayın Öğr. Gör. Dr. Alper CALAM ve Dr. Öğretim Üyesi Emre YILMAZ'a ve maddi ve manevi destekleriyle hayatım boyunca bana hep yardımcı olan annem, babam ve kız kardeşime en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tez çalışması, 07/2019-14 nolu Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında yapılmıştır. Katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	9
2.1. Dizel Motorlarda Alternatif Yakıtların Kullanımı	9
2.2. Biyodizel Yakıtı ve Harmanları Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	12
2.3. Nanopartikül Katkılarının Yakıt Harmanlarına İlavesi ile Yapılan Çalışmalar .	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Materyal	25
3.1.1. Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi	25
3.1.2. Üretimde kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	25
3.1.3. Biyodizel üretim aşamaları	28
3.1.4. Biyodizelin dizel yakıtı ile harmanlanması	36
3.1.5. Oluşturulan harmanın karbon nanotüp katkısı ile karıştırılması.....	36
3.2. Deney Motoru	38
3.2.1. Motor test düzeneği ve dinamometre.....	39
3.2.2. Silindir basıncı ölçüm sistemi.....	40
3.2.3. Deney yakıtları.....	41
3.2.4. Egzoz emisyon cihazı	42

	Sayfa
3.3. Yöntem.....	44
3.3.1. Test düzeneği	44
3.3.2. Testlerin yapılışı	45
3.3.3. Performans ve yanma parametreleri	45
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	47
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. SHIMADZU UW620H terazi teknik özellikleri.....	27
Çizelge 3.2. Wisd WiseStir MSH-20D teknik özellikleri.....	28
Çizelge 3.3. Metil alkolün kimyasal özellikleri	28
Çizelge 3.4. Sodyum hidroksitin kimyasal özellikleri	28
Çizelge 3.5. WSA-22t terazi teknik özellikleri.....	38
Çizelge 3.6. Deney motorunun teknik özellikleri	39
Çizelge 3.7. Silindir basıncını ölçen sensörlere ait teknik özellikler.....	41
Çizelge 3.8. Deney yakıtına ait bazı fiziko-kimyasal özellikler	41
Çizelge 3.9. Bosch BEA-550 kombi emisyon cihazının teknik özellikleri	42
Çizelge 3.10. AVL DiSmoke 4000 emisyon cihazının teknik özellikleri.....	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Biyodizel yakıt üretiminin şematik gösterimi.....	3
Şekil 1.2. Transesterifikasyon reaksiyonu	4
Şekil 1.3. Silindir içerisindeki akış için kullanılan kontrol hacmi	7
Şekil 2.1. (a) Jesterroha metil esteri, (b) Jesterroha metil esterin emülsiyon yakıtı ve (c) CNT karışımlı Jesterroha metil esterin emülsiyon yakıtı	16
Şekil 2.2. Nanoparçacık-dizel yakıt karışımlarının hazırlanması	17
Şekil 2.3. Dizel lokomotif motoru	19
Şekil 2.4. HCCI motorunda çok duvarlı karbon nanotüplerin fototermal ateşlemeye maruz bırakılması	20
Şekil 2.5. Deney düzeneği ve kullanılan cihazlar	21
Şekil 2.6. Karbon nanotüp ve MoO ₃	22
Şekil 2.7. Oluşturulan pirolizin şematik diyagramı	23
Şekil 2.8. Deneysel düzenek	24
Şekil 3.1. Atık ayçiçek yağı	26
Şekil 3.2. SHIMADZU UW620H terazi.....	26
Şekil 3.3. Wisd WiseStir MSH-20D	27
Şekil 3.4. Atık yağın ısıtılması.....	29
Şekil 3.5. Atık yağın süzülmesi	30
Şekil 3.6. Isıtılıp süzölmüş atık yağların toplanması	30
Şekil 3.7. Metoksit oluşumu	31
Şekil 3.8. Manyetik karıştırıcı ile ısıtma ve karıştırma işlemi	32
Şekil 3.9. Biyodizel ve gliserin ayrılması	33
Şekil 3.10. Biyodizel yıkama işlemi	34
Şekil 3.11. (a) Kurutmanın başlangıcındaki biyodizel, (b) Kurutulmuş biyodizel.	35
Şekil 3.12. Biyodizelin filtre kağıdından geçirilerek depolanması.....	35
Şekil 3.13. ISOLAB ultrasonik karıştırıcı.....	37

Şekil	Sayfa
Şekil 3.14. WSA-224T hassas terazi.....	37
Şekil 3.15. Tek silindirli, dizel deney motoru.....	38
Şekil 3.16. Cussons P8160 DC dinamometre.	40
Şekil 3.17. Bosch BEA- 550 kombi emisyon ölçüm cihazı.....	43
Şekil 3.18. AVL DiCOM 4000/ DiSmoke 4000 is emisyonuölçüm cihazı	44
Şekil 3.19. Deney test düzeneği	45
Şekil 4.1. Motor devrine bağlı olarak güç değişimi.....	47
Şekil 4.2. Motor devrine bağlı olarak motor torku ve özgül yakıt tüketimi değişimleri	49
Şekil 4.3. Krank açısına bağlı silindir içi basınç ve ısı dağılımı değişimleri.....	50
Şekil 4.4. Motor devrine bağlı efektif termik verim değişimi	51
Şekil 4.5. Motor devrine bağlı olarak CO emisyonlarındaki değişim	52
Şekil 4.6. Motor devrine bağlı olarak HC emisyonlarındaki değişim	53
Şekil 4.7. Motor devrine bağlı olarak NO _x emisyonlarındaki değişim.....	54
Şekil 4.8. Motor devrine bağlı olarak İ _s emisyonlarındaki değişim	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
$\dot{m}$	Kütleli debi (kg/s)
Δh	Entalpi farkı (kJ/kg)
A	Alan (m ²)
b	Özgöl yakıt tüketimi (g/kWh)
c_p	Sabit basınçtaki özgöl ısı (kJ/kgK)
c_v	Sabit hacimdeki özgöl ısı (kJ/kgK)
h	Entalpi (kJ/kg)
H	Güç (W)
$h_{\text{Ç}}$	Çıkış entalpisi (kJ/kg)
h_{G}	Giriş entalpisi (kJ/kg)
M_m	Moment (Nm)
n	Motor devir sayısı
$P_{\text{Ç}}$	Çıkış basıncı (N/m ²)
P_{G}	Giriş basıncı (N/m ²)
R	İdeal gaz sabiti (Nm/kgK)
s	Entropi (kJ/kgK)
$s_{\text{Ç}}$	Çıkış entropisi (kJ/kgK)
s_{G}	Giriş entropisi (kJ/kgK)
T	Sıcaklık (°C)
$T_{\text{Ç}}$	Çıkış sıcaklığı (°C)
T_{G}	Giriş sıcaklığı (°C)
V	Hız (m/s)
v	Özgöl hacim (m ³ /kg)
$V_{\text{Ç}}$	Çıkış hızı (m/s)
V_{G}	Giriş hızı (m/s)
P	Basınç (N/m ² ; Pa)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)

Simgeler	Açıklamalar
-----------------	--------------------

ρ_c	Çıkış yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_G	Giriş yoğunluğu (kg/m^3)
ω	Açısal hız (rad/s)

Kısaltmalar	Açıklamalar
--------------------	--------------------

B0	%100 Biyodizel
B10	%10 Biyodizel+%90 Dizel Yakıt Harmanı
B20	%20 Biyodizel+%80 Dizel Yakıtı Harmanı
B20MWCNT100	%20 Biyodizel+%80 Dizel Yakıtı+100 ppm MWCNT katkısı
B20MWCNT25	%20 Biyodizel+%80 Dizel Yakıtı +25 ppm MWCNT katkısı
B20MWCNT50	%20Biyodizel+%80 Dizel Yakıtı+50 ppm MWCNT katkısı
B20MWCNT75	%20 Biyodizel+%80 Dizel Yakıtı+75 ppm MWCNT katkısı
B30	%30 Biyodizel +%70 Dizel Yakıt Harmanı
B40	%40 Biyodizel +%60 Dizel Yakıt Harmanı
B5	%5 Biyodizel +%95 Dizel Yakıt Harmanı
B50	%50 Biyodizel+%50 Dizel Yakıtı Harmanı
B60	%60 Biyodizel+%40 Dizel Yakıtı Harmanı
B70	%70 Biyodizel+%30 Dizel Yakıtı Harmanı
B80	%80 Biyodizel+%20 Dizel Yakıtı Harman
B90	%10 Biyodizel+%90 Dizel Yakıtı Harmanı
CH₃OH	Metil Alkol
CNT	Karbon Nanotüp
DA100	Dizel Yakıtı+100 ppm Al ₂ O ₃
DA25	Dizel Yakıtı+25 ppm Al ₂ O ₃
DA50	Dizel Yakıtı+50 ppm Al ₂ O ₃
DC	Doğru Akım
DC100	Dizel Yakıtı+100 ppm CNT
DC25	Dizel Yakıtı+25 ppm CNT
DC50	Dizel Yakıtı+50 ppm CNT
DS100	Dizel Yakıtı+100 ppm Silikon Asit
DS25	Dizel Yakıtı+25 ppm Silikon Asit

Kısaltmalar	Açıklamalar
DS50	Dizel Yakıtı+50 ppm Silikon Asit
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
H20D	%20 N-heptanol+%80 Dizel Yakıtı
H40D	%40 N-heptanol+%60 Dizel Yakıtı
MoO₃	Molibden Trioksit
MWCNT	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
NaOH	Sodyum Hidroksit
TS EN 14214	Oto Biyodizel Standardı

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlar, yanma yakıtının uygun sıcaklık ve basınç altında yanması sonucu oluşan ısı enerjisini piston ve krank-biyel mekanizması yardımıyla mekanik enerjiye dönüştüren motorlardır. Günümüzde içten yanmalı motorların önemi oldukça büyüktür. Bu nedenle özellikle otomotiv sektörü için içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların payı da oldukça büyük bir öneme sahiptir.

Dünya genelinde her geçen gün küresel ısınma, hava kirlilikleri ve iklim değişikliklerinin hızlı bir şekilde ilerlemesi, petrol rezervlerinin azalması ve yakıt maliyetleri gibi etmenler otomotiv sektöründeki araştırmacı ve üreticileri alternatif yakıtlar üzerine çalışmalar yapmaya itmiştir. Bu nedenle araştırmacılar ve üreticiler, son yıllarda daha yaşanabilir bir dünya bırakmak ve yakıt maliyetlerini azaltmak amacıyla yenilebilir, sürdürülebilir ve çevre dostu olan biyodizel yakıtlar üzerine yoğunlaşmışlardır. Biyodizel yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar neticesinde hava kirliliğinin önemli ölçüde düşmesi, yakıt ekonomisinin iyileşmesi ve yakıtın daha verimli yanması gibi olumlu sonuçlar alınması üzerine bilim insanları ve üreticiler araştırmalarını genişletmeye karar vermişlerdir. Son zamanlarda birçok araştırmacı ve üretici biyodizel yakıtlar üzerine çeşitli katkı maddeleri ile yakıt harmanları oluşturarak katkı maddelerinin biyodizel yakıtlara etkilerini incelemişlerdir.

Bu çalışmada dört zamanlı ve tek silindirli bir dizel motorda Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Biyodizel Laboratuvarında transesterifikasyon yöntemiyle atık kızartma ayçiçek yağlarından üretilen biyodizel yakıtstandart ultimate dizel yakıtı ile harmanlanacak ve metalik esaslı nanopartikül katkısı ilave edilecek ve dizel motoru üzerinde tam gaz konumunda 1.600, 1.800, 2.000, 2.200, 2400 ve 2.600 dev/dk olmak üzere altı farklı devir hızlarında test edilecektir. Testlerin sonucunda tork, güç ve özgül yakıt tüketimi sonuçları B20 biyodizel yakıt ile karşılaştırılacaktır. Sonuç olarak karbon nano parçacık ilaveli yeni yakıtın dizel motorlarında kullanılabilirliği belirlenecektir.

Dizel ve biyodizel yakıtı

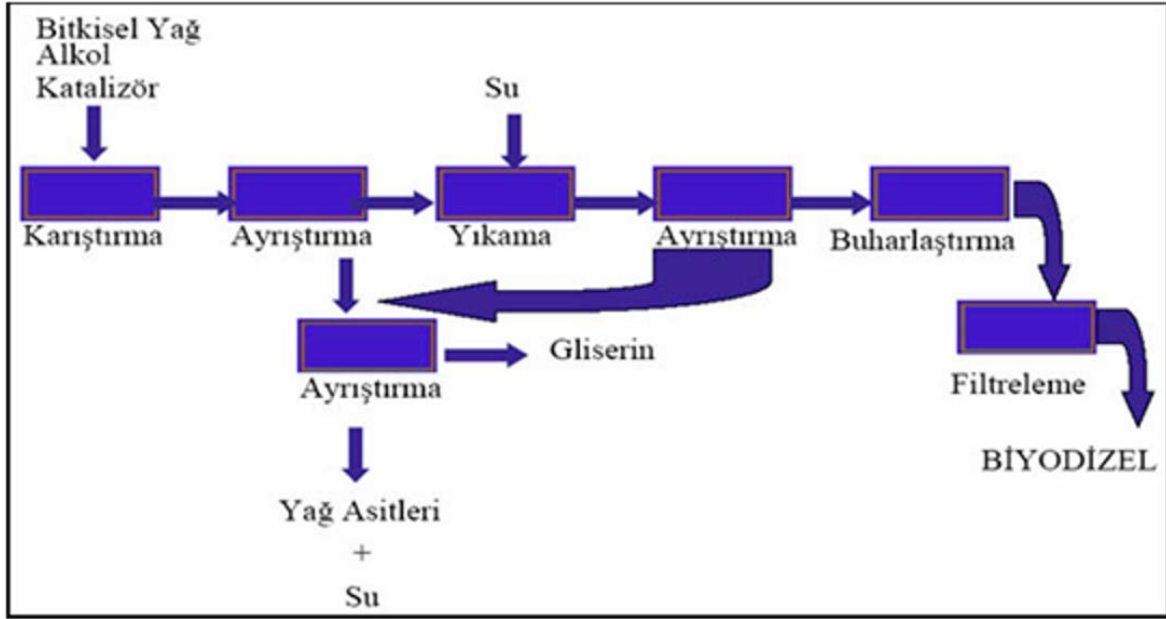
Dizel yakıtı, dizel motorlarında kullanılan, özgül ağırlığı $0,89 \text{ kg/dm}^3$ olan ve ham petrolün $200\text{-}380^\circ\text{C}$ sıcaklığında damıtılma sürecinde elde edilen ürünlerden biridir.

Dizel yakıtının avantajları; benzine göre daha ucuz, daha verimli, tutuşma derecesi 65 °C olmasından dolayı daha az yangın tehlikesi, daha az emisyon sağlaması ve daha fazla tork ve güce sahip olmasıdır. Dizel yakıtının dezavantajları ise; tutuşma sırasındaki basınç ve sıcaklık etkisinden dolayı motor ömrünü azaltması, daha fazla gürültü ve titreşim oluşturmakta ve kimyasal yapılarından dolayı asit yağmurları ve hava kirliliğine sebep olmaktadır.

Biyodizel; ayçiçek, kanola, aspir ve soya gibi tohumu yağlı olan bitkilerden üretilen ve hayvansal veya bitkisel yağların katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile reaksiyona girmesi sonucunda ortaya çıkan yakıtlardır. Biyodizel yakıtların avantajları; yenilebilir bir enerji kaynağı olması, bırakıldığında % 95 oranında 28 günlük bir süreçte çözülebilen, bakteriler tarafından kolay ayrıştırılması ve taşıdığı kükürt miktarının az olması nedeniyle çevre dostu, dizel motorlarında kullanılabilen, alevlenme noktasının dizel yakıtı göre daha düşük olması nedeniyle kullanımı, taşınması ve depolanmasının daha kolay olması, motor ömrünün uzamasına yardımcı olması ve düşük emisyonlar oluşturmalarıdır. Biyodizelin dezavantajları ise; kullanıldığı yerde kimyasal yapısından dolayı oksitlenme yapma özelliğinin bulunması, viskozitelerinin yüksek olması, düşük az da olsa güç miktarında azalmalara neden olmasıdır.

Biyodizel yakıtın eldesi

Biyodizel yakıtının genel olarak elde edilme yöntemlerinden biri transesterifikasyon reaksiyonu ile eldesidir. Şematik olarak Şekil 1.1.'de görülmektedir. Şekil 1.1.'de yer alan aşamalarda da görüldüğü gibi biyodizel, bitkisel yağın katalizör ve alkol ile karıştırılması sonucu oluşan metoksit ile reaksiyona girmesinin sonucunda oluşan bir üründür.



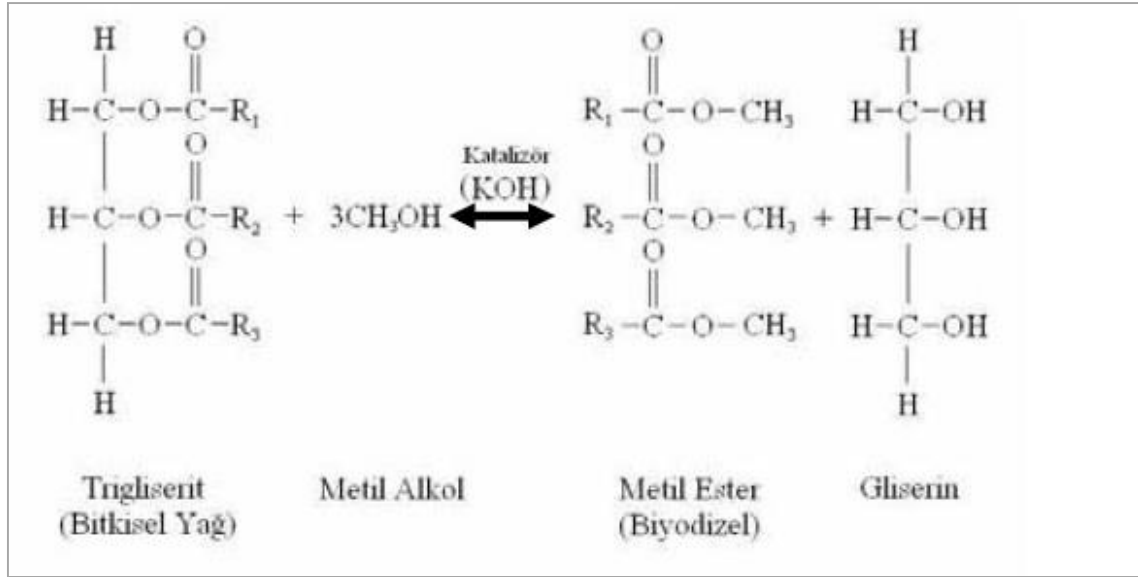
Şekil 1.1. Biyodizel yakıt üretiminin şematik gösterimi

Bu yöntem, kullanılacak olan alkol ve katalizörün trigliserit denen yağ zinciri ile reaksiyona sokulması, yağ asidi alkil esterleri ve yağ gliserinin elde edilmesi sürecidir. Burada bahsedilen yağ asidi alkil esterleri biyodizel olarak adlandırdığımız yakıttır. Yağ asidi alkil esterleri hayvan kökenli veya bitki kökenli yağların transesterifikasyonu ile üretilir. Alkol ve yağın molar oranının 3:1 olması durumunda stokiyometrik transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleşir. Reaksiyonun çıktısı olarak 3 mol yağ asidi alkil esterleri (biyodizel) elde edilirken 1 mol gliserin elde edilir. Teorik olarak kütleli bir hesaplama yaptığımızda 450 gr bitkisel yağ için 90 gr metanol kullandığımızı düşünür isek elde ettiğimiz metoksit yaklaşık 480 gr yağ asidi alkil esterleri içerirken 60 gr gliserin içerir. Ürün dönüşümünü hızlandırabilmek için alkolün molar oranı artırılabilir. Böylelikle reaksiyon süresi daha kısa tutulabilir molar oranın artırılması hedeflenebilir.

Transesterifikasyon işlemini gerçekleştirmek için kullanılan alkol ve katalizör, bunların reaksiyondaki kullanım oranları, reaksiyon süresini ve elde edilen ürünün niteliğini etkilemektedir. Diğer bir parametre ise reaksiyonun sıcaklığıdır. Reaksiyon sıcaklığı alkolün uçuculuğu düşünüldüğünde büyük bir önem arz etmektedir.

Transesterifikasyon reaksiyonunu gerçekleştirmek için metanolün alkol olarak kullanıldığı bir reaksiyon denklemi Şekil 1.2.'de görülmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yine reaksiyonun hızını arttırmak ve ürünlerin eldesinin tamlığını sağlayabilmek için

katalizörler kullanılır. Çoğunlukla kullanılan katalizörler ise sodyum hidroksit ve potasyum hidroksittir. Ayrıca, asit katalizörlerin de kullanıldığı birçok araştırma görülmektedir. Fakat bu asit katalizörlerin bazı dezavantajları vardır. Bunlar asit katalizörlerin alkali katalizörlere kıyasla daha yavaş reaksiyona girmeleri yani reaksiyon süresinin daha uzun tutulması ve bu sebeple alkol oranının yükseltilmesinin gerekmesidir.



Şekil 1.2. Transesterifikasyon reaksiyonu

Dizel motorlarında yanma

Yanma, yanma yakıtının oksijen ile birleşmesi sonucu uygun sıcaklıkta tepkimeye girerek tepkime sonucunda su, karbondioksit ve diğer atık karışımların açığa çıkması olayıdır. Yanma sonucunda belirli bir ısı ve enerji ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu kimyasal enerji, içten yanmalı motorlarda mekanik enerjiye dönüştürülerek hareket sağlanır. Dizel motorlarda yanma ise; sıkıştırma zamanının sonuna doğru atmosferden alınan havanın sıcaklığının 600-900 °C gelmesiyle birlikte sıcaklık ve basıncı artan havanın üzerine enjektör yardımıyla yakıtın püskürtülmesi sonucu oluşan olaydır (Polat, 2011).

İçten yanmalı motorlarda meydana gelen termodinamik süreçler

İçten yanmalı motorlar üzerine çalışan bilim insanları, araştırmacılar ve konunun uzmanları tarafından da bilindiği üzere dizel motorlarda püskürtmenin, benzinli motorlarda ise ateşlemenin en ideal noktada olması açısından termodinamik olaylar çok önemli bir rol

oyunmaktadır. Hem dizel hem de benzinli motorlarda yanmanın gerçekleşmesi ile kimyasal enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Oluşan bu enerji, silindir içerisindeki basınç ve sıcaklığın artmasına dolayısıyla buna bağlı olarak motor pistonu üzerine uygulanan kuvvetin pistonu hareket ettirmesi ve bir işin oluşmasına neden olacaktır. Yani içten yanmalı motorlarda yanma olayı gerçekleşirken hem ısı hem de bir iş oluşumu görülecektir. Bu nedenle termodinamik olayların tabanını meydana getiren bir ısı ve bir işin mevcut olması termodinamik yasaları içten yanmalı motorlar üzerinde de rahatlıkla kullanabileceğimizi göstermektedir.

İçten yanmalı motorlarda silindir içerisine alınan yakıtın yanması sonucu yakıtın kimyasal enerjisi mekanik enerjiye dönüşmektedir. Dolayısıyla kimyasal enerji kaybolmamakta ve farklı bir enerji türüne dönüşmektedir. Dolayısıyla termodinamiğin birinci yasasında; enerjinin asla kaybolmadığını ancak enerjinin bir şekilden başka bir şekle dönüştüğü hususu göz önünde bulundurulduğunda içten yanmalı motorlarda termodinamiğin birinci yasası rahatlıkla kullanılabilir.

Termodinamiğin ikinci yasasına göre enerjinin bir nesneden farklı bir nesneye geçebilmesi veya enerjinin başka bir enerji çeşidine dönebilmesi için aralarında belli bir potansiyelin olması gerekmektedir. Dolayısıyla bir ısı enerjisinin herhangi bir mekanik enerjiye dönüşebilmesi için iki farklı sıcaklığa sahip ısı kaynağı gerekmektedir. Isıl bir makinenin çalışması için bu koşul gerekli olsa da tek başına yeterli olmamaktadır. Çünkü işin oluşabilmesi için farklı sıcaklıklara sahip iki ısı kaynağının birbiri ile teması sonucunda sadece sıcaklıklar eşitlenene kadar yüksek sıcaklık kaynağından düşük sıcaklık kaynağına doğru ısı geçişi olur. Dolayısıyla ısıl bir makinenin çalışması için gerekli olan ısı etkileşimi sağlansa da herhangi bir iş söz konusu olmadığından makine çalışmayacaktır. Ancak iki farklı sıcaklığa sahip bir kapalı çevrim oluşturulması ve çevrim içerisine herhangi bir iş gazı veya maddesi eklenmesi durumunda ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşebilecektir.

İçten yanmalı motorlarda motor silindiri içerisinde gerçekleşen çevrimler karmaşık olaylardır. İçten yanmalı motorlarda ilk olarak dizel motorlar için hava, benzinli motorlar için hava-yakıt karışımı, çok az miktarda da olsa önceki çevrimden arta kalan atık gazlar ile silindire emilir. Oluşan bu karışım piston ve krank-biyel mekanizması yardımıyla sırasıyla sıkıştırılır ve yakılır. Yanma tamamlandıktan sonra yanma yakıtlarına da bağlı olarak genellikle H_2O , CO_2 , N_2 ve SO_2 ile birlikte küçük miktarda diğer bileşikler ortaya

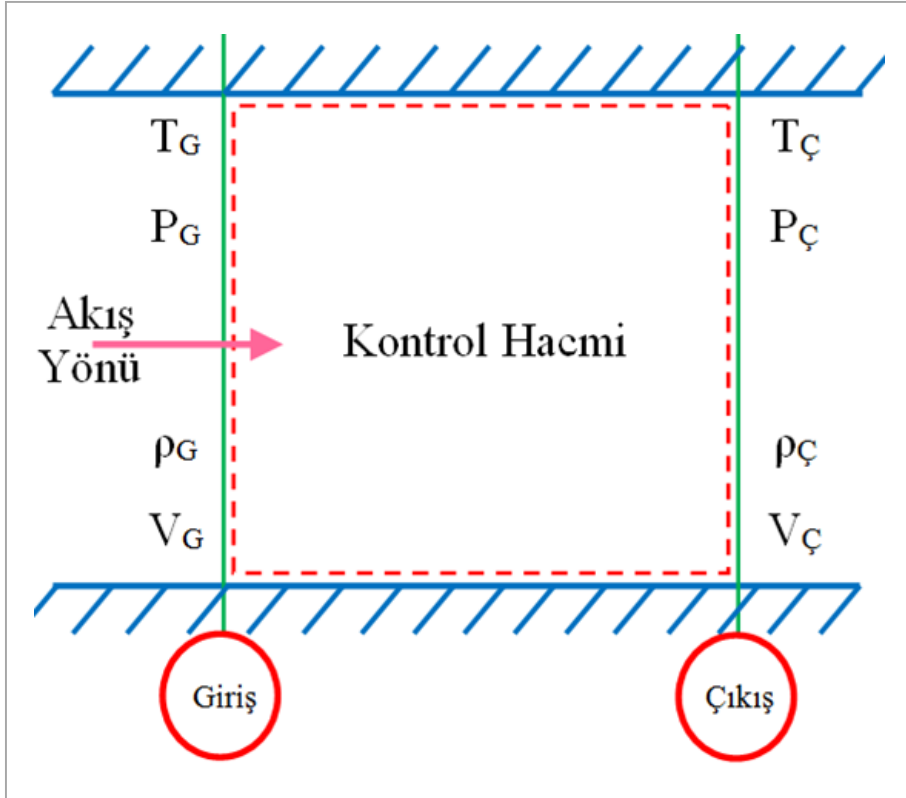
çıkabilir. Burada belirtmek gerekir ki; gerçek bir çevrimde yanma sonucunda oluşan küçük oranlı bileşimleri tespit etmek ve incelemek zordur. Bu nedenle içten yanmalı bir motor silindirleri arasında gerçekleşen çevrimleri daha kolaylaştırmak ve daha sade bir hale getirmek için gerçek bir çevrimi ideal bir hava çevrimine dönüştürmek aşağıdaki kabuller yapılabilir.

1. Silindir içerisindeki karışımın özellikleri değişmez ve bu karışım ideal bir gaz olarak kabul edilebilir. Çünkü bu karışımın sadece % 7'sinin yakıt olması dolayısıyla tamamına yakını hava olması, havanın da sabit bir özgül ısıya sahip olması ile ideal bir gazmış gibi davranması yaptığımız kabulün çevrimin ilk yarısı için oldukça uygun olduğunu göstermektedir. Bunun yanında egzoz ürünlerinin gaz olarak ortaya çıkması da göz önünde bulundurulduğunda yapılan kabulün çevrimin ikinci aşamasında bile çok büyük hatalar oluşturmayacağı görülmektedir.
2. Gerçek bir açık çevrim, egzoz gazlarının bir döngü halinde çevrime tekrar alındığı kabul edilerek kapalı çevrim haline getirilmiştir. Bu kabul analizleri kolaylaştırmak amacıyla giren ve çıkan gazların tamamına yakınının hava olması nedeniyle ideal hava çevrimlerine dolayısıyla ideal gaz denklemlerine uygundur. Kapalı çevrim haline getirilmesindeki amaçlardan bir tanesi de aynı miktardaki bir iş gazının sonsuz sayıda çevrimleri gerçekleştirmesine rağmen miktarında herhangi bir değişimin olmamasıdır.
3. Motor içerisinde meydana gelen yanma olayı; benzinin kullanıldığı çevrimlerde sabit hacimde, dizelin kullanıldığı çevrimlerde sabit basınçta ve karma çevrimlerde ise sabit basınç ve hacimde gerçekleştirilmektedir.
4. Kapalı çevrimde egzoz sürecinde sistem dışına enerji karşılığı olarak bir ısı çıkışı meydana gelmektedir.
5. Motor silindirlerinin cidarları ısı geçirmez yani ısı transferi yoktur ayrıca; çevrimler tersinidirler. Bu durumun doğal bir sonucu olarak sıkıştırma ve genişleme aşamaları izantropik olarak kabul edilir. Herhangi bir aşamanın izantropik olması için çevrimin adyabatik ve tersinir olması gerekir. Isı transferinin olmaması ile adyabatiklik sağlamış olurken bir sistemin izantropik olması için adyabatikliğin yanında sürtünmenin etkilerinin de olmaması gerekir. İçten yanmalı motorlarda piston ve silindirler arasında gerçek hayatta sürtünmeler mevcuttur. Ancak; piston ve silindirlerin çok iyi işlenerek üretilmesi ve yağlamalarının uygun şekilde yapılması ile sürtünmeler en düşük seviyede tutulmaktadır. Bu nedenle akışın gerçekleştiği hacim içerisi sürtünmesiz ve

tersinir olarak kabul edilebilmektedir. Böylece sıkıştırma ve genişleme aşamalarının neredeyse adyabatik ve tersinir olarak kabul edilmesi oldukça doğru bir yaklaşımdır.

6. Emme ve egzoz stroklarının sabite yakın basınçta olmaları nedeniyle basınçları sabit olarak kabul edilebilir (Deniz, 2008).

Yukarıda yer alan kabulleri bir bütün olarak değerlendirdiğimizde içten yanmalı bir motorda silindir içerisinde meydana gelen akışın, sabit alana sahip bir kontrol hacminde sürtünmesiz adyabatik akış olarak nitelendirilebilir. Dolayısıyla Şekil 1.3.'deki gibi bir kontrol hacmi oluşturularak sabit özgül ısılara sahip ideal bir gaz için silindir içerisindeki akış hareketine ilişkin denklemleri oluşturmak yerinde olacaktır.



Şekil 1.3. Silindir içerisindeki akış için kullanılan kontrol hacmi

Nanopartikül katkıları ve karbon nanotüp

Nanoteknolojinin temelini oluşturan nanomalzemeler manyetik, elektrik ve eşsiz optik özellikler taşırlar. Makro dünyaya nispeten bu boyutta nano malzemelerin varlığı ve nano malzemelerin makro yapıdaki malzemelerden çok farklı davranışları nanoteknolojiyi eşsiz kılar.

Grafen ve karbon nanotüpler (CNT) nanomalzemelerin en çok kullanılan  e itleridir. İlk keşfedilen 2D nanomalzeme ise grafendir. CNT'ler sağlık, alternatif enerji kaynakları gibi birçok sektörde sıkl a kullanılmaktadır. Diş hekimliği bran ına ait malzemelerde, biyosensörlerde, enerji kaynaklarında katalizör olarak ve yapay kas yapımında esnek ve sağlam yapıları CNT'lerin bu alanlarda kullanımını yaygın ve mantıklı kılmaktadır. (Najafi ve ark. 2018).

1993 yılından beri karbon nanotüplerin eldesi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmış ve yöntemler geliştirilmiştir. Nanotüpler 1200  C fırında karbonun lazer-buharla tırılmasıyla eldesi karbon ark-buharlaşma metoduyla eldesi, iyonize karbon plazmadan ve yüksüz plazmadan joule ısınmasıyla eldesi gibi metotlarla düzenli nanotüpler üretilmiştir.

Karbon nanotüp maddelere ilişkin yapılan araştırmalar ve çalışmalar incelendiğinde nanopartiküller sınıfında bulunan karbon nanotüp katkısının saf dizel yakıtına, biyodizel-dizel yakıt harmanına ve birçok biyodizel ile harmanlanmış yakıtlara ilave edildiği çalışmalar görüyoruz. Yapılan bu çalışmalarda CNT katkısının eklendiği yakıt harmanlarında motor performansında iyileşmeler kaydediliyor. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda ise bu katkıların yakıt viskozitesi üzerindeki olumlu etkisinden ve içerdiği oksijen yoğunluğundan dolayı dizel-biyodizel harmanları ile sıklıkla test edilmiş olduğunu görülmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Dizel Motorlarda Alternatif Yakıtların Kullanımı

İçten yanmalı motorların icadından günümüze kadar geçen sürede sürekli yeni, yenilenebilir alternatif enerji kaynakları ve alternatif yakıt arayışları süregelmiştir. Araştırmacılar petrol ve motorin yerine yeni yakıt arayışları devamında bu yakıtların katkılı varyasyonlarını deneme ihtiyacında bulunmuştur. Dizel motoru için alternatif olarak kullanılan yakıtlar incelenmek istendiğinde, yapılan araştırmalarda en sık rastlanan karışımlar, dizel yakıtı ile çeşitli oranlarda alkol karışımları, dizel yakıtının bitkisel yağlar ile karışımları, salt bitkisel yağların kullanımı, sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve bunların sıvılaştırılmış hallerine rastlanmaktadır. Bunun dışında eser miktarda dahi olsa çok çeşitli alternatiflerin test edildiği gözlenmektedir.

Ashok ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada limon kabuklarından üretilen yenilenebilir ve biyolojik açıdan doğada çözünebilen bir biyodizel yakıt üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada limon soyma yağının jeneratörler ve içten yanmalı motorlar için uygunluğunu bulmak amacıyla sistematik bir yaklaşım yöntemi seçilmiştir. Öncelikle limon kabuğundan elde edilen yağın, dizel yakıtı göre parlama noktası, kaynama noktası ve viskozitesinin daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Hacimsel olarak % 20, % 40, % 50 ve % 100 olarak dizel yakıtı ilave edilerek karışım yakıtlar hazırlanmış ve fiziksel ve kimyasal olarak dizel motorları için uygunluğu araştırılmıştır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalar neticesinde limon kabuğu yağının düşük setan sayısına sahip olmasının NO_x emisyonlarında, ataşleme gecikmesi süresine ve ısı salınım oranına etkisinin önemli derece etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca limon kabuğu yağının karışımındaki miktarının artmasına bağlı olarak emisyonlarında azalma olduğunu gözlemleyen araştırmacılar geliştirdikleri biyodizelin gelişmekte olan ülkelerde kısmen veya tamamen kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır (Ashok, 2017).

Kolar, Alternatif Enerji Teknolojileri Dergisinde yazdığı köşe yazısında özetle Çevre Kalite Yönetim Sistemlerinin çok önemli olduğunu, enerji ihtiyaçlarımıza bağlı olarak yenilebilir ve yenilemez enerji kaynaklarının entegre edilmesi gerektiğini, aynı zamanda sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmaları ve alternatif enerji teknolojileri üzerine biyodizel yakıtların, biyoyakıtların, yakıt hücrelerinin, fotovoltaiik enerji

sistemlerinin, rüzgar santrallerinin, jeotermal enerjinin kullanılmasının yaygınlaştırılması gerektiğini belirtmiştir (Kolar, 2000).

Korres, Karonis ve Lois, kara tabanlı askeri uçaklar, araçlar ve ekipmanlarda kullanılan yakıtların buzlanması üzerine yaptıkları çalışmayı NATO Tek Yakıt Toplantısı'nda sunmuşlardır. Toplantıda araştırmacıların geliştirmiş olduğu yakıtlar için buzlanmayı önleyici teknoloji değerlendirmeye değer görülmüş olup katkılı yakıtın çevre kirliliğine etkisinin beklenen düzeyden fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle araştırmacılar bu olumsuz özelliği ortadan kaldırarak çalışmalarını ilerletmişlerdir. Sorunu çözebilmek için kullanılan dizel yakıt yerine biyodizel ve diğer yakıt türlerinin değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, Yakıt Teknolojisi ve Yağlayıcılar Laboratuvarında yapmış oldukları çalışmalarda tek silindirli sabit bir dizel motor üzerinde EN-590 standardına sahip dizel, yüksek setan sayılı dizel, ultra düşük kükürtlü dizel, JP-8 ve iki farklı tip biyodizel ile bu yakıtların karışımlarını kullanmışlar ve analiz çalışmalarını fizikokimyasal özellikler açısından tamamlamışlardır (Korres ve ark., 2003).

Korres, Karonis ve Lois, kara tabanlı askeri uçaklar, araçlar ve ekipmanlarda kullanılan yakıtların buzlanması üzerine yaptıkları çalışmayı NATO Tek Yakıt Toplantısı'nda sunmuşlardır. Toplantıda araştırmacıların geliştirmiş olduğu yakıtlar için buzlanmayı önleyici teknoloji değerlendirmeye değer görülmüş olup katkılı yakıtın çevre kirliliğine etkisinin beklenen düzeyden fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle araştırmacılar bu olumsuz özelliği ortadan kaldırarak çalışmalarını ilerletmişlerdir. Sorunu çözebilmek için kullanılan dizel yakıt yerine biyodizel ve diğer yakıt türlerinin değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, NTUA'nın Yakıt Teknolojisi ve Yağlayıcılar Laboratuvarında yapmış oldukları çalışmalarda tek silindirli sabit bir dizel motor üzerinde EN-590 standardına sahip dizel, yüksek setan sayılı dizel, ultra düşük kükürtlü dizel, JP-8 ve iki farklı tip biyodizel ile bu yakıtların karışımlarını kullanmışlar ve analiz çalışmalarını fizikokimyasal özellikler açısından tamamlamışlardır (Korres ve ark., 2003).

Kumar ve arkadaşları, belirli bir güç için motorun temel gereksinimlerini düşük hızlarda yüksek tork üretmelerinden dolayı ağır makine ve ağır nakliye araçlarında dizel motorun kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, dizel motorlarını daha yüksek vuruşu üretmeleri ve daha yüksek sıkıştırma oranlarından dolayı benzin motorlarına tercih etmişlerdir. Araştırmacılar bir IC motorunda saf dizel yağı ile emisyon sonuçlarını ve

yanma özelliklerini geliştirmeyi kendilerine hedef seçmişlerdir. Hedeflerine ulaşmak yani yanma özelliklerini arttırmak ve egzoz gazlarının emisyon özelliklerini iyileştirmek için bir dizel su nanoemülsiyonu geliştirmeyi amaçlamışlardır. Böylece geliştirecekleri nanoemülsiyon katkılı dizel yakıtın motor performansı ve emisyon özelliklerine ne gibi etkilerinin olduğu ve yakıt teknolojilerine ne gibi avantajların sağlandığını araştırmak üzere çalışmalarını ilerletme kararı almışlardır (Kumar ve ark., 2018).

Mishra ve Nayak, bir turboşarjlı dizel motorun üzerinde 23° krank mili açısı, 220 bar ve 1500 dev/dk hızlarında sabit hız ve basınç altında çeşitli yük koşullarında saf dizel ve karışım halindeki hibridbiyodizel yakıt kullanarak yakıtların dizel motor performansına ve emisyon karakteristiklerine etkileri incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma neticesinde karışım biyodizelin saf dizele göre frene özgü yakıt tüketimi ve egzoz gazı sıcaklığının sırasıyla % 4,6 ve % 2,02 daha fazla olduğu, fren termal verimliliğinin ise % 5,68 daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca azot ve karbon dioksit oranlarının saf dizele göre sırasıyla % 2,64 ve % 2,43 daha fazla olduğu, karbon monoksit, hidrokarbon ve duman saflığının ise saf dizel yakıtı göre sırasıyla % 36,87, % 51,5 ve %23,2 daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda geliştirdikleri hibridbiyodizel yakıtı çok fazla motor değişimi olmaksızın dizel yakıtı alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır (Mishra ve ark., 2018).

Palit ve arkadaşları, geleneksel petrol bazlı fosil yakıt rezervlerinin azalması, IC motorlarında yanması sonucu oluşan kirlenici gazların dolayısıyla emisyonların zararlı etkileri nedeniyle içten yanmalı motorlar için alternatif yakıtlar üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. Araştırmacılar bu çalışmalarında IC motorlar için en ideal yakıtın biyodizel olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada Jatropha yağından elde edilen biyodizel yakıtın dizel yakıtı göre avantajları araştırılmış motor performansı ve emisyon özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarına kendilerine benzer nitelikteki çalışmalara göz gezdirerek başlamakla birlikte biyodizel yakıtların dizel yakıtlara göre fren termal verimliliklerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanında yaptıkları araştırmalar neticesinde biyodizel yakıt kullanımının frene özgü yakıt tüketiminin dizel yakıtı göre % 9-14 oranında daha fazla olmasına karşılık çevresel performansa yani hava kirliliğinde ise önemli ölçüde iyileşme elde edildiğini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar yanmamış hidrokarbonlar, yanma sonucu oluşan kurum miktarı, partiküller, poliamatik hidrokarbonlar, kükürt dioksit, karbon monoksit ve karbon

dioksitin biyodizelde kullanılmasıyla emisyonlarda önemli ölçüde azalma olduğunu ayrı ayrı tespit etmişlerdir. Bunun yanında NO_x emisyonunun dizel yakıtına kıyasla daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarının olumlu neticeler verdiğini gören araştırmacılar biyodizel yakıt üzerine yoğunlaşarak çalışmalarını daha da geliştirmeye karar vermişlerdir (Palit ve ark., 2008)

2.2. Biyodizel Yakıtı ve Harmanları Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Literatüre bakıldığında biyodizel üretiminde çeşitli katalizörler ve katkı maddeleri kullanıldığı gibi biyodizel ile oluşturulan yakıt harmanlarına da çok çeşitli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bunun sebebi biyodizel yakıtının dizel motorunda kullanımı ile ilgili bazı zorluklarının bulunmasıdır. Biyodizellerin viskozitesinin ve yoğunluğunun yüksek oluşu, dizel yakıtına göre alt ısı değerinin düşük olması vb. gibi bazı dezavantajları dizel motorlarda kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle biyodizel yakıtının dizel yakıtı ile çeşitli oranlarda karışım yapılarak kullanımı söz konusudur. Bunun yanında alternatif yakıt olarak biyodizelin keşfedilmesinde bu zamana kadar salt biyodizel yakıtı kullanılarak yapılan birçok çalışma mevcuttur.

Akay, atık zeytinyağından transesterifikasyon yöntemi ile ürettiği biyodizeli % 30 biyodizel ve % 70 standart dizel yakıtı olacak şekilde harmanlamış ve motor performans değerlerini ve egzoz emisyonlarını standart dizel yakıtı ile kıyaslamıştır. Testler direkt enjeksiyonlu tek silindirli bir dizel motorunda 2200 d/dk sabit devrinde farklı motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde dizel yakıtı ile harmanlanan biyodizelin ısı değeri daha düşük olduğunu görmüştür. Test edilen değerler arasında en yüksek yük değeri olan 18,75 Nm yükte CO ve is emisyonlarında % 37,5 oranında azalma gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra CO_2 ve NO_x emisyonlarında ise dizel yakıtı emisyonlarına kıyasla daha yüksek değerlere sahip çıkmıştır. Dizel-biyodizel karışımı olan B30 yakıtının verim olarak dizel yakıttan daha düşük olduğu fakat alternatif bir yakıt olarak yakın değerlere sahip olduğunu gözlemlenmiştir (Akay, 2017).

Atadashi, Aroua ve Abdul Aziz, çalışmalarında enerji için sürekli artan talep, petrol kaynaklarının sürekli azalması ve çevre kirliliğinin giderek artması nedeniyle dizel yakıtı alternatif olarak, yenilenebilir, sürdürülebilir ve aynı zamanda çevre dostu olması nedeniyle biyodizel bir yakıtı tercih etmişlerdir. Araştırmacılar dizel motorlarında

kullanılan biyodizel kalitesini daha iyi hale getirebilmek için biyodizel saflaştırma ve ayrıştırma teknolojileri üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarının sonucunda biyodizelin etkin ve verimli ayrıştırılması ve saflaştırılması açısından membran teknolojisinin olumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca; biyodizel yakıt kalitesinin, dizel motorlarda kullanılabileceğini ortaya koymuşlar ve dizel yakıtlara alternatif olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, membran teknolojisinin yanında konvansiyonel biyodizel saflaştırma ve ayrıştırma teknolojisini de incelemişler fakat bu teknoloji ile ortaya çıkan aşırı kayıp enerji ve fazla su tüketimi nedeniyle daha düşük kalitede biyodizel üretildiği sonucuna varmışlardır (Atadashi ve ark., 2010).

Büyükkaya deneysel olarak yaptığı araştırmada, bir dizel motorda motor performansını, emisyonunu ve yanma analizini gerçekleştirmek için standart dizel yakıtı ile % 5, % 20 ve % 70 oranlarda kolza yağından elde edilmiş bir biyodizel yakıtı karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda biyodizel yakıtın dizel yakıtı göre % 60'a kadar daha düşük duman yoğunluğu ve % 11'e kadar daha yüksek fren özgül yakıt tüketimi oluştuğunu gözlemlemiştir. Ayrıca kolza yağından elde edilen biyodizel yakıtın yanma özelliklerinin dizel yakıtına benzerlik gösterdiğini tespit eden Büyükkaya, biyodizel yakıtın maksimum torktaki ve nominal güç şartlarındaki analizleri sonucunda dizel yakıtı göre sırasıyla % 8,5 ve %8 daha yüksek olduğunu görmüştür (Büyükkaya, 2010).

Düzgün, tek silindirli bir dizel motorunda balık yağından ürettiği farklı numune biyodizelleri dizel yakıtı ile farklı yüzdelerde harmanlayarak denediğinde B5, B10, B20 yakıtlarına ait verilerin dizel yakıtı ile yakın motor performans değeri sonuçları verdiğini fakat B50, B80 ve B100 yakıtlarının dizel yakıtından farklı sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Bu durum biyodizel yakıtının viskozitesinin daha yüksek olması ve beraberinde oksijen içeriği bakımından zengin olmasına bağlanmaktadır(Düzgün, 2015).

Kaydırak, farklı oranlarda biyodizel harmanlarını normal emişli ve aşırı doldurmalı motorlar da test etmiştir. Çalışmasında kullanılan biyodizel pamuk yağı metil esteri kullanılarak transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiştir. Çalışma yakıtları standart dizel yakıtı ile % 10, % 20 ve % 50 oranlarında harmanlanmıştır. Ayrıca kıyaslama yapılması açısından tamamen standart dizel olan B0 yakıtı da kullanılmıştır. Yakıt harmanlarının kullanım durumlarını incelemek üzere enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda aşırı doldurmalı motor için B0 yakıtının daha iyi bir alternatif

olacağından ve normal emişli motor için ise B20 yakıtının daha iyi bir alternatif olacağından bahsetmiştir. Aynı zamanda B0, B10, B20 ve B50 yakıtları arasında en yüksek yakıt enerjisi değerinin B20 yakıtına ait olduğunu görmüştür. Ayrıca elde edilen efektif güç değerlerini sırası ile 7,48 kW, 7,63 kW, 8 kW ve 7,61 kW olarak analiz etmiştir. Maksimum efektif güç değerinin B20 yakıtına ait olduğu görülmüştür (Kaydırak, 2019).

Nabi, Akhter ve Shahadat, saf dizel yakıtı ve biyodizel-dizel yakıt karışımlarının yanma ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Araştırmacılar yapısında kükürt içermeyen, bitkisel yağlardan elde edilen, yenilenebilir ve kimyasal olarak mono-alkil yağ asidi esteri olarak da bilinen neem yağını esterleşme yöntemi ile elde edip araştırmalarında neem yağından elde edilen biyodizel yakıtı kullanmışlardır. Nabi, Akhter ve Shahadat, araştırmalarını dört zamanlı, doğrudan emisyonlu bir dizel motorunda gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları araştırma sonucunda dizel-biyodizel karışımlarının karbon monoksit ve duman emisyonlarının saf dizel yakıtına göre daha düşük olduğunu, Azot oksit emisyonlarının ise saf dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (Nabi ve ark.,2006).

Shi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, dizel, metil soyat (soya metil esteri) ve etanol karışımlarından oluşan yeni bir oksijenli dizel yakıtı Cummins-4B dizel motorunda kullanmışlardır. Çalışmalarını ürettikleri karışımı hacimsel olarak % 5, % 20 ve % 75 olmak üzere üç farklı oranda kullanarak yapmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda kullandıkları karışım sayesinde yanma olayıyla oluşan partikül madde emisyonlarında dizel yakıtına göre azalma gözlemlerken NO_x emisyonlarında % 2-14 arasında artışlar gözlemlenmiştir. Bunun yanında karışım yakıttan elde edilen hidrokarbonların dizel yakıtına göre daha düşük olduğunu, karışım yakıtın kullanılması ile asetaldehit, aseton ve propionaldehit emisyonlarında hafif bir artış olduğunu gözlemlemekle birlikte karışım yakıtın yanması sonucunda az miktarda etanol de bulunduğunu tespit etmişlerdir (Shi ve ark., 2006).

Tan, Hu, Lou ve Li, araştırmalarında dizel yakıtı ile % 5,% 10,% 20,% 50 ve% 100 oranlarında jatrpoha yağından elde edilen biyodizel karışımlarının yanması sonucunda ortaya çıkan azot oksit, karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar, duman yoğunluğu, formaldehit, asetaldehit, aseton ve toluen maddelerine ilişkin egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Araştırmalarının sonucunda biyodizel karışımları ile saf dizel yakıtın

düşük ve orta motor yüklerinde NO_x emisyonlarının pek farklı olmadığını gözlemlemişlerdir. Düşük motor yüklerinde biyodizel yakıtların karbon monoksit emisyonunda artış olduğunu gözlemleyen araştırmacılar, biyodizel karışım oranlarının artmasına bağlı olarak hidrokarbon emisyonlarında ve duman yoğunluğunda azalma olduğunu, formaldehit emisyonunun arttığını gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar dizel yakıt ile karışım biyodizel yakıtı karşılaştırdıklarında ise; B5 yakıtının dizel yakıtı göre asetaldehit emisyonunu daha yüksek olduğunu, B100 yakıtının asetaldehit emisyonunun daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun yanında tüm karışım biyodizel yakıtların aseton emisyonlarının dizel yakıtı göre daha yüksek olduğunu ve biyodizel yakıtlarda karışım oranlarının artışına bağlı olarak toluen emisyonunun o kadar düşük olduğunu tespit etmişlerdir (Tan ve ark., 2012).

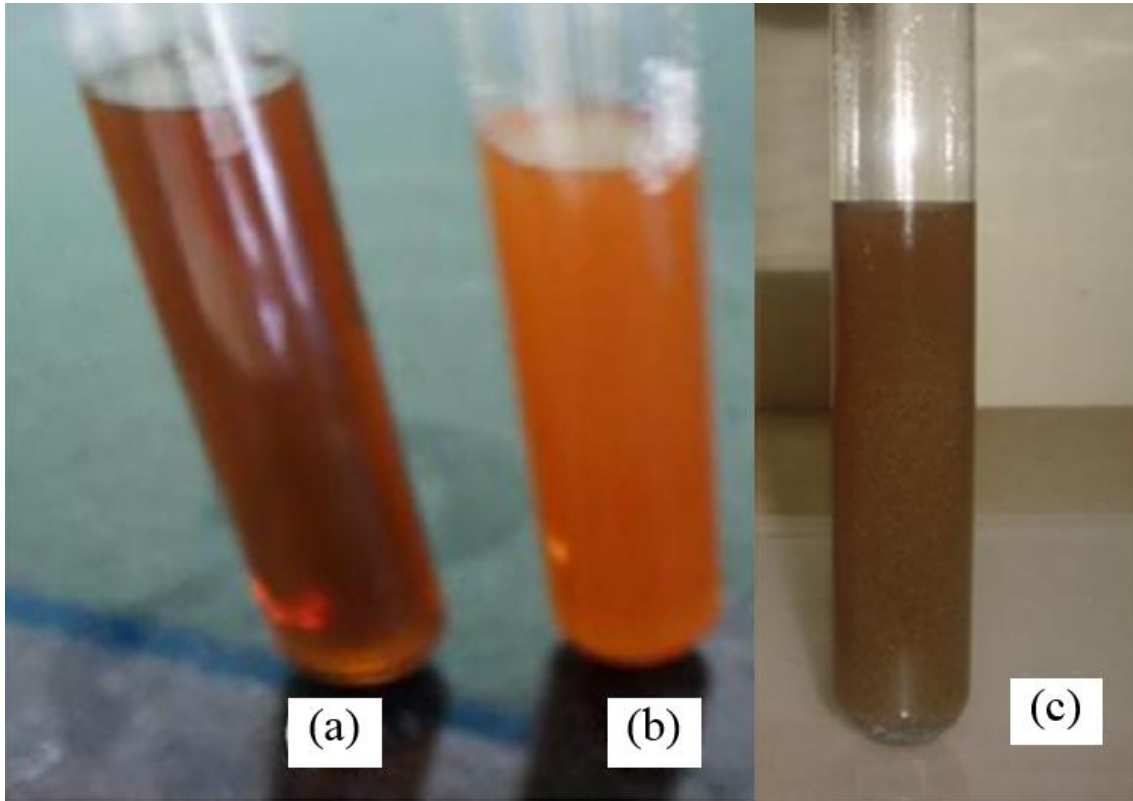
Tan ve arkadaşları, hafif bir dizel motoru üzerinde egzozdan çıkan partikül sayılarını incelemişlerdir. Araştırmalarında dizel, jatropha yağından elde edilen B20, B50 ve B100 biyodizel yakıtları kullanmışlardır. Araştırmalarının sonucunda biyodizel karışım oranına bağlı olarak birikme modu parçacık sayıları azalırken çekirdeklenme modu parçacık sayılarının arttığını görmüşlerdir. Toplam parçacık sayısı konsantrasyonunu büyük oranda çekirdeklenme modu parçacık konsantrasyonu etkilendiğini tespit eden araştırmacılar, biyodizel karışım oranı arttıkça çekirdeklenme modu parçacık konsantrasyonu arttığını dolayısıyla toplam parçacık konsantrasyonu da arttığını gözlemlemişlerdir. Toplam partikül sayısının artışının torkla birlikte arttığını ayrıca tespit eden araştırmacılar bunun yanında partikül sayısındaki değişim özelliklerinin düşük oranlı biyodizel karışımlarında saf dizele benzerirken karışım oranının artmasına bağlı olarak toplam partikül sayısı ve çekirdeklenme modu partikül sayılarında çok bariz bir artışın olduğunu görmüşlerdir. Araştırmacılar ayrıca toplam partikül sayısı ve çekirdeklenme modu partikül sayısının artışına bağlı olarak biriktirme modu partikül sayısının azaldığını hatta saf dizel yakıtı için bitmeye başladığını tespit etmişlerdir (Tan ve ark., 2014).

Usta ve arkadaşları, araştırmalarında düşük fiyatlı, yenilenebilir ve çevre dostu olmalarından dolayı iki aşamalı bir işlemle metanol, sülfürik asit ve sodyum hidroksit kullanarak fındık sabunu/atık ayçiçeği yağı karışımından bir metil ester biyodizeli üretmişlerdir. Araştırmacılar üretmiş oldukları karışım biyodizel yakıtı dört silindirli, dört zamanlı, turboşarjlı ve dolaylı enjeksiyonlu bir dizel motorunda tam ve kısmi motor yükleri altında kullanarak karışım biyodizel yakıtın motor performansı ve emisyonları

üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmalarının sonucunda elde ettikleri sonuçları göre karışım yakıt herhangi bir motor modifikasyonu ve karışım ön ısıtmasının olmaması nedeniyle birçok çalışma koşullarında dizel yakıtın yerini kısmen alabileceğini dolayısıyla ürettikleri biyodizel karışım yakıtın içten yanmalı dizel motorlarında kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır (Usta ve ark., 2005).

2.3. Nanopartikül Katkılarının Yakıt Harmanlarına İlavesi ile Yapılan Çalışmalar

Basha ve Anand çalışmalarında, tek silindirli sabit devirli bir dizel motorunda transesterifikasyon yöntemiyle Şekil 2.1.'de de görüldüğü üzere Jesterroha yağından elde ettikleri yakıt, bu yakıtın emülsiyonu ve CNT ilaveli karışım yakıt olmak üzere üç farklı yakıtı birbiriyle karşılaştırmışlardır.

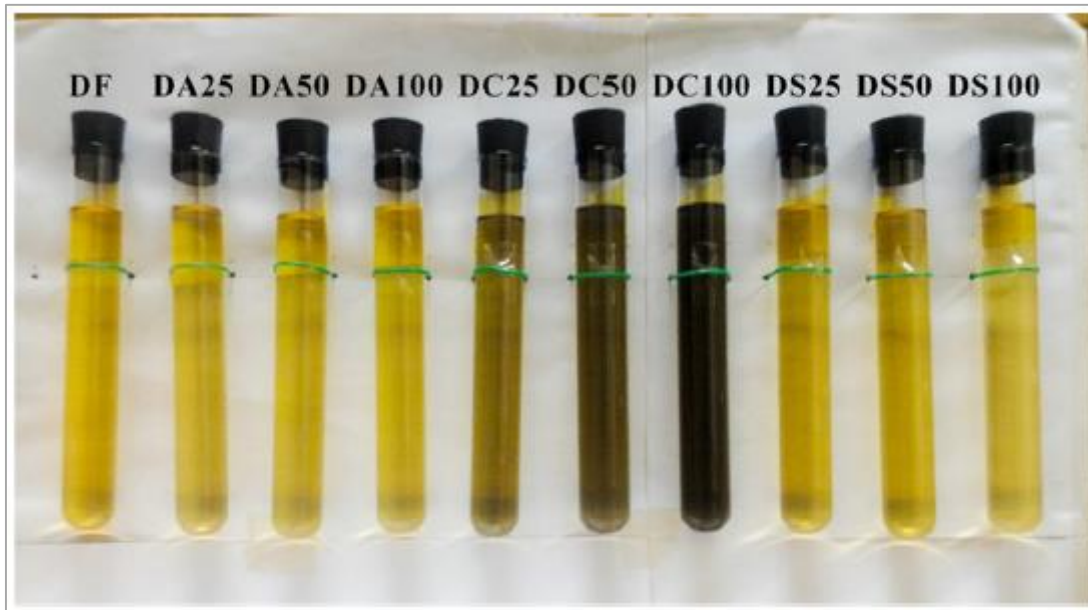


Şekil 2.1. (a) Jesterroha metil ester, (b) Jesterroha metil esterinin emülsiyon yakıtı ve (c) CNT karışımı Jesterroha metil esterinin emülsiyon yakıtı (Basha ve Anand, 2014)

Araştırmacılar yakıt karışımının içeriğine hacimsel olarak % 93 oranında Jesterroha, % 5 oranında su ve % 2 emülsiyon maddesi ekleyerek yakıt emülsiyonunu oluşturmuşlardır. Araştırmacılar yaptığı deney sonucunda fren ısı verimi saf biyodizelde, emülsiyonlu

yakıtta ve CNT ilaveli yakıtta tam yükte sırasıyla % 24,80, % 26,34 ve % 28,45 olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca emülsiyonlu yakıt ile CNT ilaveli yakıtta NO_x ve duman yoğunluğunda önemli azalmaların olduğunu da tespit etmişlerdir (Basha ve Anand., 2014).

Chen ve arkadaşları bu çalışmada, tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda nanoparçacık ve dizel yakıt karışımının motorun yanma özellikleri, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Deneylerinde alüminyum oksit, karbon nanotüpler ve silikon asitlerden oluşan üç çeşit nanoparçacık kullanmışlardır. Nanoparçacıklar 25 ppm, 50 ppm ve 100 ppm olmak üzere üç farklı miktarda saf dizele eklenmişlerdir. Üç farklı karışım miktarlarına göre alüminyum oksit karışımları Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi DA25, DA50, DA100, karbon nanotüp karışımları DC25, DC50 ve DC100, silikon asit karışımları için ise DS25, DS50 ve DS100 olmak üzere isimlendirilmişlerdir. Nanoparçacık ve dizel yakıt karışımlarının kararlılığını ölçmek ve deneylere sağlıklı bir şekilde başlamak isteyen araştırmacılar ilk olarak ultraviyole spektrofotometre analizini 200 saat süreyle gerçekleştirmişlerdir.



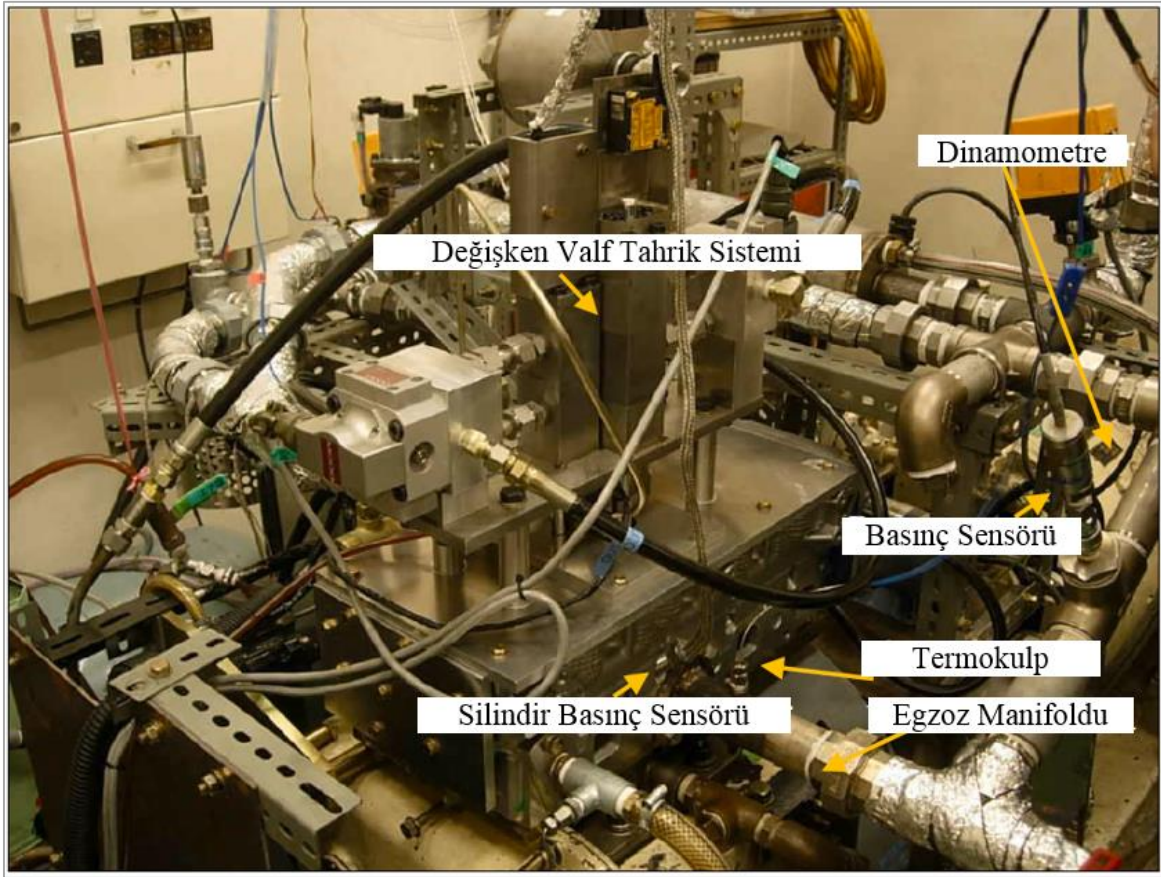
Şekil 2.2. Nanoparçacık-dizel yakıt karışımlarının hazırlanması (Chen ve arkadaşları, 2018)

Araştırmacılar, çalışmalarını motor devrini 1800 dev/dk'da sabit tutarak tam gaz, 3:4, 1:2 ve 1:4 motor yüklerinde deneylerini karışım yakıtların tamamı için ayrı ayrı analiz etmişlerdir. Analizlerinin sonucunda fren özgül yakıt tüketiminin %19,8 azaldığı ve termal

verimliliğinin arttığını gözlemlemişlerdir. Silisyum oksit karışımları alüminyum oksit karışımlarına göre % 18,8 oranında yüksek yanma basıncı, düşük fren yakıt tüketimi ve düşük karbon monoksit emisyonları analizleri için daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca; karışımların yanma analizi sonuçlarında karbon nanotüplerin özellikle NO_x emisyonlarında önemli derecede yanma iyileşmesi gerçekleştirmesi nedeniyle nanopartiküllerin daha çok araştırılması ve üzerinde çalışmaların daha çok ilerletilmesi sonucuna varmışlardır (Chen ve ark., 2018).

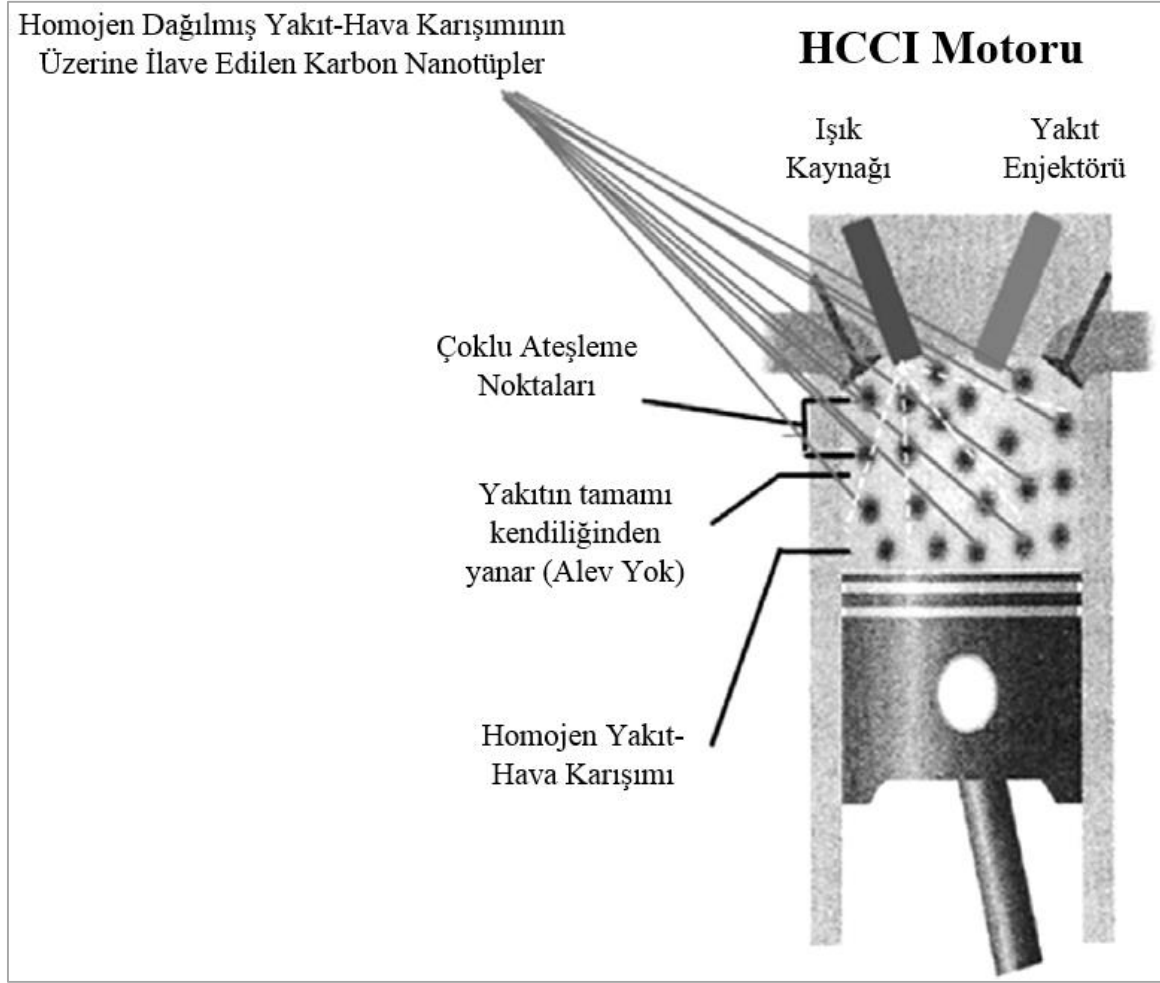
El-Seesy ve arkadaşları çalışmalarında tek silindirli bir dizel motorunda sabit 2000 dev/dk hızında 1 ile 10 mikron arasında tüp uzunluğu değişen nanoparçacıkları ultrasonik karıştırıcı yardımı ile biyodizel-dizel karışımına 50 mg'a kadar 10'ar mg olmak üzere ilave etmişler ve beş farklı nanoparçacık katkılı yakıtın motor performansına etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonunda en iyi emisyon sonuçlarının 30 mg katkılı karışım yakıttan elde etmişlerdir. Silindir içi basıncın en iyi sonuç verdiği katkı oranının 50 mg olduğunu tespit eden araştırmacılar bunun yanında motor performansının ise en iyi 40 mg nanoparçacık ilaveli karışım yakıtta olduğunu gözlemlemişlerdir (El-Seesy ve ark., 2016).

El-Seesy ve çalışma arkadaşları, Şekil 2.3.'teki gibi bir lokomotifin ait dizel motorunda gerçekleştirdikleri deneylerinde iki farklı karışım kullanmışlardır. Birinci karışımı H20D şeklinde isimlendiren araştırmacılar dizel yakıtın üzerine hacimsel olarak %20 oranında n-heptanol eklemişlerdir. İkinci karışım ise H40D şeklinde isimlendirdikleri karışımlarında dizel yakıtı üzerine hacimsel olarak %40 oranında n-heptanol eklemişlerdir. Her iki karışıma da sabit oranlarda grafen oksit, grafen nanoplate ve çok duvarlı karbon nanotüp ilave ederek her iki karışım için de 1000 dev/dk devir hızında farklı yüklerde yanma ve egzoz emisyonlarını araştırmışlardır. Karışımlara karbon nano malzemelerin eklenmesiyle özgül yakıt tüketiminde % 15, motor emisyonunda %60 ve NO_x oranında ise %20 oranında azalmanın olduğunu gözlemleyen araştırmacılar ayrıca; karbon nano malzemelerin ilavesinin dizel yakıtı oranla alev bir düşme olduğunu gözlemlemişlerdir (El-Seesy ve ark., 2019).



Şekil 2.3. Dizel lokomotif motoru (El-Seesy ve ark., 2019)

Ficarella ve arkadaşları hava-yakıt karışımları için yeni bir ateşleme sistemi üzerine çalışmışlardır. Şekil 2.4.'te görülen HCCI motorundaki ateşleme sisteminde çok duvarlı karbon nanotüpler fototermal ateşlemeye maruz bırakılmıştır. Yeni ateşleme sistemi kullanılagelen buji ateşlemeli sistemler ile karşılaştırılan bu çalışmada araştırmacıların amacı yüksek basınç altında hava ile hem gaz hem de sıvı yakıt karışımlarının tutuşma fizibilitesini göstermektir.



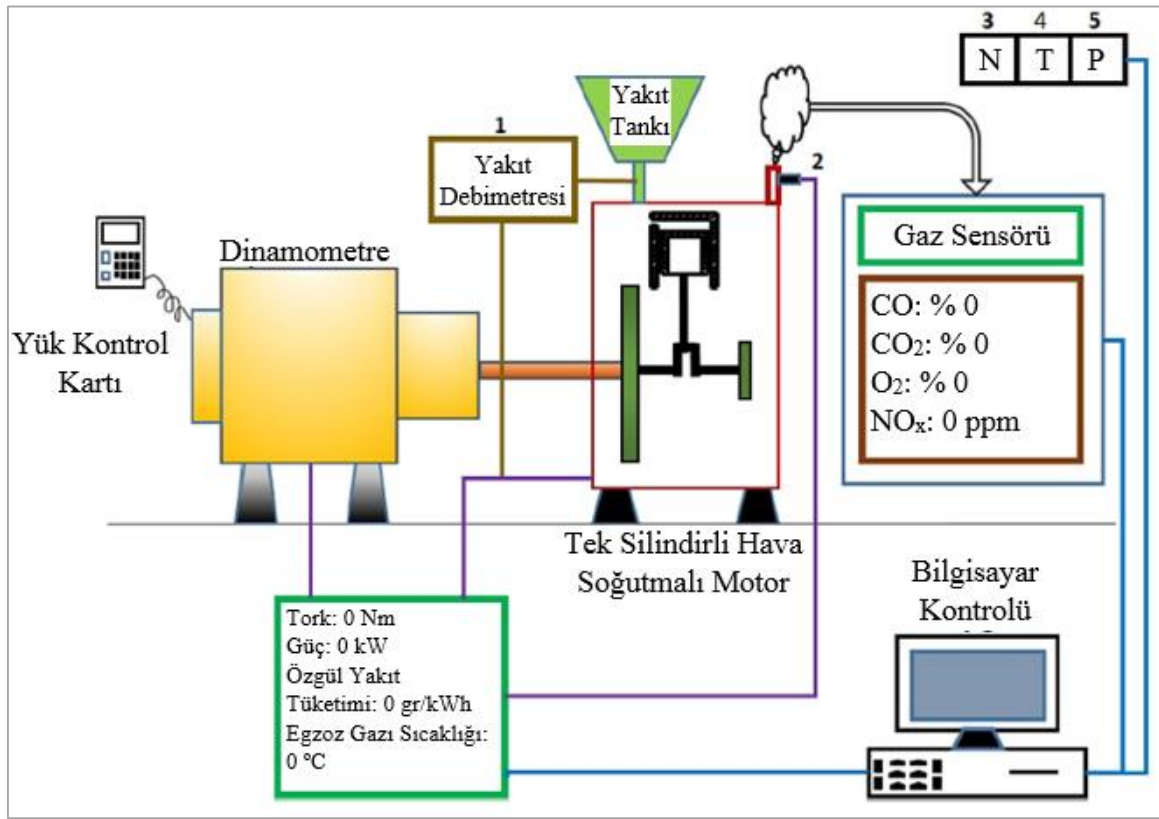
Şekil 2.4. HCCI motorunda çok duvarlı karbon nanotüplerin fototermal ateşlemeye maruz bırakılması (Ficarella ve ark., 2017)

Araştırmalarının sonucunda normal buji sistemlerine göre geliştirdikleri sistemde daha kısa ateşleme gecikmelerinin olduğu, yüksek silindir içi basınçların elde edildiği ve yanma süreleri için daha ideal sürelere ulaşmışlardır (Ficarella ve ark., 2017).

Hariram ve arkadaşları petrol rezervlerinin azalması, çevreye kötü etkileri, maliyetlerinin fazla olması nedeniyle çevre dostu olan jojoba yağından ürettikleri bir biyodizel yakıt üzerine 50 ppm, 100 ppm ve 150 ppm olmak üzere üç farklı konsantrasyonda çok duvarlı karbon nanotüp ilavesi gerçekleştirilerek bir dizel motorda deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar deneylerinde Taguchi'ni yaklaşım temellerini baz alarak analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çok duvarlı karbon nanotüp ilave edilen karışım yakıtlarda saf dizele göre daha fazla fren ısı verimi tespit eden araştırmacılar, özgül yakıt tüketiminde ise önemli ölçüde azalma görmüşlerdir. Ayrıca tam yüklemde karbon nanotüpler de meydana gelen mikro patlamalar nedeniyle daha yüksek silindir içi basınç ve ısı salınım hızı

gözlemlemişlerdir. Yanmamış hidrokarbon, azot oksitler, karbon monoksitler ve duman yoğunluğu gibi emisyon parametrelerinde ise karışım oranına bağlı olarak farklı sonuçlar elde etmişleridir (Hariram ve ark., 2018)

Hosseini ve arkadaşları birçok araştırmada katalizör ve nanopartiküllerin performansı arttırması ve emisyonun azalması için Şekil 2.5.'te yer alan deney düzeneğindeki gibi tek silindirli bir CI motorunda B5 ve B10 olmak üzere biyodizel yani B0 yakıtı ve biyodizel harman yakıtları üzerine karbon nanotüp ilave etmişlerdir.

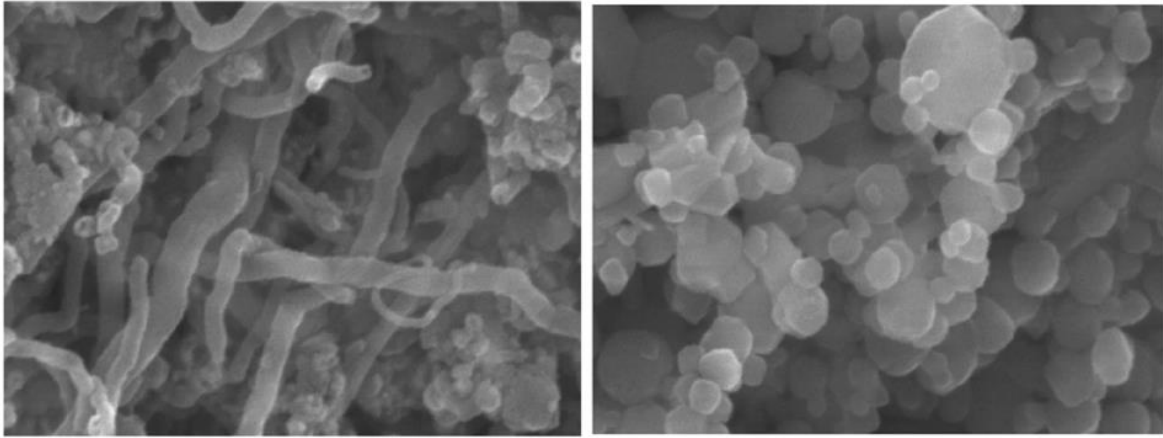


Şekil 2.5. Deney düzeneği ve kullanılan cihazlar (Hosseini ve ark., 2017)

Araştırmalarında karbon nanotüpleri 30, 60 ve 90 ppm konsantrasyonlarında ilave etmişler ve 1800, 2300 ve 2800 dev/dk motor hızlarında güç, fren ısı verimi, özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ve tam yüklemde CO, CO₂, yanmamış hidrokarbonlar, NO_x ve oluşan duman yoğunluğunu analiz etmişlerdir. Analizlerinin sonucunda karbon nanotüplerin ilavesi ile karışım yakıtın biyodizel yakıtı göre gücü %3,67, fren ısı verimi % 8,12, egzoz gazı sıcaklığı % 5,57 oranlarında artış gösterirken özgül yakıt tüketiminde önemli miktarda azalma olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca; CO, yanmamış hidrokarbonlar ve duman

yoğunluğunda azalma görülürken NO_x ve CO_2 emisyonlarında artışın olduğunu gözlemlemişlerdir (Hosseini ve ark., 2017).

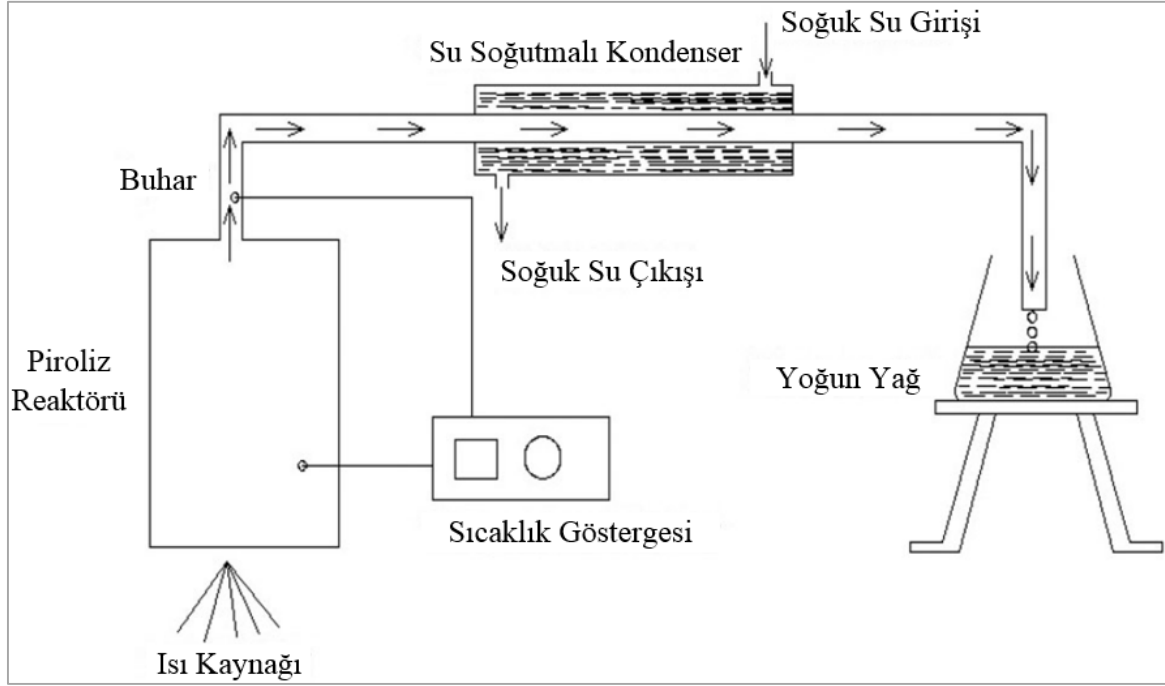
Mei ve arkadaşları, tek silindirli, dizel bir demiryolu motorunda yaptıkları çalışmalarında nanopartikül ilave ederek yakıt kalitesini arttırmayı ve emisyonları azaltmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında saf dizel yakıt üzerine Şekil 2.6.'da detaylarına yer verildiği gibi CNT ve nano- MoO_3 ilave ederek iki farklı karışım kullanmışlardır.



Şekil 2.6. Karbon nanotüp ve MoO_3 (Mei ve ark., 2019)

Çalışmalarının sonucunda saf dizel yakıtı göre hem CNT hem de MoO_3 ilave edilmiş karışımların yakıt ekonomisi, emisyon ve yanmada daha iyi performans gösterdiğini gözlemlemişler bunun yanında yanma verimliliğini arttırması ve emisyonları azaltması nedeniyle çalışmaların devam etmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Mei ve ark., 2019).

Sivathanu ve Anantham araştırmalarında Şekil 2.7.'deki gibi piroliz yöntemiyle elde edilen atık balık yağından üretilen biyodizel üzerine çok duvarlı karbon nanotüplerin ilavesinin motor performansı, emisyon ve yanma özellikleri üzerine etkilerini 1500 dev/dk motor hızı için saf dizel ile karşılaştırarak incelemişlerdir.



Şekil 2.7. Oluşturulan pirolizin şematik diyagramı (Sivathanu ve Anantham, 2019)

Araştırmalarının sonucunda tam yükte karışım yakıtın dizel yakıtına göre fren termal veriminde % 3,83 artış görülürken fren özgül yakıt tüketiminde ise % 3,87 oranında azalma olduğunu görmüşlerdir. Araştırmacılar ayrıca normal dizel yakıtına göre karbon nanotüp ilavesiyle elde edilen karışım yakıt ile emisyonlarda sırasıyla CO'da % 25, yanmamış hidrokarbonlarda % 9,09, NO'da % 14,81 azalma görürken CO₂'de ise % 17,39 oranında bir artış olduğunu görmüşlerdir (Sivathanu ve Anantham, 2019).

Tewari ve arkadaşları, Şekil 2.8.'de görülen deney düzeneğini kullanarak biyodizel yakıtlar üzerine çok duvarlı karbon nanotüp ilavesi ile bir dizel motorunda motor performansı, emisyon ve yanma özelliklerinde meydana gelen değişiklikler üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında Honge yağından elde edilen bir biyodizel üzerine karbon nanotüp ilaveli bir karışım ile saf dizeli kullanmışlardır.



Şekil 2.8. Deneysel düzenek (Tewari ve ark., 2013)

Deney test düzeneklerinde tek silindirli bir dizel motor, yükleme dinamometresi, gaz sensörü, duman ölçer, piezoelektrik basınç sensörü, krank açısı kodlayıcısı ve basınç veri kaydetme sistemi kullanmışlardır. 1500 dev/dk sabit devir hızında deneylerini gerçekleştiren araştırmacılar, yaptıkları çalışma sonucunda karbon nanotüp ilaveli karışım yakıtın saf dizele göre fren ısıl veriminde ve emisyonunda önemli azalmalar olduğunu gözlemlemişlerdir (Tewari ve ark., 2013).

Velumani, Lawrence ve Sivaprakasam çalışmalarında farklı yüklerde 40 ppm konsantrasyona sahip çoklu karbon nanotüp katkılı yakıt ile yer fıstığı yağından elde edilen biyodizeli bir dizel motorunda test edip performans ve emisyon sonuçlarını karşılaştırıp değerlendirmek için analiz etmişlerdir. Analizlerinin sonucunda katkılı yakıt biyodizele göre daha iyi performans göstermekle birlikte NO_x emisyonunun daha az olduğunu gözlemlemişlerdir (Velumani ve ark., 2018).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde öncelikle biyodizel yakıtın transesterifikasyon ile elde edilmesine değinilecek sonra çalışmamızda kullanılan malzemelere ve üretimde kullanılan cihazlara ilişkin teknik bilgiler verilecektir. Daha sonra biyodizel yakıt üretim aşamaları belirtilerek biyodizel yakıtın saf dizel yakıtı ile harmanlanma işlemine kısaca değinilecek ve ardından karışım yakıt üzerine karbon nanotüp parçacıkların ilave edilmesi işlemlerine değinilecektir. Son olarak Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Biyodizel Laboratuvarında atık ayçiçeği kızartma yağlarından ürettiğimiz biyodizel üzerine karbon nanoparçacık ilavesinin tek silindirli bir dizel motorda motor performansına ve yanma analizlerine etkileri incelenecektir.

3.1. Materyal

3.1.1. Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi

Biyodizel yakıtı, birçok farklı bitkisel yağdan üretilebilmektedir. Bitkisel atık yağlardan üretilen biyodizellerin hem çevre hem de ekonomik açıdan daha avantajlı olduğu kanısına varılmıştır. Bu yüzden çalışmamızda atık kızartma yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel yakıtı üretilmiştir. Bu çalışmada, atık ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemiyle, katalizör olarak NaOH kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. %0,5 katalizör, %20 metil alkol-yag oranı, 120 dakika reaksiyon süresi ve 60°C reaksiyon sıcaklığında üretim yapılmıştır. Üretilen biyodizelin setan sayısı 57.9, yoğunluğu 0,869 g/cm³, viskozitesi 4,44 mm²/s, alt ısı değeri 38,796 kJ/kg olarak ölçülmüştür.

3.1.2. Üretimde kullanılan malzemeler ve özellikleri

Biyodizel üretiminde beher, cam balon, soğutucu, ayırma hunisi, kinematik viskozimetre, yoğunluk ölçme cihazı, kontak termometreli ısıtıcı manyetik karıştırıcı, manyetik balık ve hassas terazi kullanılmıştır.

Çalışmada Şekil 3.1.'de de görüldüğü üzere Gazi Üniversitesi yemekhanesinden alınan atık ayçiçeği yağı kullanılmıştır. Atık ayçiçeği kızartma yağının yoğunluğu 922kg/m³ olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde Şekil 3.2.'de de görülen SHIMADZU UW620H model hassas terazi kullanılmış olup terazinin teknik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Yapılan çalışmalarda şekil 3.3.'te görülen Wisd WiseStir MSH-20D model kontak termometreli ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmış, karıştırıcıya ilişkin özellikler ise izelge 3.2.'de verilmiştir. Yapılan çalışmalarda kimyasal özellikleri izelge 3.3.'te verilen TEKKİM marka %99,8 saflıkta metil alkol kullanılmıştır. Bunun yanı sıra yine kimyasal özellikleri izelge 3.4.'te verilen MERCK marka %99 saflıkta sodyum hidroksit kullanılmıştır.



şekil 3.1. Atık ayçiçek yağı



şekil 3.2. SHIMADZU UW620H terazi

Çizelge 3.1. SHIMADZU UW620H terazi teknik özellikleri

Tartım Kapasitesi	620 g
Hassasiyet	0,001 g
Tekrarlanabilirlik	0,001 g
Doğrusallık	$\pm 0,002$ g
Stabilizasyon	1,5-2,5 s
Tartım Kefesi Boyutu	108 x 105 mm
Ağırlık	3,4 kg
Ebatlar	206 x 291 x 241 mm



Şekil 3.3. Wisd WiseStir MSH-20D

Çizelge 3.2. Wisd WiseStir MSH-20D teknik özellikleri

Levha Boyutu	180 x180 mm
Karıştırma Kapasitesi	20 lt
Hız Aralığı	50-1500 dev/dk
Maksimum Sıcaklık	380 °C
Sıcaklık Doğruluğu	±0,3 °C
Isıtma Gücü	600 W
Ekran	Dijital LCD Ekran
Zamanlayıcı	99 saat 59 dakika
Boyutlar	206 x 307 x 99 mm
Ağırlık	3,3 kg

Çizelge 3.3. Metil alkolün kimyasal özellikleri

Kimyasal Formül	CH ₃ OH
Molekül ağırlığı	32,04 g/mol
Kaynama Noktası	64-65 °C
Kırılma İndisi	1,328-1,331
Yoğunluk	0,790-0,792 g/cm ³

Çizelge 3.4. Sodyum hidroksitin kimyasal özellikleri

Kimyasal Formül	NaOH
Molekül ağırlığı	40,0 g/mol
Yoğunluk	2,13 g/cm ³ (20 °C)
Erime Noktası	319-322 °C
Çözünübilirlik	1090 g/l

3.1.3. Biyodizel üretim aşamaları

Transesterifikasyon kimyasal reaksiyonu ile biyodizel üretimi üniversitemize ait laboratuvarda yapılmıştır. Transesterifikasyon yönteminin kullanılmasındaki amaç laboratuvar şartlarının bu yönteme daha uygun olmasıdır. Üretim esnasında metil alkol ve katalizör olarak sodyum hidroksit kullanılmıştır. Biyodizeli saflaştırma sürecinde suyla yıkama yöntemi uygulanmıştır. Üretimin tüm safhalarında olası tehlikeleri önlemek adına koruyucu gözlük, maske ve eldiven kullanılmıştır. Yıkama işleminde ayırma hunisi

içerisinde meydana gelebilecek yüksek basınca bağlı patlamalara karşı ve reaksiyonun alkol vb. kimyasallar içermesinden dolayı dikkatli hareket edilmesi gerekmektedir.

Atık kızartma yağı içerisinde yiyecek partikülleri ve su bulunmaktadır. Bu içerikleri atık yağdan uzaklaştırmak için atık yağ Şekil 3.4.'teki gibi 120°C'ye kadar ısıtılır ve yaklaşık 1 saat bu sıcaklıkta tutulur, soğuduktan sonra filtre kağıdı ile Şekil 3.5.'te görüldüğü gibi süzülerek temizlenir.



Şekil 3.4. Atık yağın ısıtılması



Şekil 3.5. Atık yağın süzülmesi

Süzülen yağlar biyodizel üretiminde kullanılacak olan yakıtın üretim esnasında ve sonrasında aynı özellikleri göstermesi için Şekil 3.6.'da da görüldüğü üzere 20 litrelik bir bidonda karıştırılarak toplanmıştır. Toplanan yağların içeride iyice karışması sağlanmıştır.



Şekil 3.6. Isıtılıp süzölmüş atık yağların toplanması

Daha sonra transesterifikasyon ile biyodizel üretimi yapmak için gerekli olan katalizör ve metil alkol gerekli ölçülerde hassas terazi ile tartılarak hazırlanmıştır. Metil alkol 1.000 gram yağ için % 20 miktarında (200 gram), katalizör olarak kullanılan NaOH için ise % 0,5 oranında (5 gram) olacak şekilde çözelti hazırlanmıştır. Şekil 3.7.'de görüldüğü üzere kullanılan katalizör ve alkol çeşidi balon içerisinde manyetik balık ile sürekli karıştırılarak metoksit oluşturulmuştur.



Şekil 3.7. Metoksit oluşumu

Metanol ve sodyum hidroksit tam olarak karışıp metoksit oluşuktan sonra önceden hassas terazide ayarlanan ham yağ gerekli miktarda bu karışım içerisine ilave edilir. Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi manyetik ısıtıcı üzerindeki balon, içerisi su dolu bir borcam içerisine alınır. Manyetik balık yardımıyla 60 °C reaksiyon sıcaklığında 600 dev/dk hızla karıştırılmaya bırakılır. Sıcaklık transesterifikasyon reaksiyonunu kolaylaştırmaktadır. Bu ısıtma işlemi sırasında sıcaklık gözlem altında tutulmuştur. Bu işlemin amacı yaklaşık 63-67 °C sıcaklıkta kaynamaya başlayan metanolün uçmasını engellemektir. Geri soğutma borusu (soğutucu) suyu devirdaim eder. Böylece metoksit ve ham yağ karışımının içinde bulunan

ve ısıнын yükselmesiyle buharlaşan alkolü soğuk su yardımıyla yoğuşturarak uçmasını engeller.



Şekil 3.8. Manyetik karıştırıcı ile ısıtma ve karıştırma işlemi

Bu işleminin sonunda, Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi karışım ortalama 10 saat süreliğine dinlenmeye bırakılır. Bu bekleme sonunda gliserinin biyodizelden ayrıştığı gözle rahatlıkla görülebilmektedir. Gliserin ile biyodizelin yoğunlukları birbirinden farklı olduğu için gliserinin ayırma hunisinde dibe doğru çökmesi beklenir ve daha sonra ayırma hunisinin musluğu açılarak gliserin ile biyodizel ayrıştırılır.

Üretilen biyodizelin, bünyesindeki reaksiyona girmeyen alkollerin, yağ asitlerinin ve katalizör maddenin uzaklaştırılması için yıkama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Yıkama işleminin gerçekleştirilmemesi durumunda biyodizelin içerisinde kalan maddeler, motor parçaları üzerinde aşındırıcı etkiye sebep olabilmektedir. Gliserinden ayrıştırılmış

biyodizel 100 °C kaynamış su ile ayırma hunisi içerisinde karıştırılarak içerisinde kalan alkol, yağ asitleri ve katalizör artıklarının ayrıştırılması sağlanır.



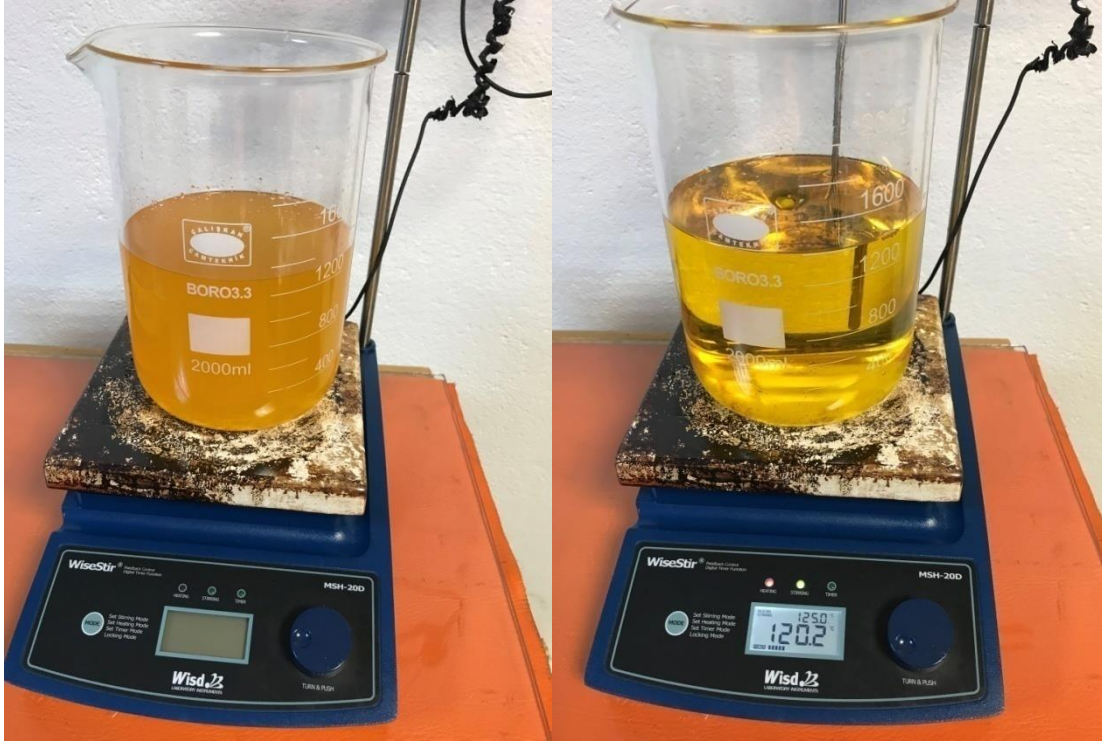
Şekil 3.9. Biyodizel ve gliserin ayrılması

Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi yıkama işlemi belli periyotlarda tekrarlanmış olup biyodizel içerisine belli oranda kaynamış su ilave edilerek gerçekleştirilmiştir. Suyun yoğunluğu biyodizelin yoğunluğundan fazla olduğu için su dibe çöker. Musluk açılarak su ayrıştırılır. Bu işlem suyun rengi netleşene kadar devam eder. Gerektiği durumda saflaştırılması için bu işlem 8-10 defa tekrarlanabilir. Yıkama işlemi transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel elde edilmek istendiğinde en saf biyodizele erişmek için önemlidir.



Şekil 3.10. Biyodizel yıkama işlemi

Uygulanan tüm bu işlemlerden sonra, biyodizelin içerisinde kalan suyu tamamen uzaklaştırabilmek için yakıt kurutma işlemine tabi tutulur. Kurutma işleminde suyun kaynama sıcaklığının üzerinde 120 °C sıcaklıkta buharlaşma bitene kadar devam edilir. Beher içerisine alınan biyodizel Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi ısıtıcıli manyetik karıştırıcı ve manyetik balık vasıtasıyla karıştırılarak ısıtma işlemine tabi tutulur. İçerisinde kalan su tamamen uzaklaştıkça biyodizelin rengi daha çok berraklaşır.



Şekil 3.11. (a) Kurutmanın başlangıcındaki biyodizel, (b) Kurutulmuş biyodizel

Kurutma işleminden sonra biyodizel yakıtı Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi içerisinde kalabilecek yabancı maddelerden kurtarmak için son kez filtre kağıdından geçirilerek bir kap içerisinde muhafaza edilmelidir.



Şekil 3.12. Biyodizelin filtre kağıdından geçirilerek depolanması

3.1.4. Biyodizelin dizel yakıtı ile harmanlanması

Laboratuvar şartlarında üretilen biyodizel dizel yakıtı ile % 20'lik oranda harmanlanmıştır ve B20 harmanı oluşturulmuştur. Oluşan karışımda her 1 litrelik yakıt içerisinde 200 mililitre biyodizel ve 800 mililitre dizel ölçülmüştür. Karıştırma işlemi yapılırken dizel yakıtı ile biyodizel arasında faz farkı olmaması durumuna dikkat edilmelidir. Yakıtların özellikleri ve yapısı iyi bir harman oluşturulması adına iyi olmalıdır. Yapılan araştırmalarda daha önce test edilmiş olan dizel-biyodizel harmanları ile yapılmış olan çalışmalarda B20 yakıtının alt ısı değeri ve yoğunluğunun dizel motorda test edilmesi için daha uygun olduğu görülmüştür.

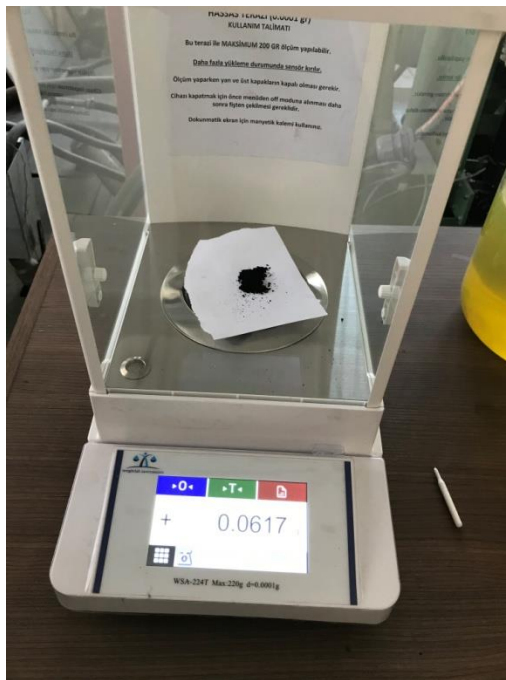
3.1.5. Oluşturulan harmanın karbon nanotüp katkısı ile karıştırılması

Harman haline getirilmiş olan B20 (% 20 Biyodizel + % 80 Dizel) yakıtına MWCNT metalik esaslı çok duvarlı karbon nanotüp katkı maddesi 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm ve 100 ppm konsantrasyonlarında eklenerek Şekil 3.13'te gösterilen ISOLAB marka ultrasonik karıştırıcı ile karıştırma işlemi yapılmıştır. Ultrasonik homojenizasyonlaştırma işlemi bir sıvı içerisindeki küçük partikülleri azaltmak, homojen olarak küçük ve eşit bir şekilde dağılmaları için uygulanan mekanik bir işlemdir. Hücre parçalayıcı ve sonikatör olarak da bilinen bu makina kavitasyon ve ultrasonik dalgalar yoluyla dokuları ve hücreleri dahi parçalayabilir. Bu özelliği nedeniyle ayrıca tıbbi yıkama işlemleri için de kullanılır. Bu sebeple ultrasonik karıştırıcıya ihtiyaç duyulmuştur. Katı partiküller halinde bulunan MWCNT'lerin homojen bir şekilde B20 yakıtı içerisinde karışması sağlanmıştır. Karıştırma işlemi Gazi Üniversitesi Kimya Bölümünde ultrasonik karıştırıcı yardımıyla birer litrelik olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.13. ISOLAB ultrasonik karıştırıcı

Çok katmanlı karbon nanotüplerin karıştırılması işleminin gerçekleştirilebilmesi için Şekil 3.14'te gösterilen Weightlab Instruments marka WSA-224T model analitik terazi kullanılmıştır. Ölçüm yapılırken bu terazinin kullanılmasının nedeni yeterli ölçüm hassasiyetine sahip olmasıdır. Teraziye ait teknik özellikler Çizelge 3.5' te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. WSA-224T hassas terazi

Çizelge 3.5. WSA-22t terazi teknik özellikleri

Tartım Kapasitesi	220 g
Hassasiyet	0,0001 g
Tekrarlanabilirlik	0,0001 g
Doğrusallık	0,0002 g
Stabilizasyon	3 sn
Cihaz Boyutları	365 x 338 x 223 mm
Net Ağırlık	6,0 kg
Kefe Çapı	90 mm

3.2. Deney Motoru

Bu çalışmada, Şekil 3.14.'te su soğutmalı, tek silindirli, direk enjeksiyonlu, dört zamanlı ANTOR 3 LD 510 marka bir dizel motor kullanılmıştır. Motora ait teknik özellikler Çizelge 3.5'te sunulmuştur.



Şekil 3.15. Tek silindirli, dizel deney motoru

Çizelge 3.6. Deney motorunun teknik özellikleri

Deney Motorunun Teknik Özellikleri	
Model	3 LD 510
Motor Çeşidi	Direkt Enjeksiyonlu, Dört Zamanlı
Silindir Adedi	1
Silindir Hacmi	510 cm ³
Çap x Strok	85 mm x90 mm
Sıkıştırma Oranı	17,5:1
Maksimum Motor Devri	3.300 dev/dk
Maksimum Motor Torku	32,8 Nm
Maksimum Motor Gücü	9 kW
Soğutma Şekli	Su Soğutmalı
Enjektör Markası ve Püskürtme Basıncı	STANADYNE 41445190, 190 Bar

3.2.1. Motor test düzeneği ve dinamometre

Testin yapılabilmesi için motor Şekil 3.15.'te gösterilen Cussons P8160 marka DC dinamometre kullanılmıştır. Bu model tek silindirli motor test düzeneğidir. Motor test düzeneğinde bulunan rejeneratif DC elektrikli dinamometre, maksimum 4000 1/min'de 10 kW güç absorbe edebilmektedir. Rejeneratif DC dinamometrede bulunan tristör sürücü devresinin mikroişlemci ile kontrolü sayesinde kapalı döngü hız kontrolü yapılabilmekte ve ayrıca dinamometre motor olarak çalıştırılabilmektedir. Dinamometre paneline yerleştirilmiş 10 turlu potansiyometre sayesinde motor hızı hassas olarak ayarlanabilmektedir. Straingauge yük hücresi ile dinamometrenin merkez ekseninden 0,25 m mesafede kuvvet ölçülmektedir. Manyetik pick-up sensör ile dinamometre şaft milinde bulunan dişli teker üzerinden motor hızı ölçülmektedir [Anon,1994]. Dinamometrenin motor ile bağlantısı yapılarak frenleme işlemi uygulanacak ve motor performansı test edilecektir (Çelik, 2015).



Şekil 3.16. Cussons P8160 DC dinamometre

3.2.2. Silindir basıncı ölçüm sistemi

Silindir basıncına ait ölçümler yapılırken 1'er adet silindir basınç sensörü, Koyo marka TRD J1000-RZ model artırılmış manyetik devir algılayıcısı (enkoder), AVL 3009 A04 marka ampifikatör, sinyal koşullandırıcı ve National Instruments USB 6259 marka veri toplama kartı kullanılmıştır. İndikatör sisteminde, AVL marka, 8QP500c model su soğutmalı quartz silindir basınç sensörü ile AVL marka, SL-31D 2000 model Strain-Gauge yakıt hat basınç sensörü kullanılmıştır. Bu sensörlere ait teknik özellikler ise Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Silindir basıncını ölçen sensörlere ait teknik özellikler

AVL 8QP500c Quartz Silindir Basınç Sensörü		AVL SL-31D 2000 Strain Gauge Yakıt Hat Basınç Sensörü	
Ölçüm aralığı	0 – 150 (bar)	Ölçüm aralığı	0 - 2000 (bar)
Hassasiyeti	11,96(Pc/bar)	Hassasiyeti	4,5 x 10 ⁻⁴ (mV/Vxbar)
Lineerlik	±0,6 (%)	Lineerlik	± 0,5 (%)
Doğal frekans	100 (kHz)	Doğal frekans	>100 (kHz)

3.2.3. Deney yakıtları

Deneylerde kullanılan biyodizel, Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Biyodizel Laboratuvarında üniversite yemekhanesinden temin edilen atık kızartma yağlarından transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiştir. Deney yakıtlarına ait Çizelge 3.7.'de verilen yakıt özellikleri TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü tarafından belirlenmiştir.

Çizelge 3.8. Deney yakıtına ait bazı fiziko-kimyasal özellikler

Özellik	Birim	EUD (Dizel Yakıtı)	Biyodizel Yakıtı	Analiz Metodu
Yoğunluk, 15 °C'de	kg/m ³	834,5	885,6	EN ISO 12185
Kinematik Viskozite, 40 °C'de	mm ² /s	2,794	4,353	EN ISO 3104
Yağ Asidi Metil Ester İçeriği	% (m/m)	-	97,24	EN 14103
Alt Isıl Değer	Mj/kg	43,14	38,59	ASTM D 240
Setan Sayısı		55,2	55,7	EN ISO 5165
Su İçeriği	mg/kg	70	400	EN ISO 12937
Asit Sayısı	mgKOH/g	<0,1	0,15	ASTM D 664
İyot Sayısı	giyot/100	-	117	EN 14111
Parlama Noktası	°C	68,5	156,5	ISO 2719
Oksidasyon Kararlılığı, 110 °C'de	Saat	2	0,31	EN ISO 12205
Karbon Kalıntısı	%, m/m	<0,1	0,2	EN ISO 10370
SFTN		-14	-8	EN 116
Bakır Şerit Korozyon		1a	1a	EN ISO 2160
Bulutlanma Noktası	°C	-12	-4	EN 23015
Oksijen İçeriği	%, m/m	-	10,32	EN 13132
Saflık	%	-	-	EN 13132

3.2.4. Egzoz emisyon cihazı

Deneylerde kullanılan egzoz emisyon cihazlarından Bosch marka BEA-550 model kombi emisyon cihazı Şekil 3.17.'deki gibi olup CO, CO₂, HC, NO_x emisyonlarını ölçmektedir.

Cihaza ilişkin teknik özelliklere ise Çizelge 3.8.'de yer verilmiştir. Diğer bir emisyon ölçüm cihazı ise Şekil 3.18.'de gösterilen AVL marka DICOM 4000 model emisyon cihazıdır. Bu cihaz ile duman koyuluğu, egzoz gazının hacimsel debisine oranı (%) olarak ölçülebilmektedir. Cihaza ait teknik özelliklere Çizelge 3.9.'da yer verilmiştir.

Çizelge 3.9. Bosch BEA-550 kombi emisyon cihazının teknik özellikleri

Gazlar	Ölçüm Aralığı	Standart Çözünürlük	Hassasiyet
CO ₂ , % v/v	0 - 18	0,1 % vol.	±0,01 %
CO, % v/v	0 - 10	0,01 % vol.	±0,001 %
O ₂ , % v/v	0 - 22	0,01 % vol.	±0,01 %
HC, ppm	0 - 9,999	1 ppm	± 1 ppm
NO _x , ppm	0 - 5,000	1 ppm	± 1 ppm
Duman, k(1/m)	0 - 8	0,1 %	± 1 % mutlak



Şekil 3.17. Bosch BEA- 550 kombi emisyon ölçüm cihazı

Çizelge 3.10. AVL DiSmoke 4000 emisyon cihazının teknik özellikleri

AVL DiSmoke 4000/ AVL DiCom 4000	Ölçüm Aralığı	Kararlılık
Opaklık	0 - 100 %	0,1 %
k değeri	0 – 99,99 m ⁻¹	0,01 m ⁻¹
Ölçüm süresi	0 - 5 s	0,05 s
Motor hızı	250 - 9990 rpm	10 rpm

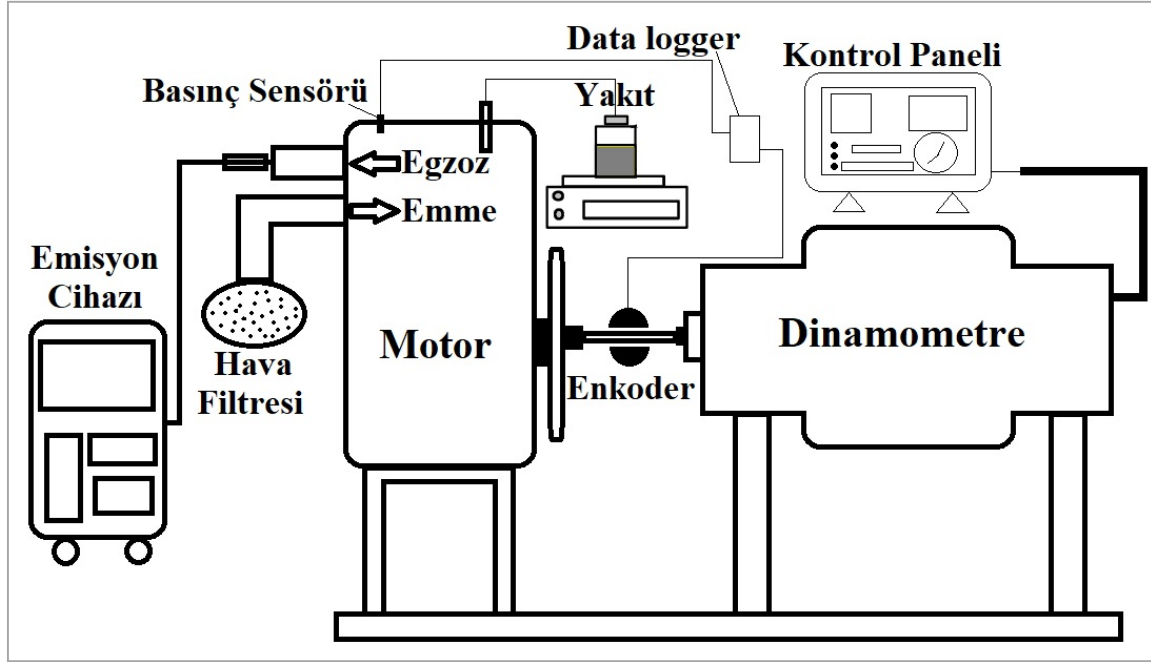


Şekil 3.18. AVL DiCOM 4000/ DiSmoke 4000 is emisyonuölçüm cihazı

3.3. Yöntem

3.3.1. Test düzeneği

Deneye ilişkin test düzeneği ekipmanları ile birlikte Şekil 3.18.'de detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 3.19. Deney test düzeneği

3.3.2. Testlerin yapılışı

Testler, Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır. Testler tam gaz konumunda 1.600, 1.800, 2.000, 2.200, 2.400 ve 2.600 dev/dk motor hızlarında tüm cihazların kalibrasyonu yapılarak dinamometre yük kontrolü ile sabit devir hızlarında dizel motorun performansı, egzoz emisyonu ve yanma analizleri yapılmıştır.

3.3.3. Performans ve yanma parametreleri

Güç

Motor gücü, açısal hız başına elde edilen torkun açısal hız ile çarpılması sonucu denklem (3.1)'deki gibi hesaplanır.

$$N_e = \omega \cdot M_m \quad (3.1)$$

Özgöl yakıt tüketimi

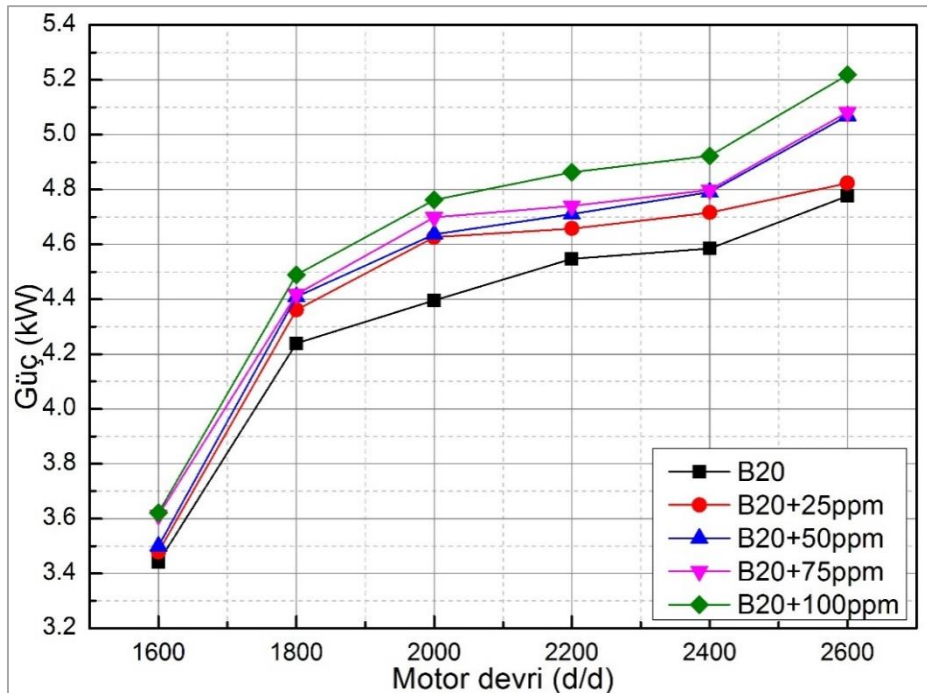
Özgöl yakıt tüketimi, bir saat süreyle birim gücü elde etmek için harcanan yakıt miktarı olarak tanımlanabilmekle birlikte denklem (3.2)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$b_e = \frac{\dot{m}_y \cdot 3600}{N_e} \quad (3.2)$$

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde B20, B20MWCNT25, B20MWCNT50, B20MWCNT75 ve B20MWCNT100 yakıtlarının motor hızına bağlı olarak tam yükte altı farklı motor devirlerinde (1600, 1800, 2000, 2200, 2400 ve 2600 d/dk) yapılan deneyler sonucunda elde edilen motor performans, emisyon ve silindir içi basınç eğrilerine değinilmiştir.

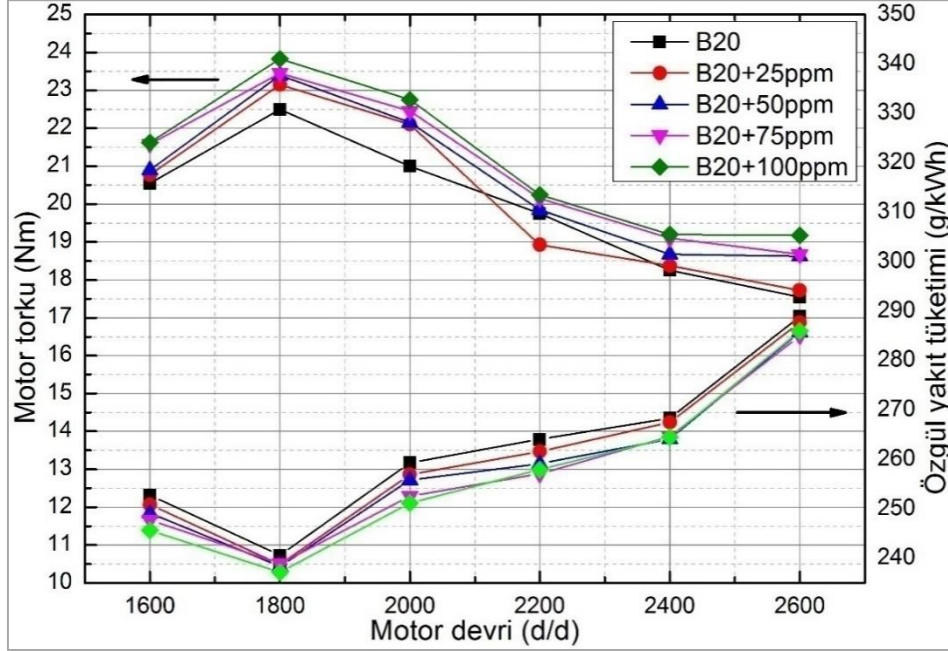
Şekil 4.1, test yakıtlarının deney motorunda kullanılması sonucu farklı hızlarda motorun güç değişimlerini göstermektedir. Gösterildiği gibi, 1600'den 2600 d/d'ya kadar, güç keskin bir şekilde artmaktadır. Motorlarda güç çıkışının iki önemli faktör olan devir sayısının ve motor torkunun etkisinde kaldığı bilinmektedir. Genel olarak, B20 yakıtına ilave edilen karbon nanotüplerin miktarını arttırarak motor gücünde de artışa, bu da yakıtın faydalı işinin daha iyi yanmaya ve efektif enerji dönüşümüne sebep olmaktadır. Bu artışın nedeni, nanopartiküllerin yüzey/hacim oranını yükseltmesiyle birlikte iyileşen ısı transfer katsayısına, yakıtın karbon ile zenginleştirilmesine ve biyodizelden kaynaklanan oksijen içeriğiyle yanmanın iyileşmesine bağlanabilir (Ichinose ve ark. 2012). B20 yakıtı ile B20MWCNT25, B20MWCNT50, B20MWCNT75, B20MWCNT100 test yakıtları karşılaştırıldığında, karbon nanotüp katkısı kullanılan yakıtlarda yaklaşık olarak sırasıyla %2,61, %4,35, %5,26 ve %7,28 oranında motor gücünde artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Motor devrine bağlı olarak güç değişimi

Şekil 4.2, B20 yakıtı ve B20 yakıtına 25, 50, 75 ve 100 ppm değerlerinde karbon nanotüplerin eklenmesiyle elde edilen 4 farklı test yakıtının motor torku üzerindeki etkisini göstermektedir. Tüm yakıtlar için maksimum torkunun 1800 d/d'de meydana geldiği ve daha yüksek motor hızlarında torkun azaldığı görülmektedir. Motor devrini 1800'den 2000'e, 2200'e, 2400'e ve ardından 2600 d/d'ye yükselterek, B20 yakıtı kullanımı ile elde edilen tork değerlerine kıyasla B20MWCNT25 yakıtı kullanımı ile tork sırasıyla ortalama % 2,89, % 5,24, -% 4,18, % 0,68, % 1 artış göstermektedir. B20MWCNT50 yakıtı kullanımı ile ise tork sırasıyla ortalama % 4, % 5,19, % 0,5, % 2,33, % 6,13 artış, B20MWCNT75 yakıtı kullanımı ile % 4,22, % 6,90, % 2,03, % 4,66, % 6,41 ve son olarak B20MWCNT100 yakıtı kullanımı ile % 5,89, % 8,33, % 7,59, % 5,21, % 9,26 artış olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, emme stroku sırasında supapların tamamen açık olmasına rağmen, daha yüksek hızlardan dolayı silindirin eksik doldurulmasından kaynaklanmaktadır. Başka bir deyişle volümetrik verimin azalmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü, hava girişi ve silindir basıncını yükseltmek için yeterli zaman yoktur, bu da yanma basıncının düşmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, hareketli parçaların ataleti artmakta ve motor torku beklenen değerden düşük olmaktadır (Hosseini ve ark. 2017, Heydari maleney ve ark. 2017). Yakıt karışımlarındaki nano tüplerin konsantrasyonunu arttırarak çıkış torku artmakta, bu da silindir içindeki yanmanın ürettiği enerjinin daha eksiksiz olduğunu ve yanma kalitesinin arttığını göstermektedir. Sonuç olarak, ortalama basınç daha büyüktür, bu da piston kuvvetinde ve torkunda bir artışa yol açmaktadır. Bununla birlikte test edilen tüm yakıtlar için motor hızına karşı özgül yakıt tüketimindeki (ÖYT) varyasyonları da Şekil 4.2 de gösterilmektedir. Tüm hızlarda B20MWCNT25, B20MWCNT50, B20MWCNT75 ve B20MWCNT100 yakıtları daha düşük ÖYT'ye sahipken, B20yakıtı daha yüksek ÖYT'ye sahiptir. Genel olarak, B20 karışımına karbon nano tüplerin (CNT'lerin) eklenmesi Şekil 3'de görüldüğü gibi gücü arttırır, yanmayı iyileştirir ve ÖYT'yi azaltır. Motorun maksimum tork dervrinde minimum ÖYT değerleri elde edildikten sonraki devir artışlarına paralel olarak tüm yakıtlar için ÖYT'leri de artış göstermektedir. B20 yakıtına 25, 50, 75 ve 100 ppm karbon nanotüplerin eklenmesiyle, ortalama ÖYT'nin tüm yakıt karışımları için B20 yakıtına kıyasla sırasıyla % 0,74, % 1,44, % 1,84 ve % 2,08 azaldığı gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, CNT'lerle birlikte oksijen moleküllerinin varlığı nedeniyle bu yakıtların daha yüksek efektif termik verimleridir (veya daha düşük ÖYT). Bu yakıtlar arasında, B20MWCNT100'ün düşük ÖYT'sinin önemli bir nedeni, viskozitedeki azalma, daha yüksek yoğunluk ve setan indeksi

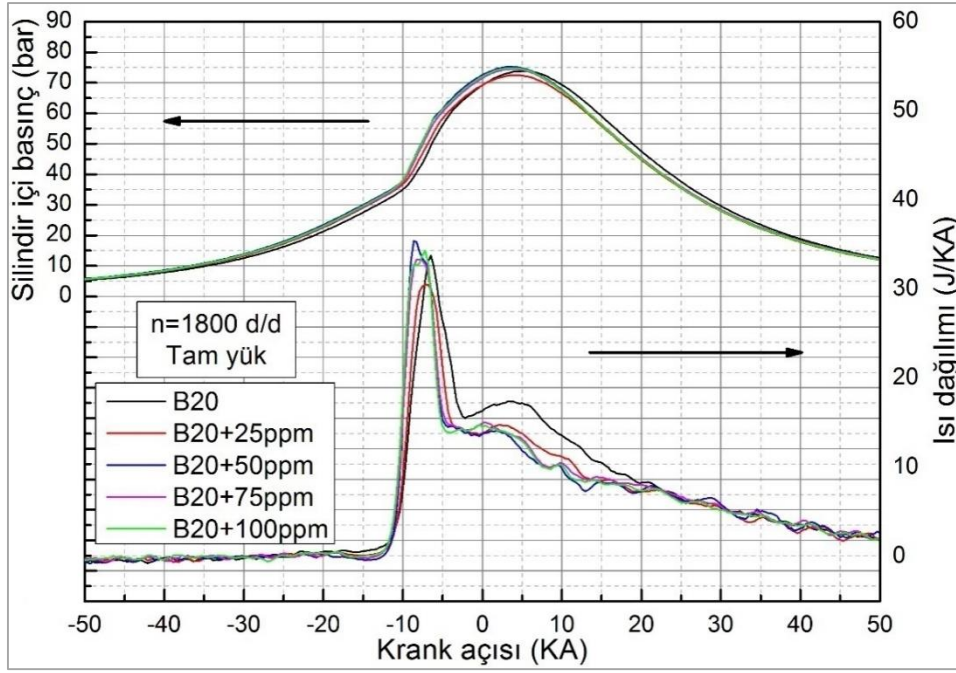
değerleridir [Hosseini ve ark. 2017]. Bu da CNT kullanımı ile daha iyi yakıt kalitesi elde edildiğinin bir göstergesidir.



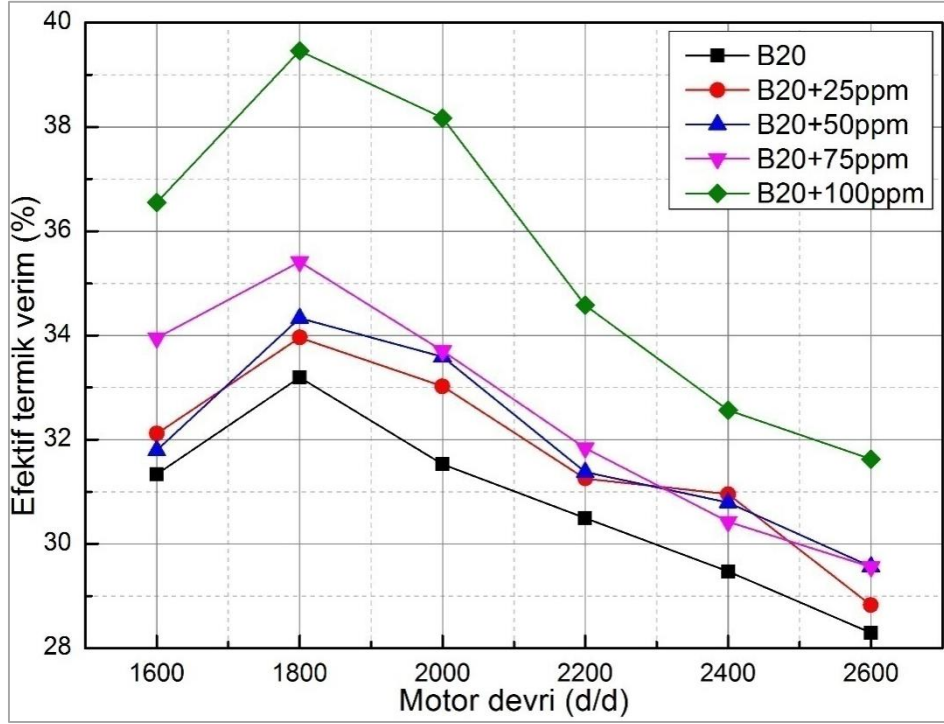
Şekil 4.2. Motor devrine bağlı olarak motor torku ve özgül yakıt tüketimi değişimleri

Şekil 4.3 maksimum motor momentinin elde edildiği devir olan 1800 rpm’de B20 ve katkılı test yakıtlarının kullanımında silindir içi basınç ve ısı dağılımı eğrilerini göstermektedir. Motorun statik piskürtme avansı ÜÖN’den önce 18 ° krank açısıdır. Şekil 4.3’te görülen ısı dağılımı eğrileri incelendiğinde ÜÖN’den önce 18 ° den başlamak üzere eğrilerin negatif bölgeye indiği görülmektedir. Bunun nedeni silindir içerisine yakıtın püskürtülmesi ve püskürtülen yakıtın buharlaşması sırasında silindirden ısı çekmesidir. Yakıtın püskürtülmeye başlamasından tutuşma başlangıcına kadar geçen süre tutuşma gecikmesi olarak isimlendirilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, buharlaşan yakıt tutuştuğu anda silindirde biriken yakıtın tamamının yanmaya iştirak etmesiyle ısı açığa çıkış hızı artmakta ve ısı dağılımı eğrisi hızla yükselmektedir. Ancak B20 yakıtı kullanıldığında meydana gelen ısı artış hızı MWCNT katkılı yakıtlara göre daha yavaştır. CNT katkısı yakıtın yüzey gerilmelerini azaltarak püskürtme sırasında daha iyi bir atomizasyon gerçekleşmesini sağlamaktadır. Buna bağlı olarak tutuşma gecikmesi sürecinde yakıt daha kolay buharlaşabilmektedir. Sonuç olarak yanma başladığında havanın içerisine daha homojen bir şekilde karışan yakıtın büyük bir kısmı yanmaya iştirak ederek yanma hızının katkısız duruma göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda MWCNT

kullanımının yanma başlangıcını öne getirdiği, diğer bir ifadeyle tutuşma gecikmesi süresini de azalttığı görülebilmektedir. Bununla birlikte maksimum silindir içi basınç değerlerinin çok fazla değişmediği görülmektedir. Difüzyon yanma fazı incelendiğinde ise MWCNT katkısı kullanıldığında daha düşük ısı açığa çıktığı görülmektedir. Bu durum ısı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabilir.



Şekil 4.3. Krank açısına bağlı silindir içi basınç ve ısı dağılımı değişimleri

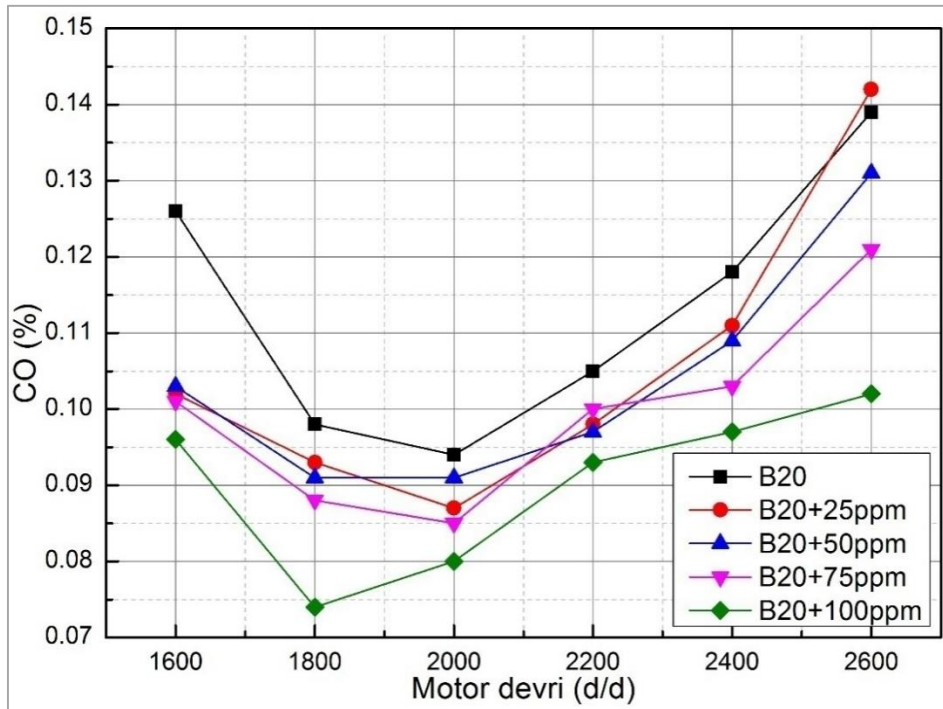


Şekil 4.4. Motor devrine bağlı efektif termik verim değişimi

Şekil 4.4 tam yükte motor devrine bağlı termik verimin değişimini göstermektedir. En yüksek termik verim 1800 rpm motor hızında % 39.3 olarak B20MWCNT100 yakıtı ile elde edilmiştir. Motorun maksimum tork devri olan 1800 rpm de silindir içerisinde maksimum miktarda dolgu alınabilmekte ve buna bağlı olarak tüm test yakıtları ile en yüksek motor verimi bu devirde elde edilmektedir. MWCNT kullanımına bağlı olarak termik verimin B20 yakıtına göre arttığı görülmektedir. Bu durum silindir basınç ve ısı dağılımı grafiğinde açıklanan durum ile uyumludur. CNT kullanımı yakıtın atomizasyonunu iyileştirdiğinden yakıt daha homojen bir karışım teşkil edebilmekte ve bunun sonucunda yanma reaksiyonları da iyileşmektedir. Ayrıca MWCNT'nin yüksek yüzey/hacim oranı nedeniyle silindir sıcaklıkları da artmaktadır. Silindir sıcaklığının artması da silindire püskürtülen yakıtın daha kolay ve hızlı bir şekilde buharlaşmasına imkan sağlamaktadır.

Şekil 4.5'de motor devrine bağlı olarak tüm test yakıtlarının denenmesi sonucunda açığa çıkan CO emisyonları gösterilmektedir. CO emisyonu yanmanın tam olarak gerçekleşmemesinden dolayı açığa çıkan insan sağlığı için oldukça zararlı bir emisyondur. Hava/yakıt oranının düşük olması CO emisyonlarının oluşmasının ana nedenidir. 1800 d/d için hava/yakıt oranına bakıldığında B20, B20MWCNT25, B20MWCNT50,

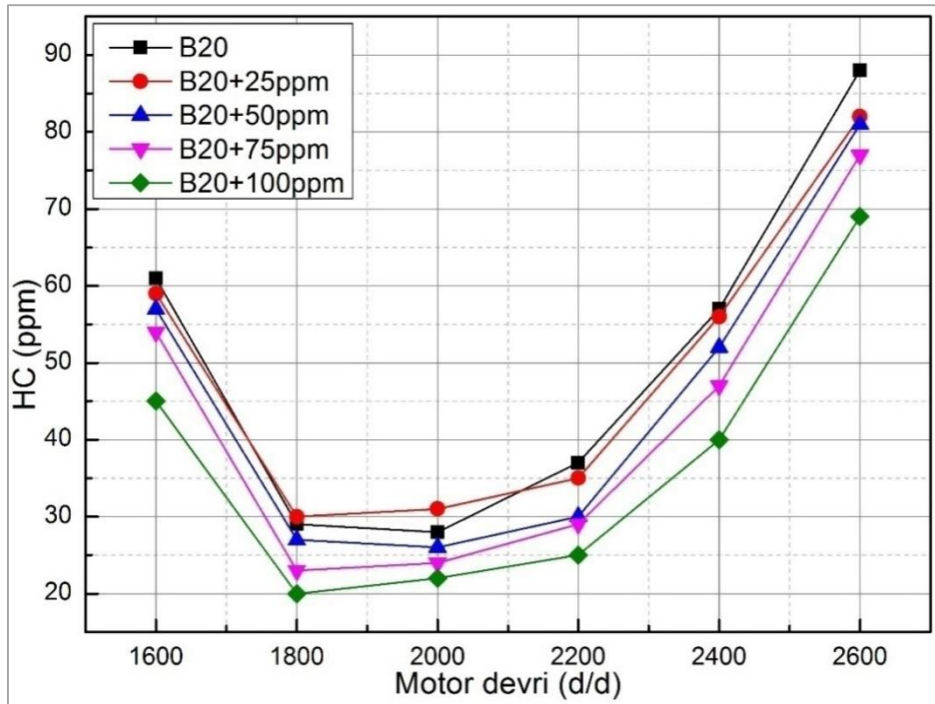
B20MWCNT75, B20MWCNT100 yakıtlarının sırasıyla 1.736, 1.869, 1.906, 1.956 ve 2.078 olarak gözlemlenmiştir. Bu değerlerden de anlaşılabacağı gibi hava/yakıt oranı arttıkça yanma odasındaki oksijen miktarı artacak ve oksijen yetersizliğinden dolayı yanma sonrasında oluşan CO emisyonları azalacaktır. Bunun yanı sıra motor yükü, yakıt özellikleri ve püskürtme parametreleri hava yakıt oranını önemli derece etkilediğinden CO oluşumu da bu parametrelerden etkilenmektedir. Şekil 4.5 incelendiğinde en düşük CO emisyonu B20MWCNT100 test yakıtının kullanımıyla elde edilmiştir. Şekil 4.4'deki efektif termik verim grafiğine bakıldığında da CO emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişiminin doğru olduğu görülmektedir. Efektif termik verimin arttığı noktalarda yanma verimi arttığından CO emisyonlarının azaldığı verimin düştüğü noktalarda ise CO emisyonlarının arttığı görülmektedir. B20 yakıtı ile B20MWCNT25, B20MWCNT50, B20MWCNT75, B20MWCNT100 test yakıtları karşılaştırıldığında yaklaşık olarak sırasıyla %6,77, %4,42, %11,93 ve %20,18 oranında karbon nanotüp katkısı kullanılan yakıtlarda CO emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5. Motor devrine bağlı olarak CO emisyonlarındaki değişim

Şekil 4.6'da B20 ve karbon nanotüp katkılı yakıtlarının kullanılmasıyla HC emisyonlarının tam yükte motor devrine bağlı değişimi görülmektedir. HC emisyonları yakıtın tam olarak yakılamaması sonucunda egzoz gazları içerisinde oluşmaktadır. HC emisyonlarının

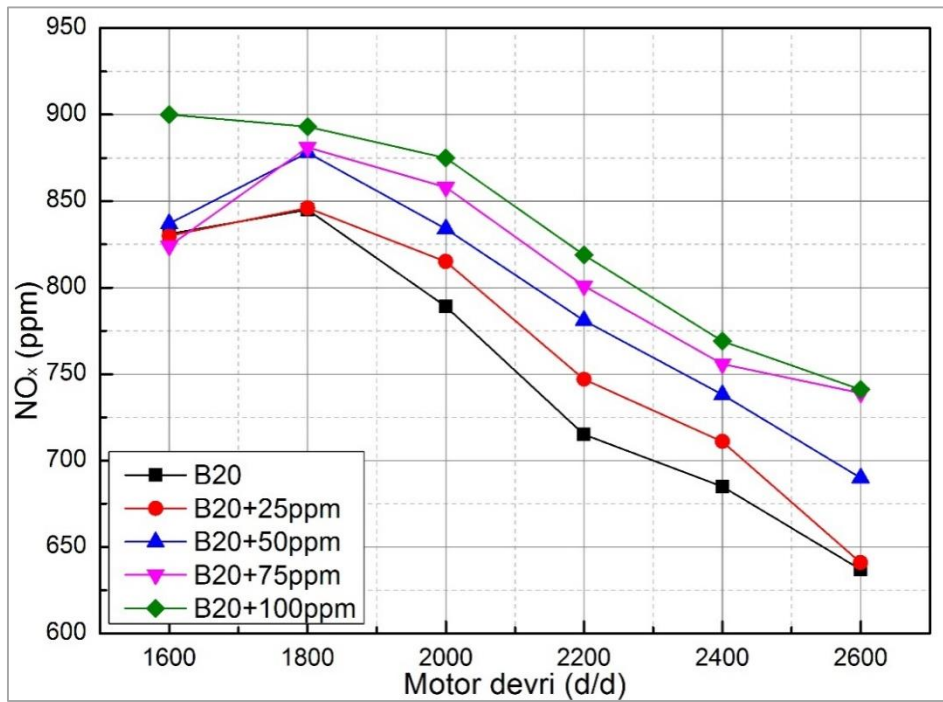
oluşmasının ana nedenleri yetersiz oksijen ve düşük yanma sıcaklığı sonucunda silindir içerisinde yanmanın tamamlanamamasıdır (Payri ve ark 2009). Tüm motor devirlerinde B20 yakıtının kullanılmasıyla elde edilen HC emisyonu değerleri diğer test yakıtlarıyla ölçülen değerlere göre daha yüksek olduğu Şekil 4.6'da görülmektedir. Test yakıtlarında karbon nanotüp miktarı arttıkça HC emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Bunun nedeni yakıtta karbon nanotüp ilavesi ile yakıt hava karışımı daha iyi atomize olmakta ve bu karışım yanma odasına çok daha iyi yayılmaktadır (Basha ve ark. 2014, Hosseini ve ark. 2017). Bu sayede yanma daha iyi gerçekleşmekte ve ayrıca karışımın yanma odasına daha iyi yayılması ile crevice bölgelerinin oluşması pek mümkün olmamak da ve karışımdaki karbon nanotüp miktarı arttıkça HC emisyonları azalmaktadır. B20 yakıtı ile B20MWCNT25, B20MWCNT50, B20MWCNT75, B20MWCNT100 test yakıtları karşılaştırıldığında yaklaşık olarak sırasıyla ortalama %2,33, %9, %15,33 ve %26,33 oranında karbon nanotüp katkısı kullanılan yakıtlarda CO emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. B20 yakıtına göre ortalama %26,33 oranında HC emisyonlarında en yüksek azalış B20MWCNT100 yakıtı ile elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Motor devrine bağlı olarak HC emisyonlarındaki değişim

NO_x emisyonunun oluşumu, enjeksiyon zamanlaması, yanma zamanlaması, maksimum ısı yayılma oranı ve maksimum sıcaklığın baskın etkilerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.7'ye

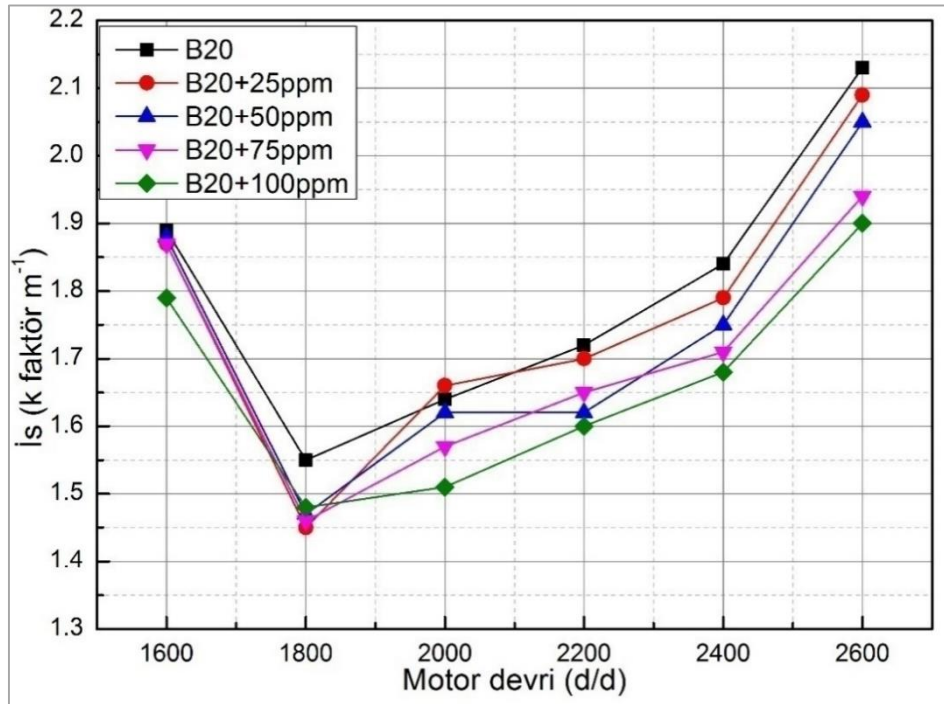
göre, B20 yakıtı kullanımı ile motor devri arttıkça NO_x emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Bununla birlikte karbon nanotüp miktarı arttıkça NO_x emisyonlarında da artış olduğu görülmektedir. B20 yakıt karışımlarına karbon nanotüp eklenmesi daha iyi atomizasyon ve yanma odasında daha iyi karışım dağılımı sayesinde yanma iyileşir ve bu sayede silindir içi basınç ve buna karşılık gelen sıcaklıkta bir artışa neden olmaktadır. Bu da Zeldovich mekanizması tarafından azot oksit emisyonunu arttırmaktadır [4]. Şekil 4.3 incelendiğinde silindir içi basınç değerlerinin test yakıtlarındaki karbon nanotüp miktarı arttıkça arttığı görülmektedir. B20 yakıtı ile karşılaştırıldığında B20MWCNT25 yakıtı kullanımı ile NO_x emisyonunda ortalama %1,95 artış meydana gelirken B20MWCNT50 yakıtı kullanımı ile yaklaşık %5,69 artış gözlemlenmiştir. Aynı şekilde B20MWCNT75 yakıtı kullanımı ile ortalama %7,93, B20MWCNT100 yakıtı kullanımı ile ise ortalama %11 artış ile en yüksek artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7. Motor devrine bağlı olarak NO_x emisyonlarındaki değişim

Karbon parçacıkları veya kurum içeren partikül madde (PM) emisyonları, dizel emisyonlarının en karmaşık olanıdır. Maksimum tork devri olan 1800 d/d'de bütün test yakıtları en düşük değere sahiptir. Motor devri arttıkça tüm yakıtlar için is emisyonları artış gösterdiği şekil 4.8'de görülmektedir. Karbon nanotüp miktarı arttıkça test yakıtlarının yanması sonucu açığa çıkan is emisyonları azalmaktadır. Bunun iki temel

nedeni vardır. Birincisi nanotüp eklendiğinde yakıtın vizkozitesi azalmaktadır [3]. İkinci etken ise is emisyonu oluşması için yanma odasında yeteri kadar oksijen olmamasından dolayı karışımın birden kavrulmasıdır. Karbon nanotüp ilavesi ile yanma iyileşmekte ve B20 yakıtına göre is emisyonu azalmaktadır. B20 yakıtı ile B20MWCNT25, B20MWCNT50, B20MWCNT75, B20MWCNT100 test yakıtları karşılaştırıldığında yaklaşık olarak sırasıyla %1,95, %3,53, %5,29 ve %7,52 oranında karbon nanotüp katkısı kullanılan yakıtlarda is emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8. Motor devrine bağlı olarak İs emisyonlarındaki değişim

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, standart dizel yakıtına %20 oranında biyodizel ilavesi ile edilen B20 yakıtına dört farklı oranda karbon nanotüp katkısı eklenmesiyle B20MWCNT25, B20MWCNT50, B20MWCNT75 ve B20MWCNT100 yeni yakıt harmanları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu harmanlar B20 yakıtı ile motor performansı, egzoz emisyonları ve silindir basıncını değerlendirmek üzere kıyaslanmıştır.

Bu çalışmada B20 yakıtının elde edilmesi için atık kızartma yağının kullanılmasının sebebi atık yağların geri kazandırılması ve kolay ulaşılabilirliğinden dolayıdır. Biyodizel'in harman olarak kullanılma nedeni ise yakıt vizkozitesinden ve içeriğindeki oksijen ihtivasından kaynaklıdır. B20 yakıtına ilave edilen karbon nanotüplerin karıştırma miktarlarının artmasıyla Şekil 4.1'de görüldüğü gibi motor gücünde %7.28'lere kadar artış görülmektedir. Metalik esaslı bu partiküllerin eklenmesiyle meydana gelen doğrusal artış miktarı silindir içerisindeki transfer katsayısının yanmadaki iyileşme ile birlikte artmasından kaynaklıdır. Yine yanmanın eksiksiz ve tam oluşu ile motor devrine bağlı motor torkun da ise Şekil 4.2'de de görüldüğü gibi B20MWCNT100 yakıtı için 2600 rpm motor hızına çıkıldığında %9.26 ya kadar artış görülmektedir. Şekil 4.2' de motor devrine bağlı ÖYT incelendiğinde ise B20 yakıtına kıyasla B20MWCNT100 yakıtının kullanılmasıyla %2.08 ile en yüksek düşüş oranı görülmektedir. Şekil 4.3' te görülen krank açısına bağlı silindir içi basınç ve ısı dağılımı eğrisine bakıldığında 1800 d/dk 'da tam yükte MWCNT kullanımı ile tutuşma gecikmesi süresince yakıtın daha kolay buharlaşmasından dolayı MWCNT katkısı kullanımının tutuşma gecikmesi süresini azalttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca difüzyon yanma fazında MWCNT katkılı yakıtlarda daha düşük ısı açığa çıktığı görülmektedir. Motor devrine kıyasla efektif termik verime bakıldığında Şekil 4.4'te %39.3 ile en yüksek termik verimin motor 1800 rpm'de iken B20MWCNT100 yakıtında olduğunu görüyoruz. Grafiğe bakarak katkı miktarının artırılması ile motora ait efektif termik verimin arttığını anlıyoruz.

Şekil 4.5'te ve Şekil 4.6'da B20 yakıtına kıyasla çok katmanlı karbon nanotüp katkılı maddelerin emisyon değerlerine baktığımızdayanmanın daha eksiksiz oluşu itibariyle katkı maddelerin artmasıyla birlikte CO ve HC emisyonlarında azalma görülmektedir. B20MWCNT100 yakıtı için HC emisyonunda %26.33 oranında azalma görülmektedir. Azot oksit emisyonlarında ise silindir bu emisyonlardaki azalmanın aksine silindir

bacınındaki ve silindir içi sıcaklıktaki yükselme ile birlikte katkı maddesi arttıkça artış görülmektedir. Şekil 4.7'ye bakıldığında B20MWCNT100 yakıtında B20 yakıtına kıyasla %11'e kadar NO_x emisyonlarında artış görülmektedir. Partikül madde emisyonları (is) için Şekil 4.8'e bakıldığında maksimum tork devrinde tüm yakıt çeşitleri için en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. MWCNT katkısında ki artış ile is emisyonlarında da %7.52'ye kadar bir azalma gözlenmektedir.

Elde edilen bu sonuçlardan yola çıktığımızda bu nanopartiküllerin silindir içerisinde daha yüksek difüzyon hızına ve daha yüksek radyasyonlu ısı emilimine (gelişmiş ısı transferi) 'ne neden olduğu anlaşılmaktadır. Motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki iyileşmelerden dolayı farklı yöntemler ile farklı ana maddelerden üretilen biyodizel yakıtı çeşitleri dizel yakıtı ile harmanlanarak, farklı yoğunluklarda CNT'ler kullanımı ile yeni çalışmalar yapılabileceği anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Anon, (1994). *Cussons Technology, Single Cylinder Engine Test Bed P8160*”, Manchester UK.
- Ashok, B., Raj, R. T. R., Nanthagopal, K., Krishnan, R. and Subbarao, R. (2017). Lemon peel oil – A novel renewable alternative energy source for diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 139, 110-121.
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., and Aziz, A. A. (2010). High quality biodiesel and its diesel engine application: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1999-2008.
- Basha, J. S. and Anand, R. B. (2014). Performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine using Carbon Nanotubes blended Jatropa Methyl Ester Emulsions. *Alexandria Engineering Journal*, 53(2), 259-273.
- Buyukkaya, E. (2010). Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel*, 89(10), 3099-3105.
- Can, Ö. (2012). *An investigation of the effects of partial HCCI application with premixed ethanol on combustion and emissions in a DI diesel engine*. Doctoral Dissertation, PhD Thesis, University of Gazi, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Chen, A. F., Adzmi, M. A., Adam, A., Othman, M. F., Kamaruzzaman, M. K. and Mrwan, A. G. (2018). Combustion characteristics, engine performances and emissions of a diesel engine using nanoparticle-diesel fuel blends with aluminium oxide, carbon nanotubes and silicon oxide. *Energy Conversion and Management*, 171, 461-477.
- Çelik, M. (2015). *Biyodizel yakıt özelliklerinin motor performansı ve Emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Deniz, O. (2008). *İçten yanmalı motorlar ders notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- El-Seesy, A. I., Abdel-Rahman, A. K., Bady, M. and Ookawara, S. (2016). The influence of multi-walled carbon nanotubes additives into non-edible biodiesel-diesel fuel blend on diesel engine performance and emissions. *Energy Procedia*, 100, 166-172.
- El-Seesy, A. I., Kosaka, H., Hassan, H. and Sato, S. (2019). Combustion and emission characteristics of a common rail diesel engine and RCEM fueled by n-heptanol-diesel blends and carbon nanomaterial additives. *Energy conversion and management*, 196, 370-394.
- Ficarella, A., Carlucci, A. P., Chehroudi, B., Laforgia, D. and Strafella, L. (2017). Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNTs) bonded with Ferrocene particles as ignition agents for air-fuel mixtures. *Fuel*, 208, 734-745.

- Hariram, V., Udhayakumar, V., Karthick, P., Andrews, A., Arunraja, A., Seralathan, S. and Premkumar, T. M. (2018). Effect of Carbon Nanotubes on Oxygenated Jojoba Biodiesel-Diesel Blends in Direct Injection CI Engines. *International Journal of Vehicle Structures & Systems*, 10(6), 423-432.
- Heydari-Maleney, K., Taghizadeh-Alisaraei, A., Ghobadian, B. and Abbaszadeh-Mayvan, A. (2017). Analyzing and evaluation of carbon nanotubes additives to diesohol-B2 fuels on performance and emission of diesel engines. *Fuel*, 196, 110-123.
- Hosseini, S. H., Taghizadeh-Alisaraei, A., Ghobadian, B. and Abbaszadeh-Mayvan, A. (2017). Effect of added alumina as nano-catalyst to diesel-biodiesel blends on performance and emission characteristics of CI engine. *Energy*, 124, 543-552.
- Hosseini, S. H., Taghizadeh-Alisaraei, A., Ghobadian, B., Abbaszadeh-Mayvan, A. (2017). Performance and emission characteristics of a CI engine fuelled with carbon nanotubes and diesel-biodiesel blends, *Renewable Energy*, 111, 201-213.
- Ichinose, N., Ozaki, Y. and Kashu, S. (2012). *Superfine particle technology*. Springer Science & Business Media.
- Kolar, J. L. (2000), Environmental quality management, *Alternative Energy Technologies*, 10, 45-53.
- Korres, D. M., Karonis, D., and Lois, E. (2003, 17-21 August). *Use of alternative fuels on a diesel engine*, 1st International Energy Conversion Engineering Conference, Portsmouth, Virginia.
- Kumar, H., Shukla, M., K. and Vimal Kumar, V. (2018), Water-in-diesel nanoemulsion fuels for diesel engine: combustion properties and emission characteristics, *Prospects of Alternative Transportation Fuels*, 10, 978-981.
- Mei, D., Zuo, L., Adu-Mensah, D., Li, X. and Yuan, Y. (2019). Combustion characteristics and emissions of a common rail diesel engine using nanoparticle-diesel blends with carbon nanotube and molybdenum trioxide. *Applied Thermal Engineering*, 162, 114238.
- Mishra, P. C., and Nayak, S. K. (2018), Pre-and Post-mixed hybrid biodiesel blends as alternative energy fuels-An experimental case study on turbo-charged direct injection diesel engine, *Energy*.
- Nabi, M. N., Akhter, M. S. and Shahadat, M. M. Z. (2006). Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel-biodiesel blends. *Bioresource Technology*, 97(3), 372-378.
- Najafi, G. (2018). Diesel engine combustion characteristics using nano-particles in biodiesel-diesel blends. *Fuel*, 212, 668-678.
- Palit, S., Mandal, B. K., and Ghosh, S. (2008), Performance and emission characteristics of bio-diesel as an alternative diesel engine fuel, *Proceedings of ES2008 Energy Sustainability*, Florida USA.

- Payri, F., Bermúdez, V. R., Tormos, B. and Linares, W. G. (2009). Hydrocarbon emissions speciation in diesel and biodiesel exhausts. *Atmospheric Environment*, 43(6), 1273-1279.
- Polat, S. (2011). *İçten Yanmalı Motorlar Ders Notları*, Hitit Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Çorum, 7-93.
- Shi, X., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J. and Li, R. (2006). Emission reduction potential of using ethanol–biodiesel–diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine. *Atmospheric Environment*, 40(14), 2567-2574.
- Sivathanu, N. and Valai Anantham, N. (2019). Impact of multi-walled carbon nanotubes with waste fishing net oil on performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine. *Environmental Technology*, 1-30.
- Tan, P. Q., Hu, Z. Y., Lou, D. M. and Li, Z. J. (2012). Exhaust emissions from a light-duty diesel engine with Jatropha biodiesel fuel. *Energy*, 39(1), 356-362.
- Tan, P. Q., Ruan, S. S., Hu, Z. Y., Lou, D. M. and Li, H. (2014). Particle number emissions from a light-duty diesel engine with biodiesel fuels under transient-state operating conditions. *Applied Energy*, 113, 22-31.
- Tewari, P., Doijode, E., Banapurmath, N. R. and Yaliwal, V. S. (2013). Experimental investigations on a diesel engine fuelled with multiwalled carbon nanotubes blended biodiesel fuels. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(3), 72-76.
- Usta, N., Öztürk, E., Can, Ö., Conkur, E. S., Nas, S., Con, A. H. and Topcu, M. (2005). Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 46(5), 741-755.
- Velumani, V., Lawrence, P. and Sivaprakasam, S. (2018). Performance and Emission Analysis on DI Diesel Engine with Multi-walled Carbon Nanotubes. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13, 16697-16700.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SÜRER, Elif
 Uyuğu : T.C.
 Doğumtarihi ve yeri : 05.12.1992, Mersin
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : (0542) 727 12 80
 e-mail : elifsurer92@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Otomotiv Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Fırat Üniversitesi/Otomotiv Mühendisliği	2015
Lise	MTSO Anadolu Lisesi	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-2017	Yıldız Pul Otomotiv San. A.Ş	Ar-Ge Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Yayınlar

Solmaz, H. and Sürer, E. (2019). *Biyodizel Yakıtına Eklenen Nanopartikül İçeren Katkıların Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması*, Proceedings on 2nd International Conference on Technology and Science, Volume 2 November 14-16, 631-636.

Hobiler

Yüzme, Gitar, Doğa yürüyüşü



GAZİ GELECEKTİR..