

**YAKIT SICAKLIĞININ BİYODİZEL VE DİZEL
YAKITLI MOTORDA PERFORMANS VE EGZOZ
EMİSYONLARINA ETKİSİNİN SABİT DEVİR
SAYISINDA DENEYSEL İNCELENMESİ**

Erdoğan GÜNER

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Prof. Dr. M. Akif CEVİZ**

2013

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAKIT SICAKLIĞININ BİYODİZEL VE DİZEL YAKITLI
MOTORDA PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA
ETKİSİNİN SABİT DEVİR SAYISINDA DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Erdoğan GÜNER

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ERZURUM
2013**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

Yakıt Sıcaklığının Biyodizel ve Dizel Yakıtlı Motorda Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Sabit Devir Sayısında Deneysel İncelenmesi

Prof. Dr. M. Akif CEVİZ'in danışmanlığında, Erdoğan GÜNER tarafından hazırlanan bu çalışma 24/09/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. M. Akif CEVİZ

İmza : 

Üye : Doç. Dr. Kadir BAKIRCI

İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. K. Vefa Ezirmik

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum



Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAKIT SICAKLIĞININ BİYODİZEL VE DİZEL YAKITLI MOTORDA PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİNİN SABİT DEVİR SAYISINDA DENEYSEL İNCELENMESİ

Erdoğan GÜNER

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Akif CEVİZ

Dünyadaki nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak endüstrileşmenin artması enerji ihtiyacını da artırmaktadır. Artan bu enerji ihtiyacı ya yeni enerji kaynaklarının bulunmasıyla ya da mevcut kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılmasıyla karşılanabilir. Bilim adamları her geçen gün bu konuya daha fazla eğilmektedir. Yapılan araştırmalar özellikle, tüketim alanının geniş olduğu taşımacılık sektöründe enerji dönüşüm sistemlerinin başında yer alan içten yanmalı motorlar üzerinde yoğunlaşmıştır.

İçten yanmalı motorlar ile ilgili yapılan araştırmalar yanma olayının yüksek verimde gerçekleşmesine, alternatif yakıt bulmaya ve çevreye en az zarar vermeye yöneliktir.

Bu çalışmada, dizel ve biyodizel yakıtları kullanılarak 2 silindirli, 4 zamanlı sıkıştırma ateşlemeli bir motorda yakıt sıcaklığının etkisi hakkında bir deneysel analiz gerçekleştirilmiştir. Yakıt sıcaklığı 10°C'den 80°C'ye 10°C'lik artımlarla artırılmıştır. Deneyleerde kullanılan iki farklı biyodizel, ayçiçeği ve kanola yağlarından transesterifikasyon metoduyla üretilmiştir.

Çalışmamızdaki deneyler yakıt sıcaklığının hem motor performansı hem de egzoz emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Yakıt sıcaklığındaki artış, yakıtın yoğunluğunu ve viskozitesini düşürmekte ve yüksek sıcaklıklarda silindire alınan yakıtın kütlesindeki azalmadan dolayı motor performansını azaltmaktadır. CO ve NO egzoz emisyon parametrelerinin analizine göre, yakıt sıcaklığındaki artış dizel ve biyodizel yakıtlarda farklı bir etki yapmaktadır. Yakıt sıcaklığı arttıkça saf biyodizel yakıtlarda CO emisyonları artarken NO emisyonları azalmıştır, dizel yakıtında ise her iki emisyon parametrelerinin üretimi azalmıştır.

2013, 45 Sayfa

Anahtar kelimeler: Sıkıştırma Ateşlemeli Motorlar, Yakıt Sıcaklığı, Egzoz Emisyonları

ABSTRACT

MS Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ABOUT THE EFFECTS OF FUEL TEMPERATURE ON PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS OF ENGINE FUELLED WITH BIODIESEL AND DIESEL AT CONSTANT SPEED

Erdoğan GÜNER

Atatürk University
Graduate School of Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. M. Akif CEVİZ

Depending on population growth and technological development, increasing industrialization increases energy requirement. Increased energy requirement can be met either finding new energy sources or using of available sources more effectively. Scientists address the issue each passing day. Researches especially focus on internal combustion engines which are at the head of energy conversion systems in transportation sector.

Researches about internal combustion engines intend higher combustion efficiency, finding alternative fuels or minimum harm to the environment.

In this study, an experimental analysis has been carried out about the effect of the fuel temperature on a two-cylinder, four stroke compression ignition engine by using diesel and biodiesel fuels. Fuel temperature has been increased by an experimental set-up from 10°C to 80°C with 10°C step increment. Two different biodiesel fuels used in the experiments has been produced from sunflower oil and canola oil by the transesterification method.

Experiments in our study have shown that the fuel temperature has an important effect on both engine performance and exhaust emissions. Increase in the fuel temperature decreases the fuel density and viscosity, and at higher temperatures engine performance decreases due to the decrease in the fuel mass injected to the cylinder. According to the analysis of CO and NO exhaust emission parameters, the increase in the fuel temperature has an different effect for diesel and biodiesel fuels. As the fuel temperature increases, NO emissions decrease while CO emissions increase during the experiments of biodiesel fuels, but production of those emissions decrease on diesel fuel.

2013, 45 pages

Keywords: Compression Ignition Engines, Fuel Temperature, Exhaust Emissions

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının oluőumunda büyük pay sahibi olan, bilgi ve tecrbesiyle sürekli olarak yol gösteren, alıőkanlıęı, sabır ve anlayıőıyla bana örnek olan ve her türlü yardım ve desteği esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. M. Akif CEVİZ'e teőekkürü bir borç bilirim.

Tezimin deney çalışmalarını yaparken özveriyle bana yardım eden ve önerileriyle ufuk aan Sayın Arő. Gör. Alırıza KALELİ'ye ve hayatım boyunca sürekli bana destek olan aileme teőekkürü ederim.

Erdoğan GÜNER

Eylül, 2013

İÇİNDEKİLER

1. ÖZET	i
2. ABSTRACT	ii
3. TEŞEKKÜR	iii
4. SİMGELER DİZİNİ	vi
5. ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
6. ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
7. 1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	8
1.2. Kapsam	9
8. 2. KURAMSAL TEMELLER	10
2.1. Efektif Motor Karakteristik Değerleri	10
2.1.1. İndike iş	13
2.1.2. İndike güç	15
2.1.3. Ortalama indike efektif basınç	15
2.1.4. Efektif verim	16
2.1.5. Fren (efektif) tork ve gücü	16
2.1.7. Özgül yakıt tüketimi	18
2.2. Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Transesterifikasyon	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM	20
3.1. Deney Düzenegi ve Kullanılan Ölçü Aletleri	20
3.1.1. Güç ölçüm ünitesi (hidrolik fren)	24
3.1.2. Piezo basınç çeviricisi	24
3.1.3. Motor krank açısı sensörü	25
3.1.4. Egzoz emisyon cihazı	25
3.1.5. İslilik ölçme cihazı	26
3.1.6. Biyodizel üretim sistemi	26
3.2. Deneysel yöntem	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	32
4.1. Motor Performans Karakteristiklerinin Yakıt Sıcaklığı ile Değişimi	32

4.2. Egzoz Emisyon Karakteristiklerinin Yakıt Sıcaklığı ile Değişimi	36
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	41
5.1. Sonuçlar	41
5.2. Öneriler	42
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	46

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A_p	Piston yüzey alanı (m^2)
b_e	Özgül yakıt sarfıyatı ($g/kW.h$)
CO	Karbon monoksit gazı
CO ₂	Karbon dioksit gazı
F	Kuvvet (N)
F	Yakıt
H_U	Alt ısı değer (kJ/kg)
HC	Hidrokarbon
D	Çap
dV	Pistonun kat ettiği diferansiyel hacim
M_d	Moment (Nm)
NO	Azot monoksit
n	Motor devir sayısı (d/dak)
P	Basınç (kPa)
P_i	İndike güç (kW)
P_{mi}	Ortalama indike efektif basınç (kPa)
P_e	Efektif güç (kW)
P_b	Fren gücü (kW)
S	Strok
T	Tork (Nm)
t	Zaman (s)
V_h	Yanma odası hacmi (m^3)
V_c	Strok hacmi (m^3)
W	İş (kJ)
W_e	Çevrim başına üretilen iş (kJ)
W_i	İndike iş (kJ)
W_f	Fren işi (kJ)
W_s	Mekanik sürtünme işi (kJ)
W_{net}	Net iş (kJ)
$W_{brüt}$	Brüt iş (kJ)
W_{pompa}	Pompa işi (kJ)
ρ	Yoğunluk ($kg.m^{-3}$)
η_e	Efektif verim
ε	Sıkıştırma oranı

Kısaltmalar

AME	Ayçiçeği metil esteri
AÖN	Alt ölü nokta
KME	Kanola metil esteri
SME	Soya yağı metil esteri
ÜÖN	Üst ölü nokta

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Bitkisel yağların ve onların metil esterlerinin 38°C'deki viskoziteleri	3
Şekil 2.1. Motor gerçek çevrimi	11
Şekil 2.2. Silindir içerisinde üretilen indike iş	15
Şekil 2.3. Dinamometrenin çalışma prensibinin şematik gösterimi.	17
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü	21
Şekil 3.2. LabVIEW ön panel ve blok diyagram görüntüsü	22
Şekil 3.3. Biyodizel üretim sisteminin şematik görünümü	27
Şekil 3.4. Yakıt sıcaklığı ile yoğunluğun değişimi	29
Şekil 3.5. Yakıt sıcaklığı ile kinematik viskozitenin değişimi	29
Şekil 4.1. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile motor torku değişimi	34
Şekil 4.2. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile efektif yakıt tüketimi değişimi	35
Şekil 4.3. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile efektif verim değişimi.	36
Şekil 4.4. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile CO emisyonunun değişimi.	38
Şekil 4.5. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile NO emisyonunun değişimi.	39
Şekil 4.6. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile duman yoğunluğunun değişimi.	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Soya yağı metil esterlerinin (SMEA-SMEB) ve No.2 dizel yakıtıyla hacimsel olarak karışımlarının viskozitelerinin sıcaklıkla değişimi	5
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri	20
Çizelge 3.2. Egzoz emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti	26
Çizelge 3.3. Üretilen biyodizellerin elementel analiz sonuçları	28
Çizelge 3.4. AME ile dizel yakıtın yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi	30
Çizelge 4.1. Dizel yakıtlı performans karakteristiklerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri	32
Çizelge 4.2. KME yakıtlı performans karakteristiklerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri	33
Çizelge 4.3. AME yakıtlı performans karakteristiklerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri	33
Çizelge 4.4. Dizel yakıtlı emisyon verilerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri	37
Çizelge 4.5. KME yakıtlı emisyon verilerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri.	37
Çizelge 4.6. AME yakıtlı emisyon verilerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri.	38

9. GİRİŞ

Dünya nüfusunun ve endüstrileşmenin artması enerji ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Dünyanın her yerinde ısıtmadan aydınlatmaya, taşımacılıktan endüstriyel tüm makinelerin çalışmasına kadar her alanda enerjiye ihtiyaç vardır. Artan bu enerji talebinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır.

Petrol fosil kökenli bir yakıt olup doğadan çıkarıldığı haliyle kullanılamaz. Bu nedenle ham petrol rafinelerde işlenir ve işlenen petrolden mazot, benzin, LPG, fuel oil ve gaz yağı gibi yakıtlar elde edilir. Mevcut petrol rezervleri gün geçtikçe azalmaktadır. Petrol rezervlerindeki bu azalış özellikle petrolün yoğun bir şekilde kullanıldığı ulaşım ağını ve petrolden elde edilen ürünlerin sürekliliğini tehdit etmektedir.

Kimyasal bileşimleri nedeniyle fosil yakıtların kullanımı havayı kirletmektedir. Havadaki bu kirlilik doğrudan tüm çevreye yansımaktadır. İçme sularını tehdit eden asit yağmuru ve küresel ısınmaya sebep olan sera etkisi bu kirliliğin sonuçlarından bir kaçıdır (Yüksel vd 2001). Petrolün tüketim alanının en fazla olduğu yer taşımacılıktır. Sadece ülkemizde 2010 ile 2011 yılları arasında trafiğe kayıtlı araç sayısı yaklaşık olarak 1 000 000 adet artmıştır (TÜİK 2011). Bu olay dünya genelinde düşünüldüğünde hava kirliliği konusunda alınmış ve alınacak olan önlemlerin gerekliliği açık bir şekilde görülmektedir. Bu konudaki ilk düzenlemeler 1968 yılında California'da, ilk uygulamalar ise 1972 yılında Avrupa'da başlatılmıştır (Yüksel vd 2001). İnsanların bilinç seviyeleri arttıkça ülkeler bazında da bu konu gündeme gelmiş ve 1997 yılında Kyoto Protokolü adı verilen bir protokol imzalanmıştır. Bu protokolün amacı ülkelerin atmosfere saldıkları karbon miktarını 1990 yılındaki seviyelere düşürmektir (Kawano *et al.* 2006).

Ayrıca araçlardan atmosfere salınan zararlı emisyonlara Avrupa Birliği tarafından hazırlanan ve ilk olarak 1992 yılında uygulamaya konulan standartlar ile sınırlama getirilmiştir. Bu değerler sürekli olarak gözden geçirilerek emisyon sınırları gün

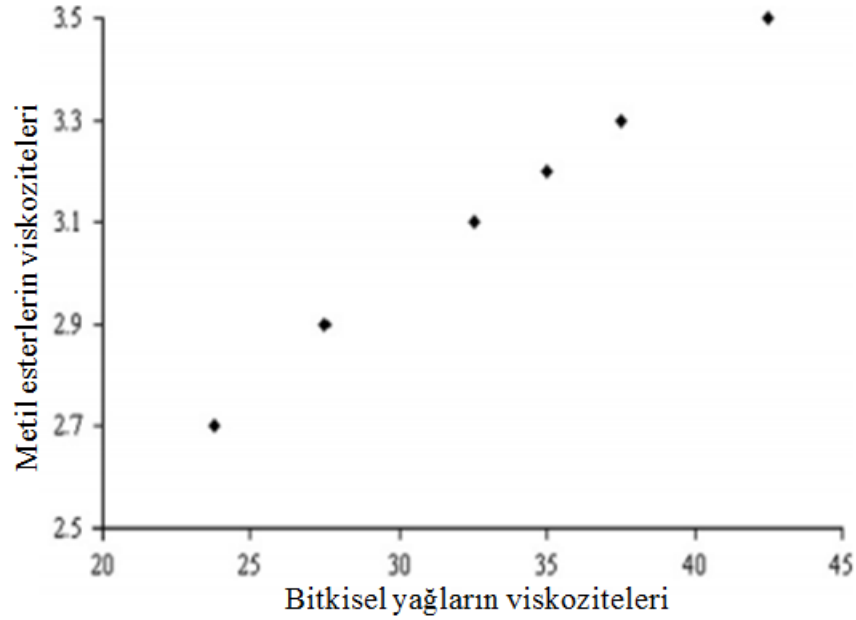
geçtikçe aşağı çekilmekte ve 2014 yılında Euro 6 normlarının yürürlüğe girmesi beklenmektedir. Tüm bu durumlar araştırmacıları hem mevcut kaynakları daha verimli ve çevreye daha az zararlı bir şekilde kullanmanın yollarını araştırmaya hem de petrole alternatif olacak ve yine çevreye minimum zarar verecek kaynaklar bulmaya zorlamıştır.

Alternatif yakıt arayışları petrol kökenli yakıtların tükenmesinin yanı sıra çevreye olan zararlarının azaltılması açısından da önemlidir. Yakıtın kimyasal enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren (Heywood 1988) ve hâlihazırda taşımacılık sektörünün vazgeçilmezi olan içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak bitkisel yağların kullanımı Rudolf Diesel'in kendi dizel motorunda ilk olarak yer fıstığı yağını test ettiği yaklaşık 100 yıl öncesine dayanır (Meher *et al.* 2006). Shay (1993) bu bitkisel yağlara çok çeşitli kaynaklardan ulaşılabileceğini ve yağlardaki gliseridlerin dizel yakıtı için uygun bir alternatif olarak düşünülebileceğini belirtmiştir (Dmytryshyn *et al.* 2004).

1930 ve 1940'larda bitkisel yağlar sadece acil durumlarda dizel yakıtı olarak kullanıldı (Ma and Hanna1999). 1940'da bitkisel yağ metil ve etil esterleriyle alakalı ilk çalışmalar Fransa'da yürütüldü ve aynı zamanda Belçika'daki otobüsler için palmye yağı etil esteri yakıt olarak kullanıldı. Alternatif yakıt olarak bitkisel ve hayvansal yağlara yönelik çalışmaların sebepleri arasında 1970'lerdeki petrol krizinden sonra hızla artan fiyatlar, petrole ulaşımdaki belirsizlikler, çevreye verilen zararlar ve sera gazlarının etkisine artan farkındalık gösterilebilir (Wang *et al.* 2006).

Bitkisel yağların motorlarda doğrudan ve uzun süreli kullanımı bazı problemlere sebep olmuştur (Cigizoglu *et al.* 1997). Motor yakıtı olarak bitkisel yağların direkt kullanımıyla alakalı çoğu problemin kökeninde yüksek viskozite vardır (Ryan *et al.* 1984). Bitkisel yağlar oldukça viskozdur, viskoziteleri petrol kökenli dizel yakıttan hemen hemen 10 kat daha fazladır (Çetin and Yüksel 2007). Yüksek viskoziteleri nedeniyle bitkisel yağların enjeksiyon ve atomizasyon karakteristikleri petrol kökenli dizel yakıtından oldukça farklıdır (Cigizoglu *et al.* 1997). Modern dizel motorlar ise viskozite değişikliğine karşı hassas yakıt enjeksiyon sistemlerine sahiptirler. 1970'te

bilim adamları bitkisel yağların viskozitelerinin basit kimyasal işlemlerle azaltılabileceğini ve modern motorlarda dizel yakıt olarak kullanılabileceğini keşfettiler. Bu işlemlerden biri bitkisel yağların esterleştirilmesidir. Esterleştirilen bitkisel yağların viskoziteleri dikkate değer bir biçimde azalmakta ve dizel yakıtın viskozitesine yaklaşmaktadır. Dizel yakıtının viskozitesi 40°C’de 1.8-4.1 mm²/s arasındadır. (Tippayawong *et al.* 2002) Şekil 1.1’de bazı bitkisel yağların ve onlardan elde edilen metil esterlerin viskoziteleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 1.1. Bitkisel yağların ve onların metil esterlerinin 38°C’deki viskoziteleri (Demirbaş and Kara 2006)

Avrupa Birliği’nde artan enerji talebine cevap verebilme ve kırsal alanların azalışını önleme açısından 1980’lerde biyodizel desteklenmeye başlandı. Biyodizel’in geniş çaplı üretimine 1990’larda başlanmış ve üretimi düzenli olarak artış göstermiştir (Dufey 2006).

Alternatif yakıt olarak biyodizelin bu denli kabul görmesinde hiç şüphesiz onun sahip olduğu avantajlar büyük rol oynamıştır. Biyodizel’in bazı avantajları;

- Dünyanın her yerinde elde edilebilir,
- Fındık yağı, ayçiçeği yağı, kolza yağı, pamuk yağı ve soya yağının da aralarında bulunduğu 350'den fazla bitki yağlarından biyodizel üretilebilmektedir (Demirbaş 2006),
- Bitkisel kökenli olduğundan yenilenebilirdir,
- İçerisinde neredeyse hiç sülfür elementi barındırmadığından daha yeşildir (çevre dostudur) (Wang *et al.* 2006).

Biyodizeller diğer yeni-yenilenebilir ve temiz alternatif motor yakıtları arasında daha başka avantajlara sahiptirler (Demirbaş 2005). Bu avantajlarından bazıları ise;

- Fosil dizelden daha iyi yağlama kalitesine sahip olduğu için motorun ömrünü uzatır,
- Daha az toksik madde içerir,
- Daha iyi biyobozunurluğa sahiptir,
- Daha yüksek parlama noktasına sahip olduğu için taşınması daha güvenlidir,
- Bazı egzoz emisyonlarını azaltır. (Balat 2006)

Avantajlarının yanı sıra biyodizel;

- Yüksek viskozite,
- Düşük buharlaşma (uçuculuk),
- Düşük doymamış hidrokarbon zinciri reaktivitesi gibi dezavantajlara sahiptir. (Demirbaş 2006)

Bitkisel yağların viskoziteleri esterleştirilerek azaltılabildiği gibi biyodizellerin viskoziteleri de motora giren yakıtın sıcaklığının artırılmasıyla azaltılabilir. Şekil 1.2'de soya yağı metil esterlerinin ve No.2 dizel yakıtıyla hacimsel karışımlarının viskozitelerinin sıcaklıkla değişimi verilmiştir.

Çizelge 1.1. Soya yağı metil esterlerinin (SMEA-SMEB) ve No.2 dizel yakıtıyla hacimsel olarak karışımlarının viskozitelerinin sıcaklıkla değişimi (Yuan *et al.* 2005)

	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
SMEA100	6,45	4,1	2,87	2,15	1,68
SMEA75	5,98	3,78	2,65	1,97	1,54
SMEA50	5,41	3,41	2,41	1,79	1,4
SMEA25	4,84	3,11	2,16	1,63	1,26
SMEB100	7,07	4,41	3,05	2,24	1,76
SMEB75	6,53	4,07	2,81	2,08	1,62
SMEB50	5,83	3,6	2,51	1,87	1,46
SMEB25	4,91	3,1	2,17	1,63	1,28

Viskozite sıcaklığın bir fonksiyonudur (Tippayawong *et al.* 2002). Yakıt sıcaklığının artırılması sadece viskoziteyi azaltmayla kalmayıp motor performansına ve egzoz emisyonlarına da etki etmektedir.

Aşağıda dizel motorlarda dizel, biyodizel ve hacimsel karışımlarının kullanılarak yakıt sıcaklığının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelendiği bazı literatür özetleri verilmiştir.

Tate *et al.* (2006) yaptıkları çalışmada kullandıkları 3 farklı biyodizelde (kanola ve soya metil esterleri ile balık yağı etilesteri) sıcaklığın viskozite ve yoğunluk üzerindeki etkilerini incelemiş ve 20°C'den 300°C'ye kadar sıcaklığı artırarak viskozitenin 6-7 kat azaldığını ve yoğunluğun ise hemen hemen 850 kg/m³'ten 500 kg/m³'e düştüğünü görmüşlerdir. Ayrıca sıcaklığın yakıtın fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkisini inceleyen Dzida and Prusakiewicz (2008) çalışmalarında 0°C'den 90°C'ye çıkardıkları sıcaklıkla biyodizel ve dizel yakıtın yoğunluğunun yaklaşık olarak 60-65 kg/m³ azaldığını tespit etmişlerdir.

Çanakçı *et al.* (2009) ön yanma odalı enjeksiyonlu bir motorda petrol kökenli dizel yakıtlara karşın ısıtılmış ham ayçiçeği yağının yanma ve emisyon özelliklerini test etmişlerdir. Silindir gaz basıncının ve ısı salınımı eğrilerinin 75°C'de petrol kökenli

dizel yakıtla benzer olduğunu görmüş, kullandıkları yağla fren torkunda dizele kıyasla %1.36'lık bir azalma, fren özgül yakıt tüketiminde ise ısıl değerdeki farka oranla hemen hemen %5'lik bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Emisyon test sonuçlarına göre CO₂ emisyonunda ve duman yoğunluğunda sırasıyla %2.05 ve %4.66 azalma, yanmamış hidrokarbon emisyonlarında %34'lük önemli bir iyileşme, CO emisyonlarında ise %1.77 artış görmüşlerdir. Ayrıca kullandıkları bu yağın kısa süreli motor testlerinde motor performansı ve egzoz emisyonlarında hiçbir negatif etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Rafidah *et al.* (2012) dizel motorda %5 biodizel karışımı kullanarak yakıt sıcaklığının etkisini incelemek ve 4 silindirli dizel motorun simülasyonunu yapmak için bir boyutlu nümerik analiz kullanmıştır. Simülasyonu yakıt sıcaklığının 27°C ile 227°C arasında değiştiği tam yükleme şartlarında yürütmüş olup deneyleri 500 dev/dak artımlarla 1000 dev/dak'dan 4000 dev/dak'ya kadar değişen motor hızlarında gerçekleştirdiler. Fren gücünde en fazla düşüşü en yüksek hızda %1.39, fren torkunda ise %1.13 olarak görmüşlerdir. Alt ısıl değerdeki azalışın fren özgül yakıt tüketiminde bir artışa sebep olduğunu ve böylece tam yükleme durumunda fren termal veriminin azaldığını belirtmişlerdir.

Karhale *et al.* (2008) yaptıkları çalışmada Karanja metil esterini ve dizel yakıtıyla hacimsel olarak %20, %40 ve %60 oranlarında karıştırdıkları biyodizelleri dizel motorda deneyerek motor çıkış gücünü hesaplamışlardır. Motoru bu yakıtlarla 2 farklı enjeksiyon basıncında ve yakıt sıcaklığını 30°C, 50°C ve 70°C'ye ayarlayarak çalıştırmış ve sonuçta motor çıkış gücü ve fren termal veriminde artma, fren özgül yakıt tüketiminde ise azalma görmüşlerdir. Motor çıkış gücü karanja metil esteri konsantrasyonunun artmasıyla azalmış, yakıt sıcaklığının ve enjeksiyon basıncının artışıyla artmıştır.

Foster and Jung (2002) deneylerini bir Perkins 1006-60T model motor üzerinde dizel yakıtı kullanarak yakıt sıcaklığını 25, 35, 45, 55, 65, 75 ve 80°C'ye ayarlayarak gerçekleştirmişlerdir. 10°C'de de bir araştırma yapmışlar ve 25°C'ye oranla sadece

%2'lik bir güç artışı olduğunu görmüş fakat bu durumda da NO_x emisyonlarında büyük bir artış olduğunu belirlemişlerdir. 45°C yakıt sıcaklığını (ısıtma ve soğutma yapmadıkları için) referans olarak diğer sıcaklıklardaki sonuçları bununla kıyaslamışlardır. Yakıt sıcaklığını 45°C'den 55°C'ye çıkardıklarında performansın %7.5 azaldığını görmüş, özgül yakıt tüketiminin ise en az 25°C'de olduğunu fakat 45°C'ye gelene kadar nispeten aynı kaldığını belirtmişlerdir. Yakıt sıcaklığı 45°C'den 80°C'ye kadar artırıldığında güçte %14'lük bir azalma ve 25°C'ye soğutulduğunda ise %5'e kadar bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kubota *et al.* (2002) çalışmalarını 4-stroklı, tek silindırlı, direk enjeksiyonlu ve basınçlı hava soğutmalı bir dizel motor üzerinde dizel ve setan yakıtını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yakıt sıcaklığının artmasıyla hem maksimum yanma basıncının azaldığını hem de maksimum basıncın daha sonraki krank açılarında meydana geldiğini görmüşlerdir. Yakıt sıcaklığı 297°C'den fazla iken fren ortalama efektif basıncında azalma olduğunu tespit etmiş, ayrıca egzoz gazları arasındaki HC ve CO konsantrasyonunun yakıt sıcaklığından bağımsız sabit değerlerde olduğunu ancak yakıt sıcaklığının artmasıyla NO_x konsantrasyonunun aşamalı olarak azaldığını görmüşlerdir.

Heywood (1988) NO_x emisyonunun esasen yanma odasındaki yüksek sıcaklığın bir fonksiyonu olduğunu belirtmiş ve benzer şekilde Tat and Gerpen (2003) deneylerinde kullandıkları soya fasulyesinden elde ettikleri biyodizel yakıtı ile No.2 dizel yakıtının NO_x emisyonlarını karşılaştırırken biyodizelin yaklaşık %14 daha fazla NO_x emisyonlarına sahip olduğunu görmüşlerdir. Fang *et al.* (2008) NO_x oluşumunun yüksek sıcaklıklarda daha fazla olduğunu belirtmiş ve bunun için yanmanın düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesinin bu konuda iyi bir yöntem olacağını söylemişlerdir. Ayrıca yaptıkları deneylerde yakıt olarak biyodizel-dizel karışımı kullanmış ve karışımdaki biyodizel oranının artmasıyla NO_x emisyonunun arttığını belirtmişlerdir.

Mamat *et al.* (2009) bir common rail dizel motorun performans ve emisyon karakteristiklerini kolza metil esteri ile EGR'li (egzoz gaz resirkülasyonu) ve EGR'siz denemiş, her iki durumda da yakıtı common rail'e pompalamadan önce yakıtın

sıcaklığını kontrol etmek için bir ısı değiştiricisinde ön ısıtma yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre motor EGR'siz çalıştırıldığında ve yakıt sıcaklığı arttıkça fren özgül yakıt tüketimi azalmış, motor verimi artmış ve NO_x emisyonlarında da bir miktar azalma olmuştur. EGR kullanılıp yakıt sıcaklığının artırıldığı durumda ise NO_x emisyonlarında bir miktar artış görürken fren özgül yakıt tüketiminin ve motor veriminin yakıt sıcaklığından bağımsız olduğunu görmüşlerdir.

Scmidt and Gerpen (1996) ile Chang and Gerpen'in (1997) yüksek setan sayısına sahip biyodizel yakıtın erken başlayan yanma sebebiyle daha düşük bir sıcaklık gradyenine sahip olacağını ve dolayısıyla NO_x emisyonlarının düşeceğini belirtmişlerdir. (Kızıllan 2008)

Yücesu vd (2001) sabit motor hızı (1300 dev/dk) ve yükleme durumunda (35 Nm) No.2 dizel yakıtı ile bazı bitkisel yağlar ve bunların metil esterlerini denedikleri motorda NO_x oluşumunun dizel yakıtında daha fazla olduğunu görmüşlerdir.

Raheman *et al.* (2004) yaptıkları çalışmalar neticesinde dizel yakıtını, Karanja metil esterini ve bunun dizel yakıtıyla hacimsel olarak %20-40-60 ve 80 oranlarında karışımlarını NO_x emisyonları açısından kıyaslamış ve en yüksek emisyon değerinin dizel yakıtında olduğunu söylemişlerdir.

9.1. Amaç

Bu çalışmada, biyodizel ve dizel yakıtı olmak üzere iki tür yakıtın sıkıştırma ateşlemeli bir motorda kullanılması durumunda farklı yakıt giriş sıcaklıklarında motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi için bir deney düzeneği kurulmuştur. 10°C'den 80°C'ye kadar 10°C'lik adımlarla sıcaklık artırılmış ve her iki yakıt türü için ayrı ayrı olmak üzere tork, efektif güç, efektif yakıt tüketimi, efektif verim karakteristikleri ile CO, HC, CO₂ ve NO emisyonlarının değişimi incelenmiştir.

Çalışma sonucunda hem motor performans karakteristikleri hem de egzoz emisyonları açısından iki tür yakıtın çalışması gereken giriş sıcaklıkları tespit edilmiştir.

9.2. Kapsam

Günümüz dünyası ve gelişmekte olan ülkemiz için taşımacılık sektörünün enerji kaynağı olan fosil yakıtların etkin bir şekilde kullanımı ve çevreye verdikleri zararların azaltılması için yapılan çalışmalar önem arz etmektedir. Kasım 2011 yılı itibari ile ülkemizdeki araç sayısı 16 milyon sayısını aşarken dizel motor ile çalışanların sayısı 6,9 milyonu bulmuştur. Bu değer 2008 yılında 5,3 milyon, 2009 yılında 5,7 milyon 2010 yılında 6,2 milyon ve 2011 yılında 6,9 milyona çıkmıştır. Dizel motor kullanan araçların sayısındaki bu artış, araçların ekonomik ve çevresel etkilerini daha da önemli hale getirmiştir. Dolayısıyla dizel motorların performans ve egzoz emisyonlarının geliştirilmesi ile ilgili yürüttüğümüz bu çalışmamızda yakıt sıcaklığının etkileri, dizel yakıtı ve biyodizel olmak üzere iki tür yakıtta analiz edilmiştir.

10. KURAMSAL TEMELLER

İçten yanmalı motorlarda sabit hızda, kararlı halde olan yağ ve soğutucu akışkan sıcaklığında torkun, gücün ve yakıt tüketiminin farklı motor devirlerine göre değişimlerine motor karakteristikleri, bu değerler kullanılarak elde edilen grafiklere de motor karakteristik eğrileri denir. Motor deneylerinin temelinde motor karakteristiklerinin belirlenmesi vardır ve bu sadece laboratuvar ortamında motorun çıplak olarak ve statik performansının belirlenmesini sağlamayıp motorun taşıt üzerindeki gerçek kullanım durumlarındaki performansı hakkında da kayda değer bilgiler verir (Borat vd 1994; Öz vd 2003).

Motor performansını belirlemede kullanılan bazı parametrelere deneylerle doğrudan ulaşılamaz ve bu parametrelerin denklemlerle hesaplanması gerekir. Efektif motor performans karakteristikleri denen ve motor performansını belirleyen bu parametrelerin başında fren moment ve gücü (efektif güç), indike iş, ortalama indike efektif basınç, indike güç, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim gelir (Heywood 1988).

Bu bölümde motor performansını belirleyen karakteristik değerler ve deneylerde kullanılan biyodizellerin üretim yöntemi olan transesterifikasyon yöntemi tanıtılacaktır.

10.1. Efektif Motor Karakteristik Değerleri

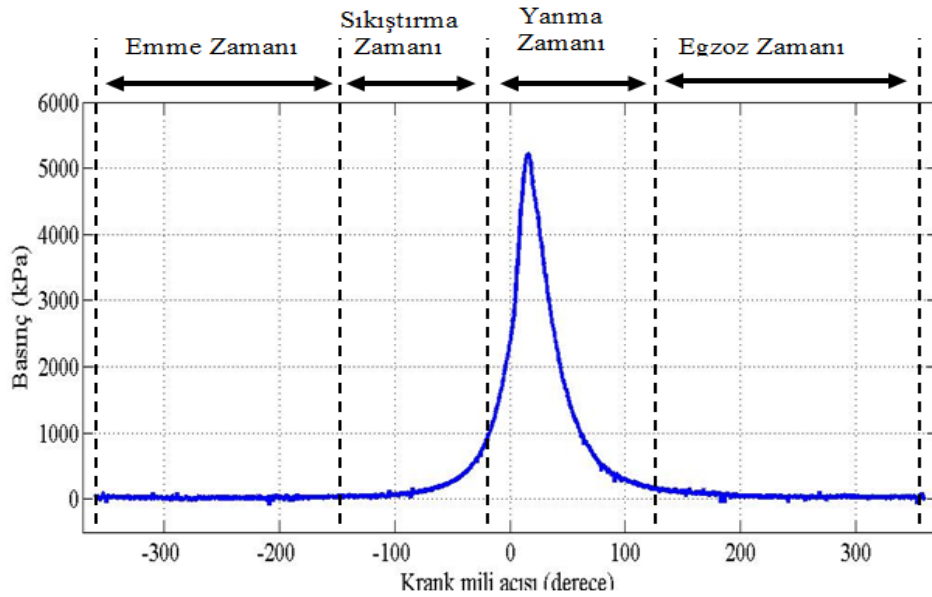
İçten yanmalı motorlar pistonun AÖN (Alt Ölü Nokta) ile ÜÖN (Üst Ölü Nokta) arasındaki hareketinde çevrimin gerçekleşmesi için meydana gelen akışkan hareketlerine göre 2 zamanlı ve 4 zamanlı motorlar olmak üzere ikiye ayrılır. Dizel motorlar ile benzinli motorların çalışma prensipleri her iki motor türünde de hemen hemen aynıdır. Dört zamanlı bir dizel motorlarda piston AÖN'ya doğru ilerlerken hava silindir içine alınır ve daha sonra piston ÜÖN'ya doğru ilerlerken hava sıkıştırılır. Enjektör adı verilen elemanla yakıt sıkıştırılmış ve sıcaklığı artmış olan hava üzerine püskürtülür ve bu sayede yakıtın doğrudan yanması sağlanır. Silindir içerisinde açığa

çıkan enerji, silindirin içerisindeki basıncı artırır ve pistonun AÖN'ya doğru itilmesi sağlanır ve böylece güç elde edilmiş olur. Pistonun ÜÖN'ya doğru hareketiyle yanma ürünleri silindir dışına atılır ve diğer çevrimin gerçekleşmesi için gereken taze hava silindir içine alınır.

Dört zamanlı sıkıştırma ateşlemeli motorlarda gaz akışının kontrolü için supaplar (valfler) kullanılır. Bu supaplar emme ve egzoz kanallarını açar ve kapatır. Dört zamanlı bir motorda bir çevrim aşağıdaki zamanlardan oluşmaktadır;

1. Emme Zamanı
2. Sıkıştırma Zamanı
3. Yanma ve İş (Genişleme) Zamanı
4. Egzoz Zamanı

Şekil 2.1'de dört zamanlı sıkıştırma ateşlemeli bir motorda meydana gelen gerçek çevrimde basıncın krank mili açısına göre değişimi görülmektedir.



Şekil 2.1. Motorun gerçek çevrimi

Emme Zamanı: Piston ÜÖN'ya gelmeden önce emme supabı açılır ve emme zamanı başlar. Daha sonra piston AÖN'ya giderken silindir içerisinde atmosfer basıncı altında bir basınç (vakum basıncı) oluşmaktadır. Piston AÖN'ya giderken oluşan bu basınç sayesinde emme kanalından silindir içine doğru temiz hava dolmaya başlar. Emme supabının kapanması ise AÖN'dan sonra olur. Supabın geç kapanmasına ise emme kapanma gecikmesi denilmektedir.

Sıkıştırma Zamanı: Motor çalışmasında ikinci zaman olan sıkıştırma zamanında ise emme zamanında silindir içine alınan temiz havanın, pistonun AÖN'dan ÜÖN'ya doğru hareketiyle sıkıştırılmasıdır. Sıkıştırılan taze havanın sıcaklık ve basıncı artmaktadır. Sıkıştırma işlemi strok hacmi ve yanma odası hacmine bağlı olarak belli bir oranda gerçekleşmekte ve bu oran sıkıştırma oranı adını almaktadır.

Sıkıştırma oranı strok hacmi (V_h) ve yanma odası hacmi (V_c) ile ilişkili olarak Eş. (1) ile hesaplanır;

$$\varepsilon = \frac{V_c + V_h}{V_c} \quad (1)$$

Sıkıştırma oranı arttıkça termal verim artar ve yakıtın daha efektif bir şekilde kullanılmasını sağlar. Ancak bu oran karışımın kontrolsüz bir şekilde yandığı ve basıncın yerel ve ani olarak yüksek değerlere çıktığı vuruntu (erken tutuşma) ile sınırlıdır. Vuruntu motora zarar verir. Bu yüzden uygun yanma odası tasarımı ve uygun yakıt ile vuruntunun meydana geleceği sınır artırılarak daha yüksek sıkıştırma oranı değerleri elde edilebilir.

Yanma ve Genişleme (İş) Zamanı: Bu zaman kimyasal enerjinin mekanik enerjiye dönüştüğü zamandır. Piston üst noktaya gelmeden önce enjektörlerden silindir içinde sıkıştırılmış havaya yakıt püskürtülür. Bu erken püskürtme, "püskürtme avansı" olarak tanımlanmaktadır. Enjektörler vasıtasıyla püskürtülen yakıt, sıkıştırma zamanı sonunda kendi kendine fakat gecikmeli olarak tutuşmaktadır. Bu gecikmeye "tutuşma gecikmesi" denilmektedir (Safgönül vd 2008).

Egzoz zamanı: Piston AÖN'ya gelmeden önce egzoz supabı açılır. Aynı şekilde egzoz supabının erken açılmasına egzoz supabı açılma avansı denilmektedir. Bu zamanda pistonun AÖN'dan ÜÖN'ya hareketi ile yanma sonu ürünleri egzoz kanalı ile dışarı atılmaktadır. Egzoz supabı ÜÖN'dan biraz sonra kapanmaktadır. Bu sırada egzoz ile emme supapları aynı zamanda açık kalmaktadır. Bu olaya supap bindirmesi denir (Safgönül vd 2008).

Sonuç olarak içten yanmalı motorlarda yalnız yanma ve genişleme (iş) zamanında faydalı iş elde edilmektedir. Diğer zamanlarda ise yardımcı olaylar diye tanımlanabilecek olaylar meydana geldiğinden bu zamanlarda enerji yutulacaktır (Safgönül vd 2008).

İndike iş

Silindir içerisindeki dolgunun yanmasıyla serbest kalan ısının bir kısmı kontrol hacminin sınırları üzerinden çevreye geçer. Isının geri kalanı ise yanma ürünlerinin sıcaklık ve basıncını yükselterek pistonu ÜÖN'dan AÖN'ya doğru iter. Böylece krank-biyel mekanizması üzerinden işin yapılmasını sağlar. Silindir içerisindeki basıncın hacim değişimine göre aldığı farklı değerlerin grafiğe aktarılmasıyla P-v diyagramı elde edilmektedir. Bu grafiğin altında kalan alan ise "indike iş (W_i)" olarak tanımlanmaktadır (Öz vd 2003).

Bir başka deyişle içten yanmalı motorlarda işi meydana getiren kuvvet yanma zamanında piston üzerinde etkin olan gaz basıncı ile oluşur ve Eş. (2) ile ifade edilir;

$$W = \int F dx = \int P A_p dx \quad (2)$$

burada P yanma odası içindeki basınç, A_p piston yüzey alanı, x strok olmak üzere;

$$A_p dx = dV \quad (3)$$

dV pistonun kat ettiği diferansiyel hacimdir. Eş. (3) ile verilen ifade Eş. (2)'de yerine yazılırsa yapılan iş Eş. (4) ile ifade edilmiş olur.

$$W = \int P dV \quad (4)$$

Buna göre iş, Şekil 2.2'de belirtilen kapalı alandır ve indike iş olarak tanımlanır. Ancak krank mili sayesinde aktarılan iş, sürtünmeler ve bazı motor parçalarını harekete geçirmek için kullanılan enerji nedeniyle bu işten daha azdır. Elde edilen gerçek iş fren işi (efektif iş) olarak tanımlanır, dolayısı ile indike işle fren işi arasındaki bağıntı Eş. (5)'te verilmiştir.

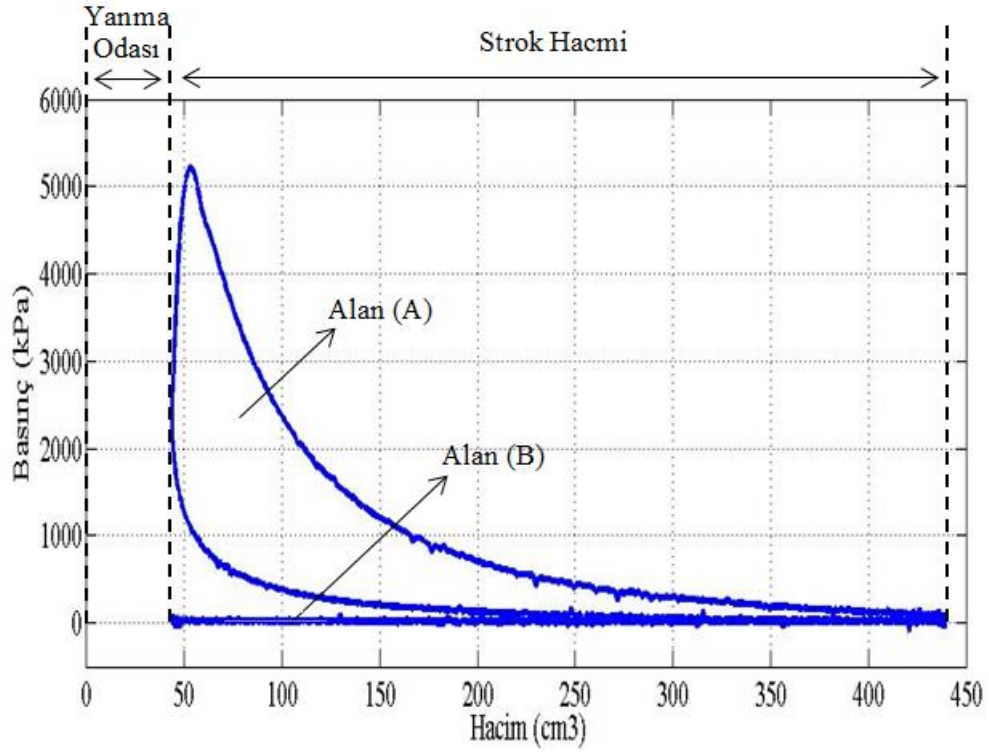
$$W_i = W_f + W_s \quad (5)$$

Şekil 2.2'de Alan (A) ile gösterilen alan, sıkıştırma ve yanma zamanında üretilen işi göstermekte ve brüt iş olarak tanımlanmakta; Alan (B) ile gösterilen alan ise emme ve egzoz stroklarında harcanan işi göstermekte ve pompalama işi olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda net iş Eş. (6) ile verilen ifade olur.

$$W_{net} = W_{brüt} + W_{pompa} \quad (6)$$

Normal emişli motorlarda pompalama işi negatif olacağı için bu ifade Eş. (7)'deki hali alır,

$$W_{net} = Alan(A) - Alan(B) \quad (7)$$



Şekil 2.2. Silindir içerisinde üretilen indike iş

İndike güç

Silindir başına bir çevrimde üretilen güç olup Eş. (8) ile hesaplanır,

$$P_i = W_i n \quad (8)$$

burada n devir sayısıdır.

Ortalama indike efektif basınç

İndike ortalama basınç, genişleme zamanı boyunca gazların tüm çevrim sırasındaki indike işine eşit iş yapan ve sabit olduğu kabul edilen gaz basıncıdır ve indike işin strok hacmine oranı şeklinde ifade edilir ve Eş. (9) ile hesaplanır.

$$P_{mi} = \frac{W_i}{V_h} = \frac{P_i}{V_h n} \quad (9)$$

burada V_h bir silindirin strok hacmidir Eş. (10) ile hesaplanır.

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S \quad (10)$$

burada D çap ve S stroktur.

Efektif verim

Motor milinden alınan işin harcanan toplam enerjiye oranı olan efektif verim (genel verim), iş ve güç cinsinden matematiksel olarak Eş. (11)'deki gibi tanımlanır;

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_T} = \frac{W_e/t}{Q_T/t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y H_u} \quad (11)$$

Yakıt tüketimi olan $b_e = \frac{3600\dot{m}_y}{P_e}$ (g/kWh) ifadesinden \dot{m}_y çekilip Eş. (11)'de yerine yazılırsa efektif verim Eş. (12)'deki hali alır.

$$\eta_e = \frac{1}{(b_e 10^{-3}/3600)H_u} = \frac{3,6 \times 10^6}{b_e H_u} \quad (12)$$

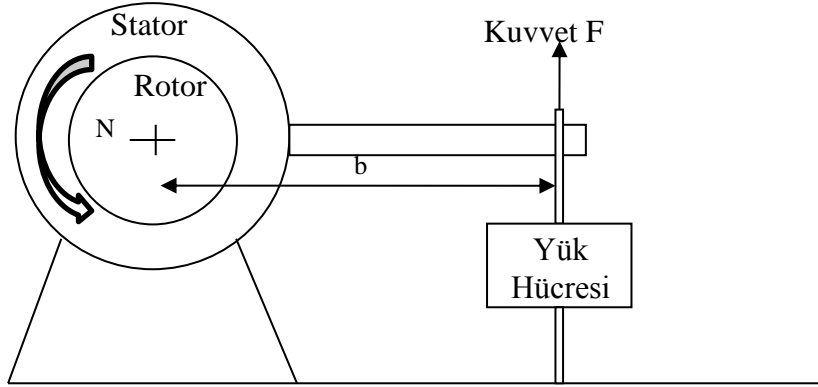
b_e deneyler sonucu belirlenen bir büyüklüktür. Yakıtın alt ısıl değeri olarak bilinen H_u (kJ/kg) ise yakıtın kimyasal yapısına göre değişen bir büyüklüktür (Heywood 1988).

Fren (efektif) tork ve gücü

Motorun ürettiği efektif gücü veya döndürme momentini işe dönüştürerek yutan iş makinesine fren adı verilmektedir. Ağırlıklı olarak kullanılan iki çeşit fren

bulunmaktadır. Dinamometre elektrikli, su freni ise hidrolik tipten frenlerdir (Borat vd 1994). Bunların yanı sıra mekanik fren, manyetik fren ve aerodinamik fren de mevcuttur (Öz vd 2003).

Motor torku dinamometre ile ölçülür. Bu işlemde motor şaftı dinamometrenin rotoruna bağlanır ve şaftla rotorun birlikte döner. Stator gövdeye sabit olacak şekilde yataklanmıştır. Rotor elektromagnetik, hidrolik veya mekanik sürtünme ile statora bağlanır. Stator, rotor ile dengelenmiştir. Rotorun dönmesi ile statorda harcanan tork, statorun; ağırlıklar, yaylar ya da pnömatik araçlar ile dengelenmesi sonucunda ölçülmektedir (Heywood 1988). Statoru döndürmeye çalışan kuvvet ile yük hücresinin rotor merkezinden olan uzaklığı sayesinde tork hesaplanır.



Şekil 2.3. Dinamometrenin çalışma prensibinin şematik gösterimi (Heywood 1988)

Şekildeki verilere göre tork (T) Eş. (13) ile ifade edilir,

$$T = F \cdot b \quad (\text{Nm}) \quad (13)$$

Motorun ürettiği ve dinamometre tarafından yutulan güç (P), tork ve açısal hızın çarpımına eşittir ve Eş. (14) ile hesaplanır.

$$P_e = 2\pi nT \quad [\text{kW}] \quad (14)$$

buradaki N devir sayısıdır. SI biriminde Eş. (15) ile ifade edilir,

$$P_e(\text{kW}) = 2\pi n(\text{dev/s})T(\text{Nm})10^{-3} \quad (15)$$

Ölçülen motor gücü fren gücü olarak adlandırılır ve P_b ile gösterilir (Heywood 1988).

Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi kütleli debiden daha kullanışlı bir parametre olup bir motorun iş üretirken yakıtı ne kadar verimli kullandığının ölçüsüdür ve birim çıkış gücü elde etmek için harcanan yakıt miktarıdır, b_e ile gösterilir. Özgül yakıt tüketiminin düşük değerlerde olması istenir. Özgül yakıt tüketimi, motor devrinin belli bir seviyeye kadar artması ile azalır. Ancak devir biraz daha arttırıldığında ise tekrar artar. Yüksek motor devirlerinde sürtünme kayıplarının artmasından dolayı, düşük devir sayılarında ise çevrim süresi artışına bağlı olarak motorda meydana gelen ısı kaybı nedeniyle özgül yakıt tüketimi artar. Özgül yakıt tüketimi ısı verimle ters orantılı olduğundan sıkıştırma oranı arttıkça azalır. Çünkü sıkıştırma oranı arttıkça, ısı verim de artmaktadır.

Belirli çalışma şartlarında motorun birim zamanda harcadığı yakıt miktarı, yakıt tüketim miktarını verir ve \dot{m}_y ile gösterilir. Böylece özgül yakıt tüketimi,

$$b_e = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \quad \text{ile ifade edilir.} \quad (16)$$

Bu denklem birimleri ile birlikte şu şekilde gösterilir,

$$b_e(\text{g/kWh}) = \frac{\dot{m}_y(\text{g/h})}{P_e(\text{kW})} \quad (17)$$

Buji ateşlemeli motorlarda en iyi özgül yakıt tüketimi değeri $75 \mu\text{g}/\text{J}=270 \text{ g}/\text{kWh}$ civarındadır. Dizel motorlarda ise bu değer $55 \mu\text{g}/\text{J}=200 \text{ g}/\text{kWh}$ civarındadır (Heywood 1988).

10.2. Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Transesterifikasyon

Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak bitkisel yağların kullanılabilmesinde temel sorun bu yağların viskozitelerinin yüksek olmasıdır. Bitkisel yağların viskoziteleri çeşitli yöntemlerle azaltılabilir. Bu yöntemler genellikle şunlardır;

- Seyreltme,
- Mikroemülsiyon oluşturma,
- Piroliz,
- Transesterifikasyondur.

Ayrıca Kusdiana and Saka (2000), Demirbaş (2001) ve Oğuz (2004) süperkritik yöntem ile de viskozitenin azaltılabileceğini söylemişlerdir (Alpgiray 2006).

Transesterifikasyon yönteminde bitkisel yağların metil veya etil alkolle bir katalizör eşliğinde reaksiyona sokulması işlemidir. Alkoliz reaksiyonu adı da verilen bu yöntemle gliserin ve yağ asitleri oluşur. Bitkisel yağların dizel yakıtına alternatif olacak şekilde getirilmesinde izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyondur (Ulusoy ve Alıbaş 2002).

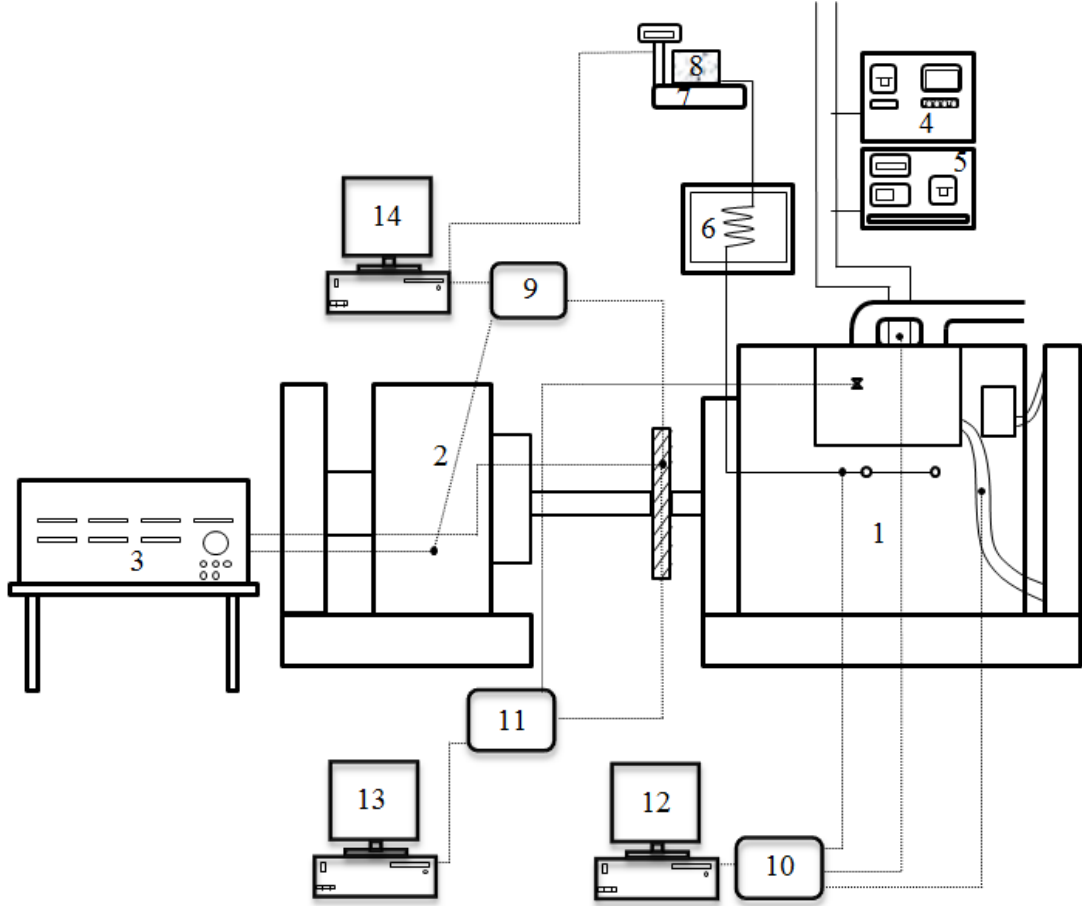
11. MATERYAL ve YÖNTEM

Deney Düzeneği ve Kullanılan Ölçü Aletleri

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde, hidrolik fren (dinamometre) tezgâhına yerleştirilen marka ve modeli Super Star 7728 olan, 4-zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu dizel motor kullanılmıştır. Kullanılan motora ait teknik özellikler Çizelge 3.1’de, deney düzeneğine ait şematik görünüm de Şekil 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri

Motor tipi	Super Star 7728, 4-zamanlı, direkt enjeksiyonlu, su soğutmalı
Silindir tipi-sayısı	Sıra-2
Supap mekanizması tipi ve sayısı	OHC-4
Strok, mm	100
Çap, mm	98
Toplam silindir hacmi, cm ³	1540
Soğutma suyu kapasitesi, lt.	6
Sıkıştırma oranı	17 : 1
Maksimum güç	2750 d/dak’da 28 HP
Maksimum moment	2500 d/dak’da 8 kgm
Rölanti hızı	800±50 d/dak
Yakıt	Dizel



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü

* 1- Motor

2- Hidrolik fren

3- Kontrol ünitesi

4- Egzoz Emisyon Cihazı

5- İslilik Ölçüm Cihazı

6- Su Banyosu

7- Terazi

8- Yakıt Deposu

9- NI PCI-6259

10- Advantech PCL 818 HG

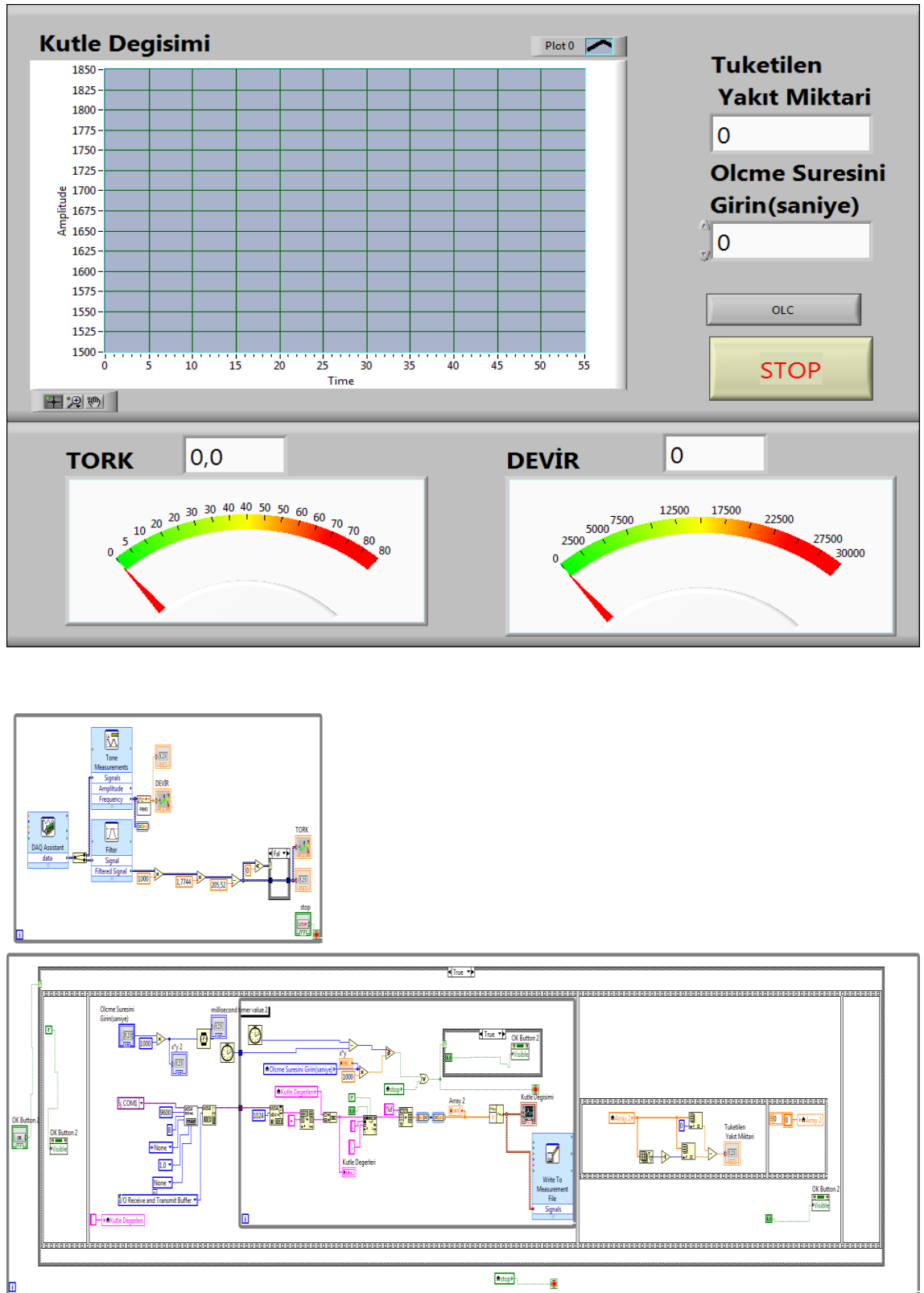
11- NI PCI-6250

12- Kişisel Bilgisayar-I

13- Kişisel Bilgisayar-II

14- Kişisel Bilgisayar-III

Motorun tükettiği yakıt miktarı, TEM BT1TA marka bir terazi ve LabVIEW ortamında hazırlanan bir program ile belirlenmiştir. Teraziden alınan veriler RS232 bağlantı kablosuyla bilgisayara aktarılmıştır. Hazırlanan bu programa ait ön panel ve blok diyagram görüntüsü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu program ile teraziden veriler anlık olarak alınıp kaydedilebilmektedir. Aynı zamanda grafiksel bir ortamda verilerin değişimi izlenebilmektedir.



Şekil 3.2. LabVIEW ön panel ve blok diyagram görüntüsü

Deneyleerde motora ait basınç eğrilerinin elde edilmesi amacıyla KISTLER marka basınç çeviricisi ile birlikte sensörden gelen sinyalin izlenebilmesi için yine aynı marka bir amplifikatör sisteme dâhil edilmiştir.

Ölçüm test düzeneğinde çeşitli sensörlerden (tork, krank mili sensörü gibi) alınan sinyaller bilgisayara aktarılırken veri iletişim kartları kullanılmaktadır. Veri iletişim kartları, doğada bulunan verileri toplayıp bilgisayarda işlenebilecek hale çevirmektedir. Daha sonra yapılarında bulunan amplifikatörlerle gelen sinyallerin alçaltılıp yükseltilmesi ile veriler örneklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında verilerin okunup işlenebilmesi için National Instruments firması tarafından tasarlanan, yüksek hızlı çok fonksiyonlu M serisi bir veri iletişim kartı olan PCI-6259 kullanılmıştır. Bu kart 4 adet 16 bitlik analog çıkışa ve 32 bitlik analog girişe sahiptir. Ölçüm hassasiyetini artırmak için M serisi bu veri iletişim kartıyla 18 bitlik analog dijital çevirici ile 4X çözünürlük elde edilmektedir. PCI-6259, NI-STC 2 sistem kontrolcüsü, NI-PGIA 2 programlanabilir amplifikatör ve NI-MCal kalibrasyon teknolojisi ile hassasiyeti ve performansı artıran bir yapıya sahiptir. NI-PGIA 2 programlanabilir amplifikatör sayesinde yüksek tarama ve örnekleme zamanı ile hızlı oturma süresi sağlanmıştır. Bu kart, Linux, Mac OS ve Windows işletim sistemleri ile uygun bir şekilde çalışmaktadır. Veri örnekleme oranı 1,25 MS/s'e ulaşabilen bu veri iletişim kartının maksimum gerilim aralığı -10V ile 10V arasında değişmektedir.

Yine aynı şekilde basınç verilerinin anlık olarak izlenebilmesinin yanı sıra daha sonra yapılacak olan analizler için kaydedilmesi amacıyla yine National Instruments firmasına ait PCI-6250 veri iletişim kartı kullanılmıştır. Bu kart da 16 bitlik 80 analog girişe ve 16 bitlik 2 adet analog çıkışa sahiptir. Ayrıca kart üzerinde 24 adet dijital giriş/çıkış (I/O) bulunmaktadır.

Ayrıca bu çalışma kapsamında hesaplamalarda kullanılmak üzere yakıt sıcaklığı, egzoz gazları çıkış sıcaklığı ve motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı ısı çiftleri sayesinde ölçülmüş ve bu değerler Advantech PCL 818 HG kartı ile bilgisayara aktarılmıştır.

Güç ölçüm ünitesi (hidrolik fren)

Motor deneylerinde yüklemeyi gerçekleştirmek için çoğunlukla iki yükleme sistemi kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Jeneratör ile yükleme sağlayan dinamometre
2. Su ile yükleme sağlayan hidrolik fren sistemidir.

Bu tez çalışması kapsamında motor tarafından üretilen gücü yutmak ve ölçmek için hidrolik fren sistemi kullanılmıştır. Hidrolik fren sistemi için 25 ton kapasiteli su tankı kullanılmaktadır. Depodan alınan su, bir pompa yardımı ile basınçlandırılarak sisteme gönderilmektedir. Su freni olarak da adlandırılan bu sistemde motorun miline bağlı olarak dönen kanatlı bir rotor ve rotoru çevreleyen yataklar üzerine oturtulmuş bir stator bulunmaktadır. Bu sistemin stator kısmında bir yük hücresi yardımıyla tork ölçüm düzeneği mevcuttur.

Şaft döndüğünde, su rotorla birlikte dönmeye başlar ve rotorun etrafında dışa doğru akar. Stator rotoru çevrelediği için dolayısıyla su statorun da içinde akar. Rotorda oluşan santrifüj etki ile motor torku statora aktarılmış olur. Tork, statorun bağlı olduğu yük hücresi ile ölçülür. Bu sinyal hem deney düzeneğindeki PCI-6259 veri iletişim kartı ile bilgisayara aktarılmış ve LabVIEW ortamında hazırlan programla “Nm” biriminde hem de kontrol ünitesi üzerindeki göstergelerden “kg” olarak okunabilmektedir.

Piezo basınç çeviricisi

Piezo elektrik etkisi quartz tekil kristaline basınç uygulandığında elektrik gerilimi üretmesi olayına verilen isimdir. Piezo-elektrik basınç çeviricileri, anlık bilgi elde edilmesi gereken uygulamalarda yüksek güçlü elektro-akustik bir çeviricidir. Yapılarında kullanılan piezo-elektrik elemanlar sayesinde bir dış kuvvet altında kaldıkları zaman, karşılıklı yüzeyleri üzerinde elektrik yükleri oluşmaktadır. Bu sayede silindir içerisinde meydana gelen basınç verileri elektriksel gerilime dönüştürülmektedir.

Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde KISTLER firmasının üretimi olan 6052C serisi piezo-elektrik basınç çevirici ve basınç verilerinin analizinin yapılması için PCI-6250 veri iletişim kartı kullanılmıştır.

Motor krank açısı sensörü

Motor devrini ölçmek, krank miline bağlı olan sensör ile mümkün olmaktadır. Krank sensörü olarak adlandırılan bu algılayıcı indüktif yapıda üretilmektedir. Sensör, krank miline bağlı şaft döndürücü üzerindeki diske sabitlenmiştir. Diskin üzerinde bulunan bir çentik manyetik alan değişikliğine sebep olur. Milin dönmesi ile birlikte sensör, manyetik alan değişikliklerini darbe sinyalleri şekline dönüştürmektedir.

Devir sinyalinin PCI-6259 veri toplama kartı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmasıyla motor devir sayısı LabVIEW ortamında hazırlan programla izlenebilmiştir.

Egzoz emisyon cihazı

Bu çalışmada egzoz gazlarının analizi yapılmıştır. Bu amaçla egzoz gazlarının emisyon değerlerinin ölçülebilmesi için hem dizel hem de benzinli motorlarda kullanılabilen Bosch marka BEA 270 egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır.

İçten yanmalı motorlarda silindir içindeki yanmanın değerlendirilmesinde en önemli etkenlerden biri de egzoz gazlarının emisyon değerlerinin belirlenmesidir. Deneylerde kullanılan bu cihazda azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2) ve yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonları ölçülebilmektedir. Emisyon değerleri ppm (milyonda partikül) ya da yüzde hacim olarak ifade edilmektedir.

Bu egzoz emisyon cihazında egzoz gazları içerisindeki oksijen miktarının belirlenmesiyle hava-yakıt oranı (λ) hesaplanır ve ölçülen emisyon değerleri ile

birlikte cihazın ön yüzündeki dijital ekranda gösterilir. Ekranda gösterilen bu değerler istenildiğinde cihaz hafızasına kaydedilebilmekte ve daha sonra dâhili veya harici bir yazıcıdan çıktıları alınabilmektedir.

Kullanılan egzoz emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Egzoz emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti

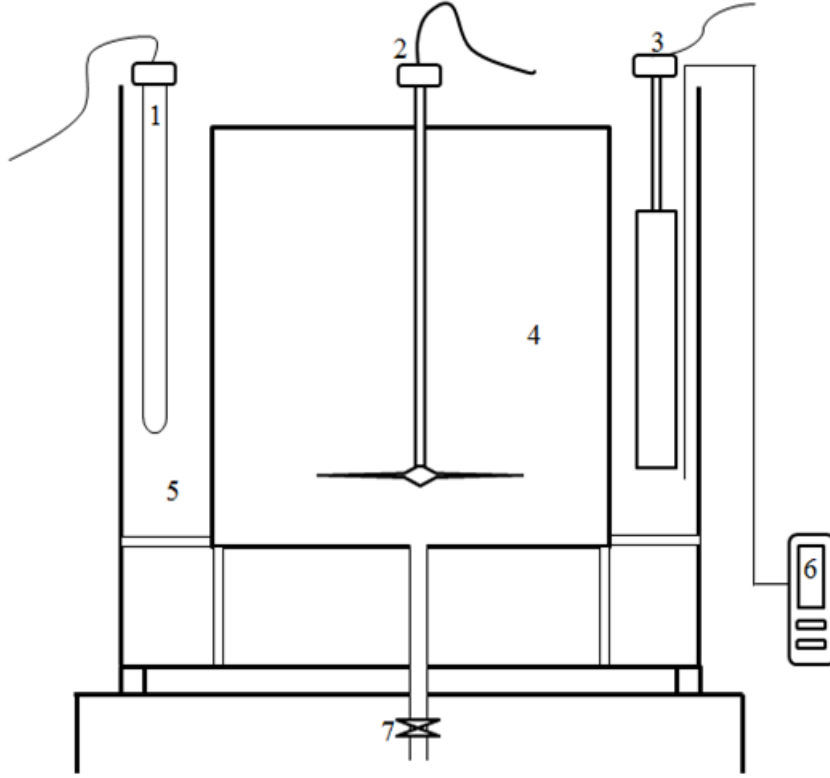
Bileşenler	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0,000 – 10,00 % Hacim	0,001 % Hacim
CO ₂	0,00 – 18,00 % Hacim	0,01 % Hacim
HC	0 – 9,999 ppm Hacim	1 ppm Hacim
O ₂	0,00 – 22,00 % Hacim	0,01 % Hacim
Lambda	0,500 – 9,999	0,001
NO	0 – 5000 ppm Hacim	≤ 1 ppm Hacim

İslilik ölçme cihazı

İslilik, Assemblad markanın OPA 189 modeli egzoz duman analiz cihazı ile ölçülmektedir. Bu cihazda egzoz gazlarının islilik oranı yüzdelik olarak 0 ile 99,9 arasında gösterilmektedir. Cihazın ölçüm hassasiyeti ise %1’dir.

Biyodizel üretim sistemi

Deneylerde kullanılan Kanola metil esteri ve Ayçiçeği metil esterini elde etmek için transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Biyodizel üretmek için kullanılan reaktörün şematik görünümü Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Biyodizel üretim sisteminin şematik görünümü

- | | |
|------------------------------|--------------------------------------|
| * 1- Isıtıcı | 5- Isıtma suyu bölgesi |
| 2- Karıştırıcı | 6- Termometre |
| 3- Isıtma suyu karıştırıcısı | 7- Biyodizel ve atık boşaltma vanası |
| 4- Reaktör | |

Biyodizel üretiminde katalizör olarak soydum hidroksit (NaOH) ve alkol olarak ta metil alkol (CH₃OH) kullanılmıştır. 7,4 g sodyum hidroksit, 160 ml metil alkol ve 800 ml bitkisel yağ karıştırılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir.

Biyodizel üretimi şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Öncelikle sodyum hidroksit ve metil alkol mekanik bir karıştırıcı yardımıyla ısıtılmadan 30 dk süreyle karıştırılmış, sonra 800 ml yağ sıcaklığı 56°C'ye ayarlanan reaktör kabına konularak ısıtılmıştır. Kararlı hale gelen bitkisel yağın içine metil alkol-sodyum hidroksit karışımı ilave edilerek 120 dk boyunca sürecek olan reaksiyon başlatılmıştır. Reaksiyon tamamlanınca karışım 1 lt'lik ayırma hunisine alınarak 5 saat bekletilmiş, daha sonra alt tarafa çöken 90 ml gliserin karışımdan alınmıştır. 5 saat sonunda 80 ml saf su ile yıkama yapılarak 5 saat dinlenmeye bırakılmıştır. Bu işlem 3 kez tekrarlanarak her defasında dipteki su-gliserin

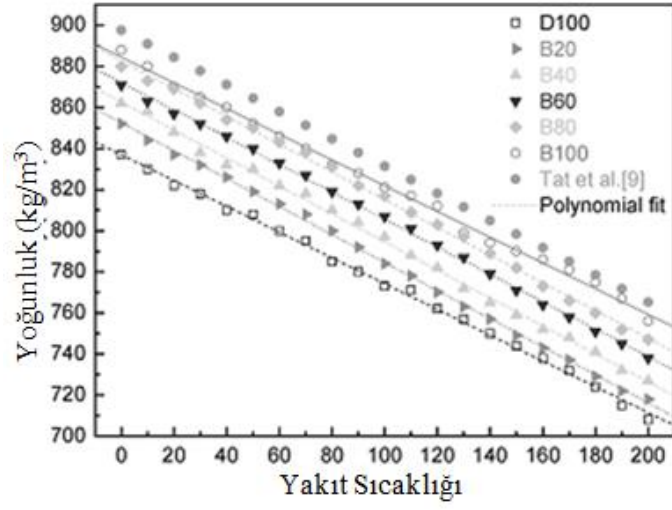
karışımı alınmıştır. En son olarak 450 Psi vakum basıncında ve 70°C de 2 saatlik buharlaştırmaya tabii tutularak biyodizel elde edilmiştir.

Üretilen biyodizellerin Tübitak-MAM'dan alınan elementel analiz sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

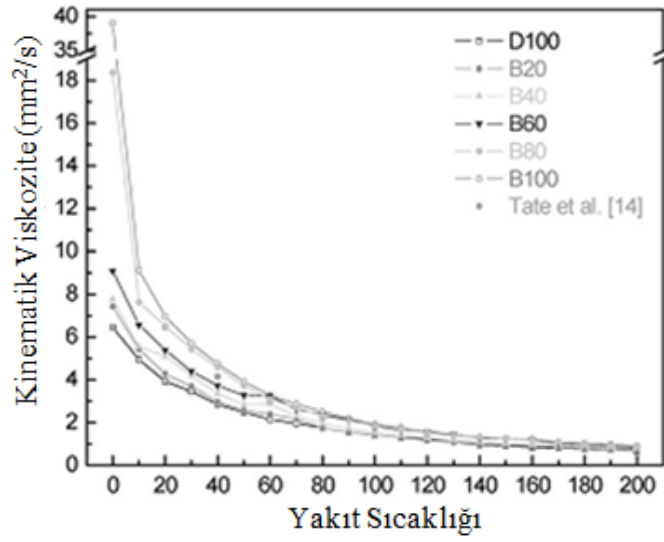
Çizelge 3.3. Üretilen biyodizellerin elementel analiz sonuçları

Numune İsmi	%N	%C	%H
Ayçiçek Yağı Biyodizel	0,11	77,17	11,83
Kanola Yağı Biyodizeli	0,10	78,07	11,83

Biyodizel yakıtların viskozitelerinin ve yoğunluklarının yüksek olması alternatif yakıt olarak düşünüldüğünde bir dezavantajdır. Ancak kinematik viskozite ve yoğunluk sıcaklıkla değişmektedir. Giriş bölümünde yapılan literatür tanıtımında da verilen geçmiş bazı çalışmalara ek olarak Yoon *et al.* (2008) çalışmalarında saf dizel yakıtı (D100), saf biyodizel yakıtı (B100) ve bunların hacimsel olarak karışımlarını B20, B40, B60 ve B80 olarak sıcaklıkla yoğunluğun değişimlerini karşılaştırmış ve sonuçları Şekil 3.3'te verilmiştir. Ayrıca Tate *et al.* (2006)'nın sıcaklıkla kinematik viskozite arasındaki ilişkiyi incelediği çalışmalarından bahsedilmiştir ve bu ilişki Şekil 3.4'te verilmiştir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 incelendiğinde tüm yakıtların yoğunluklarının ve kinematik viskozitelerinin artan sıcaklıkla azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.4. Yakıt sıcaklığı ile yoğunluğun değişimi



Şekil 3.5. Yakıt sıcaklığı ile kinematik viskozitenin değişimi

Çalışmalarımızda kullandığımız saf dizel ve biyodizel yakıtları (AME, Ayçiçeği metil esteri) için tarafımızca yapılan yoğunluk tespiti sonuçları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. AME ile dizel yakıtın yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi

	AME	Dizel
T_{yakıt} (°C)	ρ (g/cm³)	ρ (g/cm³)
10	0,9148	0,8367
20	0,9138	0,8314
30	0,9041	0,828
40	0,8987	0,8186
50	0,8924	0,8138
60	0,8864	0,8099
70	0,8787	0,8036
80	0,8706	0,7976

Yukarıda verilen sonuçlar analiz edildiğinde yakıt sıcaklığının hem dizel ve saf biyodizel kullanarak hem de bu yakıtların farklı oranlarda karışımları ile çalıştırılan motorlarda önem arz edeceği söylenebilir.

Deneysel Yöntem

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde yakıt olarak dizel, No: 1 dizel, kanola metil esteri ve ayçiçeği metil esteri kullanılmıştır. Yakıt sıcaklığının her bir yakıt için motor performansı, emisyon ve ısılık değerleri üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmada yakıt sıcaklığını ayarlamak için kullanılan su banyosu sayesinde yakıt sıcaklığı 10°C'ye kadar düşürülüp 80°C'ye kadar ısıtılmıştır. Tüm yakıtlar için deneyler yapılırken öncelikle motor kararlı hale gelmesi için bir süre çalıştırılmıştır. Bu arada yakıtın sıcaklığının 10°C olması ve yaklaşık olarak bu sıcaklıkta sabit kalması için su banyosu sıcaklığı ayarlanmıştır. Sistem tamamen kararlı hale gelince veriler alınmaya başlanmıştır. Şekil 3.1'den de görüleceği gibi devir sayısı ve tork kontrol ünitesinden, yakıt tüketim miktarı terazi ve LabVIEW programı (Şekil 3.2) sayesinde 80 sn boyunca alınmıştır. Basınç verileri basınç çevirici ve veri iletişim kartları yardımıyla bilgisayara kaydedilmiştir ve yine sıcaklıklar da ısı çift ve başka bir veri iletişim kartı sayesinde

kaydedilmiştir. Ayrıca egzoz emisyonları ve ısılık deney süresince sürekli olarak kaydedilmiştir.

Deneylere yakıt sıcaklığının 10°C'lik artımlarıyla 20, 30, 40, 50, 60, 70 ve 80°C sıcaklıklarda aynı şekilde veriler alınarak devam edilmiştir.

Kullanılan tüm yakıt türleri için deneyler yukarıda belirtildiği gibi yapılmıştır.

12. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Deneyler, sıkıştırma ateşlemeli, iki silindirli, dört zamanlı dizel motoru üzerinde gerçekleştirilmiştir. Silindir içi basınç değerlerindeki değişimlerin incelenmesi için piezo-elektrik basınç çeviricileri kullanılmış, elde edilen veriler kişisel bilgisayara sonradan analiz edilebilecek şekilde kaydedilmiş ve çeşitli hesaplamaların yapılabilmesi için MATLAB dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Deneyler, 1500 ± 10 d/dak devir sayısında, maksimum fren torkunu veren püskürtme avansında gerçekleştirilmiştir.

4.1. Motor Performans Karakteristiklerinin Yakıt Sıcaklığı ile Değişimi

Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3’de sırası ile dizel yakıtı, kanola yağı metil esteri (KME) ve ayçiçeği yağı metil esteri (AME) ile yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen motor performans karakteristikleri ve çeşitli noktalarda yapılan sıcaklık ölçümlerine ait veriler bulunmaktadır. Deneyler yaklaşık 10°C ’den 80°C ’ye kadar 10°C sıcaklık aralığında olmak üzere her bir yakıt için sekiz adet gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Dizel yakıtlı performans karakteristiklerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri

$T_{\text{yakıt}} (^{\circ}\text{C})$	$M_d (\text{N.m})$	$P_e (\text{kW})$	$b_e (\text{g/kW.h})$	$\eta_e (-)$	$T_{em} (^{\circ}\text{C})$	$T_{eg} (^{\circ}\text{C})$	$T_{su} (^{\circ}\text{C})$
12	14,3	2,25	461	0,195	28,40	213,27	63,25
20	13,9	2,19	431	0,209	28,89	218,17	65,41
32	13,2	2,08	520	0,173	28,86	219,47	65,91
40	13,2	2,08	487	0,185	29,37	214,26	65,88
51	11,8	1,85	510	0,176	29,47	203,31	65,25
60	12,9	2,01	504	0,179	29,49	210,66	65,17
70	11,4	1,80	501	0,180	30,07	235,31	66,66
84	11,4	1,80	488	0,184	30,35	236,82	67,62

Çizelge 4.2. KME yakıtlı performans karakteristiklerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri

$T_{\text{yakıt}} (^{\circ}\text{C})$	$M_d (\text{N.m})$	$P_e (\text{kW})$	$b_e (\text{g/kW.h})$	$\eta_e (-)$	$T_{\text{em}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{eg}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{su}} (^{\circ}\text{C})$
13	13,9	2,19	534	0,157	28,21	200,00	63,83
24	13,2	2,08	563	0,149	28,63	200,00	66,52
32	12,9	2,02	601	0,139	28,77	210,00	67,03
40	11,4	1,82	605	0,138	29,11	206,56	65,25
50	11,4	1,82	618	0,136	29,15	209,53	64,34
60	12,2	1,93	675	0,124	29,43	212,86	64,95
70	11,4	1,82	692	0,121	29,54	212,45	64,50
80	11,4	1,82	692	0,121	29,34	210,48	64,72

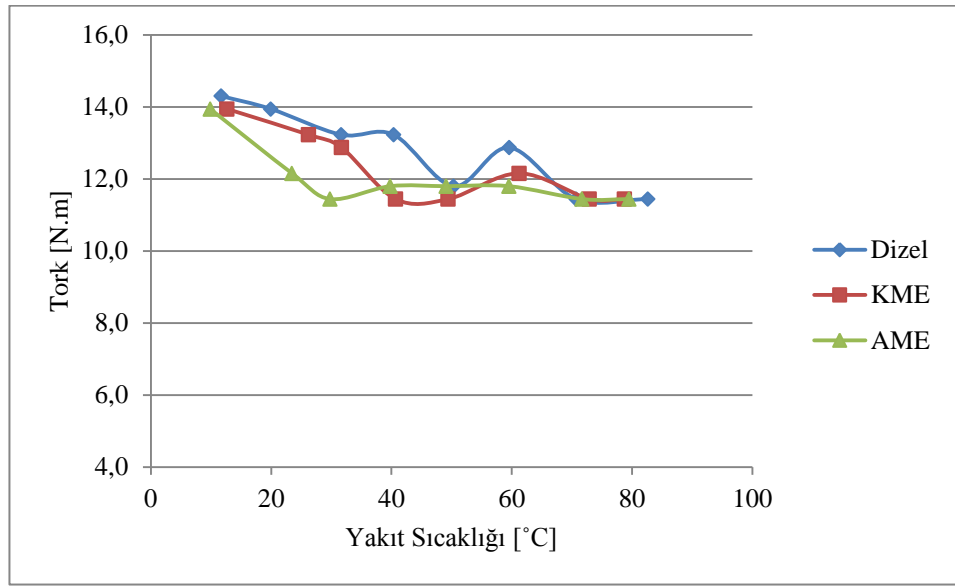
Çizelge 4.3. AME yakıtlı performans karakteristiklerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri

$T_{\text{yakıt}} (^{\circ}\text{C})$	$M_d (\text{N.m})$	$P_e (\text{kW})$	$b_e (\text{g/kW.h})$	$\eta_e (-)$	$T_{\text{em}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{eg}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{su}} (^{\circ}\text{C})$
11	13,9	2,20	582	0,159	27,33	234,16	58,88
23	12,2	1,93	581	0,159	28,10	212,76	62,42
30	11,4	1,82	618	0,149	28,06	211,25	62,96
40	11,8	1,88	611	0,151	28,31	209,30	63,29
50	11,8	1,88	587	0,157	28,60	208,45	63,44
60	11,8	1,87	589	0,157	28,67	208,22	63,68
70	11,4	1,82	618	0,149	29,13	208,04	64,05
80	11,4	1,82	655	0,141	29,50	206,76	64,30

Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3 ile verilen motor emme havası sıcaklığı ve motor bloğundan olan soğutma suyu sıcaklığı verileri incelendiğinde yaklaşık ± 2 $^{\circ}\text{C}$ 'lik bir değişim olduğu görülmektedir. Bu durum deneylerimizin daimi hal şartlarında gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bu iki noktadaki sıcaklıklarda gerçekleşecek büyük seviyeli değişimler, motor performans karakteristiklerinin ve egzoz emisyonları üzerinde önemli etkilere sahip olacağından, yalnızca ana değişim parametresi olan yakıt sıcaklığının etkilerinin

görülmemesine neden olacaktır. Çizelgeler incelendiğinde yakıt sıcaklığının egzoz gaz sıcaklığı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür.

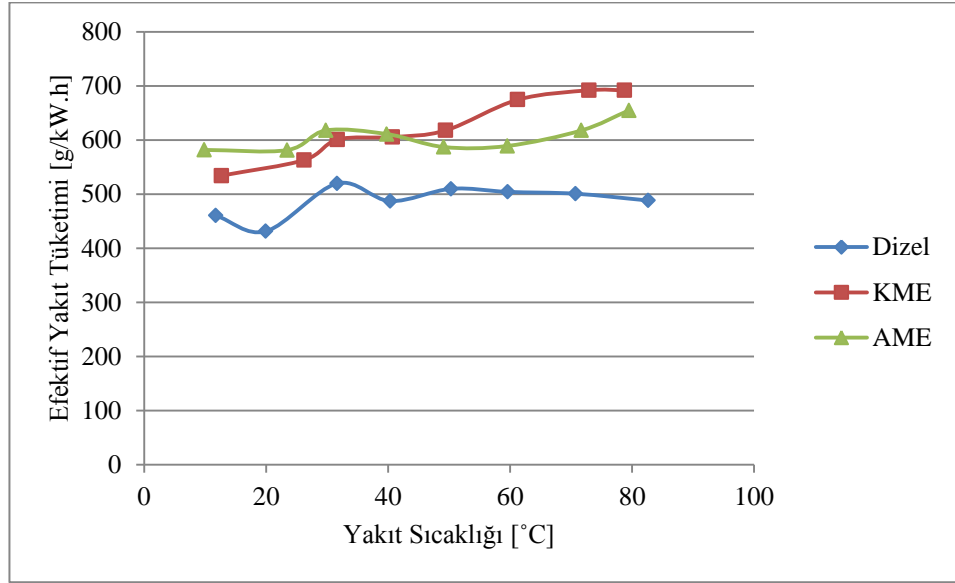
Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3 ile tüm yakıtlar için verilen motor performans karakteristikleri, Şekil 4.1-4.3 arasında grafiklere aktarılmıştır. Bu şekillerde sırasıyla motor torku, efektif yakıt tüketimi ve efektif verim verileri görselleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile motor torku değişimi

Şekil 4.1 incelendiğinde tüm yakıtlar için yakıt sıcaklığı arttıkça motor torkunun azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum yakıt sıcaklığının artması durumunda yoğunluğunun azalmasına ve her bir çevrimde silindir içine püskürtülen yakıtın kütle miktarının azalmasına bağlıdır. Silindirlere püskürtülen yakıtın kütle miktarının azalması, silindirlere alınan yakıt enerjisinin azalması dolayısıyla motor çıkış enerjisinin azalması anlamına gelmektedir. Ayrıca Şekil 4.1 incelendiğinde her iki biyodizel çalışmasından elde edilen motor tork verilerinin, dizel yakıtı ile çalışılması durumunda elde edilen tork değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun ana nedeni biyodizellerin alt ısıl değerlerinin dizel yakıtınıninkine göre yaklaşık %10 oranında daha düşük olmasıdır. Isıl değerdeki bu düşüşün yanında biyodizellerin yoğunluk ve viskozite değerlerinin de yüksek olması yanma performanslarını düşürmekte ve sonuç

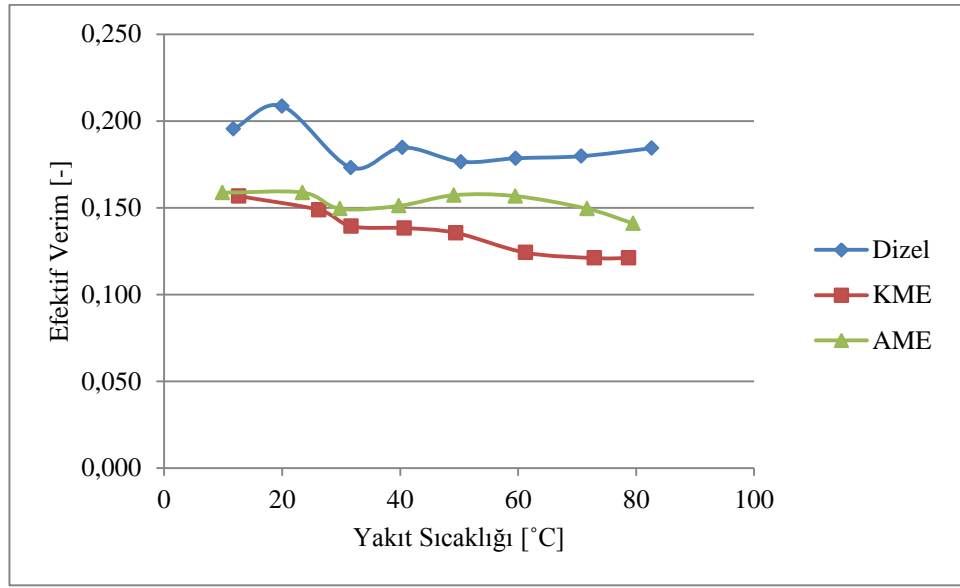
olarak motor torku ve efektif gücünde azalma görülmektedir. Biyodizel üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ile ilgili literatür araştırmasında, biyodizel kullanımı durumunda motor torku ve efektif gücünde azalma olduğu belirtilmiştir (Babu and Devaradjane 2003; Spataru and Roamig 1995).



Şekil 4.2. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile efektif yakıt tüketimi değişimi

Şekil 4.2 incelendiğinde ise efektif yakıt tüketiminin yakıt sıcaklığı ile artış meydana geldiği görülmektedir. Bu artış özellikle biyodizelerde daha belirgin bir şekilde gerçekleşmiştir. Efektif yakıt tüketimindeki bu artış, yakıt sıcaklığının artmasının motor performansını olumsuz yönde etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanında biyodizeller ile yapılan deneysel çalışmalarda efektif yakıt tüketiminin, dizel yakıtına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Dizel yakıtı ve biyodizeller ile yapılan çalışmalarda aynı devir sayısı şartlarında deneylerin gerçekleştirilebilmesi için, biyodizelerde daha fazla miktarda yakıt püskürtülmesi gerekmiştir. Bu durum biyodizellerin özellikle yoğunluk, viskozite ve ısı değer verilerinin yanma performansını azaltmasından dolayıdır. Biyodizel çalışmalarında yakıt pompasından daha fazla yakıtın silindirlere püskürtülmesi sonucunda yakıt tüketimi artmış, beraberinde motor çıkış gücü azalmıştır. Bu iki etki efektif yakıt tüketiminin biyodizel

çalışmalarından daha yüksek seviyelerde kalmasına neden olmuştur. Biyodizel ve dizel yakıtı karşılaştırmaları ile ilgili yapılan literatür araştırmamızda efektif yakıt tüketimi üzerinde biyodizelin bu olumsuz etkisi benzer şekilde görülmüş ve raporlarda aktarılmıştır (Altın *et al.* 2001; Selim *et al.* 2003; Çetinkaya *et al.* 2005; Çanakçı 2007; Usta *et al.* 2005, Usta 2005a, 2005b).



Şekil 4.3. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile efektif verim değişimi

Şekil 4.3 incelendiğinde ise yakıt sıcaklığı arttıkça efektif verimin azaldığı görülmektedir. Bu durum efektif yakıt tüketiminin artmasına neden olan etkenler ile paralel olarak oluşmuştur. Ancak şekil incelendiğinde en yüksek termal verimin dizel yakıtı çalışmalarında elde edildiği görülmektedir. Bu durumun nedeni dizel yakıtının fizikokimyasal özelliklerinin daha yüksek seviyede olmasıdır. Sprey kalitesinin dizel yakıtında çok daha üstün olması yanma performansının üstün olmasına neden olmaktadır.

4.2. Egzoz Emisyon Karakteristiklerinin Yakıt Sıcaklığı ile Değişimi

Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6'da sırası ile dizel yakıtı, kanola yağı metil esteri (KME) ve ayçiçeği yağı metil esteri (AME) ile yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen egzoz emisyon verileri bulunmaktadır.

Çizelge 4.4. Dizel yakıtlı emisyon verilerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri

T_{yakıt} (°C)	CO (%Hac.)	CO₂ (%Hac.)	HC (ppm)	NO (ppm)	K (%)
12	0,149	3,17	58	401	11,6
20	0,128	3,19	114	394	3,6
32	0,119	3,12	66	403	2,9
40	0,117	3,00	40	410	2,1
51	0,120	2,79	73	343	2,0
60	0,120	2,90	52	380	1,9
70	0,117	2,76	40	342	1,8
84	0,117	2,75	49	348	1,7

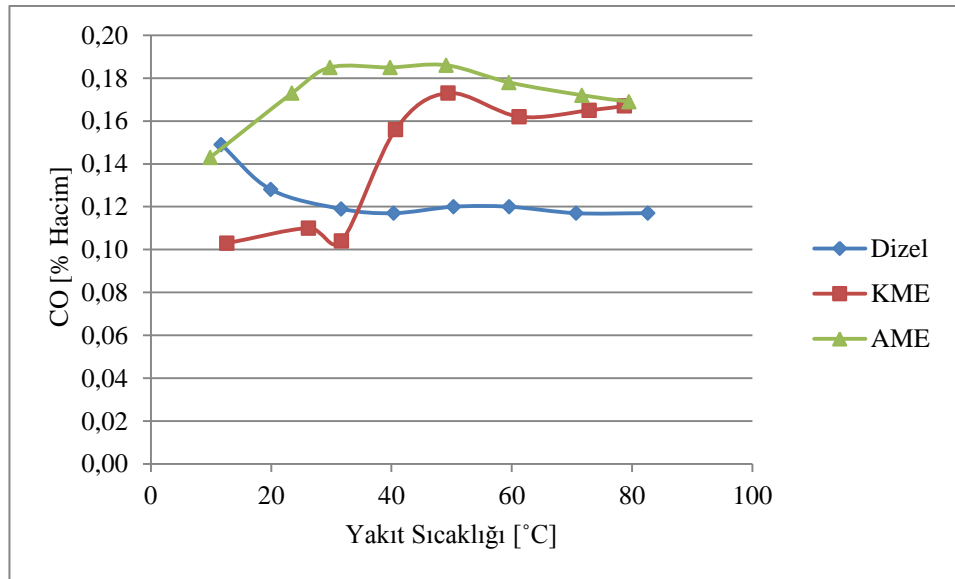
Çizelge 4.5. KME yakıtlı emisyon verilerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri

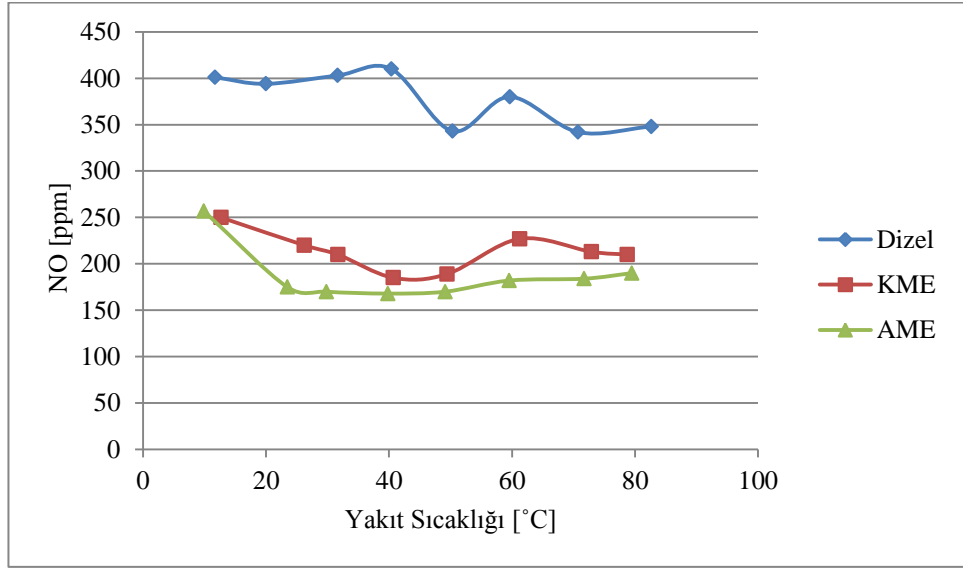
T_{yakıt} (°C)	CO (%Hac.)	CO₂ (%Hac.)	HC (ppm)	NO (ppm)	K (%)
13	0,103	3,81	53	250	21,8
24	0,110	3,73	101	220	20,7
32	0,104	3,64	38	210	20,5
40	0,156	2,86	67	185	17,1
50	0,173	2,89	113	189	16,8
60	0,162	2,88	54	227	18,6
70	0,165	2,89	60	213	16,9
80	0,167	2,88	84	210	17,0

Çizelge 4.6. AME yakıtlı emisyon verilerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri

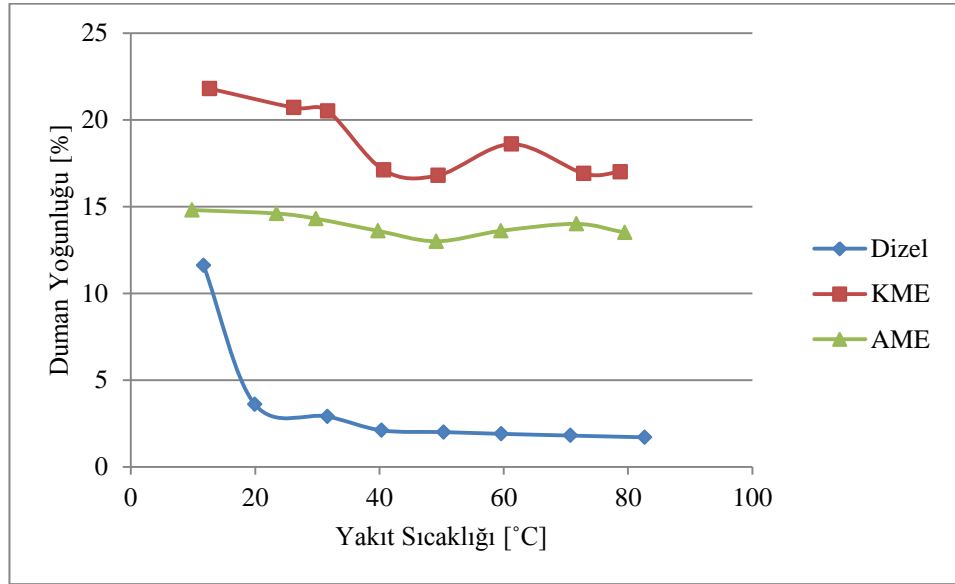
T _{yakıt} (°C)	CO (%Hac.)	CO ₂ (%Hac.)	HC (ppm)	NO (ppm)	K (%)
11	0,143	3,38	44	257	14,8
23	0,173	2,90	42	175	14,6
30	0,185	2,84	68	170	14,3
40	0,185	2,81	41	168	13,6
50	0,186	2,80	70	170	13,0
60	0,178	2,82	44	182	13,6
70	0,172	2,80	32	184	14,0
80	0,169	2,81	30	190	13,5

Çizelgeler incelendiğinde yakıt sıcaklığının HC ve CO₂ emisyonları üzerinde anlamlı bir etkisi görülememiştir. Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6 ile tüm yakıtlar için verilen egzoz emisyon verileri, Şekil 4.4-4.6 arasında grafiklere aktarılmıştır. Bu şekillerde sırasıyla CO ve NO emisyonları ve duman yoğunluğu (K, %) değerinin yakıt sıcaklığı ile değişimleri görselleştirilmiştir.

**Şekil 4.4.** Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile CO emisyonunun değişimi



Şekil 4.5. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile NO emisyonunun değişimi



Şekil 4.6. Farklı yakıtlar için yakıt sıcaklığı ile duman yoğunluğunun değişimi

Şekil 4.4 incelendiğinde yakıt sıcaklığı arttıkça biyodizel ve dizel yakıtı ile yapılan deneylerin farklı sonuçlar ürettiği görülmektedir. Yakıt sıcaklığı arttıkça dizel yakıtı ile yapılan deneylerde CO emisyonu seviyesi azalırken her iki biyodizelle yapılan deneylerde bu emisyon üretimi artmıştır. Ayrıca biyodizellerle yapılan deneyler

esnasında CO emisyonunun dizel yakıtı kullanımına göre daha yüksek seviyede olduğu görülmüştür. CO emisyonunda az miktarda olan bu artış Lin *et al.* (2007) ve Altın *et al.* (2001) yaptığı çalışmalarla uygunluk göstermektedir. Ancak literatürün büyük çoğunluğunda biyodizel kullanımının CO emisyonu seviyesini yaklaşık %10 seviyesine kadar azaltacağı belirtilmektedir.

Şekil 4.5 incelendiğinde ise NO emisyonlarının dizel yakıtının sıcaklığı arttığında 40°C sıcaklık seviyesine kadar çok fazla değişmediği görülmüştür. Ancak 40°C yakıt sıcaklığından sonra genel anlamda bir düşüş meydana gelmiştir. Bu durum özellikle düşük sıcaklıklarda dizel yakıtı kullanımının NO emisyonu üretimini artıracak sonucunu doğurmaktadır. Her iki biyodizelle yapılan deneylerde de yakıt sıcaklıklarının artması ile NO emisyonu seviyesinin azaldığı görülmüştür. Şekil 4.4'ten de görüleceği gibi yakıt sıcaklığının artması yanma performansını düşürmüştür dolayısıyla CO emisyonu artmıştır, bundan dolayı silindir içi sıcaklıklar azalmış ve NO emisyonu üretimi de azalmıştır. Şekil 4.5'ten ayrıca NO emisyonunun dizel yakıtı kullanılması durumunda daha yüksek seviyede gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum Yücesu vd (2001) ile Raheman *et al.* (2004) tarafından yapılan çalışma sonuçları ile uyum göstermektedir.

Şekil 4.6 incelendiğinde ise dizel yakıtının ve her iki biyodizelin sıcaklığındaki artışın duman yoğunluğunu azaltıcı etkisi olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu duruma artan sıcaklıkla dizel ve biyodizel yakıtlarının özellikle uzun zincirli olan hidrokarbon fraksiyonlarının artan yakıt sıcaklığı ile daha kolay parçalanmalarının neden olduğu düşünülmektedir. Ancak biyodizel kullanımında duman yoğunluğunun daha yüksek seviyelerde oluşmasına ise biyodizelin dizel yakıtına göre daha büyük hidrokarbon fraksiyonlarına sahip olması neden olmuştur.

13. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

13.1. Sonuçlar

Çalışmamızda, sıkıştırma ateşlemeli bir motorda farklı giriş sıcaklıklarındaki dizel ve biyodizel yakıtları ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Aynı sıcaklıklarda biyodizel yakıtı ile dizel yakıtı karşılaştırıldığında, biyodizel yakıtı kullanılması durumunda motor torkunda ve efektif güçte azalma görülürken efektif yakıt tüketiminde artış oluşmuştur. Bu durumun sebeplerinden birisi biyodizelin ısı değeri dizel yakıtına göre yaklaşık olarak %10 kadar düşük olmasıdır. Ayrıca biyodizelin dizel yakıtına göre yüksek viskoziteye sahip olması yanma karakteristiklerini olumsuz etkilemiştir. Egzoz emisyonları açısından biyodizel ile dizel yakıtı test sonuçları incelendiğinde ise biyodizel kullanımı durumunda CO emisyonunda ve duman yoğunluğunda artış görülürken üretilen NO emisyonu seviyesinde yaklaşık %50 oranında azalma kaydedilmiştir.
- Motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde yakıt sıcaklığının etkisi analizleri yapıldığında ise her iki yakıtın da sıcaklığındaki artışın motor performansını düşürdüğü görülmüştür. Yakıt sıcaklığındaki artış her iki yakıtında yoğunluğunda azalma olmasına neden olmuş dolayısıyla bir çevrimde silindir içine püskürtülen yakıt miktarı azalmıştır. Bunun yanında CO ve NO emisyonlarının artan yakıt sıcaklığı ile her iki yakıt türü için farklı şekilde değiştiği gözlemlenmiştir. Artan yakıt sıcaklığı ile dizel yakıtı kullanılması durumunda CO emisyonlarında azalma, NO emisyonlarında ise 40°C'den sonra genel anlamda bir azalma meydana gelmiştir. Ancak biyodizel kullanılması durumunda artan yakıt sıcaklığı, CO emisyonlarını artırırken NO emisyonunu azaltmıştır.

13.2. Öneriler

Yapılan deneysel çalışmalar ışığında hem biyodizel hem de dizel yakıtlarının sıcaklığının motor performansı ve egzoz emisyonlarını önemli seviyede etkilediği görülmüştür. Ancak yapılan deneysel çalışmalarımız sabit devir sayısında gerçekleştirilmiştir (1500 d/dak). Motor performansı ve egzoz emisyon karakteristikleri üzerinde yakıt sıcaklığının etkilerini tam olarak görebilmek için, motorun farklı devir sayılarında ve farklı motor yüklerinde çalışmaların yenilenmesi gerekmektedir. Ayrıca çalışmalar aşırı doldurmalı bir motorda da tekrarlanarak, bu parametrenin etkisi izlenip çalışma geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Alpgiray, B., 2006. Kanola Yağının Diesel Motorunun Performansına Ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Altın, R., Çetinkaya, S. And Yücesu, H.S., 2001. The Potential of Using Vegetable Oil Fuel for Diesel Engines. *Energy Conversion and Management*, 42, 529-538.
- Babu, A. K., and Devaradjane, G. 2003. Vegetable oils and their derivatives as fuels for CI engines: An overview. SAE Paper No: 2003-01-0767, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Balat, M., 2006. Fuel Characteristics and the Use of Biodiesel as a Transportation Fuel. *Energy Sources, Part A* (28), 855-864.
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., 1994. İçten Yanmalı Motorlar Cilt 1. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara.
- Cıgızoğlu, K.B., Özaktaş, T. and Karaosmanoğlu, F., 1997. Used Sunflower Oil as an Alternative Fuel for Diesel Engines. *Energy Sources*, 19, 559-566.
- Çanakçı, M., 2007. Combustion Characteristics of a Turbocharged DI Compression Ignition Engine Fueled with Petroleum Diesel Fuels and Biodiesel. *Biosource Technology*, 98, 1167-1175.
- Çanakçı, M., Ozsezen, A.N. and Turkcan, A., 2009. Combustion analysis of preheated crude sunflower oil in an IDI diesel engine. *Biomass and Bioenergy*, 33, 760-767.
- Çetin, M. and Yüksel, F., 2006. The use of hazelnut oil as a fuel in pre-chamber diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 27, 63-67.
- Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y. and Karaosmanoğlu, F., 2005. Engine and Winter Road Test Performances of Used Cooking Oil Originated Biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 46, 1279-1291.
- Demirbaş, A. and Kara, H., 2006. New Options for Conversion of Vegetable Oils to Alternative Fuels. *Energy Sources, Part A* (28), 619-626.
- Demirbaş, A., 2006. Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics. *Energy Conversion and Management*, 47, 2271-2282.
- Demirbaş, A., 2005. Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 64, 858-865.
- Dmytryshyn, S.L., Dalai, A.K., Chaudhari, S.T., Mishra, H.K. and Reaney, M.J., 2003. Synthesis and characterization of vegetable oil derived esters: evaluation for their diesel additive properties. *Bioresource Technology*, 92, 55-64.
- Dufey, A., 2006. Biofuels production, trade and sustainable development: emerging issues. International Institute for Environment and Development, London.
- Dzida, M. and Prusakiewicz, P., 2008. The effect of temperature and pressure on the physicochemical properties of petroleum diesel oil and biodiesel fuel. *Fuel*, 87, 1941-1948.
- Fang, T., Lin, Y.C., Foong, T.M. and Lee, C.F., 2008. Reducing NO_x Emissions from a Biodiesel-Fueled Engine by use of Low –Temperature Combustion. *Environ. Sci. Technol.*, 42, 8865-8870.

- Foster, D.B. and Jung, W., 2002. The Influence of the Fuel Inlet Temperature on Diesel Engine Performance. *MTZ worldwide*, 63 (4), 27-28.
- Heywood, J.B., 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Book Co., 930, Singapore.
- Karhale, S.S., Nadre, R.G., Das, D.K. and Dash, S.K., 2008. Studies on Comparative Performance of a Compression Ignition Engine with Different Blends of Biodiesel and Diesel under Varying Operating Conditions. *Karnataka J. Agric. Sci.*, 21 (2), 246-249.
- Kawano, D., Ishii, H., Goto, Y., Noda, A. and Aoyagi, Y., 2006. Application of biodiesel Fuel to Modern Diesel Engine. SAE, Paper No: 2006-01-0233.
- Kızıllkan, V., 2008. İçten Yanmalı Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kubota, M., Yoshida, K., Shoji, H. and Tanaka, H., 2002. A Study of the Influence of Fuel Temperature on Emission Characteristics and Engine Performance of Compression Ignition Engine. SAE, Paper No: 2002-32-1777.
- Lin, Y., Wu, Y.G. and Chang, C., 2007. Combustion Characteristics of Waste-Oil Produced Biodiesel/Diesel Fuel Blends. *Fuel*, 86, 1772-1780.
- Ma, F. And Hanna, M.A., 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70, 1-15.
- Mamat, R., Abdullah, N.R., Xu, H., Wyszynski, M.L. and Tsolakis, A., 2009. Effect of Fuel Temperature on Performance and Emissions of a Common Rail Diesel Engine Operating with Rapeseed Methyl Ester (RME). SAE, Paper No: 2009-01-1896.
- Meher, L.C., Sagar, D.V. and Naik, S.N., 2004. Technical aspects of biodiesel production by transesterification-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 248-268.
- Öz, İ.H., Borat, O. ve Sürmen, A., 2003. İçten Yanmalı Motorlar. *Birsen*, 522, İstanbul
- Raheman, H. and Phadataré, A.G., 2004. Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel. *Biomass and Bioenergy*, 27, 293-397.
- Rahim, R., Mamat, R., Taib, M.Y. and Abdullah, A.A., 2012. Influence of Fuel Temperature on a Diesel Engine Performance Operating with Biodiesel Blended. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 2, 226-236.
- Ryan, T.W., Dodge, L.G. and Callahan, T.J., 1984. The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 61 (10), 1610-1619.
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E. ve Soruşbay, C., 2008. *Birsen*, 217, İstanbul.
- Selim, M.Y.E., Radwan, M.S. and Elfeky, S.M.S., 2003. Combustion of Jojoba Methyl Ester in an Indirect Injection Diesel Engine. *Renewable Energy*, 28, 1401-1420.
- Spataru, A., and Romig, C. 1995. Emissions and engine performance from blends of soya and canola methyl esters with ARB #2 diesel in a DCC 6V92TA MUI engine. SAE Paper No: 952388, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Tat, M.E. and Gerpen, J.H.V., 2003. Fuel Property Effects on Biodiesel. ASAE, Paper No: 036034.

- Tate, R.E., Watts, K.C., Allen, C.A.W. and Wilkie, K.I., 2005. The viscosities of three biodiesel fuels at temperatures up to 300 °C. *Fuel*, 85, 1010-1015.
- Tate, R.E., Watts, K.C., Allen, C.A.W. and Wilkie, K.I., 2005. The densities of three biodiesel fuels at temperatures up to 300 °C. *Fuel*, 85, 1004-1009.
- Tippayawong, N., Wongsiriamnuay, T. and Jompakdee, W., 2002. Performance and Emissions of a Small Agricultural Diesel Engine Fueled with 100% Vegetable Oil: Effects of Fuel Type and Elevated Inlet Temperature. *Asian J. Energy Environ.*, 3 (3-4), 139-158.
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2011. Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri (Rapor).
- Ulusoy, Y. ve Alıbaş, K., 2002. Dizel Motorlarda Biodizel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi. *Uludağ Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 37-50.
- Usta, N., Öztürk, E., Can, Ö., Conkur, E.S., Nas, S., Çon, A.H., Can, A.Ç. 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, 741-755.
- Usta, N., 2005a. An Experimental Study on Performance and Exhaust Emission of a Diesel Engine Fuelled with Tobacco Seed Oil Methyl Ester. *Energy Conversion and Management*, 46, 2373-2386.
- Usta, N., 2005. Use of Tobacco Seed Oil Ester in a Turbocharged Indirect Injection Diesel Engine. *Biomass and Bioenergy*, 28, 77-86.
- Wang, Y.D., Al-Shemmeri, T., Eames, P., McMullan, J., Hewitt, N., Huang, Y. and Rezvani, S., 2006. An experimental investigation of the performance and gaseous exhaust emissions of a diesel engine using blends of a vegetable oil. *Applied Thermal Engineering*, 26, 1684-1691.
- Yuan, W., Hansen, A.C., Zhang, Q. and Tan, Z., 2005. Temperature-Dependent Kinematic Viscosity of Selected Biodiesel Fuels and Blends with Diesel Fuel. *JAOCS*, Paper No: J10974, 82, 195-199
- Yücesu, H.S., Altın, R. and Çetinkaya, S., 2001. Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi. *Turk J. Engin. Environ. Sci.*, 25, 39-49.
- Yüksel, F., Ceviz, M.A., Yüksel, B. Ve Çetin, M., 2001. Alternatif yakıtların motor emisyonlarına etkisi. *Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi*, 25-27 Nisan, Ankara.
- Yoon, S.H., Park, S.H. and Lee, C.S., 2007. Experimental Investigation on the Fuel Properties of Biodiesel and Its Blends at Various Temperatures. *Energy and Fuels*, 22, 652-656.

ÖZGEÇMİŞ

1987’de Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’daki farklı okullarda tamamladı. 2006 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2010 yılında mezun oldu. 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

2010 yılında Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2012 yılından beri bu görevi Atatürk Üniversitesi bünyesinde yürütmektedir.

İngilizce bilmektedir.