



**DİZEL YAKITI-PENTANOL KARIŞIMLARININ
DİZEL MOTORDA KULLANIMININ
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Abdulkadir TUNCER

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**DİZEL YAKITI-PENTANOL KARIŞIMLARININ DİZEL MOTORDA
KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

Abdulkadir TUNCER

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2023**

Abdulkadir TUNCER tarafından hazırlanan “DİZEL YAKITI-PENTANOL KARIŞIMLARININ DİZEL MOTORDA KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/01/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ŞEN (AİBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Samet USLU (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Abdulkadir TUNCER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL YAKITI-PENTANOL KARIŞIMLARININ DİZEL MOTORDA KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Abdulkadir TUNCER

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Ocak 2023, 65 sayfa

Ulaşımında genel olarak petrol kökenli yakıt kullanılıyor olması çevre kirliliğinin ve ulaşım maliyetlerinin artmasına neden olan etkenler arasındadır. Dizel yakıtın içerisine kimyasal maddeler katılarak emisyon değerlerinin azaltılması ve yakıt maliyetlerin düşürülmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada emisyonların iyileştirilmesi amacıyla dizel yakıtın içerisine pentanol ilave edilmiştir.

Bu çalışmada direkt püskürtmeli tek silindirli dizel motorda; dizel yakıtın, dizel-pentanol karışımlarının emisyonlara ve performansa etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deney yakıtları; dizel yakıtı ve dizel yakıtına %5, %10, %15 ve %20 oranlarında pentanol eklenmesiyle elde edilmiştir. Farklı yüklerde ve sabit hızda yapılan deney sonuçlarına göre; dizel ve dizel-pentanol karışımlarında yapılan çalışmalarda en yüksek efektif verim P5 (%5 pentanol+%95 dizel) yakıtıyla elde edilmiştir.

P5 yakıtı kullanımı ile elde edilen efektif verim değerleri dizel ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %1,2 daha fazladır. Karışımındaki pentanol oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi (ÖYT) artmıştır. Tüm yüklerde ortalama olarak P20 yakıtı ile dizel yakıt kıyaslandığında ÖYT yaklaşık %8 artmıştır. Dizel yakıtta pentanol eklenmesiyle emisyon verilerinde önemli iyileşmelerin elde edildiği görülmüştür. P20 yakıtlı çalışmada dizel yakıtta göre is emisyonu %34, NO_x emisyonu %30 ve CO emisyonu %25 daha düşük çıkmıştır. Diğer taraftan P20 yakıtı ile çalışmada dizel yakıtta göre HC emisyonunda %67 artış kaydedilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Pentanol, emisyon, performans, dizel yakıtı.

Bilim Kodu : 91440

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF USE OF DIESEL FUEL-PENTHANOL BLENDS IN DIESEL ENGINE ON PERFORMANCE AND EMISSIONS

Abdulkadir TUNCER

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering.**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

January 2023, 65 pages

The use of petroleum-based fuels in transportation is among the factors that increase environmental pollution and transportation costs. Efforts are being made to reduce emissions and reduce fuel costs by adding chemicals to diesel fuel. In this study, pentanol was added to diesel fuel in order to improve emissions.

In this study, in a direct injection single-cylinder diesel engine; the effects of diesel fuel, diesel-pentanol blends on emissions and performance were investigated experimentally. Experimental fuels; it was obtained by adding 5%, 10%, 15% and 20% pentanol to diesel fuel and diesel fuel. According to the test results performed at different loads and constant speed; in studies on diesel fuel and diesel-pentanol blends, the highest effective efficiency was obtained with P5 (5% pentanol + 95% diesel) fuel. The effective efficiency values obtained with the use of P5 fuel are approximately

1.2% higher when compared to diesel. As the pentanol ratio in the blend increased, the specific fuel consumption (SFC) increased. When P20 fuel and diesel fuel are compared on average at all loads, SFC has increased by approximately 8%. Significant improvements were observed in emission data by adding pentanol to diesel fuel. In the study with P20 fuel, the soot emission was 34%, the NO_x emission was 30% and the CO emission was 25% lower than the diesel fuel. On the other hand, HC emission increased by 67% compared to diesel fuel in working with P20 fuel.

Key Word : Pentanol, emission, performance, diesel fuel.

Science Code : 91440

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasını, ilerleyiőinde ve geliőiminde desteğini esirgemeyen ve yönlendirmesiyle alıőmamı bilim iőıęında yön veren, sayın hocam Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
BÖLÜM 3	9
DİZEL MOTORLARIN ÇALIŞMA YAPISI.....	9
3.1 DİZEL MOTORLARDA ÇALIŞMA PRENSİBİ	9
3.1.1 Emme Zamanı.....	9
3.1.2 Sıkıştırma Zamanı.....	9
3.1.3 Yanma Ve Genişleme Zamanı.....	10
3.1.4 Egzoz Zamanı	10
BÖLÜM 4	12
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR	12
4.1. DİZEL MOTORLARINDA YANMA.....	12
4.1.1. Tutuşma Gecikmesi	13
4.1.2. Kontrolsüz Yanma Safhası	13
4.1.3. Kontrollü Yanma Safhası	14

Sayfa

4.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLARIN OLUŞUMU	15
4.2.1. Partikül Madde ve İS Emisyonları	16
4.2.2. Azot Oksit (NOx) Emisyonları	17
4.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları	17
4.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları	18
BÖLÜM 5	19
DİZEL MOTOR YAKITLARI	19
5.1. DİZEL YAKITI (MOTORİN)	19
5.1.1. Motorin Yakıtının Sınıflandırması	19
5.1.2. Dizel Yakıtının Özellikleri	20
5.1.2.1. Viskozite	20
5.2. DİZEL MOTOR ALTERNATİF YAKITLARI	22
5.2.1. Doğal Gaz	23
5.2.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	23
5.2.3. Hidrojen	23
5.2.4. Biyogaz	24
5.2.5. Biyodizel	24
5.2.6. Alkoller	25
5.3. DİZEL MOTORLARDA ALKOLLERİN KULLANILMASI	25
5.3.1. Metanol	25
5.3.2. Bütanol	26
5.3.3. Etanol	26
5.3.4. İzooamil alkol veya İzopentanol	27
5.4. BİYODİZELİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMI	29
BÖLÜM 6	31
MATERYAL VE METOT	31
6.1. MATERYAL	31

	<u>Sayfa</u>
6.1.1. Deney Yeri.....	31
6.1.2. Deney Motorunun Genel Özellikleri	32
6.1.3. Motor Yükleme Ünitesi	33
6.1.4. Deney Yakıtları.....	34
6.2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR	35
6.2.1. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı.....	35
6.2.2. İş Emisyon Ölçüm Cihazı.....	36
6.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi.....	37
6.2.4. Kronometre	38
6.2.5. Dijital Termometre	39
6.3. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	39
6.3.1. Motor Deneyleri.....	39
6.4. DENEYSEL ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR	40
BÖLÜM 7	42
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	42
7.1. MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİ.....	42
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI	46
BÖLÜM 8	51
SONUÇ VE ÖNERİLER	51
8.1. SONUÇLAR	51
8.2. ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	53
EK AÇIKLAMALAR A.	59
PERFORMANS VE EMİSYON DEĞERLERİ	59
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3. 1. Dört zamanlı dizel motorun çevrim gösterimi.....	11
Şekil 4. 1. Dizel motor yanma aşamaları	12
Şekil 4. 2. Dizel motorda hava fazlalık katsayısının emisyona etkisi.....	15
Şekil 5. 1. Biyodizel üretim yöntemi	29
Şekil 6. 1. Deney düzenek yapısının genel görünümü.....	31
Şekil 6. 2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.....	32
Şekil 6. 3. Deney motorunun genel görünüşü.....	32
Şekil 6. 4. Motor yükleme ünitesi.....	34
Şekil 6. 5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.....	36
Şekil 6. 6. İS emisyon ölçüm cihazı.....	37
Şekil 6. 7. Elektronik terazi.....	38
Şekil 6. 8. Kronometre.....	38
Şekil 6. 9. Termometre.....	39
Şekil 7. 1. Dizel, dizel-pentanol karışımlarının efektif verim değişimleri.....	43
Şekil 7. 2 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının ÖYT değişimleri.....	44
Şekil 7. 3 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının Yakıt Tüketimi değişimleri.....	45
Şekil 7. 4 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının EGS değişimleri.....	46
Şekil 7. 5 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının NO _x değişimleri.....	47
Şekil 7. 6 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının is emisyonu değişimleri.....	48
Şekil 7. 7 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının HC emisyonu değişimleri.....	49
Şekil 7. 8 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının CO emisyonu değişimleri.....	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5. 1. Etanolün özellikleri.....	27
Çizelge 5. 2. Pentanolün özellikleri.	28
Çizelge 6. 1. Deney motoru özellikleri.	33
Çizelge 6. 2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler.....	33
Çizelge 6. 3. Dizel, pentanol özellikleri.....	34
Çizelge 6. 4. Dizel pentanol yakıt karışımları.	35
Çizelge 6. 5. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri.....	36
Çizelge 6. 6. Deney yakıtlarına ait alt ısıl değerler.	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

H/Y	: Hava/Yakıt oranı
n	: Motor hızı (d/d)
ϵ	: Sıkıştırma oranı
Me	: Motor momenti (Nm)
Pe	: Efektif güç (kW)
Be	: Yakıt tüketimi (kg/h)
be	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
Hu	: Yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)
λ	: Hava fazlalık katsayısı
CO ₂	: Karbondioksit
NO _x	: Azotoksit
HC	: Hidrokarbon
CH ₄	: Metan

KISALTMALAR

HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
KMA	: Krank Mili Açısı (°)
PA	: Püskürtme Avansı (°)
PB	: Püskürtme Başlangıcı
PS	: Püskürtme Sonu
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
TG	: Tutuşma Gecikmesi
MOS	: Motor Oktan Sayısı
AOS	: Araştırma Oktan Sayısı
P0	: İçerisinde pentanol bulunmayan yakıt
P5	: İçerisinde %5 pentanol bulunan yakıt
P10	: İçerisinde %10 pentanol bulunan yakıt
P15	: İçerisinde %15 pentanol bulunan yakıt
P20	: İçerisinde %20 pentanol bulunan yakıt

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacı, sanayileşmenin gelişmesi ve nüfusun hızlı artması nedeniyle sürekli olarak artmakta ve enerjiye ulaşım gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Bundan dolayı hidrolik, nükleer, petrol veya kömür imkanlarından yararlanılarak yakıtta oluşan talebe cevap verilmeye çalışılmaktadır. Belirtmek gerekirse petrol ve kömür rezerv miktarının sınırlı olması ve günü geldiğinde bitecek olması nedeniyle dünya üzerinde enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Ülkelerin politik yapılarında ve gelişim yapısında enerji en önde göze çarpmaktadır. Ülkelerin bağımsızlığı bir noktadan sonra “kendi enerjisini karşılıyor olabilme kapasitesi” sonucunda değerlendirilmektedir. Enerji; politik, ekonomik ve çevresel faktörler üzerinde büyük öneme sahiptir. Daha kaliteli yaşam standartları ve büyüme için tüm devletler enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar. Yıllar içerisinde etik olarak temiz, güvenilir ve ucuz enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Gelişen ülkelerde uygun fiyatlı enerjiye ulaşabilmek çok önemlidir. Enerji, çok fazla insanın hayatını kurtarabilecek ya da değiştirebilecek bir etkiye sahip olabilmektedir.

Enerji üretimi yönünden dış kaynaklara bağlı olmayan ülke sayısı oldukça azdır. Çoğu ülkeler enerji ihtiyacını başka ülkelere ciddi fiyatlarla satın almaktadır. Bu da ciddi bir bağımlılık demektir. Enerjide dışa bağımlı olmayan ülkeler, Dünya üzerinde söz sahibi ülke konumundadırlar.

Dünyamız petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kökenli yakıtları kullanarak enerjide oluşan talebin %85 oranında ihtiyacına cevap vermektedir. Kullanılan yakıtlar içerisinde ilk sırayı fosil kökenli olan petrol almaktadır. Toplam tüketim ele alındığında petrolün kullanımını artan bir eğilim ile devam etmektedir. Fosil yakıtlardan enerji ihtiyacının karşılanması, petrol rezervini hızlı bir artışa sürüklemektedir ve bu da fiyat artışına sebep olmaktadır. Petrol rezerv miktarının 50-60 sene arasında olduğu

düşünülmektedir. Petrol rezerv miktarının da giderek azalıyor oluşu, araştırmacıları yeni yakıt arayışına itmektedir.

Tüketilen petrolün büyük bir kısmı ulaşımda kullanılmaktadır. Günümüzde yakıt maliyetlerinin sürekli olarak yükselmesi ve emisyon standartlarının değişmesi nedeniyle taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı ön plana çıkmaktadır.

Dizel motorları, benzinli motorlara kıyasla daha düşük karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonları vermesi ve momentlerinin daha yüksek olması nedeniyle ağır araçlarda tercih edilmektedir. Fakat, dizel motorlarda yüksek miktarda is olması ve azot oksit (NOx) emisyonu vermesi bu motorlar için olumsuz bir durumdur. Bu motorlarda is emisyonunu azaltmak amacıyla partikül filtresi kullanılmaktadır. NOx emisyonunu azaltmak için egzoz gazı resirkülasyonu ve başka yöntemler kullanılmaktadır. Egzoz emisyonu azaltma sistemlerinin yükünü azaltmak amacıyla yakıt içerisine farklı kimyasal maddeler katılmakta veya alternatif yakıtlar kullanılmaktadır.

Özellikle metil alkol, bütil alkol, pentanol, etil alkol benzeri alkoller bitkisel yapılı atıktan elde edilmesi ve emisyonları düşürmeleri sebebi ile dizel motorlarında tercih edilmektedir. Alkollerin içeriğinde bulunan oksijen sayesinde is emisyonunu azaltması beklenmektedir. Ayrıca alkollerin yüksek seviyede buharlaşma ısısına sahip olmasından dolayı yanma sıcaklığı da düşük olmaktadır. Yanma sıcaklığının düşmesi de NOx emisyonlarının düşmesini sağlamaktadır.

Motorlarda alkol kullanılmasının nedenlerinden biri; ülkelerin yeterli seviyede petrole sahip olamaması, farklı yöntemlerle alkolün elde ediliyor olması ve hava kirliliğinin azaltılabilesidir. Yaygın biçimde alkol kullanılmama sebepleri; petrolün hala bitmemiş olması, alkol fiyatının diğer yakıtlara göre yüksek olmasıdır.

Bu çalışmada alkollerden biri olan pentanolün dizel motor emisyonlarına etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Pentanol; n-pentanol, n-amil alkol veya pentan-1-ol olacak şekilde isimlendirilmektedir ve ayrıca yenilenebilir olan hammaddeden üretilecek yapıdadır. Setan sayısı ve ayrıca alt ısıı değeri diğer alkoller ile kıyaslandığında daha fazladır.

Gerçekleştirilen çalışmada; dizel yakıtı içerisine farklı oranlarda pentanol ilave edilerek motor emisyonları ve performans etkisi incelenmiştir. Deney yakıtları; dizel yakıtı ve dizel yakıtına %5, %10, %15 ve %20 oranlarında pentanol eklenmesiyle elde edilmiştir. Motor testleri değişik yüklerde ve sabit hızda yapılmıştır. Pentanol ilavesinin motor parametrelerine etkisi incelenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Alkol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarda kullanılması ile oluşan sonuçları incelemek amacıyla bazı araştırmalar yapılmıştır.

Yeşilyurt (2020) tarafından yapılan çalışmada; dört zamanlı, tek silindri, direkt püskürtmeli bir dizel motor farklı yükler altında (%25, %50, %75 ve %100) dizel/1-bütanol, dizel/1-pentanol ve dizel/1-hekzanol karışım yakıtlarıyla test edilmiş ve motor performansına, egzoz emisyonuna ve yanma karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Alkoller dizel yakıtı hacimsel olarak %15 oranında ilave edilerek test gerçekleştirilmiştir. Test aşamasında motorun çalışmasında bir sorun ile karşılaşmamıştır. %15 1-pentanol + %85 dizel yakıtı karışımında volümetrik verim %72,57 olarak bulunmuştur. Düşük setan sayısına sahip alkollerin dizel yakıtına eklenmesi sonucunda tutuşma gecikmesi periyodunun genel olarak uzadığının ve yanma odasında daha fazla yakıtın birikmesinin olduğu bu yakıtın ani bir şekilde yanması ve alkollerin yüksek oksijen içeriğine sahip olması, yanma hızını artırması sonucunda ısı açığa çıkış oranı değerlerinin arttığı deney sonucunda tespit edilmiştir.

Gawale (2020) gerçekleştirdikleri çalışmalarda HCCI motorunda biyodizel etanol ve dizel etanol karışımının motor performansında oluşturduğu sonucu araştırmışlardır. Etanolün kullanımı sonucunda is emisyonunda, NOx emisyonlarında azalma olduğu, HC ve CO emisyon verilerinde ise artış olduğu sonucu çıkmıştır.

Seelam et al. (2022) gerçekleştirdikleri çalışmada, pentanolün daha yüksek enjeksiyon zamanlamalarında etkili bir performans sergilediği ve hidrojen performansının iyileştiği gözlemlenmiştir. Bir enerji kaynağı olarak pentanolün, gelecek zamanlarda kullanılabilceğini göstermiştir.

Xiaoyan et al. (2006) gerçekleştirilen araştırmada; soya metil ester, dizel ve dizel etanol karışımlarını 4 silindre sahip sıkıştırma ile ateşlemeli motorda test etmişlerdir. ıkan sonuçlarda dizel yakıtına etanolün katılması ile is ve CO emisyonlarında ciddi bir dūřuře etki ettiğini, NO_x emisyonunda %4 ila %12 artış olduğu gōzlemlenmiřtir. Dizel yakıtına eklenen soya biyodizelin ve etanolün motor performansı üzerinde bazı olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Ejder (2007) yaptığı bir araştırmada; dizel, biyodizel ve etanol biyodizel karışımlarını 4 zamanlı 4 silindirli dizel motorda test etmiştir. Gerçekleřtirilen deneylerin sonucunda ise dizel yakıtına eklenen etanolün bazı emisyon tūrlerinde iyileşmelere neden olduğu belirlenmiştir.

Venu et al. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dizel ve pentanol karışımlarının etkisi incelenmiştir. Test sonuçlarına gōre; CO, HC ve is emisyonunda azalma ve NO_x emisyonlarında iyileşme olduğu gōzlemlenmiřtir. Genel olarak, dizele %20 pentanol ilave edilmiş karışımlar, mevcutta kullanılan dizel motor için olası bir yedek yakıt olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Rakopoulos vd (2010) yapmıř olduđu arařtırmada; būtanol-dizel yakıtını dizel motorda kullanarak kirleticilerde ve yakıt tūketiminde oluřan deđiřimi gōzlemlenmiřlerdir. Dizel yakıtına %8, %16 ve %24 olacak řekilde būtanol eklenerek deneyler yapılmıřtır. Būtanol oranı arttıđında azot oksit, karbon monoksit ve partikūl emisyonlarının dūřtūđu gōzlemlenmiřtir. Bunlara ek olarak hidrokarbon emisyonunda ve özgül yakıt tūketiminde artıř olduđu gōzlemlenmiřtir. Būtanolün kullanımı sonucunda ise efektif veriminde artma sađlandıđı gōzlemlenmiřtir.

Zhang vd (2010) gerçekleştirdikleri araştırmada; dizel motorda metanol kullanımında egzoz emisyonları üzerinde oluşacak etkiyi incelemişlerdir. Bu amaçla emme manifolduna metanol verilmiştir. Gerçekleřen testlerin sonunda, metanol kullanımının CO ve HC emisyonlarının artmasına sebep olduğu gōrūlmūřtir, fakat dizel motorda en önemli emisyonlardan olan azot oksit ve is kirleticilerinde azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir.

Yılmaz (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; etanol-dizel, biyodizel yakıt karışımı ve metanol-dizel biyodizel yakıt karışımı ile çalışan dizel motorun performans ve egzoz kirleticilerinde oluşan etkileri incelenmiştir. Karışımlarda bulunan alkol miktarının arttırılması ile NO emisyonunda azalmanın olduğu, HC ile CO kirleticilerinde artışın yaşandığı sonucu çıkmıştır. Alkol oranında artış sağlanması ile özgül yakıt tüketim miktarında artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır. HC ve CO emisyonunda azaltılmanın gerçekleştirilmesi için metanolün etanol ile karşılaştırıldığında daha etkin olacağı sonucu çıkmıştır.

Song vd (2007) gerçekleştirdikleri çalışmada; dizel yakıtın içerisine etanolün eklenmesi sonucunda emisyonlarda oluşan etkileri gözlemlemiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonuçlarında, is ve NO_x emisyon türlerinde azalmanın olduğunu gözlemişlerdir. Ayrıca HC ile CO emisyon değerlerinde artışın olduğu sonucu çıkmıştır.

Al-Momany ve Al-Hasan (2008) gerçekleştirdikleri araştırmada, dizel motorda izobütanol kullanımında deney sonuçlarını gözlemlemiştir. Deneyler tek silindri bir dizel motorda gerçekleştirilmiştir. Motorin içerisine %10, %20, %30, %40 oranında olacak şekilde izobütanol ilavesi gerçekleştirilmiştir. Testlerin sabit yükte ve farklı hızda olacak şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Yapılan deneylerde yakıt tüketiminin ve motor çıkış gücünde oluşan değişimler gözlemlenmiştir. Karışımda bulunan bütanol miktarı arttığında egzoz gaz sıcaklığında azalma gözlemlenmiştir. Belirtilen azalışın izobütanolün vermiş olduğu ısının düşük olmasıyla ve karışım yakıtının yoğunluk miktarının motorine kıyasla göre az olmasına bağlı olduğu belirtilmiştir. İzobütanol ilavesinde artış oldukça motorun gücünde de azalmanın olduğu sonucu çıkmıştır. Kaynaklanan azalışın, motorinin setan sayısının düşük olması dolayısıyla tutuşma gecikmesinin uzaması ve izobütil alkolünün ısı değerinin düşük olmasından kaynaklandığı ileri sürülmüştür.

Bayraktar (2005) gerçekleştirdiği bir deneyde, metanol-dizel yakıtlarından oluşan karışımın motor performansı üzerindeki sonuçları gözlemlemiştir. Dizel yakıtta %5, %10 ve %15 oranlarında metanol eklenerek deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda

minimum özgül yakıt tüketiminin ve maksimum motor gücünün M10 yakıtında elde edildiği ortaya çıkmıştır.

Çelikten (2004) yaptığı çalışmada; dizel motorda motorinin içine %10 etil alkol eklenmesi ile motor testlerini gerçekleştirmiştir. Motor parametreleri üzerinde etil alkolün ortaya çıkaracağı sonuçlar gözlemlenmiştir. Etil alkol kullanılması sonucunda motorun gücünde azalma olduğu ve özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğu sonucu çıkmıştır. CO ve NO_x emisyonlarında az da olsa düşme olduğu, O₂ emisyonunda ise artış olduğu gözlemlenmiştir.

Huang vd (2009) yürüttüğü bir çalışmada; dizel motorda etanol- dizel karışımının motor parametrelerinde etkisinin nasıl olduğunu gözlemlemiştir. Karışımlar; dizel yakıtının içerisine %10, %20, %25 ve %30 oranında olacak şekilde etanol eklenerek hazırlanmıştır. Karışımların içerisinde bulunan etanol miktarının artışıyla özgül yakıt tüketiminin ve HC emisyonunda arttığı gözlemlenmiştir. CO ve NO_x emisyonlarında ise düşme olduğu görülmüştür.

Rakopoulos et al. (2010) yaptığı araştırmada; yüksek hızlı bir dizel motorda bütanol-dizel yakıt karışımlarının motor performansına ve emisyonlara olan etkisini gözlemlemiştir. Yakıtın içine %8, %16 ve %24 oranlarında n-bütanol eklenmiştir ve n-bütanol oranında artma oldukça NO_x, CO ve is emisyonlarının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Fakat HC emisyonlarının ise arttığı sonucu çıkmıştır.

Hoşöz ve Karabektaş (2009) gerçekleştirdikleri araştırmada; izobütanol dizel yakıtı karışımlarının motor gücüne etkisini incelemiştir. Direkt püskürtmeli ve tek silindirli dizel motorda deneyler yapılmıştır. Dizel yakıtının içerisine ise %5, %10, %15 ve %20 oranlarında izobütanol eklenmiştir. Dizel yakıtına bütanol eklenmesinin motorun gücünde %1,2 ile %6 arasında azalmaya neden olduğu belirlenmiştir.

Can et al. (2004) gerçekleştirdiği araştırma ile; dizel yakıtının içerisine %10 ve %15 oranında etanolün eklenmesinin motor performansı ve emisyon değerleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Etanol kullanımı ile NO_x emisyonunun arttığı, is ve CO

emisyonlarının azaldığı sonucu çıkmıştır. Ayrıca karışımın içerisindeki etanol ilavesinin artışı ile güç ve torkun azaldığı görülmüştür.

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARIN ÇALIŞMA YAPISI

3.1 DİZEL MOTORLARDA ÇALIŞMA PRENSİBİ

Dizel motorlarında; yakıt-hava karışımı yakılarak oluşturulan basınç sayesinde piston aşağıya itilir, bu itme hareketi krank mili ile dairesel harekete çevrilerek iş elde edilir. Dizel motorun çalışması dört zamanlı olacak şekilde (emme, sıkıştırma, yanma ve genişleme, egzoz) çalışan bir yapı ile oluşmaktadır.

3.1.1 Emme Zamanı

Emme zamanında emme supabı açılarak piston üst ölü noktadan alt ölü noktaya olacak şekilde hareket eder. Pistonun yaptığı bu hareket neticesinde silindir içinde bulunan hacim artmış olur ve basınçta azalır. Oluşan basınç farkı etkisiyle hava silindirin iç kısmına çekilir. Piston alt ölü noktaya ulaştığında silindir içinde bulunan basınç 0,7 – 0,9 bar, sıcaklık ise yaklaşık olarak 80-120 °C'dir. Emme zamanının tamamlanması sonucunda emme supabı da kapanmış olmaktadır.

3.1.2 Sıkıştırma Zamanı

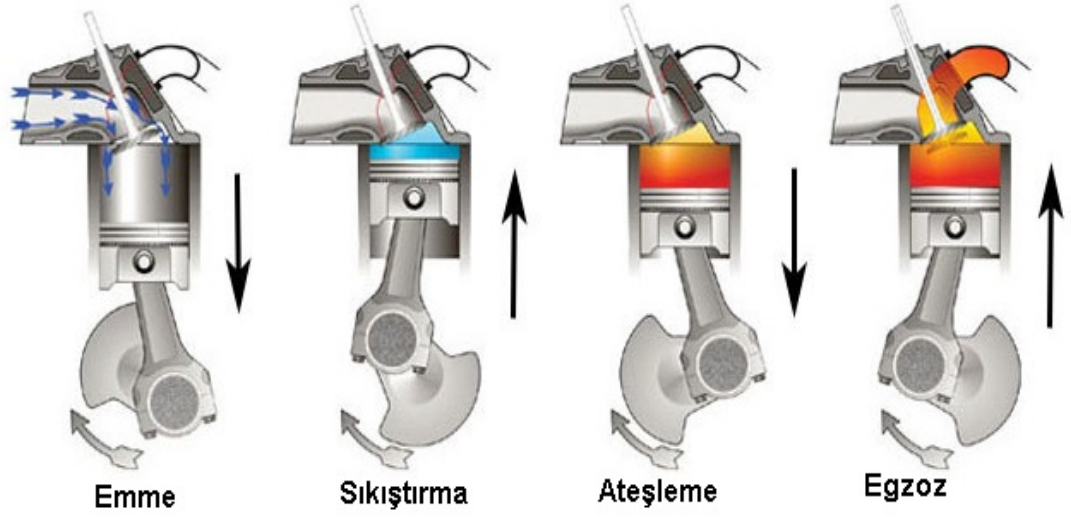
Emme zamanının bitmesi ile alt ölü noktaya ulaşmış olan piston sıkıştırma zamanı oluşacağı zaman üst ölü noktaya gidecek şekilde hareket eder. Bu işlem gerçekleştiği esnada egzoz ve emme supapları kapalı konumdadır. Sıkıştırma işleminin gerçekleşmesi ile piston önünde bulunan havanın sıcaklığı ve basıncı artar. Sıkıştırma sonunda basınç yaklaşık 10-12 bar'a, sıcaklık 700-800 °C ye ulaşır. Sıkıştırma sonu basıncını motorun sıkıştırma oranı belirler. Sıkıştırma oranı arttıkça motor efektif gücü ve verimi artmaktadır. Dizel motorlarda sıkıştırma oranı 18/1-22/1 arasında değişmektedir.

3.1.3 Yanma Ve Genişleme Zamanı

Sıkıştırma zamanının sonuna gelindiğinde sıcaklığı ve basıncı artmış olan havanın içerisine enjektörlerden yanma işlemine uygun bir biçimde ön püskürtme, ana püskürtme ve son püskürtme işlemi yapılmaktadır. Püskürtme işleminin başlaması ile yanma işlemi başlamış olur ve açığa çıkmış olan enerjide pistonun aşağı itilmesini netice verir. Pistonun yapısının bu hareketi neticesinde silindir içinde bulunmakta olan gazların basıncı da azalmış olur. Yanma işlemi aşamasında silindirin içinde sıcaklık yaklaşık olarak 2000 °C'ye kadar çıkar ve basınç ise yaklaşık olarak 60-80 bar seviyelerine kadar yükselmiş olmaktadır.

3.1.4 Egzoz Zamanı

Yanma işleminin tamamlanması neticesinde alt ölü noktaya ulaşmış olan piston bir sonrasında oluşan çevrim adımına geçebilmek için üst ölü noktaya doğru yönelir. Piston alt ölü noktaya varmadan önce egzoz supabı açılır. Böylece silindirdeki gaz basıncı pistonu ters yönde kuvvet uygulamamış olur. Egzoz zamanının gerçekleşmesi için piston alt ölü nokta bölgesinden üst ölü nokta bölgesine olacak şekilde hareket ederek silindir içinde bulunan gazları egzoz supabı sayesinde dışarıya atar. Piston üst ölü noktaya vardığında egzoz zamanı biter ve yanmış ard gazlar silindirden dışarıya atılmış olur. Belirtilen işlemin gerçekleşmesi neticesinde sıcaklık yaklaşık 80-120 °C'ye ve basınç ise yine yaklaşık olarak 3-4 bar'a gelmektedir (Soykan, 2012). Şekil 3.1'de bir dizel motorun çevrim aşamaları görülmektedir.



Şekil 3. 1. Dört zamanlı dizel motorun çevrim gösterimi
(İnternet 5,2022)

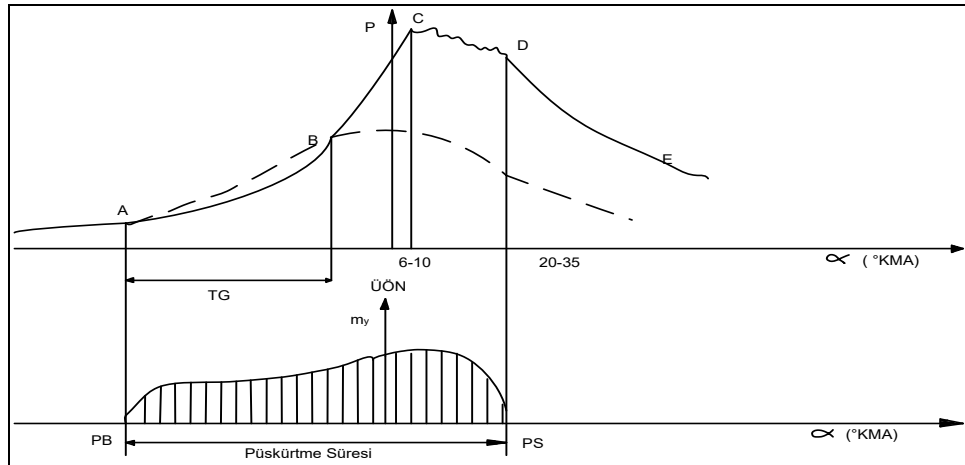
BÖLÜM 4

DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR

4.1. DİZEL MOTORLARINDA YANMA

Dizel motorlarda yanma işlemi; sıkıştırılan havanın üzerine yakıtın püskürtülmesi ile başlamaktadır ve yanmanın sonucunda ürünlerin egzozdan dışarı atılması ile tamamlanmaktadır. Belirtilen yanma olayı esnasında, hacimde genişleme olmaktadır. Hava ile karışmış yakıt buharlaşır bunun sonucunda da parçalanma yaşanır. Yanma odasının tasarım şekli ve yakıtın püskürtme sistemi yanma olayında önemli seviye de etkilidir. Çünkü motorda oluşacak performans; yakıt miktarı ve püskürtme avansına göre de değişiklik göstermektedir (Borat vd, 1992).

Dizel motorlarda yanma işlemi; ani yanma periyodu, tutuşma gecikmesi ve kontrollü yanmanın olduğu aşamaların gerçekleşmesi ile olmaktadır (Heywood, 2018). Şekil 4.1’de dizel motora ait yanma işleminin aşamaları görülmektedir.



Şekil 4. 1. Dizel motor yanma aşamaları
(Heywood, 2018).

4.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Tutuşmanın gecikme sũresini açıklamak gerekirse, pũskũrtme işleminde yakıtın silindir basıncında ani yũkselme başlama aşaması olana kadar geçen zamandır. Şekil 4.1'de izgili Şekilde gũsterilen eğri krank açısına bağlı olacak Şekilde basıncın değişimini gũstermektedir. Kesikli olan çizgili gũsterim de ise; yanma olayı olmadan sadece havanın etkisiyle meydana gelen basıncın krank açısına bağlı olarak belirtildiği eğridir. Şekilde gũsterildiđi gibi A-B arasında bulunan kesik çizgili gũsterim ile dolu Şekilde olan çizgi gũsterim arasında bir fark gũrũlmektedir. Bu olayın oluş sebebi pũskũrtũlmũř olan yakıtın sıkıştırılan havaya nazaran soğuk olması sonucunda sıcak hava sayesinde ısı çekmesi ve basıncında belli oranda azalıyor oluşudur. Oluşan buhar tabakasının oluşumu esnasında, alevlenme olmaktadır. Bunun sonucunda sıcaklık ve basınçta artışı meydana gelmektedir. Tutuşma gecikmesi, fiziksel olarak ve kimyasal tutuşma gecikmesi olarak ikiye ayrılır. Belirtilen yakıtın kũũk taneciklere ayrışması ve ısıyı çekmesi ile buharlaşması için geçen zaman, fiziksel olarak tutuşma gecikmesi adı ile adlandırılmaktadır. Kimyasal tutuşma gecikmesi ise, yakıtın buharlaşması aşamasından sonra tutuşma anının gerçekleşmesi için geçen sũreye denmektedir (Borat vd, 1992; Safgũnũl vd, 1999).

Tutuşma gecikmesinin olduğu zaman aşamasında, yakıtın pũskũrtũlme işlemi devam etmektedir ve yanma aşamasının olmasına kadar geçen sũrede yakıt birikmesi olmaktadır. Yakıtta birikme olması sonucunda aniden yanma başlaması ile basıncın artışı tetiklenir. Basıncın artıyor olması dizel motorlarda yũksek ses biçiminde ortaya çıkmaktadır, bu durum dizelde vuruntu ismi ile adlandırılmaktadır (Örs, 2016). Bu gecikmenin sũresi; yakıtın setan sayısına ve yine yakıtın atomizasyonuna, basıncına, sıcaklığa, pũskũrtme avansına ve ayrıca tũrbũlans Őekline gũre değişiklik gũstermektedir (Borat vd, 1992).

4.1.2. Kontrolsũz Yanma Safhası

Ani olarak yũkselme aşamasına geçen basınç (B noktası) ve yanma işleminin gerçekleştiği basıncın da maksimuma ulaştığı (C noktası) noktada geçen zamana kontrolsũz olarak gerçekleşen yanma safhası denmektedir. Belirtilen anda; silindir

içerisinde tutuşma gecikmesinin olduğu esnada birikmiş yakıt birden yanarak hızlı şekilde basıncın artmasına etki eder. Artış gösteren yanmanın gerçekleşme hızı, basıncın artış miktarını ($dp/d\alpha$) etkilemektedir. Basıncın artması $0,2-0,3 \text{ Pa}/^\circ\text{KMA}$ aralığında olması istenir. Çıkan sonucun yüksek ve düşük olması motorun sert ve yumuşak olarak çalışmasını belirleyen etkenlerdir (Borat vd, 1992).

KontROLSÜZ gerçekleşen yanma aşamasında, basınç artış hızı tutuşma gecikmesinin zamanına bağımlı olarak değişim göstermektedir. Geçen zaman boyunca silindir içinde birikmiş yakıtın miktar olarak artışı, yanma olayının aniden artışı ile basıncın yükselmesini de tetikleyerek basınç artma oranını da artırır. Basıncın artması ile motorun daha da sert ve ayrıca gürültü oluşturacak şekilde çalışmasına etki eder. Gerçekleşen duruma, dizel vuruntusu denmektedir ve sesli çalışmakla kendini belli etmektedir. Dizel vuruntusu, motor parçalarının mekanik olarak zorlamakta ve zamanla aksamlarında yorulmalar olmasına neden olmaktadır (Borat vd, 1992).

4.1.3. Kontrollü Yanma Safhası

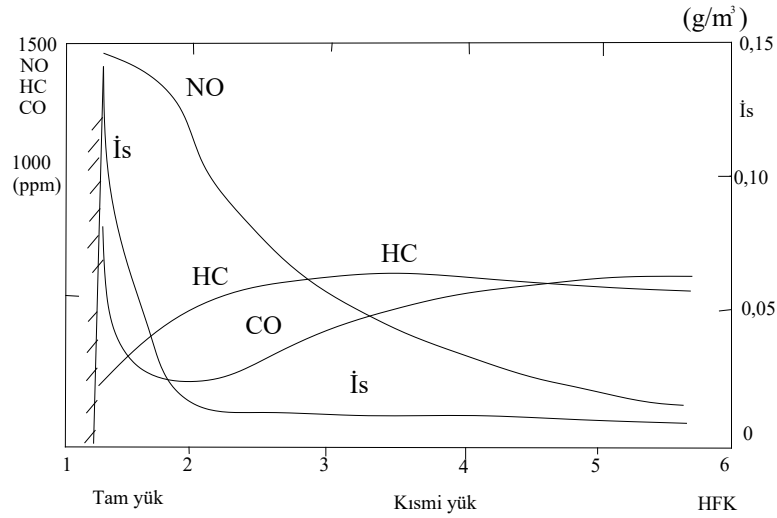
Yüksek seviyede yanma basıncının oluşması aşamasında (C noktası) büyük oranda yanma işleminin tamamlanması (D noktası) aşamasına kadar geçen zaman kontrollü yanma olarak adlandırılmaktadır. KontROLSÜZ olarak yanma işleminin tamamlanması sonrası silindirin içerisinde sıcaklık ve basınçta çok fazla yükselmektedir. Sıcaklığın ve basıncın yüksek olması sonucunda, püskürtülme işleminde yakıtın direk yanması sağlanmış olmaktadır. En iyi verimi almak için yanma işleminin, olabildiğince ÜÖN'ya yakın $5-10^\circ\text{KMA}$ olacak şekilde olması istenir. Talebi gerçekleştirmek amacıyla, püskürtme basıncının ve püskürtme avansının motor yüküne ve hızına bağlı olarak değişmesi istenmektedir. Belirtilen esnada, pistonun AÖN ya ilerlemeye başlamasıyla hacimde genişleme ve basınçta düşme olmaktadır. Silindirde ise sıcaklık, belirtilen aşamada maksimum değerlere çıkmaktadır (Borat vd, 1992; Safgönül vd, 1989).

Yanma işleminin kontrollü olarak sağlanması ile belirtilen bölgede bulunan egzoz supabının açılması aşaması süresince gerçekleşen yanmanın reaksiyonu art yanma olarak adlandırılmaktadır. Bazı bilim insanları bu zamanı ayrı bir yanma aşaması olarak

da değerlendirmektedirler. Bu esnada; püskürtmenin olduğu aşamanın tamamlanmasıyla silindir içinde kalmış yakıt, türbülansa ve ayrıca oksijen miktarına da bağlı olarak yanma işlemi sürmektedir. Pistonun AÖN' ya hareketi ile ön kısmında kalan hacmin artmasıyla birlikte sıcaklık ve basınç iyice azalır. Motorda verimin artışı için art yanma süresinin kısa olması istenir (Borat vd, 1992; Safgönül vd, 1989).

4.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLARIN OLUŞUMU

Genel olarak dizel motorlarının çalıştırılması fakir karışım ile olmakta ve H/Y oranı motorun oluşturduğu yük sonucu dikkate alınarak farklı değerlerde olmaktadır. Şekil 4.2'de gösterilen hava fazlalık katsayısının değişimi ile emisyon değerlerinde oluşan farklılıklar gözükmemektedir. Dizel motorlarda H/Y oranının en düşük değerini is emisyonu değerleri belirlemektedir. İs emisyonunun yükselten etkenlerden biri HFK değeri 2'nin altında olmasıdır (Ajav ve Akingbehin, 2002; Özer, 2010).



Şekil 4. 2. Dizel motorda hava fazlalık katsayısının emisyon etkisi.

Dizel motorlarda oluşan emisyonlar, özellikle gaz karışımlarından, partikül maddelerden ve su buharından oluşmaktadır. Dizel motorlardan kaynaklı oluşan emisyon değerleri içinde olan ve tam yanma ürünleri (CO₂, H₂O, NO_x, SO₂) ve eksik yanma ürünleri (CO, HC, is) olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlara ek olarak, kontrollü bir şekilde takip edilerek izlenmesi gereken emisyonlar NO_x ve is emisyonları olarak dikkat çekmektedir (Afşar, 2015).

Yanma odasında yakıt-hava karışımının oluşum hızı, yanma sıcaklığı, gazların yanma odasının içinde kalış zamanı ve hava/yakıt oranı etmenleri emisyon sonuçlarını farklı değerlerde etkilemektedir. Dizel motorlarda karışımın oluşumu ve yine yanma aşaması heterojen olacak şekilde gerçekleşmektedir. Hava-yakıt karışımının heterojen halde oluşu ve yanması sonucunda oluşan emisyon değerlerinde çıkan sonuçlar sadece genişleme stroğuna ve yanma periyoduna bağlı olacak şekilde değil bunlarla beraber yanmanın olduğu oda kısmı da etkili olan kısımdır. Tutuşmanın olduğu periyot süresinde oluşturulan karışım miktarı, yakıtın tutuşma kabiliyeti ve motor yapısı emisyon değerlerinin oluşumunda etkilidir. Farklı yapıdaki emisyonların egzozdaki konsantrasyonları farklı sebeplere bağlı olarak oluşmaktadır (Heywood, 1988; Merker vd, 2006).

4.2.1. Partikül Madde ve İS Emisyonları

Dizel motorlarında, motor yükünde etkisiyle H/Y oranı farklı sonuçlar vermektedir. Verimli bir yanma olayının gerçekleşebilmesi için; yeterli olacak miktarda hava miktarı ve istenilen sıcaklığa ulaşılıyor olması beklenir. İS emisyonunun oluşumu; hava miktarına, yanma odasının sıcaklığına ve yanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli zamana bağlıdır. Düşük hızlarda dizel motorlarda hava hareketinin fazla olamaması, daha yüksek olan devirlerde hacimsel verimin azalması nedeniyle oluşan karbonlu tanecikler, is emisyonunun oluşumuna neden olmaktadır. Şekil 4.2'de belirtilen HFK'nın is emisyonu oluşumuna etkisi görülmektedir. Yükün artışı ile is miktarında artma olmaktadır. Şekil 4.2'de belirtildiği üzere yükün artışı ile HFK' düşmesi bundan dolayı da yanma odasında bulunan havanın miktar olarak azalması ile karbonlu tanecikler, talep edilen yanma işlemini tamamlamamış olur ve isin oluşmasına sebep olur. Dizel motorlarında emisyon için bir sınır verilmiş olması, motor gücünü etkileyen bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır (Uslu, 2006; Ejder, 2007).

Dizel egzozundan kaynaklı partikül madde içerisinde oluşan isin değeri de farklılık göstermektedir fakat genelde %40-%50'den fazla bir kapasiteye sahip olduğu bilinmektedir. Diğer etken partikül maddenin bileşenlerinden olan, az da olsa yanmış veya aşınmış metal parçacıklarından, yağlama yağından, su ve sülfat yapısından meydana gelmektedir (Rakopoulos ve Giakoumis, 2009).

Motorlarda isin oluşması yanmanın eksik olmasının sonucu olarak bilinir aynı zamanda zengin olan hava/yakıt oranı da is emisyonunu etkiler.

4.2.2. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

NO_x emisyonu hafif fakir karışımlarda ve yüksek silindir sıcaklıklarında oluşmaktadır. Şekil 4.2'de HFK'nın NO_x emisyonu üzerindeki etkisi görülmektedir. Belirtilen emisyonun artışı yükün artmasından etkilenerek, artmış sıcaklıkla birlikte H/Y oranının önemli ölçüde stokiometrik orana yaklaşıyor olması sonucunda artışa ulaşılır (Özer, 2010).

Azot oksit emisyonu genel olarak azot monoksit (NO) ve azot dioksitten (NO₂) oluşmaktadır. Belirtilen emisyonların toplamı sonuç olarak NO_x emisyon değerini vermektedir. Genellikle, NO_x emisyonunun %70-%90 arasında olan oluşumu NO emisyonları ile gerçekleşmektedir. Azot oksit emisyonlarının oluşumu yüksek oranda sıcaklık değeri ile bağlantılıdır ve yanmanın gerçekleşme zamanına bağlıdır (Merker vd, 2006; Rakopoulos ve Giakoumis, 2009).

Motorlarda azot oksit emisyon değerinin azaltılması için püskürtme işleminin geciktirilmesi sayesinde silindir içi basınç azaltılmakta ya da Egzoz Gaz Resirkülasyonu (EGR) uygulanmaktadır (Rakopoulos ve Giakoumis, 2009).

4.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Aldehitler ve hidrokarbonlar, yanma alevinin sönmüş olduğu silindir duvarı bölgesinde oluşmaktadır. Açıklamak gerekir ise; silindirin sahip olduğu cidar bölgelerinde soğumuş yakıtların damlacık halleri, hidrokarbon emisyonunun sonucunu artı yönde etkilemektedir. Motor yükünün artması, silindir içerisine alınmış olan yakıtın miktarının artmış olmasıyla birlikte sıcaklık değerinin artışı, tepkimeleri hızlandırmakta birlikte hidrokarbon emisyon değerinde azalma olmaktadır (Uslu, 2006).

Dizel motorlarda, oluşan HC emisyon değerleri, yağlama yağından veya paręalı hale gelmiş yakıtların moleküllerinden de kaynaklanabilir. Zengin yakıt karışımları HC emisyonunun artmasına neden olmaktadır. HC emisyonunun oluşumunun bir başka sebebi, yanma odası içindeki karışımın tutuşamayacak şekilde fakir olması sonucu, olayın gerçekleştiği bölge çevresinde HC oluşmasıdır (Rakopoulos ve Giakoumis, 2009).

4.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları

Karbonmonoksit emisyonunun oluşumu, H/Y oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yanma odasında yeterli oksijen bulunduğunda CO emisyonunun CO₂'ye dnuşmesi mümkün olmaktadır. Alçak yüklerde oluşan, sıcaklık değerinin az oluşu neticesinde CO emisyonunun oksidasyonu gerçekleşmediğinden CO oranı yüksek olmaktadır. Artırılan yk neticesinde; CO emisyonunda artış olmaktadır. Uygulanan yük aşamasında, oksijen oranının azalması ve tepkime zamanının azalmasıyla CO oranı tekrardan artma göstermektedir (Ajav, 2002; zer, 2010).

BÖLÜM 5

DİZEL MOTOR YAKITLARI

5.1. DİZEL YAKITI (MOTORİN)

Motorda kullanılan motorin yakıtı, ham halde bulunan petrolün damıtılması işlemi ile 180–370 °C aralığında kaynamanın olduğu noktada oluşmuş hidrokarbondur. Yakıtta aranan özellikler; tutuşabilir olması, düşük kükürt içeriği, yağlayıcılık temel özellikleridir. Motorin yakıtın molekül zincir yapısı benzin ile karşılaştırıldığında, molekül zincir yapısı daha uzun olduğu için tutuşması kolay olmamaktadır (Acaroğlu vd, 2018). Dizel yakıt; aromatik ve parafin gibi hidrokarbonlu yapılardan oluşmuş yapıya sahiptir. Ayrıca, yakıtın içerisinde organik doğal halde bulunan kükürt bulunmaktadır (Afşar, 2015).

5.1.1. Motorin Yakıtının Sınıflandırması

Dizel yakıtları ASTM tanımı ile üç bölümde detaylandırılmaktadır;

- No.1-D: Yükü ve hızı fazla değişken olan motorlarda kullanımı uygun olan damıtık-uçucu yakıttır. Özellik olarak dikkat çeken buharlaşma yapısının yüksek olmasıdır.
- No.2-D: Krating ve damıtma yapıları içeriğinde barındırmaktadır, No.1- yakıtı ile kıyaslanacak olursa buharlaşma özelliğinin az olması dikkat çekmektedir. Genel olarak ağır hizmette kullanılan motorlarda tercih edilmektedir.
- No.4-D: Damıtma karışımları ve çok yoğun damıtılmış bazı atık maddelerden oluşmaktadır. Yükü sabit hızda çalışan motorlarda tercih edilir.

5.1.2 Dizel Yakıtının Özellikleri

İçten yanmalı motorlar için yakıt tipleri belirlenen standartlara göre üretilmektedir. Belirlenen bu standartlar; çevreye olan etki, emniyet ve motorların türlerine göre değişim göstermektedir.

5.1.2.1. Viskozite

Sıvı maddelerin akmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak bilinmektedir. Diğer bir viskozite türü olan dinamik viskozite; aralarında 1 m uzaklıkta mesafeye bağlı olan iki düzlemsel yapı arasındaki 1 m² alanla sahip sıvı tabakasını 1 m/s hızla kaydırmak için ihtiyaç duyulacak kuvvete denir. Tariflenmesi gereken diğer viskozite tipi ise kinematik viskozitedir; tariflenen dinamik viskozitenin yoğunluğa oranlanması sonucunda elde edilir (Altın, 1998).

Yakıtlarının motor performansını etkileyen en önemli etkenlerden biri viskozitedir. Hava ve yakıtın doğru şekilde karışabilmesi ve istenen yanma olayının olabilmesi için yakıt viskozitesinin uygun aralıkta olması istenir. Düşük viskozite içeri püskürtülmüş olan yakıtın homojen bir karışım meydana getirmesini sağlar. Bunun sonucunda da çok daha iyi yanma olması anlamına gelmektedir. Ayrıca viskozite çok düşük olursa püskürtmeli sistemde enjektörlerde ve pompada sızma olma ve kaçakların oluşmasına sebep olabilmektedir.

Yakıtın viskozitesi ne kadar yüksek olursa enjektör sisteminden püskürtülmüş olan yakıtın minik parçalara ayrışması daha da zor olmaktadır. Bu nedenle homojen bir karışım oluşumu sağlanamaz. Belirtmek gerekirse, havaların soğuk olduğunda viskozite de artış ile püskürtme işlemi istenilen şekilde gerçekleşmez. Yakıt homojen değil ise yanma işleminin verimini düşmesine neden olur ve hidrokarbon emisyonlarının artışını tetiklemiş olur. Sıcaklığın viskozite üzerinde direk etkisi olması nedeni ile viskozite değerleri sıcaklıkla birlikte her zaman verilmiş olmalıdır. Motorda kullanılan yakıtların kullanılabilir değer aralığı 50 °C' de 1,5–5 Engler derecesidir (Yamık, 2002).

5.1.2.2. Isıl Değer

1 kg yakıtın yanma işlemlerinde ortaya çıkan ısı miktarı ısı değeri olarak adlandırılmaktadır. Birimi kcal/kg veya kJ/kg olarak belirtilmektedir. İki çeşidi vardır. Üst ısı değeri ve alt ısı değeri. İçten yanmalı motorlarda yanma işlemi sonucunda su buharı olarak bulunduğu için yakıtların ısı değeri alt ısı değeri olarak bilinmektedir (Yamık, 2002).

Bu değeri yakıtlardan istenen performans etkilemektedir. Bu değerin artması sonucu önemli etkenlerden olan özgül yakıt tüketimi de azalmaktadır. Sıvı yakıt kullanan ve ısı değeri yüksek yakıtlarda, taşıtlarda kullanılan deponun boyutları az yer kaplayacak şekilde yapılır.

5.1.2.3. Setan Sayısı

Dizel yakıtlarda belli oranda setan sayısı arzu edilir. Setan sayısı yakıtın tutuşma kabiliyetini göstermektedir. Motorlar da sıcaklığı ve basıncı artırılmış hava içerisine püskürtme işlemi ile yakıtın anında tutuşması istenir. Setan sayısının düşük olduğu yakıtlarda püskürtülme işleminden sonra tutuşma gerçekleşmez ve silindir içinde yakıt birikir ve birden yanma başlar. Belirtilen durumun sonucunda vuruntu olur (Yamık, 2002).

Tutuşmanın gecikme zamanını azaltmak amacıyla yakıtın içine bazı setan artırıcı maddeler katılır. Bu durumda yanma hızının artması neticesinde yanma işlemi genişleme zamanı sonuna geçmeden tamamlanmakta ve egzoz gaz sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır (Heywood, 1988).

5.1.2.4. Akma Noktası

Motorların ilk hareketine geçişi esnasında yakıtların akma noktası soğuk havalarda önem arz etmektedir. Akma noktası yüksek olur ise soğuk havalarda yakıtın yoğunluğunun artışı sonucunda motorun çalıştırılması işlemi

gerçekleştirilmemektedir. Akma noktasını düşürmek için yakıt içerisine bazı katkı maddeleri ilave edilmektedir (Hacıkadıroğlu, 2007).

5.1.2.5. Uçuculuk

Yakıtların belirlenen miktarda uçucu yapıda olması beklenir. Bunun sayesinde; ilk çalıştırma işlemi kolay olur, isli yanma azaltılır ve homojen karışım elde edilir. Damıtma özellikleri uçuculuk değerlerinin sonucunu gösterir. Dizel yakıtlarının damıtma işlemi sıcaklığı 180°C–370°C aralığında olmaktadır (Altın, 1998).

5.1.2.6. Parlama Noktası

Kabın içine konulan yakıtın, alt taraftan ısıtılıp yakıtında üst kısmında alev dolaştırdığımızda, yakıtın buharlı hali geçicide olsa tutuşmaya maruz kalıyor ise bu olayın olduğu en düşük sıcaklık noktasına parlama noktası denir. Fakat yakıt/yakıt buharına bağlı kalınarak tutuşan yapıda, sönmeye işlemi tamamlanmadan yanma olayı devam ediyor ise devam eden sıcaklık noktası alevlenme noktası olarak adlandırılmaktadır (Ulusoy, 1999).

5.2. DİZEL MOTOR ALTERNATİF YAKITLARI

Dünya üzerinde oluşan enerji ihtiyacının çoğunluğu petrolden karşılanmaktadır. Ancak petrolün tükenen bir kaynak olması nedeniyle farklı yakıt türlerine olan ilgi artmaktadır. Petrole alternatif olabilecek yakıt türlerinin bazı özellikleri taşıması istenir (Özsezen ve Çanakçı, 2008). Bu özellikler;

1. Motorun verimini artırmalı,
2. Motorun yapısında değişiklik olmadan kullanılabilir olmalı,
3. Motorda oluşan, zararlı emisyon türlerini azaltır özellikte olmalı,
4. Maliyeti düşük ve temini zor olmamalı.

Motorlarda kullanıma uygun belirtilebilecek bazı alternatif yakıtlar;

1. Gaz Yakıtlar;
 - 1.1 Doğal Gaz,
 - 1.2 Sıvılaştırılmış Petrol Gazı,
 - 1.3 Hidrojen,
 - 1.4 Biyogaz,
2. Sıvı Yakıtlar,
 - 2.1 Biyodizel.
 - 2.2 Alkoller.

5.2.1. Doğal Gaz

Maddesel yapısı büyük oranda metan (CH_4) gazı içeriğinden oluşmaktadır. Ürün olarak anlatmak gerekirse yer altı kaynaklarından çıkarılmış olan ve temiz enerji kaynaklarından biridir. Doğalgazın içeriğın de metandan ayrı olarak az miktarda bütan (C_4H_{10}), etan (C_2H_6), pentan (C_5H_{12}), propan (C_3H_6), karbondioksit (CO_2) gazı ve azot (N_2) bulunmaktadır. Araştırma oktan sayısı (AOS) 130, motor oktan sayısı ise (MOS) 105 civarındadır. Motorda kullanımı incelendiğinde parçaların üzerinde aşındırıcı olarak etkisi yoktur. Dizel motorlarında da yakıt olarak kullanılabilir (Kocagöz, 2009).

5.2.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Petrolün ham halde kullanımı ile elde edilmiş enerji kaynağı türüdür. LPG, propan ve bütanın karışımından oluşan bir yakıttır. Depolanması ise basıncın fazla olduğu ortamda sıkıştırılması ile sağlanır. Benzin motorlu taşıtlarda ekonomik olması sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. (Ciniviz, 2001; Aydın ve Acaroğlu, 2009).

5.2.3. Hidrojen

Fazla miktarda bulunan bir element olmasına karşın hidrojen saf yapıda olmamaktadır. Bu yüzden farklı metotlar denenerek hidrojeninin saflaştırılması gerekmektedir.

Hidrojenin üretimi ise genel olarak fosil yakıt kullanılarak sağlanmaktadır. Hidrojenin üretiminin en önemli yöntemleri; metanın kısmi oksidasyonu, doğal gazın buhar reformasyonu ve kömürün gazlaştırma işlemleridir. Suyun elektroliz edilmesiyle ve biyokütlenin gazlaştırmasıyla da üretim olabilmektedir (İnternet 2, 2001).

Yakıt pilli araçlar da hidrojen gazı daha çok kullanılmaktadır. Fakat yakıt pillerinin pahalı üretimi hidrojenin kullanımını engelleyecek niteliktedir (Soruşbay ve Arslan, 1998). Hidrojen mevcut içten yanmalı motorda kullanıldığında egzozda sadece NO_x emisyonları gözükür, HC, CO₂ ve CO emisyonlarına rastlanmaz.

5.2.4. Biyogaz

Organik atıklardan elde edilen bir gazdır. Biyogaz üretiminde temel madde olarak bitkisel atıklar ya da hayvansal gübreler kullanılabilir. Biyogaz hava ile kıyaslandığında daha hafiftir, kokusuz ve renksiz bir gazdır. Biyogazın içeriğinde % (20–45) karbondioksit, % (1–10) hidrojen, % (50–84) metan ile az miktarda azot bulunmaktadır. Biyogazların ısı değer aralığı (4700–5700) kcal/m³'tür. Biyogazlarının hava/yakıt oranı yaklaşık 7/1' dir (Karabektaş ve Ergen, 2009).

5.2.5. Biyodizel

Biyodizel içerik yapısı olarak bitki kökenli (pamuk, mısır, soya vb. bitkiler) veya hayvansal yağın bir katalizör sayesinde yani alkolün (etanol, metanol) ilavesi edilmesi sonucunda oluşan tepkime sonucu oluşan bir alternatif yakıt çeşididir. Dizel motorlarda biyodizel kullanılmak istenirse orijinal yakıtı ilave edilerek ya da saf olarak da kullanılmaktadır. Yüksek setan sayısına sahiptir, ısı değeri dizel yakıtına nazaran düşüktür, bu yüzden motorda önemli bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Motor emisyon değerlerini azaltması, üretilebilirliğinin basit oluşu aynı zamanda maliyet çıktısının az seviyede oluşu sebebiyle aktif kullanımdadır (Altun ve Gür, 2005).

5.2.6. Alkoller

Alkoller, nişasta ve şeker içeren bitkilerin distilasyonu veya fermantasyonu sonucunda ortaya çıkmaktadır. Kullanılacak bitki yapılarında yeterli oranda nişasta ve şeker olmalıdır. İçeriğinde hidrojenden, oksijen ve karbon olan alkol çeşitleri kullanım açısından uygun bir yakıttır. Alkollerin petrol bazlı yakıtlarla karşılaştırıldığından gerekli hava ihtiyacı daha azdır, bunun nedeni yapısında oksijen içermesidir. İçten yanmalı motorlarda genel olarak kullanılan alkoller; etanol, metanol ve bütanoldür. Alkoller kendi başına benzinli motorlarda %100 oranına sahip olacak şekilde kullanılabilirken, benzine içerisine farklı oranlarda eklenerek de kullanılabilir (Sayın vd, 2009; Jincheng vd, 2009).

Dizel motorlarda motorinin içerisine belirli miktarda alkol katılarak emisyonların azaltılabilmesine çalışılmaktadır. En çok CO, NO_x ve is emisyonlarının azaltılmasında etkili olduğu bilinmektedir.

5.3. DİZEL MOTORLARDA ALKOLLERİN KULLANILMASI

5.3.1. Metanol

Metanol üretimi; fosil yakıtın su buharı ile yüksek sıcaklıkta ısıl işleme tutularak, H₂ ve CO'nun katalitik ortamlarda sentezlenmesi aşamalarından geçirilerek sağlanmaktadır. Metanolün ısıl değeri dizel yakıtla kıyaslandığında düşüktür bu nedenle kendi kendine tutuşma sıcaklığı da daha fazladır. Düşük sıcaklıklar NO_x emisyonlarını azalmasını sağlamaktadır. Metanol sıvı olarak higroskopiktir. Havadaki nemi direk üzerine çeker. Nemi üzerine çekmesi neticesinde, donanımlarda ve yakıt sisteminde korozyona neden olur. Belirtilen nedenlerde dolayı, korozyonu önüne geçmek amacıyla yakıt donanımları koruyucu özelliğe sahip maddelerle kaplanmalıdır (Hışır, 2010; Özer, 2010).

5.3.2. Bütanol

Bütanolün kapalı formül gösterimi C_4H_9OH ; n-bütül alkol, bütan-1-ol, n-bütanol isimleri ile de adlandırılmaktadır. Suyu tutma kabiliyeti olmadığından motorun parçalarının korozyon tepkimesine uğramasına etki etmez. Kullanım olarak dizel yakıtları ile kolay bir şekilde karışım oluşturarak faz ayrışmasına neden olmaz (Uyar, 1992; Al-Momany and Al-Hasan, 2008).

Kimyasal gösterimi $C_4H_{10}O$ 'dur. Bütanol insan sağlığına zararlıdır nedeni ise zehirli olmasıdır. Bütanolün ısı değeri dizel yakıt ile karşılaştırıldığında daha düşüktür bu yüzden dizel yakıtının içerisine eklendiğinde motorun özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Bütanol, %40'lara varan oranlarda dizel yakıtın içerisine eklenerek kullanılmaktadır (Özer, 2010).

5.3.3. Etanol

Etanol, renksiz aynı zamanda saydamdır. Diğer yakıtlar ile karşılaştırıldığında temiz yanmaya sahip bir yakıttır. Buharlaştırma ısısı yüksektir bu nedenle yanma işleminde son sıcaklık değeri az olmaktadır. İçerisinde oksijen barındırdığından az seviyelerde azotoksit, karbonmonoksit değerleri çıkmaktadır (Uyar, 1992; Hışır, 2010).

1970'li yıllardan itibaren etanolün dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı başlamıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda etanolün kullanımıyla CO emisyonunda ve partikül madde oluşumunda düşme olmaktadır. Bazı ülkelerde etanolün maliyetinin düşük oluşu nedeniyle kullanımında da artış olmuştur. Etanol dizel yakıt ile istenilen biçimde karışabilmesi ve emisyonları düşürmesi nedeniyle öne çıkmaktadır (Hansen vd, 2001; Çelikten, 2004).

Kullanılan dizel yakıtın içerisine etanolün eklenmesi sonucunda karışımda ısı değerleri ve yakıtın viskozitesinde azalmalar olmaktadır. Bu durumun sonucunda motorda değişiklikler yapmayı gerektirmektedir. Etanolün, dizel yakıtı ilavesi farklı yöntemle olmaktadır. Bunlar; enjektör ile silindir içerisine direk olarak dizel-etanol karışımının birlikte püskürtülmesi, etanolün buharlı yapıda emme manifolduna

püskürtülmesi, etanolün ve dizelin farklı enjektörlerle püskürtülmesi şeklindedir (Çelikten, 2004). Çizelge 5.1’ de etanolün özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5. 1. Etanolün özellikleri.

Özellikler	Etanol
Kimyasal denklemi	C ₂ H ₅ OH
C/H oranı	0.333
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	44.04
Alt ısı değeri (kJ/kg)	27 x 10 ³
Stokiyometrik H/Y oranı	9
Buharın basıncı (kPa, 23.5 °C)	17
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	257
Araştırma oktan sayısı	106
Motor oktan sayısı	89

Dizel yakıtının içerisine yüksek oranlarda etanol katılmasıyla faz ayrışmasının olmamasını sağlamak için karışımın içerisine izopropanol eklenmesi önerilmektedir. Ayrıca kullanılan biyodizel yakıtın içine %10-20 değerlerinde etanolün ilavesiyle emisyonların pozitif sonuçlar verdiği görülmüştür (Çelikten, 2004).

5.3.4. İzoamil alkol veya İzopentanol

İzoamil alkol bir diğer adıyla izopentanol olarak bilinmektedir. CAS numarası: 12351-3’tür. Yapı olarak aktif pentanol yapısının kapalı formül gösterimi C₅H₁₁OH olacak şekilde (2-metil-1-bütanol) dür. Pentanolun molekül ağırlığı ise 88.15 g/mol, yoğunluk değeri 0.81 g/cm³ olarak karşımıza çıkmaktadır. Organik çözücülerde ve su da çözünür. Yapısal olarak algılanma eşiği 0.025–0.41 mg/100mL’dir (Gözen 2006). Çizelge 5.2’ de pentanolün özellikleri verilmiştir (Gözen 2006).

Çizelge 5. 2. Pentanolün özellikleri.

Özellikler	Pentanolün Değerleri
Kimyasal Formül	C ₅ H ₁₂ O
Molekül ağırlığı, g/mol	88.1
Yoğunluk (kg/m ³)	801.4
Oksijen içeriği (% ağırlık)	18,1
Viskozite (mm ² /s)	3,69
Stokiyometrik hava/yakıt oranı (A/F) _s	11,76
Kaynama noktası (°C)	131
Alt ısı değer (MJ/kg)	35.37
Buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg)	621
Araştırma Oktan Sayısı (RON)	113
Motor Oktan Sayısı (MON)	84

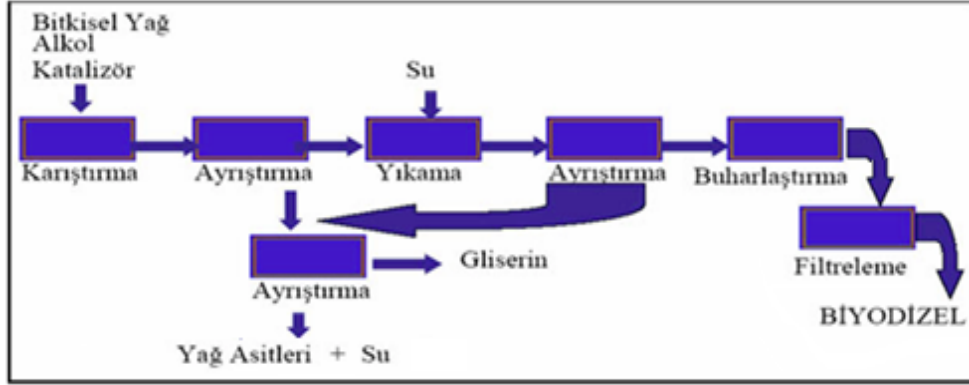
Kullanım alanlarını ürün bazlı belirtmek gerekirse: gresler, mumlar, cilalar, yıkama ve temizlik ürünleri, donma önleyici ürünler, sızdırmazlık ürünleri, yapıştırıcılar, parmak boyları, kaplama ürünleri ve parfümlerde kullanımı yaygın olarak vardır.

Kimyasal yapısı gereği kolayca tutuşma kabiliyeti vardır. Buharlı hava ile birleşim sonucunda tehlikeli olabilecek patlayıcı şekilde oluşuma gidebilir. Buharlaşması sonucunda ateşlemeli bir kaynağa gitmesi durumunda patlayıcı etkisi gösterebilir. Genel karşılaştırma yapılırsa buharlı hali yoğunluk olarak havadan ağırdır. Bulunduğu ortamda patlama kabiliyeti olan maddeler gibi (P) ile gösterilmektedir. Dış ortama akıtma veya atık olarak kontrolsüz patlama riski olacağından uygun değildir. İnsan sağlığına direk solunumda zarar vererek solunum yolunda tahrişi artırır. Ayrıca dikkat edilmesi gerekenlerden biri de cilt ile direk temasıdır. Direk temas durumunda cilde zarar vermektedir (İnternet 4,2022)

Pentanol fusel yağının içinde bulunmaktadır. Fusel yağından ayrışması iki şekilde olabilir. Birinci yöntemde, etkili tuz ve su çözeltisi karışımı ile çalkalama ve bunlarla birlikte oluşan yağlı tabaka kısmını ayırma; damıtma yöntemi ile ayırmada 125 ile 140 °C aralığında olmaktadır. Belirtilen yöntemle saflaştırma daha çok mümkün olmaktadır. Diğer yöntem ise, istenen yapıyı sıcak halde olan kireçli su ile çalkalama, tabakada oluşan yağı ayırma, yapıyı kalsiyum klorür desteği ile damıtmak bununla birlikte kurutmak yöntemleri ile sağlanabilmektedir.

5.4. BİYODİZELİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMI

Hayvansal ya da bitkisel yağların metanol ya da etanolün sayesinde tepkimeye girmesinin sağlanması ile üretilen bir yakıttır. Özellik olarak biyodizel yakıtları, dizel yakıtlarının yapısına benzemektedir. Biyodizel yakıtını elde etmenin birçok yöntemi vardır. Şekil 5.1’de biyodizel üretim yöntemi görülmektedir (Afşar, 2015).



Şekil 5. 1. Biyodizel üretim yöntemi (Afşar, 2015).

Bitkisel kökenli yağlar biyodizele dönüştürülmeden dizel motorda kısa süreliğine acil durumlarda kullanılabilir. Fakat bitkisel yağ kullanımı ile motorun içerisinde sorunlar ortaya çıkmaya başlamaktadır. Motorda arızaya neden olmaması için yağların biyodizele dönüştürüldükten sonra kullanımı gerekmektedir (Alptekin ve Çanakçı, 2006).

Yakıt sisteminde ve motorda değişiklik yapılmadan biyodizelin kullanılması, yaygınlaşmasında en önemli etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Motorin ile kıyaslandığında biyodizelin alevlenme sıcaklığı daha yüksektir ve dizel yakıt ile yine karşılaştırıldığında yangın emniyeti daha güvenlidir. Biyodizel yakıtın alt ısı değer miktarı motorin ile kıyaslandığında daha düşüktür. Yağlayıcılık özelliği dizel yakıt ile karşılaştırıldığında biyodizelin yağlayıcılık özelliği daha iyidir. Bu nedenle motor aşınmaları azalmakta ve motor ömrünün de uzamasını sağlamaktadır (U.S. Doe, 2004).

Biyodizeli farklı kılmak için dizel yakıtlarda olması gereken bazı özelliklerin yanı sıra, biyodizellere ayrı özelliklerin de bulunması gerekmektedir. Biyodizeller için farklı standartlar vardır. Avrupa ülkelerinde kullanımı olan biyodizelin standardı EN14214 diğer standartlarla karşılaştırıldığında daha fazla kapsama sahiptir.

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1. MATERYAL

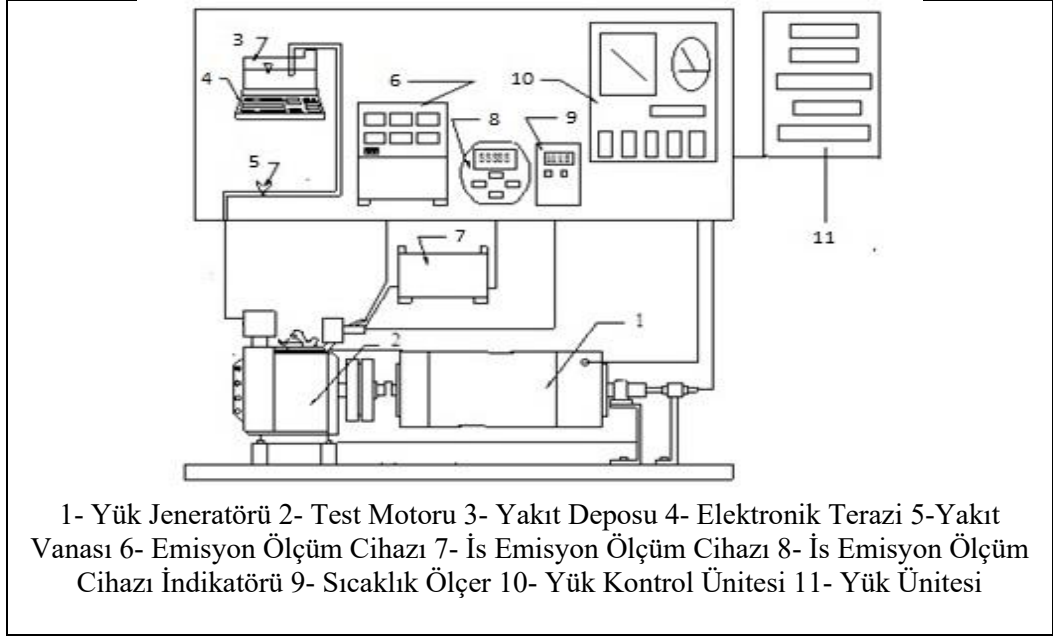
Bu bölümde; deneyin yapıldığı alan, ekipmanlar, testin gerçekleştiği motor, yakıt özellikleri ve testin aşamasına dair bilgiler verilecektir.

6.1.1. Deney Yeri

Deneyleri gerçekleştirmek için Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı laboratuvarları kullanılmıştır. Şekil 6.1’de deney düzeneği genel görünümü Şekil 6.2’de ise deney düzeneğinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 6. 1. Deney düzeneği genel görünümü



Şekil 6. 2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

6.1.2. Deney Motorunun Genel Özellikleri

Testlerinin gerçekleşmesi için tek silindirli dizel motora sahip dizel-jeneratör grubu kullanılmıştır. Deney motorunun genel görünüşü Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6. 3. Deney motorunun genel görünüşü.

Deneyde kullanılan motora ilişkin temel özellikler Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6. 1. Deney motoru özellikleri.

Motor tipi	4 zamanlı direkt püskürtmeli, dizel motor
Silindir adedi	1
Silindir çapı (mm)	86
Kurs (mm)	71
Sıkıştırma oranı	18 /1
Supap sistemi	Üstten kamlı, 2 supaplı
Maksimum hız (d/d)	3000
Silindir hacmi (cm ³)	418
Püskürtme basıncı (bar)	200
Püskürtme avansı	25±1

Motorun farklı yük aralığında çalışmasını gerçekleştirmek amacıyla değişik yüklerin verilmesine imkan sağlayan jeneratörlü sistem kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan jeneratörün temel yapısı Çizelge 6.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 6. 2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler.

JENERATÖR	
Model	DA 6000
Maksimum çıkış gücü	6,2 kW
Sürekli çıkış gücü	5,4 kW
Voltaj	230
Faz	MONOFAZE
Frekans	50 Hz
Güç faktörü	1

6.1.3. Motor Yükleme Ünitesi

Testlerin gerçekleşme aşamasında motorun yüklenmesi için jeneratör-motor grubu ekipmanından yararlanılmıştır. Motorun yüklenmesinde kullanılan jeneratör sabit devirde (3000 d/d) çalışmaktadır. Gerçekleştiren çalışmada farklı yüklerin verilmesi amacı ile yük ünitesi jeneratöre eklenmiştir. 500 Watt, 1000 Watt ve 2000 Watt’lık

halojen ampullerden oluşan yük devresi kullanılmıştır. Şekil 6.4'te belirtilen görselde motorun yüklemesine ait ünite görseli belirtilmiştir.



Şekil 6. 4. Motor yükleme ünitesi.

6.1.4. Deney Yakıtları

Yapılan çalışmanın gerçekleşmesi için; pentanol ve dizel yakıt temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan dizel yakıtı ve pentanolun özellikleri Çizelge 6.3'te görülmektedir.

Çizelge 6. 3. Dizel yakıtı ve pentanolun özellikleri
(Şimşek, 2010; Gözen 2006 Karabektaş ve Ergen, 2007)

Özellikler	Dizel Yakıtı	Pentanol
Yoğunluk (g/cm ³)	0,840	0,8104
Alevlenme Noktası (°C)	55	43
Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	43000	41368
Donma Noktası (°C)	-15	-117,2
Setan Sayısı	47	-
Kinematik Viskozite (mm ² /s, 40°C)	3,25	3,69

Yakıtlar; dizel yakıt, dizel yakıtta pentanol eklenmesiyle elde edilmiştir. Pentanol ve dizel yakıt hacimsel olarak birbiriyle karıştırılmıştır. Çizelge 6. 4'te dizel pentanol yakıt karışımları verilmiştir.

Çizelge 6. 4. Dizel pentanol yakıt karışımları.

Karışımın ismi	Dizel yakıt miktarı (%)	Pentanol miktarı (%)
D100	100	0
P5	95	5
P10	90	10
P15	85	15
P20	80	20

6.2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR

6.2.1. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Emisyonların ölçümünde kullanılan egzoz emisyon ölçüm cihazı, BİLSA marka olup, CO₂, HC, CO, O₂, λ (hava fazlalık katsayısı) ve NO_x emisyonunu ölçebilmektedir. Emisyon ölçümünü sağlayan cihaz Şekil 6.5'te belirtilmiştir. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri Tablo 6.5'te gösterilmiştir.



Şekil 6. 5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.

Çizelge 6. 5. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri (İnternet 3, 2021).

Parametreler	Ölçme Sınırı	Hassasiyet
CO	0-%10	%0,001
CO ₂	0-%20	%0,01
HC	0-10000	1 ppm
O ₂	0-%25	%0,01
CO _{Cor}	0-%10	%0,001
NO _x	0-5000	1 ppm
Lamda	0,5-2.00	0.001

6.2.2. İş Emisyon Ölçüm Cihazı

İş ölçümü yapılabilmesi için dizel motorlarda ek bir cihaz kullanılmaktadır. Deney aşamasında iş emisyonunun ölçülmesi için BİLSA marka ölçüm cihazından yararlanılmıştır, Şekil 6.6. Emisyon değeri K ve % olarak sonuç vermektedir. Sonuçlarının okunması BİLSA cihazının ekranından yapılabilmektedir.



Şekil 6. 6. İS emisyon ölçüm cihazı.

6.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi

Deney aşamasında, yakıt tüketimi kütleli olarak ölçülmüştür. Bunun sağlanması için test aşamasında ölçme hassasiyeti 1 gr olan elektronik teraziden yararlanılmıştır. Elektronik terazi Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6. 7. Elektronik terazi.

6.2.4. Kronometre

Deney aşamasında yakıtın tüketimi süresinin hesaplanması amacıyla kronometre kullanılmıştır. Ölçüm için hassasiyeti 1 salisedir. Kronometrenin görseli Şekil 6.8’de belirtilmiştir.



Şekil 6. 8. Kronometre.

6.2.5. Dijital Termometre

Egzoz gaz sıcaklığının ölçülmesi amacıyla termokuplu sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile iki farklı sıcaklık ölçmek mümkündür. Şekil 6.9'da görselde belirtilmiştir.



Şekil 6. 9. Termometre.

6.3. DENEYLERİN YAPILIŞI

6.3.1. Motor Deneyleri

Deneysel çalışmada öncelikle motor ayarları ve bakımı gerçekleştirilmiştir. Testlere başlamadan önce motor çalışma sıcaklığına getirilmiş ve sonrasında çalışma başlatılmıştır.

Test ilk olarak dizel yakıtı (D100) kullanılarak yapılmıştır. Saf dizel yakıtı test işlemi tamamlandıktan sonra dizel yakıt içerisine farklı oranlarda pentanol katılarak testlere devam edilmiştir. Dizel yakıt içerisine hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında pentanol eklenmesi ile P5, P10, P15 ve P20 yakıtları elde edilmiştir.

Deney aşamasında motorun yüklenmesi işlemi jeneratöre yük verilmesi ile olmuştur. 500 Watt, 1000 Watt ve 2000 Watt'lık halojenli ampullerin bir araya gelmesi ile oluşturulan ünite aracılığıyla yükleme işlemi uygulanmıştır. Yük jeneratörü sabit devirde (3000 d/d) çalışmaktadır. Bu sayede motor deneyleri sabit hızda farklı yüklerde yapılmıştır. Test motoru standart püskürtme basıncında (200 bar) dizel, dizel-pentanol karışımları ile (P5, P10, P15, P20); farklı motor yüklerinde (1000, 2000, 3000, 4000, 5000 Watt) test edilmiştir. Gerçekleşen test aşamasında motor istenen kararlı çalışma yapısına ulaştıktan sonra yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı (EGS), HC, NO_x, CO ve is emisyon değerleri ölçülmüştür. Efektif verim, özgül yakıt tüketimi ile ilgili hesaplama işlemleri yapılmıştır.

6.4. DENEYSEL ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

Yapılan çalışma sonrasında efektif veriminin hesaplanması için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$\eta = \frac{Pe * 3600}{B * Hu}$$

η : Efektif verim (%)

Pe : Efektif motor gücü (kW)

B : Yakıt tüketimi (kg/h)

Hu : Yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)

Deneyde kullanılan yakıtlara ait alt ısıl değer verileri Çizelge 6.6'da belirtilmiştir. Karışım yakıtlarının ait ısıl değerlerinin hesaplanması aşamasında; karışım oranları, yakıt ısıl değerleri ve yoğunluklar kullanılarak sonuca ulaşılmıştır.

Çizelge 6. 6. Deney yakıtlarına ait alt ısı değerler.

Yakıt türü	Alt ısı değeri (kJ/kg)
Dizel yakıtı (D100)	43000
Pentanol	35370
D95-P5	42620
D90-P10	42240
D85-P15	41860
D80-P20	41480

Motor ilgili yükte kararlı biçimde çalışırken yakıtın kaç saniye içinde ne kadar tüketildiği elektronik terazi ve kronometre ile belirlenmiştir. Hesaplanan değer kg/h değerine dönüştürülmüştür.

Özgül yakıt tüketiminin hesaplanması için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$be = \frac{Be * 1000}{Pe}$$

be : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

Be : Yakıt tüketimi, (kg/h)

Pe : Efektif motor gücü, (kW)

BÖLÜM 7

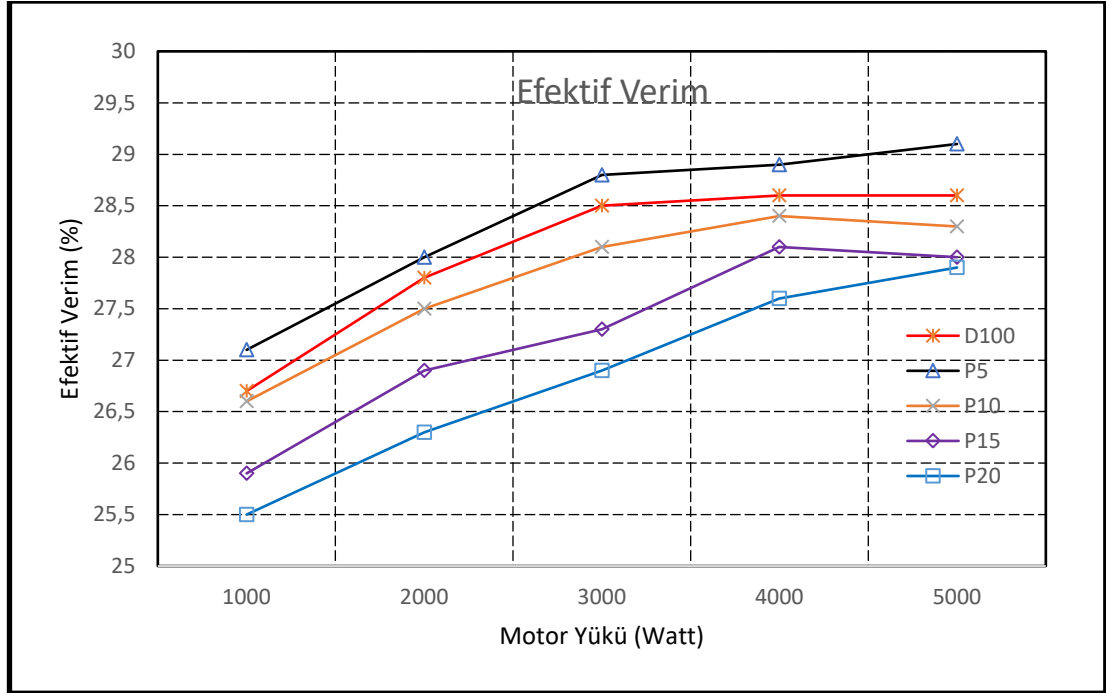
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Gerçekleşen çalışmada; dizel-pentanol karışımları ve dizel yakıtının motor parametrelerinde oluşturacak etkiyi incelemek için değişik yüklerde (1000, 2000, 3000, 4000, 5000 Watt) testler uygulanmıştır. Yapılan araştırmada elde edilen veriler ve bu veriler sayesinde hesaplanan değerler ise; yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi (ÖYT), efektif verim, egzoz gaz sıcaklığı, is, NO_x, HC ve CO emisyonlarıdır.

7.1. MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİ

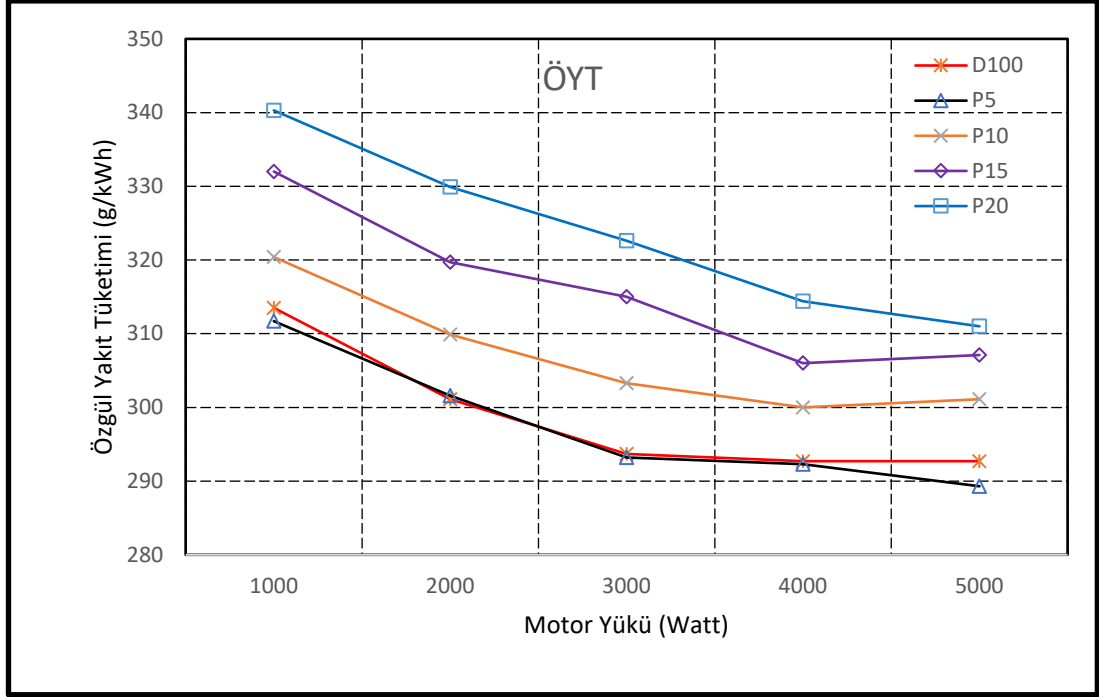
Dizel yakıtı ve dizel-pentanol karışımlarının efektif verime etkileri Şekil 7.1'de belirtilmiştir. Efektif verim, motordan çıkan efektif motor gücünün yakıtla verilmiş olan enerjiye oranı olarak belirtilmektedir. Yanmanın sonucunda oluşmuş olan ısının çoğunluğu; soğutmaya, sürtünmeye, egzoz ve radyasyon yolları ile kayıp olmaktadır. Kaybedilen enerjiden kalmış olan enerji ise motor gücü olarak efektif motor gücüne dönüştürülmektedir. Şekil 7.1'de çıkan sonuçlara bakıldığında; motor yükünün artmasıyla motor gücünün de 1000 Watt değerinden 2000 Watt değerine yükselmesi sonucunda verim olarak hesaplanan efektif verim değeri ortalama olarak %4 lük bir artışın olduğu sonucu elde edilmektedir. Yük artması ile silindir sıcaklığı, basınç ve dolaylı olarak yanma hızı da artmaktadır. Yanma hızının artışı ile ısı kayıplarında azalmaya başladığından dolayı verim de iyileşmektedir. Yakıtlar içerisinde elde edilen en yüksek verim P5 yakıtıyla elde edilmiş ikinci olarak en iyi verim dizel yakıt kullanımıyla alınmıştır. P5 yakıtının kullanılması sonucunda efektif verim dizel ile kıyaslandığında yaklaşık %1,2 fazla çıkmaktadır. Pentanolün içeriğinde olan oksijen yanma işlemini iyileştirdiğinden efektif verim dizel yakıtına göre daha fazladır. Fakat dizel yakıtın içerisine eklenen pentanol oranında artma oldukça efektif verim de azalma olduğu gözükmektedir.

Dizel yakıtın içerisinde arttırılan pentanol miktarı karışımda yakıtın özelliklerini değiştirdiğinden kaynaklı olarak bu özelliklerde avans ve püskürtme basıncı gibi bazı parametrelerin optimize edilmesi ihtiyacını çıkarmaktadır. P10, P15 ve P20 yakıtlarının efektif verimi dizel yakıt ile karşılaştırılarak incelendiğinde dizel yakıtı göre daha düşük olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bu yakıtlar ortalama olarak P5 yakıtı hariç dizelden efektif verim bakımından %1-5 daha düşük performans göstermiştir.



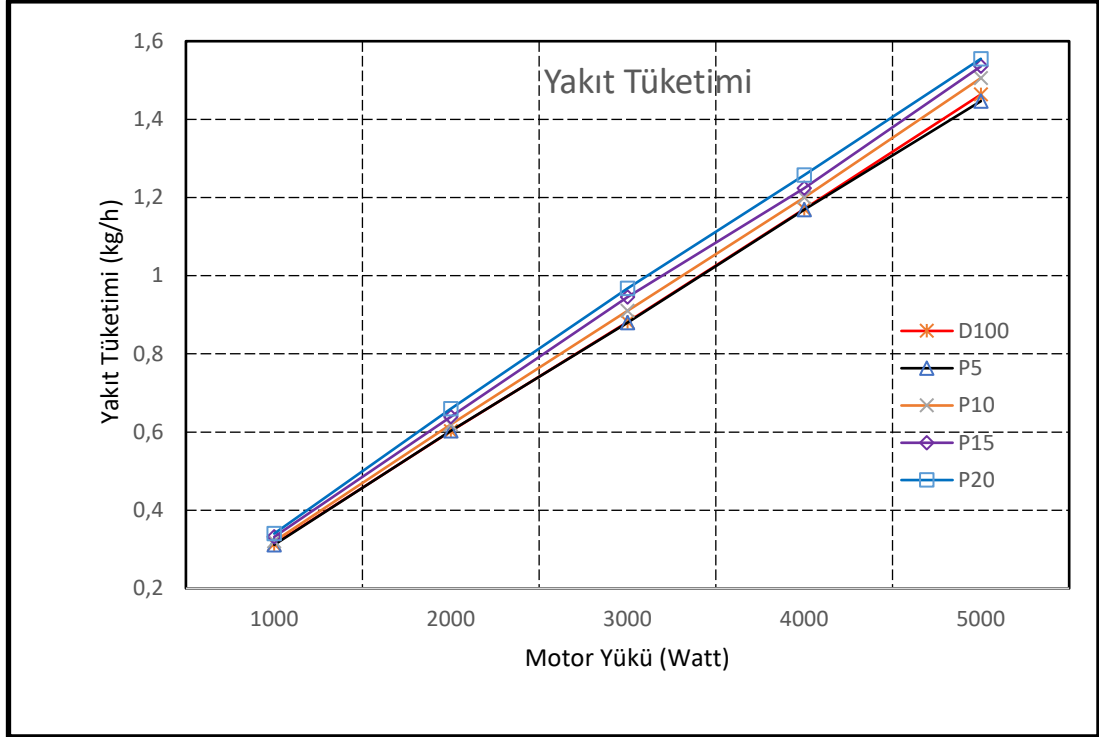
Şekil 7. 1. Dizel, dizel-pentanol karışımlarının efektif verim değışimleri.

Deneyde kullanılan yakıtlara ait Özgöl Yakıt Tüketimi (ÖYT) değışimleri Şekil 7.2’de verilmiştir. En düşük olan ÖYT verisi P5 yakıtının kullanılması sonucunda çıkmıştır. Dizel-pentanol karışımı kullanımı dizel yakıtı göre ÖYT de P5 yakıtı hariç kıyaslandığında ortalama olarak %6 artışa neden olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. P5 yakıtı dizel yakıtı göre ÖYT değeri ortalama olarak %0,6 azalışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak dizel yakıtı eklenen pentanol oranı yükseldikçe ÖYT de artma olduğu gözlemlenmiştir. Pentanolün alt ısıl değeri dizel yakıtı göre daha az oluşu sebebiyle, karışımda bulunan pentanol yüzdesi artışıyla ÖYT değeri P10, P15 ve P20 yakıtlarında artış göstermiştir. Tüm yüklerde referans alınıp incelendiğinde ortalama olarak P20 yakıtı ile dizel yakıtı kıyaslandığı zaman ÖYT %8 artmıştır.



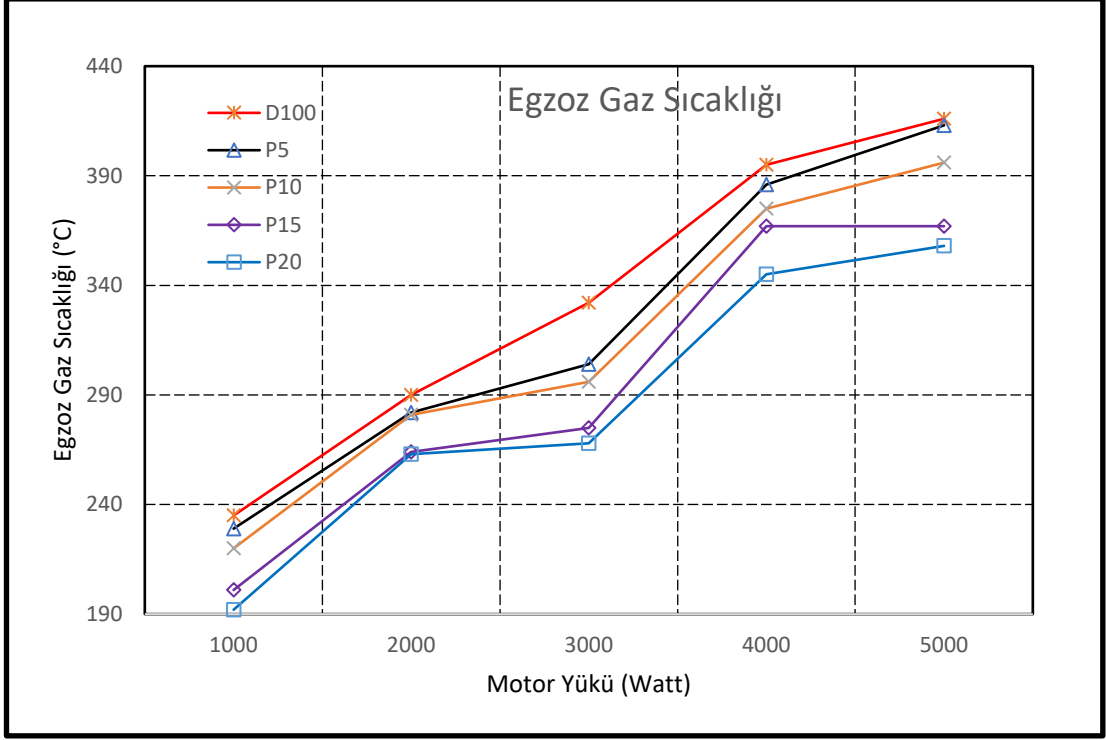
Şekil 7. 2 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının ÖYT değışimleri.

Karışım yakıtlar ve dizel yakıtı ait yakıt tüketimi grafiğı Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Artış gösteren motor yükü ile motora daha çok yakıt verildiğı gözlemlenmektedir. Dizel-pentanol karışımlarının alt ısı değeri dizel yakıtı ait alt ısı değeri den daha düşüktür. Belirtilen nedenle motorun aynı yüklerde çalışması için dizele göre daha çok karışım yakıtı ihtiyacı vardır. Şekil 7.3'te görüldü üzere alt ısı değeri düşük olan karışım kullanıldıkça, kullanılan yakıt miktarı da artmaktadır. Dizel yakıtı ile P20 yakıtı karşılaştırıldıkça zaman yakıt tüketimi ortalama %8 artmıştır.



Şekil 7. 3 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının Yakıt Tüketimi değışimleri.

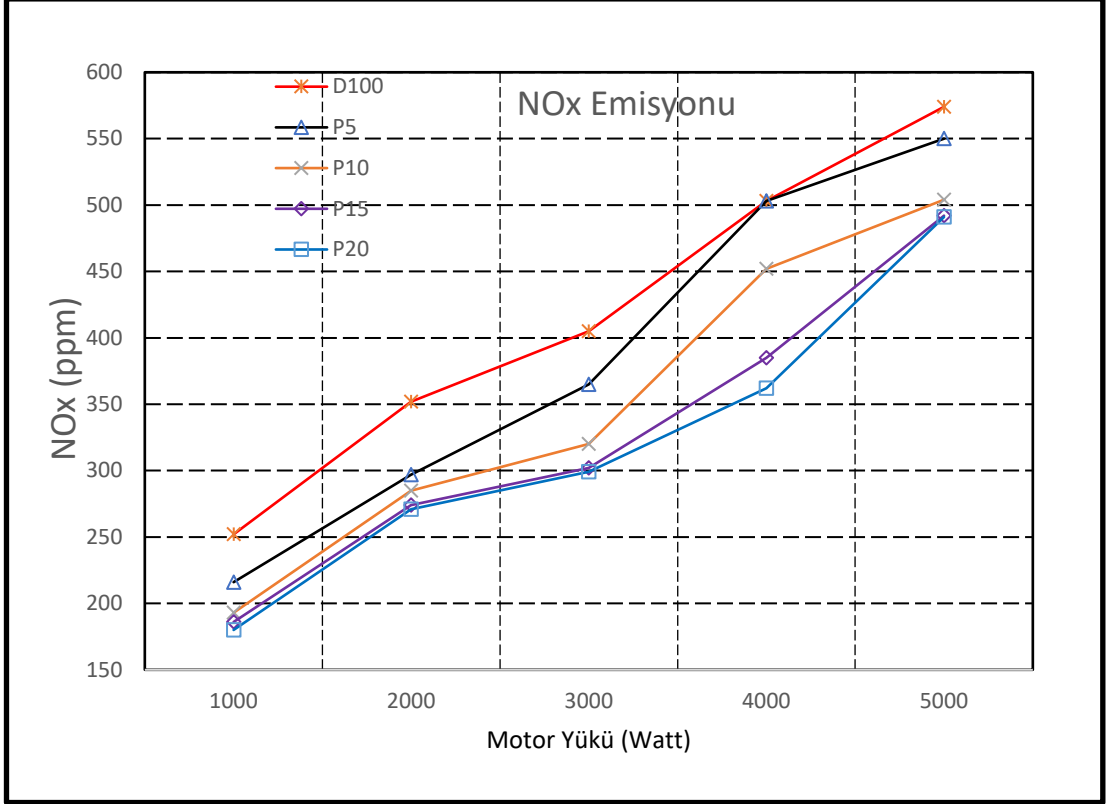
Deney yakıtlarına ait Egzoz Gaz Sıcaklığında (EGS) meydana gelen değışimler Şekil 7.4'te belirtilmiştir. Motorun yükünün artması ile motorun daha çok yakıt tüketmesinden dolayı egzoz gaz sıcaklığında da artış yaşanmaktadır. Dizele eklenen pentanol arttıkça egzoz gaz sıcaklığında da düşme gözlemlenmektedir. P20 yakıtı kullanımında dizele nazaran tüm yük ortalamalarında egzoz gaz sıcaklığının %17 oranında daha az çıktığı görülmüştür. Pentanolün kullanımı sonucunda EGS'nin değerlerinin düşük olmasının nedenlerinden biri pentanolün buharlaşma ısısının yüksek oluşudur. Düşük buharlaşma ısısı silindir sıcaklığını düşürmekte ve sonuç olarak egzoz gaz sıcaklığı da azalmaktadır.



Şekil 7. 4 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının EGS değışimleri.

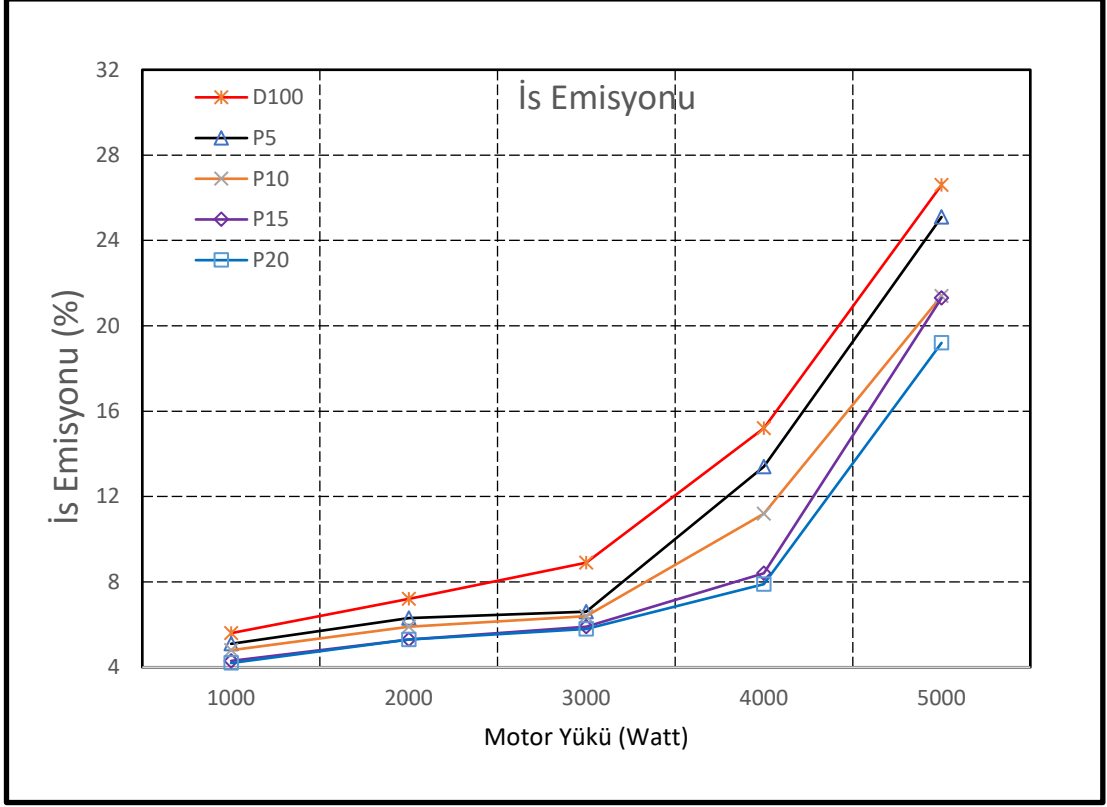
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI

Farklı yakıtlara ait azot oksit emisyonu (NO_x) değışimi Şekil 7.5' de belirtilmiştir. Motorda yanmanın sonucunda artan sıcaklıkla yüksek miktarda azot oksit (NO_x) açığa çıkmaktadır. Silindirde 1800 °C üstünde olan sıcaklık değęerlerinde, emme havasında bulunan oksijenin azotla birleşmesiyle azot oksit emisyonu oluşmaktadır. Şekil 7.5 incelendiğinde, motorda yük artmaya başladıkça silindirin sıcaklığının artışı tetiklenmesinden kaynaklı NO_x emisyonunda artış olduğu gözlemlenmektedir. Dizele pentanol ilavesi NO_x emisyonu açısından olumlu neticeler vermiştir. Dizel içerisinde pentanol miktarı arttırıldıkça NO_x emisyonun da azalma yaşanmıştır. Bu azalmanın yaşanmasının nedeni, pentanolün yüksek buharlaşma ısından kaynaklı olarak silindir sıcaklığında düşme gerçekleşmesidir. P20 yakıtıyla dizele göre NO_x kirleticilerinde %30 azalma elde edilmiştir.



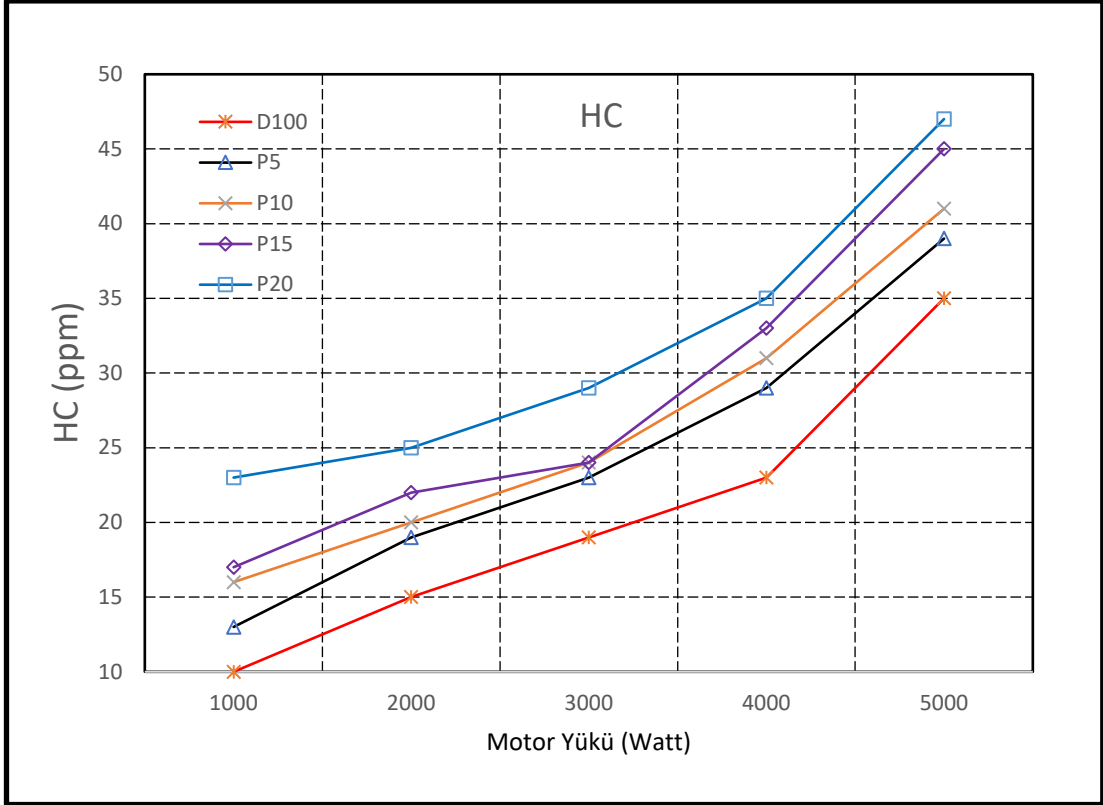
Şekil 7. 5 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının NO_x değişimleri.

Dizel ve dizel-pentanol karışımlarının motor yüküne bağlı olarak is emisyonunda gerçekleşen değişimler Şekil 7.6' da görülmektedir. Artan motor yükü sonucunda motor içerisine giren yakıtın miktarında artış olduğundan H/Y oranı da azalmaktadır. H/Y oranında azalma yaşanması sonucunda homojen şekilde karışım elde edilmediğinden is emisyonunda artış yaşanmaktadır. Dizel yakıtındaki pentanol oranı arttıkça is emisyonu değerlerinde azalma olduğu sonucu çıkmıştır. Bütün yüklerde P20 yakıtında dizele kıyasla is emisyonu değerinde ortalama olarak %34 düşme olduğu sonucu çıkmıştır. İncelenen is emisyonunda düşme yaşanmasının nedeni; pentanolün içeriğinde oksijen bulundurması ve C/H oranının düşük olmasıdır.



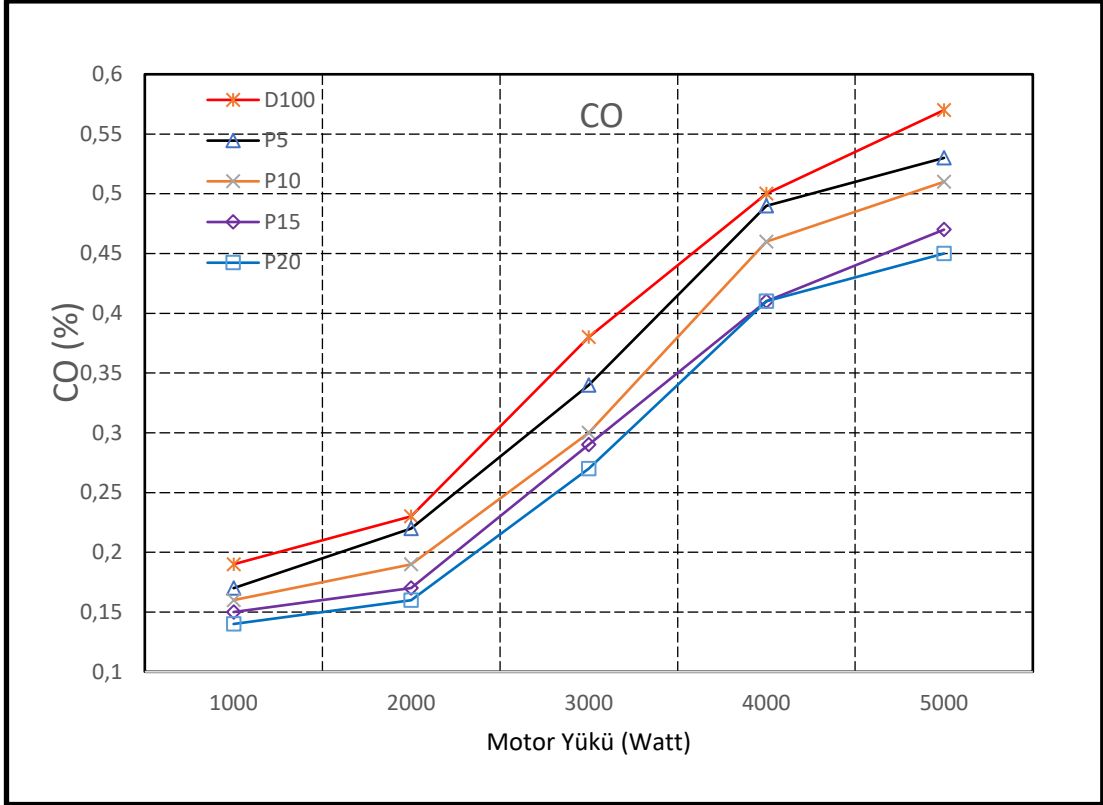
Şekil 7. 6 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının is emisyonu değışimleri.

Şekil 7.7' de değışik türde yakıtlara ait HC emisyonunda oluşan değışim değeri verilmiştir. HC temel olarak yanmamış yakıt olarak tanımlanabilir. Motorda, HC emisyonlarında artış yaşanmasının nedenlerinden birisi; H/Y oranında fazla artış olması durumunda karışımın fakirleşmesinin sonucu olarak alev sönmesine neden olmasıdır. Belirtmek gerekirse düşük silindir sıcaklıklarında da HC oksitlenmesi azalmaktadır. Dizel yakıtın içerisinde bulunan pentanol oranı arttıkça HC emisyonlarında da artış yaşanmaktadır. Pentanolün buharlaşma ısısı yüksek olduğundan pentanollu çalışmalarda silindir sıcaklığı düşmekte ve bunun sonucunda HC emisyon değeri artmaktadır. P20 yakıtı, dizel yakıt ile kıyaslandığında HC emisyon değeri ortalama olarak %67 artış olduğu sonucu çıkmıştır.



Şekil 7. 7 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının HC emisyonu değışimleri.

Şekil 7.8’de dizel ve dizel-pentanol karışımlarından oluşan yakıtların CO emisyon değeri değışimleri gösterilmiştir. CO oluşumunun nedeni, yanma işlemi sonucunda H/Y oranı değeri az oluşu sebebiyle yeterli oksijen bulunmaması ve yanma işleminin tamamlanamamasıdır. Dizel motorlarında motor yükünde artış yaşanmasıyla hava/yakıt oranında azalma olmaktadır ve bunun sonucunda CO miktarı artmaktadır. Dizel motorları yüksek H/Y oranı ile çalıştığından bu tip motorlarda CO emisyon değeri az seviyelerde olmaktadır. Şekil 7.8 detaylı irdelendiğinde en fazla CO emisyonu değeri dizel motorundan çıktığı gözlemlenmektedir. Dizele eklenen pentanol miktarı arttıkça CO emisyonunda azalma olduğu görülmektedir. Pentanolün içerisinde oksijen atomunu bulundurması CO emisyonunda azalma olmasına katkı sağlamaktadır. Karışımındaki pentanol oranı arttıkça CO emisyonu da azalmaktadır. P20 yakıtı ile elde edilen CO emisyonu dizele göre yaklaşık %25 daha düşük çıktığı belirlenmiştir.



Şekil 7. 8 Dizel, dizel-pentanol karışımlarının CO emisyonu değışimleri.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dizel motorlarda petrol kökenli yakıt kullanımını azaltmak ve emisyon değerlerini düşürmek amacıyla dizel yakıtı içerisine pentanol ilave edilmiştir. Dizel yakıtı içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında pentanol eklenmiştir. Deney motoru; dizel yakıtı, dizel-pentanol karışım yakıtları ile sabit hızda ve farklı yüklerde test edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda ortaya çıkan emisyon ve performans sonuçları aşağıda verilmiştir.

1. Tüm yüklerde P10, P15 ve P20 yakıtı ile çalışmada dizel yakıtına göre ÖYT değerlerinde artış kaydedilmiştir. P20 yakıtı dizel yakıtına göre ÖYT değerlerinde ortalama %8 artış göstermiştir. P5 yakıtının dizel yakıtına göre ÖYT değerinde ortalama olarak %0,6 azalışa neden olduğu gözlemlenmiştir.
2. Tüm yüklerde P20 yakıtı ile çalışmada dizel yakıtına göre yakıt tüketiminde ortalama %8 artış kaydedilmiştir.
3. Dizel yakıtı ve dizel-pentanol karışımlarıyla yapılan çalışmalarda en yüksek efektif verimin P5 (%5 Pentanol+%95 dizel) yakıtıyla elde edildiği tespit edilmiştir. P5 yakıtının kullanılması sonucunda efektif verimdeki artış dizel ile kıyaslandığında yaklaşık %1,2 civarındadır. P10, P15 ve P20 yakıtlarının efektif verimi dizel yakıt ile karşılaştırılarak incelendiğinde dizel yakıtına göre daha düşük olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bu yakıtlar ortalama olarak dizelden efektif verim bakımından %1-5 daha düşük performans göstermiştir.

4. Dizel yakıtına pentanol eklenmesi ile emisyonlarda önemli iyileşmelerin olduğu görülmüştür. P20 yakıtı ile çalışmada dizel ile karşılaştırıldığında is emisyonunda %34, NO_x emisyonunda ortalama %30 ve CO emisyonunda %25 azalma elde edilmiştir. Fakat P20 yakıtı dizele göre kıyaslandığında HC emisyonunda ortalama olarak %67 artış göstermiştir.
5. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; dizele pentanol eklenmesiyle motorda performans parametre değerlerinde düşüş gerçekleşmeden; is, CO, NO_x emisyon değerlerinde iyileşmelerin olduğu sonucu çıkarılabilir.

8.2. ÖNERİLER

1. Pentanol-dizel yakıt karışımlarının elektronik kontrollü dizel motorlarda kullanımının etkileri araştırılabilir.
2. Özellikle pentanolün kullanılacağı motorlarda alkolün motor üzerinde oluşturacağı aşındırıcı etkisi araştırılabilir.
3. Alkollü yakıtlar incelendiğinde buharlaşma ısısının yüksek olması sebebi ile HC emisyonu artmaktadır. HC emisyonunu azaltmak için araştırma yapılabilir.
4. İki farklı alkolün, dizel yakıtı ile karışımının dizel motorlarda kullanımının motor performans ve emisyon değerlerine etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., Aydoğan, H., Özçelik, E., “Yakıtlar ve Yanma”, *Nobel Yayınları*, Ankara, 159, (2018).
- Afşar, M., “Bir Dizel Motorda Atık Biodizel Kullanımının Performans, Emisyon Ve Yanma Karakteristiklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 24, (2015).
- Akbal, O., “Ağır Ticari Taşıt Dizel Motoru SCR Sisteminin Sıcaklık Modellenmesi” (Yüksek Lisans Tezi). *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, (2013).
- Ajav, E. A., Akingbehin, O. A., “A Study of Some Fuel Properties of Local Ethanol Blended with Diesel Fuel”, *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research Development*, 30 (6): 25-36, (2002).
- Al-Momany, M. and Al-Hasan, M. İ., “The Effect of Iso-Butanol-Diesel Blends on Engine Performance”, *Transport*, 23 (4): 306–310, (2008)
- Alptekin, E., Çanakçı, M., “Biyodizel ve Türkiye’deki Durumu”, *Mühendis ve Makine*, 561, 57-64, (2006).
- Altın, R., “Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 33-67 (1998).
- Altun, Ş. ve Gür, M.A., “Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarda Kullanımı”, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (3): 35-42 (2005).
- Aydın, F. ve Acaroğlu, M., “İçten Yanmalı Motorlarda LPG ve Doğalgaz Sistemlerinin Karşılaştırılması” 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, Karabük, 1-6 (2009).
- Bayraktar, H., “Experimental and theoretical investigation of using gasoline ethanol blends in spark ignition engines”, *Renewable Energy*, 30: 1733-1747, (2005).
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 1”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayını-2*, Ankara, 212-213 (1992).
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayını-3*, Ankara, 60-116, (1992).

Can, Ö., Çelikten, İ. ve Usta, N., “Etanol Karışımli Motorin Yakıtının Dizel Motoru Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (2): 221-223, (2005).

Ciniviz, M., “Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı ve LPG Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-80 (2001).

Çelik, M. B., “Metanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (1994).

Çelikten, İ., “Tam Yükte Çalışan İndirekt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Dizel Ve Dizel-Etanol Yakıt Karışımlarının Motor Performansı Ve Emisyon Değişimlerine Etkilerinin İncelenmesi”, *Teknoloji Dergisi*, 7 (1): 11-18 (2004).

Demiröz, G., “Seçici Katalitik İndirgeme Sisteminin Ağır Taşıt Motorlarında Kullanımının Optimizasyonu. (Yüksek Lisans Tezi)”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010)

Ejder, B., “Etanol-Dizel, Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-50 (2007).

Ejder, B., “Etanol-Dizel, Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-50 (2007).

Gawale, G. R., Srinivasulu, G. N., “Experimental Investigation of Ethanol/Diesel And Ethanol/Biodiesel on Dual Fuel Mode HCCI Engine for Different Engine Load Conditions”, *Fuel*, 263, 116725 (2020).

Geng, L., Bi, L., Li, Q., Chen, H., Xie, Y., “Experimental Study on Spray Characteristics, Combustion Stability, And Emission Performance of a CRDI Diesel Engine Operated With Biodiesel–Ethanol Blends”, *Energy Reports*, 7: 904–915 (2021).

Gözen, O. “Türk Rakıplarının Bazı Uçucu Bileşikleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 83s., Adana.* (2006)

Hacıkadıroğlu, H., “Bitkisel Yağ Esterleri – Motorin Karışımının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 37-41 (2007).

Hansen, A. C. and Hornbaker, R. H. and Zhang, Q., “Ethanol-Diesel Blends: a Step Towards a Bio- Based Fuel for Diesel Engines”, *ASAE*, 01-6048 (2001).

Venu, I. V., Lokesh Selvam , Prabhu Appavu , V. Dhana Raju ,Lingesan Subramani , Jayashri N. Nair “Analysis of particle size diameter (PSD), mass fraction burnt (MFB) and particulate number (PN) emissions in a diesel engine powered by diesel/biodiesel/n-amyl alcohol blends”, *India and Malaysia* (2022).

Heywood, J. B., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, *Mc Graw-Hill*, Newyork, (2018).

Heywood, J. B., “Internal combustion engine fundamentals”, *Mc Graw-Hill*, Newyork, 90-240 (1988).

Hışır, V., “Bütanol- Benzin Karışımlarının Buji Ile Ateşlemeli Motorların Performans Ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-57 (2010).

Huang J., Wang Y., Li S., Roskilly A. P., Yu H., Li H., “Experimental Investigation on the Performance and Emissions of a Diesel Engine Fuelled With Ethanol–Diesel Blends”, *Applied Thermal Engineering*, 29: 2484–2490 (2009).

İnternet 1: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, “Biyodizel Kullanımının Çevre İçin Önemi”, https://www.emo.org.tr/ekler/5aa4bd09c07d8b2_ek.pdf, (2020).

İnternet 2: Mühendistan Ekibi, “Hidrojen Üretim Yöntemleri Nelerdir? Hidrojen Nasıl Üretilir?”, <https://muhendistan.com/hidrojen-uretim-yontemleri-nelerdir-hidrojen-nasil-uretilir/>, (2021).

İnternet 3: “Egzoz Emisyon Cihazı Teknik Özellikleri”, <https://www.bilsaltd.com/egzoz-emisyon-cihazlar>, (2021).

İnternet 4: “İzoamil alkol”, [https://ürünler/kozmetik/deterjan\(dezenfektan\) ve ilac/kimyasallari/izoamil_alkol](https://ürünler/kozmetik/deterjan(dezenfektan) ve ilac/kimyasallari/izoamil_alkol), (2022).

İnternet 5: “4 zamanlı motor çevrimi” http://duzensurucukurusu.com/araci_tanima_hazirlıkları, (2022).

Jincheng, H., Yaodong, W., Shuangding, L., Anthony, P.R., Hongdong, Y. And Huifen, L., “Experimental Investigation on The Performance and Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Ethanol–Diesel Blends”, *Applied Thermal Engineering*, 29 (11-12), 2484–2490 (2009).

Karabektaş, M., Ergen, G., “Taşıtlarda Doğalgaz Kullanım Teknolojileri” 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 1-6 (2009).

Karabektaş, M., Ergen, G., Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans Karakteristikleri ve NOx Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1, 21-26 (2007).

Karabektaş, M., Hoşöz, M., “Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends”, *Renewable Energy*, 34 (6): 1554–1559 (2009).

Kocagöz, S., “Çift Yakıtlı (Lpg-Dizel) Dizel Bir Motorda Hacimsel Verimin Performans ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-56 (2009).

Merker, G., P., Schwarz, C., Stiesch, G., and Otto, F.,”Simulating Combustion: Simulation of Combustion and Pollutant Formation for Engine-Development”, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, Germany, 60-140 (2006).

Yeşilyurt, M. K., “Dizel Yakıtına Farklı Ağır Alkoller (1-Bütanol, 1-Pentanol ve 1-Hekzanol) İlave Edilmesinin Tek Silindirli Bir Dizel Motorunun Performans, Yanma ve Egzoz Emisyon Karakteristiklerine Etkileri”, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, *Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü*, 397-426 (2020).

Seelam, S.K. Gugulothu , Ragireddy Venkat Reddy ,K. Jagadeshwar, “Influence of 1-pentanol as the renewable fuel blended with hydrogen on the diesel engine characteristics and trade-off study with variable injection timing” *National Institute of Technology Andhra Pradesh, India , GITAM University, Hyderabad, India, ANURAG University, Hyderabad, India (2022)*

Örs, A., “Biyodizel-Bütanol Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2016).

Özer, S., “Butanol Kullanımının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-87 (2010).

Özsezen, A. N., Çanakçı, M., “Atık Kızartma Yağından Elde Edilen Metil Esterin Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorda Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (2): 395-404, (2008).

Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E. G., "Diesel Engine Transient Operation- Principles of Operation and Simulation Analysis", *Springer-Verlag London Limited*, Tempere, Finland, 141-178 (2009).

Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis E.G., Dimaratos, A.M. And Kyritsis D.C., “Effects of Butanol–Diesel Fuel Blends on The Performance and Emissions of a High-Speed DI Diesel Engine”, *Energy Conversion and Management*, 51: 1989-1997 (2010).

Randazzo, M. L., Sodr , J. R., “Exhaust Emissions from a Diesel Powered Vehicle Fuelled by Soybean Biodiesel Blends (B3–B20) with Ethanol as an Additive (B20E2–B20E5)”, *Fuel*, 90: 98–103 (2011).

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E. ve Soruşbaş, C. “İçten Yanmalı Motorlar”, *Birsen Yayınevi*, Ankara, 192-200 (1999).

Sayın, C., Murat, İ., Çanakçı, M. And Gümüş, M., “Effect of Injection Timing on The Exhaust Emissions of a Diesel Engine Using Diesel–Methanol Blends”, *Renewable Energy*, 34 (5): 1261–1269 (2009).

Song, C. L., Zhou, Y. C., Huang, R. J., Wang, Y. Q., Huang, Q. F., Lü, G., Liu, K. M., “Influence of Ethanol–Diesel Blended Fuels on Diesel Exhaust Emissions and Mutagenicand Genotoxic Activities of Particulate Extracts”, *Journal of Hazardous Materials*, 149: 355-363 (2007).

Soruşbay, C., Arslan, E., “Hidrojen Yakıtlı İçten Yanmalı Motorlarda Yanma Performansı”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Ankara, 231-235 (1998).

Soykan, T., “Termodinamiğin Gen ve Talihsiz Babası”, *Sadi Carnot. Moment Dergisi*. Erişim adresi <http://www.momentexpo.com/termodinamigin-gen-ve-talihsiz-babasi-sadi-carnot> (2012).

Şimşek, D., Soya Yağı Metil Esterinin Değişik Püskürtme Basınçlarında Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 47, (2010).

U.S. DOE (Department of Energy) “Biodiesel Basics, Biodiesel Handling and Use Guidelines” *DOE, DOE/GO-102004-1999*, 4, 2004.

Ulusoy Y., “Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 6 – 11 (1999).

Uslu, K., “Dizel Motorlarında Farklı Püskürtme Avanslarında Dizel Yakıtı+Ethanol Kullanımın Performans ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-107 (2006).

Uyar T., “Organik kimya”, *Güneş Kitapevi*, 4. Baskı, Ankara, 286-288 (1992).

Xiaoyan, S., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H., Rulong, L., “Emission Reduction Potential of Using Ethanol–Biodiesel Diesel Fuel Blend on a Heavy-Duty Diesel Engine”, *Atmospheric Environment*, 40: 2567–2574 (2006).

Yamık, H., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-74 (2002).

Yılmaz, A., Soya Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 71, 86 (2006).

Yilmaz, N., “Comparative Analysis of Biodiesel-Ethanol-Diesel and Biodiesel-Methanol-Diesel Blends in a Diesel Engine”, *Energy*, 40: 210-213 (2012).

Zhang, Z. H., Cheung, C. S., Chan, T. L. And Yao, C. D., “Experimental Investigation of Regulated and Unregulated Emissions from a Diesel Engine Fueled with Euro V Diesel Fuel And Fumigation Methanol”, *Atmospheric Environment*, 44 (8): 1054-1061 (2010).

EK AÇIKLAMALAR A.

PERFORMANS VE EMİSYON DEĞERLERİ

Çizelge EK A.1. Dizel yakıtı ile elde edilen performans değerleri

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
1000	26,7	313,5	235
2000	27,8	301,1	290
3000	28,5	293,7	332
4000	28,6	292,7	395
5000	28,6	292,7	416

Çizelge EK A.2. P5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
1000	27,1	311,7	229
2000	28	301,6	282
3000	28,8	293,2	304
4000	28,9	292,3	386
5000	29,1	289,3	413

Çizelge EK A.3. P10 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
1000	26,6	320,4	220
2000	27,5	309,9	281
3000	28,1	303,3	296
4000	28,4	300	375
5000	28,3	301,1	396

Çizelge EK A.4. P15 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
1000	25,9	332	201
2000	26,9	319,7	264
3000	27,3	315	275
4000	28,1	306	367
5000	28	307,1	367

Çizelge EK A.5. P20 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
1000	25,5	340,3	192
2000	26,3	329,9	263
3000	26,9	322,6	268
4000	27,6	314,4	345
5000	27,9	311	358

Çizelge EK A.6. Dizel yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
1000	10	0,19	5,6	252
2000	15	0,23	7,2	352
3000	19	0,38	8,9	405
4000	23	0,5	15,2	503
5000	35	0,57	26,6	574

Çizelge EK A.7. P5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
1000	13	0,17	5,1	216
2000	19	0,22	6,3	297
3000	23	0,34	6,6	365
4000	29	0,49	13,4	503
5000	39	0,53	25,1	550

Çizelge EK A.8. P10 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
1000	16	0,16	4,8	193
2000	20	0,19	5,9	285
3000	24	0,3	6,4	320
4000	31	0,46	11,2	452
5000	41	0,51	21,4	504

Çizelge EK A.9. P15 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
1000	17	0,15	4,3	186
2000	22	0,17	5,3	274
3000	24	0,29	5,9	302
4000	33	0,41	8,4	385
5000	45	0,47	21,3	492

Çizelge EK A.10. P20 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
1000	23	0,14	4,2	180
2000	25	0,16	5,3	271
3000	29	0,27	5,8	299
4000	35	0,41	7,9	362
5000	47	0,45	19,2	491

ÖZGEÇMİŞ

Abdulkadir TUNCER; ilk ve orta öğrenimini Ankara merkezde tamamladı. Gazi Anadolu Meslek Lisesinden mezun olduktan sonra 2014 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölümüne girdi ve 2018 yılında buradan mezun oldu. Halen; 2019 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.