İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ DİZEL MAKİNALARINDA BİYODİZEL YAKIT KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Görkem BENEK

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ DİZEL MAKİNALARINDA BİYODİZEL YAKIT KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Görkem BENEK
(508111017)

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 508111017 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Görkem BENEK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"GEMİ DİZEL MAKİNALARINDA BİYODİZEL YAKIT KULLANIMI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Nurten VARDAR Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **04 Haziran 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

Tezin hazırlanmasında bana büyük emeği geçen değerli hocam Prof. Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL'a çok teşekkür ederim.

Tez hazırlama sürecimde gösterdikleri sabır ve destek için değerli arkadaşlarım Arş.Gör. Turgay KÖROĞLU, Arş.Gör. Cumhur İNCEKARA ve Hakan SAĞLAM'a şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2013

Görkem Benek
(Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 1
1.2 Kaynak Araştırması 1
2. BİYODİZEL YAKIT **7**
2.1 Biyodizel Yakıtların Üretim Yöntemleri 8
2.1.1 Piroliz 9
2.1.2 Mikroemülsifikasyon 9
2.1.3 Transesterifikasyon 9
2.2 Biyodizel Yakıt Özellikleri 10
3. SİLİNDİRDEKİ GÜÇ STROKUNUN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ **13**
3.1 Hava – Yakıt Reaksiyon Denklemi 13
3.2 Yanma Sonucu Oluşan Moleküler Değişim 15
3.3 Yanma Sonucu Oluşan Artık Gaz Miktarları 16
3.4 Silindir İçinde Alıkonulan Mol Miktarları 17
3.5 Silindirde Güç Çevrimi Boyunca Isı Geçişi 18
3.6 Silindir Etrafında Enerjinin Dengelenmesi 21
3.7 Dolgu Değişimi Boyunca Isı İletimi 22
4. SİMÜLASYON PROGRAMI SONUÇLARI VE GRAFİKLER **25**
4.1 Kapalı Çevrim Grafikleri 25
4.2 Emme ve Egzoz Manifoldu Grafikleri 32
4.3 Sıkıştırma Oranının Değişimine Göre Motor Parametre Grafikleri 37
4.4 Devir Değişimine Göre Motor Parametre Grafikleri 49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER **57**
KAYNAKLAR **61**
EKLER **65**
ÖZGEÇMİŞ **77**

KISALTMALAR

c_p : Sabit Basınçtaki Özgül Isı Değeri
Ca : Karbon Ağırlık Oranı
CO : Karbonmonoksit
dm_i : Giriş (Emme) Kütle Debisi
dm_f : Çıkış (Egzoz) Kütle Debisi
dq_c : Gazlardan Geçen Isı Miktarı
dq_r : Işınım Yolu İle Isı Geçiş Miktarı
dQ : Isı Akış Yoğunluğu
dW : Güç Yoğunluğu
dW_A : Emme Stroku Sırasında Belli Zaman Aralığında Yapılan İş
dW_E : Egzoz Stroku Sırasında Belli Zaman Aralığında Yapılan İş
dw_f : Bir Zaman Aralığında Silindire Gönderilen Yakıt Miktarı
dw_q : dw_f Miktar Yakıtın Verdiği Isı Miktarı
F : Isıtılan Toplam Yüzey Alanı
h : Isı İletim Katsayısı
HC : Hidrokarbon
M : Mol Artım Oranı
Ma : Hava Mol Oranı
m_c : Silindirde Alıkonulan Kütle Miktarı
m_{pc} : Kütle Ağırlık Oranı
Mp : Mol Sayısı Artış Miktarı
M_R : Artık Gaz Miktarı
M_T : Toplam Yanma Sonu Ürünleri
m_w : Molekül Ağırlığı
P_f : Zaman Aralığı Sonundaki Basınç Değeri
Pc : Silindir Basıncı
PM : Parçacık Madde
R : Evrensel Gaz Sabiti
Re : Reynolds Sayısı
RPM : Motor Devir Sayısı
Tc : Silindir Sıcaklığı
T_i : Zaman Aralığı Başındaki Gaz Sıcaklığı
T_f : Zaman Aralığı Sonundaki Gaz Sıcaklığı
u : İç Enerji Değeri
Vc : Silindir Hacmi
μ : Viskozite Değeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Bitkisel yağların özellikleri.. 8
Çizelge 2.2 : Biyodizel yakıt özellikleri. 10
Çizelge 3.1 : Soya yağı bazlı B40 kodlu biyodizel yakıtın özellikleri. 14
Çizelge 3.2 : Kanola yağı bazlı B100 kodlu biyodizel yakıtın özellikleri. 14
Çizelge 4.1 : Motorun Ana Özellikleri 25

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Kapalı Çevrim Basınç Dağılımı. 26
Şekil 4.2 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Kapalı Çevrim Basınç Dağılımı. 27
Şekil 4.3 : 2. Silindirdeki Kapalı Çevrim Basınç Dağılımının %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizel Yakıt Karışımına Göre Değişimi. 28
Şekil 4.4 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 7. Silindir Kapalı Çevrim Basınç Dağılımı. 29
Şekil 4.5 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Kapalı Çevrim Sıcaklık Dağılımı. 30
Şekil 4.6 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Kapalı Çevrim Sıcaklık Dağılımı 31
Şekil 4.7 : 2. Silindirdeki Kapalı Çevrim Sıcaklık Dağılımının %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizel Yakıt Karışımına Göre Değişimi 31
Şekil 4.8 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Emme Manifoldu Basınç Dağılımı 32
Şekil 4.9 : 2. Silindirdeki Emme Manifoldu Basınç Dağılımının %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizel Yakıt Karışımına Göre Değişimi..... 33
Şekil 4.10 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 7. Silindir Emme Manifoldu Basınç Dağılımı … 34
Şekil 4.11 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Egzoz Manifoldu Basınç Dağılımı …..... 35
Şekil 4.12 : 2. Silindirdeki Egzoz Manifoldu Basınç Dağılımının %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizel Yakıt Kaışımına Göre Değişimi … 35
Şekil 4.13 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 7. Silindir Egzoz Manifoldu Basınç Dağılımı …..... 37
Şekil 4.14 : 2. Silindirdeki Efektif Özgül Yakıt Tüketiminin Sıkıştırma ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi. … 38
Şekil 4.15 : 2. Silindirdeki Efektif Özgül Yakıt Tüketiminin Sıkıştırma Oranına ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi … 39
Şekil 4.16 : 2. Silindirdeki Efektif Gücün Sıkıştırma ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi … 40
Şekil 4.17 : 2. Silindirdeki Efektif Gücün Sıkıştırma Oranına ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi …..... 41
Şekil 4.18 : 2. Silindirdeki Maksimum Yanma Basıncının Sıkıştırma ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi … 42
Şekil 4.19 : 2. Silindirdeki Maksimum Yanma Basıncının Sıkıştırma Oranına ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi … 43
Şekil 4.20 : 2. Silindirdeki İndike Isıl Verimin Sıkıştırma ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi …..... 44

Şekil 4.21 : 2. Silindirdeki İndike Isıl Verimin Sıkıştırma Oranına ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi …..... 45
Şekil 4.22 : 2. Silindirdeki Ortalama Efektif Basıncın Sıkıştırma ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi … 46
Şekil 4.23 : 2. Silindirdeki Ortalama Efektif Basıncın Sıkıştırma Oranına ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi …..... 47
Şekil 4.24 : %80'i Dizel %20'si B40 Biyodizel Olan Yakıtın Sıkıştırma Oranının Değişimine Göre 2. Silindirdeki Basınç Dağılımı … 48
Şekil 4.25 : %80'i Dizel %20'si B100 Biyodizel Olan Yakıtın Sıkıştırma Oranının Değişimine Göre 2. Silindirdeki Basınç Dağılımı … 49
Şekil 4.26 : 2. Silindirdeki Efektif Özgül Yakıt Tüketiminin Devir ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi … 50
Şekil 4.27 : 2. Silindirdeki Efektif Özgül Yakıt Tüketiminin Devire ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi …..... 51
Şekil 4.28 : 2. Silindirdeki Efektif Gücün Devir ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi … 52
Şekil 4.29 : 2. Silindirdeki Efektif Gücün Devire ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi …..... 53
Şekil 4.30 : 2. Silindirdeki Maksimum Yanma Basıncının Devir ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi … 54
Şekil 4.31 : 2. Silindirdeki Maksimum Yanma Basıncının Devire ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi …..... 55
Şekil 4.32 : 7. Silindirdeki Maksimum Yanma Basıncının Devir ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi. 56

GEMİ DİZEL MAKİNALARINDA BİYODİZEL YAKIT KULLANIMI

ÖZET

Gemilerde sevk sistemi olarak en fazla dizel makinalar kullanılmaktadır. Ayrıca dizel makinalar yüksek verimleri ve dayanıklı yapıları nedeniyle endüstriyel, tarım ve diğer taşımcılık alanlarında da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, dizel makinalarda kullanılan yakıtlar çoğunlukla fosil kaynaklardan elde edilmektedir. Bu yakıtların dünya üzerindeki kaynakları sınırlıdır ve yenilenebilir olmayan bir yakıt türüdür. Bu sebeplerden dolayı araştırmacılar bu yakıtlara alternatif olabilecek yakıt türleri üzerinde çalışmaktadırlar. Biyodizel, elektrik, etanol, hidrojen ve doğalgaz alternatif yakıtlar içerisinde gösterilmektedir.

Bu çalışmada alternatif yakıtlardan olan biyodizel yakıt incelenmiştir. Biyodizel yakıt, kimyasal bileşiminin dizel yakıta benzer olması, dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan doğrudan kullanılabilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilmesi gibi nedenlerden alternatif yakıtlar içerisinde ön plana çıkmaktadır. Biyodizel yakıtlar, bitkisel ya da hayvansal yağlardan veya bunların artıklarından elde edilmektedir.

Dizel makinalarda, üretilen biyodizel yakıtlar saf olarak veya standart dizel yakıtlarla karışım oluşturularak kullanılabilirler. Bu çalışmada biyodizel yakıt ile standart dizel yakıt karışımlarının bir dizel motorda kullanılması ve makinanın performans değerleri teorik olarak incelenmiştir. Biyodizel olarak soya yağı ve kanola yağından üretilen yakıtlar seçilmiştir.

Çalışmada ilk olarak dizel makinanın güç strokunun matematiksel olarak modellemesi yapılmıştır. Matematiksel modelleme yapılırken, temel hava – yakıt reaksiyon denklemleri kullanılmıştır. Seçilen biyodizel yakıtların, çeşitli oranlarda standart dizel yakıtla karışımları oluşturulmuş ve bu karışımlar için hava – yakıt reaksiyon denklemleri kimyasal denge prensipleri kullanılarak bulunmuştur. Bulunan hava – yakıt reaksiyonu denklemlerinin, hava ile yanma reaksiyonuna girmesinden sonra oluşan moleküler değişim incelenmiş ve yanma sonucunda oluşan artık gaz mol miktarları hesaplanmıştır. Silindirde konveksiyon ve ışınım yolu ile ısı geçiş miktarları hesaplanmıştır. Termodinamiğin birinci kanunu kullanılarak silindir etrafında enerjinin korunumu denklemleri oluşturulmuştur. Ayrıca, dolgu değişimi esnasında da silindir de olan konveksiyon yolu ile ısı iletimi de hesaplanmıştır.

Oluşturulan matematiksel modelin sonuçlarını görmek amacıyla bilgisayar kodu oluşturulmuş ve seçilen biyodizel ve standart dizel yakıt karışımlarının dizel makinadaki performans değerleri elde edilmiştir. Bilgisayar kodu kullanılırken 16 silindirli bir gemi dizel makinasından elde edilen datalar kullanılmıştır.

Gemi dizel makinasının kapalı çevrimdeki basınç ve sıcaklık değerleri, emme ve egzoz manifoldlarındaki basınç değerleri incelenmiştir. Kullanılan yakıtlardaki biyodizel oranı arttıkça silindir içi basınç ve sıcaklıklarda düşüş, emme ve egzoz manifoldlarındaki değerlerde de artış gözlenmiştir.

İki farklı biyodizel yakıt karşılaştırıldığında ise kanola yağından üretilen biyodizel yakıt kullanıldığında elde edilen değerlerin soya yağından üretilen biyodizel yakıt kullanıldığında elde edilen değerlerden daha iyi olduğu görülmüştür. Bu durumların sebepleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Motorun sıkıştırma oranı değiştirilerek, motorun efektif özgül yakıt tüketim, efektif güç, maksimum yanma basıncı, indike ısıl verim ve ortalama efektif basınç değerleri incelenmiştir.

Motorun devri değiştirilerek de motorun efektif özgül yakıt tüketim, efektif güç ve maksimum yanma basıncı değerleri incelenmiştir.

Motorun sıkıştırma oranı ve devir değişimlerine ait olan sonuçlar ve motor parametrelerinin biyodizel yakıtlara göre değişimi detaylı bir şekilde incelenmiştir.

THE USAGE OF BIODIESEL AS FUEL IN MARINE DIESEL ENGINES

SUMMARY

Diesel engines is used in ships mostly as a propulsion system. Besides, diesel engines is also used in industrial, agricultural and other transportation areas because of their high efficiency and rigid structural design. In future, it is envisioned that the usage of diesel engines are increased because of the increasement in world population and the growth of trade volume.

When the usage of diesel engines is increased, it is known that the demand of petroleum based fuels is also increased. However, this fuels are mostly produced from fossil resources and fossil resources are limited and they are not renewable resources.

Due to these reasons, many researchers study about the new fuels as an alternative to the petroleum based diesel fuels. Biodiesels, electricity, ethanol, hydrogen and natural gas are shown as an alternative fuel to the diesel fuel which is produced from fossil resources.

In this study, biodiesel fuels is examined as an alternative fuel. Biodiesel fuels are come into prominence within the alternative fuels because of the chemical compound similarity between the standart diesel fuel and biodiesel fuel.

Biodiesel fuels can be used in diesel engines without any modifications and it can be produced from renewable resources. Biodiesel fuels can be defined as the fuel form of the vegetable oil or animal fat and their waste oil which are react with the alcohol when producing.

In diesel engines, the biodiesel fuels use as purely or the mixture with standart diesel fuel. When the pure or the mixture of biodiesel is used in diesel engines, the performance parameters of the engine are also very important.

In this study, the mixture of biodiesel and standart diesel fuels are used and the performance parameters of the diesel engine is examined theoretically. Soybean based B40 and canola based B100 is used as biodiesel fuel in diesel engine. The specifications of soybean based B40 biodiesel is given below:

- Reduced chemical formula: $C_{16.15}H_{30.38}O_{0.8}$
- Density (kg/m^3) 856
- Cetan number: ~47
- Kinematic viscosity (cSt): 3.01
- Lower heating value (MJ/kg): 40.6

And the specifications of canola based B100 biodiesel is given below:

- Reduced chemical formula: $CH_{1.88}O_{0.11}$
- Density (kg/m^3) 883.8
- Cetan number: 53.6
- Kinematic viscosity (cSt): 4.4
- Lower heating value (MJ/kg): 37.8

First of all in this study, diesel engine's power stroke is modelling mathematically. When the modelling is established mathematically, stepwise approach method is used. The main air – fuel reaction equations and chemical equilibrium principles is used in stepwise approach method.

The mixture of chosen biodiesel fuels and standart diesel fuels are constituted as various proportions and air – fuel reaction equations is constituted using the chemical equilibrium principles for the mixture of fuels which is constituted before.

The air – fuel reaction equations which is constituted before is examined after the burning reaction. After burning reaction, the molecular conversion of the equations is examined. Residual gases mole fraction is calculated from the air – fuel equations after the burning reaction.

The amount of heat transfer in cylinder via convection and radiation is calculated. The equations is constituted by using the law of conservation of energy around the cylinder, it is called the first law of thermodynamics. Besides, the amount of heat transfer in cylinder via convection during charging is calculated too.

The computer code is constituted to see the results of constituted mathematical model and performance parameters of diesel engine are obtained when the mixture of chosen biodiesel and standart diesel are used. When using the computer code, the datas which are obtained from sixteen cylinder marine diesel engine is used.

Closed cycle pressure and temperature values of marine diesel engine is examined. Also marine diesel engine's inlet and exhaust manifold pressure values is examined, too.

When the rate of biodiesel fuel in the mixture of fuel which is used in marine diesel engine is increased, the decrease of pressure and temperature values in cylinder is observed. Moreover, the increase of the pressure values at inlet and exhaust manifolds are observed.

If the two different biodiesel fuel compare with each other, it is seen that at closed cycle the pressure and temperature values of canola based B100 biodiesel fuel is higher than the soybean based B40 biodesel fuel.

When canola based B100 biodiesel fuel is used in marine diesel engine, it is observed that the pressure values at the inlet and exhaust manifolds are lower than the usage of soybean based B40 biodiesel fuel. The details of the reasons for these situations are explained in the study.

After that the compression ratio of the marine diesel engine is changed and the effective specific fuel consumption, effective power, maximum burning pressure, indicated thermal efficiency and mean effective pressure values are examined.

When the rate of the biodiesel fuel in the mixture of fuel which is used in marine diesel engine is increased, it is seen that the effective specific fuel consumption value of the engine is getting higher and the effective power value of the engine is decreased. Further that the decreased of the maximum burning pressure, indicated thermal efficiency and mean effective pressure values of the diesel engine is observed.

When the compression ratio of the diesel engine is inceased, it is observed that the effective specific fuel consumption value of the diesel engine is decreased and effective power value of the diesel engine is increased.

In addition to this, the increase in maximum burning pressure, indicated thermal efficiency and mean effective pressure values of diesel engine is getting better when the compression ratio of the diesel engine is inceased.

If the two different biodiesel fuel compare with each other, when the mixture fuel which has canola based B100 biodiesel fuel is used in marine diesel engine, effective power, indicated thermal efficiency and mean effective pressure values of the diesel engine is higher than the mixture fuel which has soybean based B40 biodiesel fuel. Meanwhile, the decrease in the effective specific fuel consumption value of the diesel engine is observed. The datas which are obtained are scrutinised in the study.

Engine performance parameters are also examined by changing the engine speed. At this stage effective specific fuel consumption, effective power and maximum burning pressure values of diesel engine are examined.

When the engine speed is increased, it is observed that the effective specific fuel consumption and maximum burning pressure values of the engine is decreased. On the other hand the effective power value of the diesel engine is increased. And also the details of the reasons for these situations are explained in the study.

The compression ratio of the diesel engine and engine speed can be changed in between significant values, because they are limited. When the compression ratio of the diesel engine and engine speed is determined, the optimum values of engine parameters like effective power, effective specific fuel consumption, effective efficiency and strength of materials are calculated. Engine properties are determined at this optimum point.

Finally in this study, the decrease in most of the performance parameters of diesel engine is observed when the mixture fuel which involve biodiesel fuels is used as fuel in diesel engine. Cause of this situation is explained detailed in this study.

Furthermore, there is not seen a significant difference between the performance parameters when the mixture fuel which involve canola based B100 biodiesel fuel and standart diesel fuel are used as fuel in diesel engine.

This situation is depended the values like lower heating value, density and chemical compound. If these values is chosen optimally and the biodiesel fues are produced at these optimum values, the development in the performance parameters of the diesel engine is provided, so that biodiesel fuels is used as fuel in diesel engine readily. When the biodiesel fuels are produced and used, these criterions should be conceived.

1. GİRİŞ

Dizel makinalar, yüksek verimleri ve dayanıklılıkları nedeniyle endüstriyel, taşımacılık ve tarım alanlarında yaygın şekilde kullanılırlar [1]. Ayrıca nüfustaki ve ekonomik hacimdeki artış yüzünden gelecekte dizel makina kullanımının artacağı öngörülmektedir [2]. Fakat dizel yakıt, dünya üzerindeki kaynakları sınırlı olan ve yenilenebilir olmayan bir yakıt türüdür. Bu nedenlerden dolayı araştırmacılar, dizel yakıta alternatif olacak yakıt türleri üzerinde çalışmaktadırlar. Biyodizel, elektrik, etanol, hidrojen, doğal gaz ve propan alternatif yakıtlar arasında gösterilmektedir [3].

Biyodizel yakıt; kimyasal bileşiminin dizel yakıta benzer olması, dizel motorlarda modifikasyon gerekmeden doğrudan kullanılabilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilmesi gibi sebeplerden alternatif yakıtlar içerisinde ön plana çıkmaktadır [3]. Biyodizel yakıtların avantajlarından faydalanmak ve kullanılabilirliğini arttırmak amacıyla bu yakıtlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Üretilen biyodizel yakıtların, motordaki performanslarını değerlendirmek ve geliştirmek amacıyla da deneysel ve teorik çalışmalar yoğun bir şekilde yapılmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Yüksek devirli gemi dizel makinasında, hiçbir modifikasyon işlemi uygulanmadan biyodizel yakıt karışımları kullanıldığında, yakıt karışımlarının dizel makinanın silindir içi basınç, emme ve egzos manifoldu basınç, efektif özgül yakıt tüketimi, efektif güç, ortalama efektif basınç ve indike ısıl verim değerlerine teorik olarak nasıl etkide bulunduğunun incelenmesi amaçlanmıştır.

1.2 Kaynak Araştırması

Dizel makinanın mucidi Rudolf Diesel, ilk olarak motorda bitkisel yağ kullanmıştır ve biyodizel kavramı bu zamana kadar dayanmaktadır. Ancak günümüzde dizel makinalarda ham petrolden elde edilen yakıtlar kullanılmaktadır. Petrol

kaynaklarının sınırlı oluşu ve belli bölgelere toplanmasından kaynaklı, son yıllarda alternatif yakıt arayışları çoğalmıştır. Biyodizel yakıtlar, kimyasal bileşimlerinin dizel yakıta benzemesi, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesi ve dizel yakıtla karışım ya da saf halde kullanılabilmesi gibi özelliklerinden dolayı iyi bir alternatif yakıt olarak görülmektedir [3].

Wagner [4] soya yağının etil, metil ve bütil esterlerini direkt püskürtmeli dizel makinada kullanarak, dizel makinanın performans değerlerini incelemiştir. Elde edilen performans verileriyle dizel yakıtın performans verileri arasında önemli bir farkın olmadığını gözlemlemiştir. Ayrıca soya yağı esterleri kullanıldığında HC, CO ve PM değerlerinin de dizel yakıta benzerlik gösterdiğini belirtmiştir.

Culshaw [5] dizel makine üzerinde hiçbir modifikasyon yapmadan yakıt olarak kolza yağının metil esterini kullanarak makinanın performans değerlerini incelemiştir. Kullanılan yakıtın yoğunluğu, setan sayısı, ısıl değeri gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtın özelliklerine çok benzer olduğu için dizel makinada bu yakıtı tercih etmiştir. Performans verileri dikkate alındığında, makinanın gücünde dizel yakıt kullanımına oranla %5'e varan güç kaybı görülmüştür.

Schlick, Hamma ve Schinstock [6], ayçiçek ve soya yağlarının %25 oranında dizel yakıtla karışımını kullanarak, dizel makinanın performans verilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada ayçiçek yağı – dizel yakıt karışımının özgül yakıt tüketiminin soya yağı – dizel yakıt karışımından daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durumunda yapılan çalışmada verilen ayçiçek yağı, soya yağı ve dizel yakıtın ısıl değerleri ve yoğunlukları arasındaki farka bağlı olduğu belirtilmiştir.

Özaktaş ve diğerleri [7] mısır yağı, soya yağı ve ayçiçek yağını %20 ila %80 arasındaki oranlarda dizel yakıtla karıştırarak bir dizel makinanın performans verilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada, özgül yakıt tüketimi, motorun gücü ve verimi gibi parametreleri kullanarak yakıtlardan elde edilen değerleri karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, bitkisel yağların dizel yakıtın yerine kullanılabileceği görülmüştür.

Altın [8] tek silindirli bir motorda ayçiçek ve soya yağları ve bunların metil esterlerini saf olarak veya dizel motorla karıştırarak kullanmıştır. Karışım oranlarını; %50'şer soya yağı - dizel yakıt, %50'şer ayçiçek yağı - dizel yakıt, %50'şer soya yağı metil esteri – dizel yakıt ve %50'şer ayçiçek yağı metil esteri – dizel yakıt

olarak belirlemiştir. Motoru değişik şartlar altında çalıştırarak motorun performans verilerini elde etmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, soya ve ayçiçek yağlarının ve bunların metil esterlerinin yakıt olarak kullanıldığı durumlardaki performans verilerinin dizel yakıta yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

İlkılıç [9], tek silindirli dizel makinanın yakıt olarak ayçiçek yağı metil esteri kullanılması durumundaki performans değerlerini incelemiştir. Enjeksiyon basınç değerlerini değiştirerek makine verilerini elde etmiş ve bu verilere göre özgül yakıt tüketiminde artış olduğunu tespit etmiştir. Bu artışın sebebinin, ayçiçek yağı metil esterinin viskozitesinin yüksek ve alt ısıl değerinin düşük olmasından kaynaklandığını belirtmiştir.

Yamık [10], ayçiçek yağının metil ve etil esterlerini tek silindirli dizel motorda kullanmış ve değişik devir sayılarında yükü sabit tutarak ve devir sayısını sabit tutup yükü değiştirerek deneyler yapmıştır. Yükün sabit tutulup devir sayısının değiştirildiği deneylerde ayçiçek yağı etil ester yakıt performans değerlerinin dizel yakıt ve ayçiçek yağı metil ester yakıt performans değerlerinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda ayçiçek yağı metil esterinin özgül yakıt tüketim değerlerinin dizel yakıt özgül yakıt tüketim değerlerine yakın olduğu görülmüştür.

Agarwal ve diğerleri [11], keten tohumu yağı kullanarak elde ettikleri biyodizel yakıtı dizel makinada kullanarak, makinanın performans verilerini ölçmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre %20 oranında biyodizel içeren yakıt karışımı kullanıldığında makine performansında iyileşme görmüşlerdir. Yakıt oranını bu şekilde seçtiklerinde termal verimin %2,5 oranında arttığını ve özgül yakıt tüketiminin azaldığını belirtmişlerdir.

Kaplan [12], ayçiçek yağı metil esterini dizel makinada kullanarak performans verilerini elde etmiştir. Bu verilere göre, ayçiçek yağı metil esteri kullandığında dizel yakıta oranla motorun gücünde %1 ile %10 arasında güç kaybı olduğu ve özgül yakıt tüketiminin de dizel yakıta oranla %2 ile %5 arasında daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumların sebebini, ayçiçek yağı metil esterinin alt ısıl değerinin dizel yakıttan düşük olması ve viskozitesinin dizel yakıttan yüksek olması olarak bildirmişlerdir.

Kalligeros ve diğerleri [13], tek silindirli dizel motorda zeytinyağı ve ayçiçek yağından üretilmiş biyodizel yakıt ve gemi yakıtını kullanmışlardır. Gemi yakıtıyla

biyodizel yakıtları %10, %20 ve %50 oranlarında karıştırarak performans değerlerini karşılaştırmışlardır. Bu iki biyodizel yakıtın performansları birbirine eşit bulunmuş, fakat özgül yakıt tüketim değerlerinin gemi yakıtına oranla arttığını gözlemlemişlerdir.

Silvio ve diğerleri [14] ayçiçek yağı metil esterini, dizel yakıtla %5 ve %30 oranlarında karıştırarak "Volvo" marka otobüs motorunda kullanmışlardır. Elde edilen performans değerlerine göre karışım oranındaki biyodizel yakıtın artmasıyla motorun güç değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Güçteki bu düşüş %30 oranında biyodizel bulunan bulunan karışım kullanıldığın %2,4 olarak bulunmuştur. Özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise önemli bir farklılık görülmediği bildirilmiştir.

Ramadhas ve diğerleri [15], dizel makinada kauçuk tohumundan elde edilmiş biyodizelin dizel yakıtla karışımının kullanılması durumunda makine performans verilerini incelemişlerdir. %50 oranında biyodizel – dizel yakıt karışımının, sadece dizel yakıt kullanılmasına oranla silindir içerisinde daha fazla karbon birikintisi yaptığını belirtmişlerdir.

Lee ve diğerleri [16], hacim olarak %20 ve %40 oranında pirinç yağı ve soya yağı içeren yakıt karışımını dizel motorda kullanarak, yakıt karışımının özelliklerinin dizel motor performansına etkilerini incelemişlerdir. Biyodizel yakıt karışımlarının dizel yakıta oranla viskozite değerlerinin yüksek olmasının silindir içinde yakıtın atomizasyonunu olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca viskozite değerinin yüksek olmasının yakıtın enjeksiyon hızını düşürdüğü de bildirilmiştir.

Çetinkaya ve diğerleri [17], bir otomobil dizel motorunda atık yemeklik yağdan üretilmiş biyodizel yakıt kullanarak motorun performans değerlerini incelemişlerdir. Elde edilen verilerde atık yemeklik yağdan üretilmiş biyodizel yakıt kullanıldığında makinanın gücünde dizel yakıt kullanımına kıyasla %2 oranında bir düşüş gözlenmiştir. Aynı zamanda biyodizel yakıt kullanıldığı durumlarda enjektörlerde karbonlaşma olduğu belirtilmiştir.

Akdere [18], soya yağı metil esterini direkt püskürtmeli dizel makinada kullanarak makinanın peformans değerlerini araştırmıştır. Soya yağı metil esteri kullanımındaki performans değerleriyle dizel yakıt kullanımındaki performans değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, soya yağı metil esteri kullanıldığında makinanın güç değerlerinde %1.98 oranında bir düşüş ve makinanın özgül yakıt

tüketiminde %13.37 oranında artış gözlenmiştir. Soya yağı metil esteri kullanılan durumda püskürtme avansının öne çekilmesiyle makinanın güç değerinde bir artış ve özgül yakt tüketiminde ise azalma tespit edilmiştir. Püskürtme avansının geciktirilmesi durumunda da makine güç değerlerinde azalma ve özgül yakıt tüketimi değerlerinde artma tespit edilmiştir.

Altıparmak ve diğerleri [19], kağıt fabrikalarında yan ürün olarak elde edilen tall yağından biyodizel üretmişler ve bu biyodizel yakıtı dizel makinada kullanarak makinanın perfomans değerlerini incelemişlerdir. Ürettikleri biyodizel yakıtı %90 oranında dizel yakıtla karıştırarak kullanmışlar ve değişik devir sayılarında makinanın performans verilerini elde etmişlerdir. Bu verilere göre, makinanın güç değerlerinde %2.94 oranına kadar azalmalar ve makinanın özgül yakıt tüketimi değerlerinde %7.63 oranında artmalar olduğu tespit edilmiştir.

Mulenga [3], kanola yağı, soya yağı ve atık yemek yağlarından üretilmiş biyodizel yakıtları tek silindirli direkt püskürtmeli dizel motorda kullanarak makine performans verilerini elde etmiştir. Elde ettiği sonuçlara göre, biyodizel yakıtları kullandığında dizel yakıta oranla ortalama efektif basınç ve efektif güç verilerinde düşüş olduğunu gözlemlemiştir.

Çanakçı [20], soya yağından yapılan biyodizel yakıt ve iki çeşit dizel yakıtı bir dizel makinada kullanarak, motorun sabit devir sayısı ve tam yük durumundaki performans değerlerini elde etmiştir. Biyodizel yakıt kullanımında motorun özgül yakıt tüketiminin %13.8 oranında arttığını gözlemlemiş ve bu durumu biyodizel yakıtın alt ısıl değerinin düşük olmasına bağlamıştır. Aynı zamanda biyodizel yakıtların makinada modifikasyon yapılmadan kullanılabileceğini de belirtmiştir.

2. BİYODİZEL YAKIT

Bitkisel yağlar, setan sayıları, buharlaşma ısıları ve sitokiyometrik hava/yakıt oranlarının dizel yakıta yakın olması sebebiyle dizel yakıt yerine kullanılabilirler [11]. Fakat viskozitesinin yüksek olması, alt ısıl değerinin düşük olması gibi özelliklerinden kaynaklı olarak içten yanmalı makinalarda kullanılmaları çok verimli değildir [21]. Bunun için bitkisel yağlar, yakıt olarak kullanılmadan önce ısıl, biyolojik veya fiziksel süreçlerden geçirilerek fiziksel ve kimyasal özelliklerinde iyileşmeler sağlanır [22]. Aynı şekilde hayvansal yağlar ve atık yağlarda çeşitli işlemlerden geçirilerek alt ısıl değer, viskozite gibi yakıt özellikleri iyileştirilerek içten yanmalı makinalarda yakıt olarak kullanılabilirler. Bu bilgiler ışığında biyodizel, bitkisel ya da hayvansal yağların ve bunların artıklarının alkollerle reaksiyona sokularak yakıt formuna getirilmiş şekli olarak tanımlanabilir [23].

Biyodizel yakıtların petrol türevi alışagelmiş dizel yakıtlara kıyasla çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Sıvı şekilde taşınabilir olmaları, ısıl değerlerinin dizel yakıtın ısıl değerlerine yakın olması, düşük oranda sülfür içermeleri, düşük aromatik yapı içermeleri, biyolojik olarak bozunabilir olmaları, setan sayılarının dizel yakıtın setan sayısına benzer olması, üstün yağlayıcı özelliklere sahip olmaları, yüksek parlama noktaları sayesinde kolay depolanabilir olmaları ve içerdikleri oksijen moleküllerinden kaynaklı karbon emisyonlarının düşük olması biyodizel yakıtların avantajları olarak belirtilmektedir [24]. Ayrıca biyodizel yakıtlar dizel yakıt ile oldukça iyi bir şekilde homojen olarak karışabilmekte ve karışım kararlı halde kalabilmektedir [25].

Biyodizel yakıtların yukarıda belirtildildiği gibi birçok avantajının olmasının yanı sıra dezavantajlarıda bulunmaktadır. Makine aksamındaki plastik boru ve contaları olumsuz yönde etkilemesi, donma noktasının yüksek olmasından dolayı soğuk iklimlerde kullanılabilirliğinin az olması, yüksek viskozite değerlerine sahip olması, düşük buharlaşma değerlerine sahip olması, doymamış hidrokarbon zincirlerinin reaktif olması ve dizel yakıtla karşılaştırıldığında yüksek özgül yakıt tüketim

değerlerine sahip olması biyodizel yakıtların dezavantajları olarak görülmektedir [24,25].

2.1 Biyodizel Yakıtların Üretim Yöntemleri

Bitkisel yağlar doğrudan dizel makinalarda kullanıldıklarında özellikle viskozite ve yoğunluklarının yüksek olmasından kaynaklı hem makinalardan alınan verimde düşüşe hem de makine parçalarında aşınma ve arızalara neden olurlar. Çizelge 2.1'de bazı bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir. Çizelgeden de görülebileceği üzere bitkisel yağların kinematik viskoziteleri dizel yakıta kıyasla oldukça yüksektir. Aynı zamanda yoğunlukları da dizel yakıttan fazladır. Bitkisel yağların viskozite ve yoğunluk değerlerini düşürerek daha sağlıklı bir yakıt elde etmek için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları piroliz, mikroemülsifikasyon ve transesterifikasyon yöntemleridir

Çizelge 2.1: Bitkisel yağların özellikleri [24].

Bitkisel Yağ	38^0C'deki Kinematik Viskozite (mm^2/s)	Setan Sayısı	Isıl Değer (MJ/kg)	Donma Noktası (^{0}C)	Akma Noktası (^{0}C)	Parlama Noktası (^{0}C)	Yoğunluk (kg/l)
Mısır	34.9	37.6	39.5	-1.1	-40.0	277	0.9095
Pamuk Tohumu	33.5	41.8	39.5	1.7	-15.0	234	0.9148
Ak yumak	53.6	44.6	40.5	10.0	-12.2	274	0.9480
Keten Tohumu	27.2	34.6	39.3	1.7	-15.0	241	0.9236
Yer Fıstığı	39.6	41.8	39.8	12.8	-6.7	271	0.9026
Kolza Tohumu	37	37.6	39.7	-3.9	-31.7	246	0.9115
Aspir	31.3	41.3	39.5	18.3	-6.7	260	0.9144
Susam	35.3	40.2	39.3	-3.9	-9.4	260	0.9133
Soya Fasulyesi	32.6	37.9	39.6	-3.9	-12.2	254	0.9138
Ayçiçeği	33.9	37.1	39.6	7.2	-15.0	274	0.9161
Hurma Ağacı	39.6	42	-	31.0	-	267	0.9180
Babasu	30.3	38	-	20.0	-	150	0.9460
Dizel	3.06	50	43.8	-	-16.0	76	0.8550

2.1.1 Piroliz

Piroliz, organik maddelerin reaktif olmayan bir ortamda ısı enerjisi verilerek eş zamanlı ve başarılı reaksiyonların gerçekleşmesiyle oluşan kimyasal değişimler olarak tanımlanabilir [22]. Pirolizde; karbon, hidrojen ve oksijen bileşiklerinden oluşan uzun zincirler bozunarak kısa zincirli bileşimler oluşur ve organik maddelerin viskozite değerlerinde azalmalar görülür.

Piroliz çok uzun yıllardan beri kullanılmakta olan bir yöntemdir, fakat piroliz sürecinin çok uzun olması ve elde edilen ürün miktarının yetersizliği bu yöntemin maliyetinin yüksek olmasına yol açmaktadır [22].

2.1.2 Mikroemülsifikasyon

Mikroemülsiyonlar; yağın, suyun, yüzey aktif maddenin ve diğer amfifilik moleküllerin izotropik, saydam veya yarı şeffaf termodinamik olarak kararlı dağılımıdır [26]. Bitki yağından, ester ve seyrelticiden veya bir alkol ve yüzey aktif maddeden mikroemülsiyon elde edilebilir [26].

Bu yöntemle hazırlanan biyodizel yakıtların yapısında alkol bulunmaktadır. Yapısında alkol bulunan yakıtların ısıl değerleri dizel yakıtın ısıl değerinden düşüktür, bu da makine gücünde düşüşe yol açar [27].

2.1.3 Transesterifikasyon

Transesterifikasyon, yağın katalizör kullanılarak alkolle reaksiyona sokulması işlemidir. Reaksiyona alkol, katalizör ve yağ girerken; reaksiyondan alkol, suni gübre, gliserin ve yağın metil esteri çıkmaktadır [24]. Bu yöntemde kayıp olmadığından ve viskozitenin azaltılmasında en etkili yöntem olduğundan çok kullanılan bir yöntemdir. Çizelge 2.2'de transesterifikasyon işlemi kullanılarak üretilmiş bitkisel yağ metil esterlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmektedir. Tablodaki değerlerden de görüldüğü üzere bu işlem uygulanarak üretilmiş biyodizel yakıtların özellikle viskozite ve yoğunluk değerleri dizel yakıtın viskozite ve yoğunluk değerlerine oldukça yakındır.

Çizelge 2.2 : Biyodizel yakıt özellikleri [24].

Bitkisel Yağ Metil Esteri (Biyodizel)	Kinematik Viskozite (mm^2/s)	Setan Sayısı	Alt Isıl Değer (MJ/kg)	Donma Noktası (^0C)	Akma Noktası (^0C)	Parlama Noktası (^0C)	Yoğunluk (kg/l)
Yer Fıstığı	4.9	54	33.6	5	-	176	0.883
Soya Fasulyesi	4.5	45	33.5	1	-7	178	0.885
Hurma Ağacı	5.7	62	33.5	13	-	164	0.880
Ayçiçeği	4.6	49	-33.5	1	-	173	0.860
İç Yağ	-	-	-	12	9	96	-
Dizel	3.06	50	43.8	-	-16	76	0.855
%20 Karışım Oranında Biyodizel	3.2	51	43.2	-	-16	128	0.859

2.2 Biyodizel Yakıt Özellikleri

Biyodizel yakıtların alt ısıl değerleri çizelge 2.2'de de görülebileceği gibi dizel yakıttan daha düşüktür. Biyodizel yakıtların ısıl değerlerinin düşük olması makinanın özgül yakıt tüketim değerlerini arttırmaktadır. Biyodizel yakıtın ısıl değerinin düşük olmasının nedeni bileşiminde bulunan oksijenden kaynaklanmaktadır [28].

Biyodizel yakıtların yoğunluğu dizel yakıta göre daha yüksektir. Ayrıca daha önce değinildiği ve çizelge 2.2'de görüldüğü üzere biyodizel yakıtların viskozite değerleri dizel yakıtların viskozite değerlerine göre daha yüksektir. Yakıtın viskozitesinin yüksek olması enjeksiyon ucundaki püskürtme hızı ve yakıtın parçalara ayrılması yani atomizasyonu olumsuz şekilde etkiler [16]. Atomizasyonun kötü olması yanma verimini düşüren bir durumdur. Ayrıca viskozite değerinin yüksek olması yağlama yağının bozulmasına ve segmanlarda karbon birikintisine yol açar [23].

Dizel makinalarda kullanılan yakıtların tutuşma kalitesinin ölçüsü setan sayısıdır. Başka bir deyişle setan sayısı yüksek olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi azalır. Biyodizel yakıtların setan sayıları dizel yakıtın setan sayılarına göre daha yüksektir. Bu durum biyodizel yakıtın tutuşmasının dizel yakıta oranla daha iyi olmasını sağlar. Ayrıca dizel yakıtla karıştırılan biyodizel yakıt karışımdaki setan sayısını

yükselteceği için karışımın tutuşma sıcaklığı düşer ve yakıtın yanma kalitesinde olumlu bir etki yaratır.

Biyodizel yakıtın düşük buharlaşma değerlerine ve yüksek akma noktasına sahip olması soğuk havalarda biyodizel yakıtta donmaya sebep olabilir. Bu durum pompa ve enjektörlerde tıkanmaya sebep olup makinanın çalışmamasına neden olabilir.

3. SİLİNDİRDEKİ GÜÇ STROKUNUN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

3.1 Hava – Yakıt Reaksiyon Denklemi

Dizel motorlardaki güç strokunun matematiksel modeli oluşturulurken Özsoysal [29] ve Sağ [30] tarafından yapılan çalışmalar referans alınmıştır.

Özsoysal [29] tarafından yapılan çalışmada bahsedildiği gibi bir zaman adımı sonunda silindir içerisindeki gazın taşıdığı özellikler tahmin edilerek güç stroku termodinamik hesapları yapılır. Zaman adımı boyunca açığa çıkan enerji hesaplanır. Bir iteratif veya ardışık yaklaşım metodu kullanılarak silindir etrafında kontrol yüzeyi oluşturularak termodinamiğin birinci kanunu ile bir enerji dengelemesi kurulur. Zaman adımı sonundaki gaz özelliklerinin tahmini, işlem sonunda istenilen doğruluğa erişilinceye kadar yinelenerek işlem tekrar çözülür [29].

Bu çalışmada, dizel motorun güç stroku matematiksel modellemesi için adımsal yaklaşım metodu kullanılmıştır. Bu metotta temel hava – yakıt reaksiyon denklemleri ve kimyasal denge prensipleri kullanılmaktadır. Temel hava – yakıt reaksiyon denklemi aşağıda verilmektedir.

$$C_nH_m + (n + m/4)\,O_2 \rightarrow n\,CO_2 + m/2\,H_2\,O \qquad \textbf{(3.1)}$$

Bu çalışmada, biyodizel ile dizel yakıt karışımından oluşan yakıtlar incelenmiştir. Yakıt karışımlarında biyodizel olarak soya yağı bazlı B40 biyodizeli ve kanola yağı bazlı B100 biyodizeli kullanılmıştır. Soya yağı bazlı B40 biyodizelinin özellikleri Çizelge 3.1 ‘de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Soya yağı bazlı B40 kodlu biyodizel yakıtın özellikleri [31].

Parametre	Değer
İndirgenmiş Kimyasal Formül	$C_{16.15}\ H_{30.38}\ O_{0.8}$
Yoğunluk (kg/m^3)	856
Setan Sayısı	~47
Kinematik Viskozite (cSt)	3.01
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	40.6

Özellikleri Çizelge 3.1'de verilen B40 biyodizel yakıtın %40 oranında dizel yakıtla karışımının oluşturduğu hava – yakıt reaksiyonu denklemi (3.2) nolu denklemde verilmiştir.

$$(0.6\,C_nH_m + 0.4\,C_{16.15}H_{30.38}O_{0.8}) + (0.6n + 0.15m + 9.338)\,O_2 \rightarrow (0.6n + 6.46)\,CO_2 + (0.3m + 6.076)\,H_2O \quad \textbf{(3.2)}$$

(3.2) nolu denklemde verildiği gibi B40 biyodizel yakıtın her oranda dizel yakıtla karışım denklemi benzer şekilde temel hava – yakıt reaksiyonu denkleminde kimyasal denge sağlanarak oluşturulabilir.

Çizelge 3.2'de kanola yağı bazlı B100 biyodizel yakıtın özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Kanola yağı bazlı B100 kodlu biyodizel yakıtın özellikleri [3].

Parametre	Değer
İndirgenmiş Kimyasal Formül	$C\ H_{1.88}\ O_{0.11}$
Yoğunluk (kg/m^3)	883.8
Setan Sayısı	53.6
Kinematik Viskozite (cSt)	4.4
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	37.8

Kanola yağı bazlı B100 biyodizel yakıtın %40 oranında dizel yakıtla karışımının oluşturduğu hava – yakıt reaksiyon denklemi (3.3) nolu denklemde verilmiştir.

$$(0.6\,C_nH_m + 0.4\,CH_{1.88}O_{0.11}) + (0.6n + 0.15m + 0.566)\,O_2 \rightarrow (0.6n + 0.4)\,CO_2 + (0.3m + 0.376)\,H_2O \quad \textbf{(3.3)}$$

B40 biyodizelle benzer şekilde B100 biyodizel yakıtın da her oranda dizel yakıtla oluşturduğu karışım denklemleri hava – yakıt reaksiyon denklemlerinin kimyasal dengeleri sağlanarak oluşturulabilir.

3.2 Yanma Sonucu Oluşan Moleküler Değişim

Bu aşamadan sonra %60 dizel yakıt %40 B40 biyodizel yakıt içeren karışım için matematiksel model oluşturulmuştur. Daha önceden bahsedildiği gibi oluşturulan karışımın hava – yakıt denklemleri kullanılarak matematiksel model bütün karışım oranları için rahatlıkla çözülebilir.

1 mol yakıt karışımının yanmasıyla denklemdeki mol sayısı artış miktarı M_p ile gösterilirse M_p:

$$\begin{aligned} M_p &= (0.6n + 6.46) + (0.3m + 6.076) - (0.6n + 0.15m + 9.338) \\ &= 0.15m + 3.198 \end{aligned} \quad \textbf{(3.4)}$$

Karbon ağırlık oranı Ca olarak gösterilirse:

$$Ca = \frac{12.01n}{12.01n + 1.008m} \quad \textbf{(3.5)}$$

(3.4) nolu denklemden m ve (3.5) nolu denklemden n değerleri bulunabilir.

$$m = \frac{M_p - 3.198}{0.15} \quad \textbf{(3.6)}$$

$$n = \frac{6.72\,Ca\,M_p - 21.49Ca}{12.01(1 - Ca)} \quad \textbf{(3.7)}$$

(3.2), (3.6) ve (3.7) nolu denklemler kullanılarak su buharı ve karbondioksitin mol artımları yazılırsa:

$$M_{H_2O} = 2M_p + 0.32 \quad \textbf{(3.8)}$$

$$M_{CO_2} = \frac{4.032\,Ca\,M_p - 12.89\,Ca}{12.01(1 - Ca)} \quad \textbf{(3.9)}$$

Karışımda kullanılan dizel yakıtın kütlesini 0.6 w_f kg olarak kabul edersek; dizel yakıttaki karbonun kütlesi 0.6 w_f Ca kg ve hidrojenin kütlesi ise 0.6 w_f (1-Ca) kg olarak yazılabilir. Buradan da karışımda bulunan dizel yakıttaki karbonun mol oranı (Ca/12.01) 0.6 w_f kg – mol ve hidrojenin mol oranı ((1-Ca)/1.008) 0.6 w_f kg – mol şeklinde yazılabilir.

%60 dizel - %40 B40 biyodizelden oluşan yakıt karışımının M_a kg – mol hava ile yanması sonucu, hava mol sayısı üzerindeki mol sayısı artışı:

$$M_p = 0.09\, w_f \left(\frac{1-Ca}{1.008}\right) + 3.198 \qquad \textbf{(3.10)}$$

Toplam yanma sonu ürünlerini M_T olarak gösterecek olursak:

$$M_T = M_a + M_p \qquad \textbf{(3.11)}$$

3.3 Yanma Sonucu Oluşan Artık Gaz Miktarları

Yanma sonu ürünleri M_T:

$$M_T = \frac{P_C\, V_C}{T_C} \frac{100}{8.3143} \qquad \textbf{(3.12)}$$

İdeal gaz denkleminden bulunabilir. c indisi silindiri belirtmektedir. Yanma sonunda oluşan artık gazların miktarını M_R ile gösterecek olursak M_R:

$$M_R = M_T - M_A \qquad \textbf{(3.13)}$$

Olarak gösterilebilir. Artık gazın içerisinde çeşitli gazlar bulunmaktadır. Bu gazlar azot, su buharı, karbondioksit ve oksijen'dir. Bu gazların mol oranları aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$M_{N_2} = 0.79 \left(\frac{M_A}{M_A + M_P}\right) M_R \qquad (kg - mol) \qquad \textbf{(3.14)}$$

$$M_{H_2O} = \left(\frac{2M_P - 0.32}{M_A + M_P}\right) M_R \qquad (kg - mol) \qquad \textbf{(3.15)}$$

$$M_{CO_2} = \left(\frac{\frac{4.032\, Ca\, M_P - 12.89\, Ca}{12.01(1-Ca)} + 6.46}{M_A + M_P}\right) M_R \qquad (kg - mol) \qquad \textbf{(3.16)}$$

$$M_{O_2} = \frac{0.21}{0.79} M_{N_2} - (M_{CO_2} + \frac{M_{H_2O}}{2}) \qquad (kg - mol) \qquad \textbf{(3.17)}$$

3.4 Silindir İçinde Alıkonulan Mol Miktarları

Silindirdeki zaman aralığının başlangıcındaki azot, oksijen, su buharı ve kabondioksitin mol miktarları aşağıda verilmiştir. Burada i indisi zaman aralığının başlangıcını, f indisi ise zaman aralığının sonunu belirtmektedir.

$$[M_{N_2}]_i = 0.79\, M_A \frac{M_A + M_P + M_R}{M_A + M_P} \qquad (kg - mol) \qquad \textbf{(3.18)}$$

$$[M_{O_2}]_i = \frac{0.21}{0.79} [M_{N_2}]_i - (M_{CO_2} + \frac{M_{H_2O}}{2}) \qquad (kg - mol) \qquad \textbf{(3.19)}$$

$$[M_{H_2O}]_i = M_{H_2O} \qquad (kg - mol) \qquad \textbf{(3.20)}$$

$$[M_{CO_2}]_i = M_{CO_2} \qquad (kg - mol) \qquad \textbf{(3.21)}$$

Silindirde alıkonan toplam kütle miktarı m_c; molekül ağırlıkları m_w; N_2, O_2, CO_2 ve H_2O sırasıyla j ile gösterilirse:

$$m_c = \sum_{j=1}^{4} m_w(j)\, M_i(j) \qquad kg \qquad \textbf{(3.22)}$$

Alıkonan hava / yakıt oranı, alıkonan kütle / yakıt oranı ve efektif hava / yakıt oranı sırasıyla denklem (3.23)'te verilmiştir.

$$\begin{matrix} 28.967\ M_A / w_f \\ m_c / w_f \\ [(32/23)\, M_{O_2}\, 100\,] / w_f \end{matrix} \qquad \textbf{(3.23)}$$

Zaman aralığında silindire gönderilen yakıt miktarı dw_f ve dw_f miktar yakıtın verdiği ısı miktarı dq_f olarak gösterilirse:

$$X = 0.15\ (0.6\, dw_f\ (\frac{1 - Ca}{1.008})) \qquad \textbf{(3.24)}$$

$$Y = 0.6\ (0.6\,dw_f\ (\frac{Ca}{12.01})) \tag{3.25}$$

(3.24) ve (3.25) denklemlerini kullanarak zaman aralığı sonunda gazların mol değerlerini aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$[M_{O_2}]_f = [M_{O_2}]_i - X - Y - (9.338\ \frac{0.4\,dw_f}{32}) \tag{3.26}$$

$$[M_{CO_2}]_f = [M_{CO_2}]_i + Y + (6.46\ \frac{0.4\,dw_f}{44.01}) \tag{3.27}$$

$$[M_{H_2O}]_f = [M_{H_2O}]_i + 2X + (6.076\ \frac{0.4\,dw_f}{18.016}) \tag{3.28}$$

Zaman aralığı sonundaki gaz sıcaklığı değerini T_f ile gösterirsek T_f:

$$T_f = T_i\ (\frac{V_i}{V_f})^{0.4} + 4\frac{dq_f}{m_c} \tag{3.29}$$

Zaman aralığı ortalama özellik değerlerini m indisi ile gösterirsek; ortalama özellik değerleri:

$$[m_c]_f = [m_c]_i + dw_f \tag{3.30}$$

$$M_m = 0.5[M_f + M_i] \tag{3.31}$$

$$(m_c)_m = 0.5\ [(m_c)_i + (m_c)_f] \tag{3.32}$$

$$\rho_m = \frac{m_{c_m}}{V_{c_m}} \tag{3.33}$$

$$T_m = 0.5[T_f + T_i] \tag{3.34}$$

3.5 Silindirde Güç Çevrimi Boyunca Isı Geçişi

Silindirde konveksiyon yolu ile ısı geçiş miktarları Annand ilişkileri ile hesaplanır. Evrensel gaz sabitini R ve sabit basınçtaki özgül ısı değerini c_p ile gösterirsek c_p:

$$c_p = \frac{\sum_{j=1}^{4} M_m(j)\ c_p(j)}{m_{c_m} / R} \tag{3.35}$$

a, b, c ve d polinom katsayıları olarak gösterilirse c_p :

$$c_p(j) = R\,(a + 2bT + 3cT^2 + 4dT^3) \tag{3.36}$$

Viskozite değeri μ ile gösterilirse μ:

$$\mu = [\frac{\sum M_m(j)\ \sqrt{m_w}(j)\ Z_{katsayı}(j)}{\sum M_m(j)\ \sqrt{m_w}(j)}]\ T_m^{0.645} \tag{3.37}$$

Prandtl sayısı 0.7 alınır ve kondüksiyon ısı iletim katsayısı k_q ile gösterilirse k_q:

$$k_q = \frac{c_p\ \mu}{0.7} \tag{3.38}$$

Piston hızını V_p ve Reynolds sayısını Re ile gösterirsek Re:

$$Re = \frac{\rho_m\ V_p\ D_c}{\mu} \tag{3.39}$$

Annand ısı iletim katsayıları a ve b, ısı iletim katsayısı h ile gösterilirse h:

$$h = \frac{a\ k_q\ Re^b}{D_c} \tag{3.40}$$

Isıtılan toplam yüzey alanı F, motor devir sayısı RPM ve gazlardan geçen ısı miktarı dq_c ile gösterilirse dq_c:

$$d_{q_C} = \frac{F\ h\ (T_m - T_w)}{360\,RPM} \tag{3.41}$$

Işınım ile ısı geçişi dq_r ile gösterilir ise ve burada c Annand ısı iletim katsayını göstermekte ise dq_r:

$$d_{q_r} = \frac{F\ c\ (T_m^{\ 4} - T_w^{\ 4})}{360\,RPM} \tag{3.42}$$

Pistonun emme stroku sırasında belli zaman aralığında yapılan iş dW_A ile gösterilirse dW_A:

$$dW_A = 0.5\,(P_f + P_i)\,(V_{fA} - V_{iA}) \tag{3.43}$$

Pistonun egzoz stroku sırasında belli zaman aralığında yapılan iş dW_E ile gösterilirse dW_E:

$$dW_E = 0.5\,(P_f + P_i)\,(V_{fE} - V_{iE}) \tag{3.44}$$

(3.43) ve (3.44) denklemleri ve ideal gaz denklemi kullanılarak zaman aralığı sonundaki basınç değeri P_f olarak bulunur.

$$P_f = \frac{P_i\ V_i\ M_f\ T_f}{V_f\ M_i\ T_i} \tag{3.45}$$

u_0 ve u(T); sırasıyla 0(K) ve T(K) sıcaklık değerlerindeki iç enerji değerleri olarak belirlenir ise termodinamiğin birinci kanunu (3.46) nolu denklemdeki gibi yazılabilir.

$$\sum_{\text{Bileşenler}} M[u_0 + u(T_i)] = \sum_{\text{Yanma Ürünleri}} M[u_0 + u(T_f)] + [dq_c + dq_r + dW_A + dW_e] \tag{3.46}$$

300 K sıcaklıkta $u(T_r)$ referans değer olarak kabul edilirse (3.41) nolu denklem aşağıdaki düzenlenebilir.

$$\begin{aligned}\sum_{\text{Bil.}} M[u_0 + u(T_r)] - \sum_{\text{Yan.Ür.}} M[u_0 + u(T_r)] \\ = \sum_{\text{Bil.}} M[u(T_f) - u(T_r)] \sum_{\text{Yan.Ür.}} M[u(T_i) + u(T_r)] + [dq_c + dq_r \\ + dW_A + dW_e]\end{aligned} \tag{3.47}$$

(3.47) nolu denklemde eşitliğin sol tarafı yakıtın ısıl değer ifadesidir.

$$\begin{aligned}u_f &= \sum M_f(j)\ u_f(j) \\ u_i &= \sum M_i(j)\ u_i(j)\end{aligned} \tag{3.48}$$

ve

$$u(j) = u(T) - u(T_r) \quad \text{veya}$$
$$u(j) = R[\,(a-1)T + bT^2 + cT^3 + dT^4\,] - u(T_r) \qquad \textbf{(3.49)}$$

(3.48) ve (3.49) nolu denklemler kullanılarak (3.47) nolu denklem tekrar yazılırsa:

$$dq_f = u_f - u_i + dq_c + dq_r + dW_A + dW_E \qquad \textbf{(3.50)}$$

(3.50) nolu nümerik olarak Newton – Raphson yöntemi ile çözülerek sonuç bulunur. Eğer bulunan sonuç hatalıysa (3.34) nolu denkleme dönülerek T_f değeri yeniden alınarak işlemler tekrar yapılır.

3.6 Silindir Etrafında Enerjinin Dengelenmesi

Isı akış yoğunluğu $d\dot{Q}$, güç $d\dot{W}$, giriş (emme) kütle debisi $d\dot{m}_i$, çıkış (egzoz) kütle debisi $d\dot{m}_e$, iç enerji u ve durulma entalpisi h_0 ile gösterilecek olursa silindir etrafında termodinamiğin birinci kanununa göre yazılabilecek denklem aşağıdaki gibi olur.

$$d\dot{Q} - d\dot{W}_s = \frac{\partial}{\partial t}(m_c\, u_c) + d\dot{m}_e\, h_{e_0} - d\dot{m}_i\, h_{i_0} \qquad \textbf{(3.51)}$$

Durulma entalpisinin tanımından (3.52)nolu denklem yazılır.

$$h_0 = \frac{a_0^{\,2}}{k-1}$$
$$m_c\, u_c = \frac{P_c\, V_c}{k-1} \qquad \textbf{(3.52)}$$

(3.52) nolu denklem kullanılarak (3.51) nolu denklem tekrar yazılacak olursa:

$$\frac{V_c}{k_c - 1}\frac{dP_c}{dt} = -\frac{k_c}{k_c - 1} P_c \frac{dV_c}{dt} + \frac{a_{i_0}^{\,2}}{k_i - 1}\frac{dm_i}{dt} - \frac{a_{c_0}^{\,2}}{k_e - 1}\frac{dm_e}{dt} + \frac{dQ}{dt} \qquad \textbf{(3.53)}$$

Boyutsuzlaştırma yapmak için aşağıdaki denklemler kullanılacak olursa:

$$V_c = \overline{V}_c\, V_{ref} \qquad a = A\, a_{ref}$$
$$P_c = r_c\, P_{ref} \qquad dt = dZ \frac{X_{ref}}{a_{ref}} \tag{3.54}$$
$$m = \overline{m}\, m_{ref}$$

emme ve egzos işlemlerini belirlemek için sırasıyla IN ve OUT indisleri kullanılarak (3.53) nolu denklem yeniden yazılacak olursa:

$$\frac{dr_c}{dZ} = -\frac{k_c - 1}{\overline{V}_c} k_{ref} \left[\frac{A_{IN0}^2}{k_{IN} - 1} \frac{d\overline{m}_{IN}}{dZ} - \frac{A_c^{\,2}}{k_c - 1} \frac{d\overline{m}_{out}}{dZ} - \frac{k_c}{k_c - 1} \frac{r_c}{k_{ref}} \frac{d\overline{V}_c}{dZ} + \frac{dQ}{dZ} \frac{1}{a_{ref}^2 m_{ref}}\right. \tag{3.55}$$

Silindir içindeki basıncın zamana göre değişimi termodinamiğin birinci kanununun silindire uygulanması ile aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{dr_c}{dZ} = -\frac{k_c - 1}{\overline{V}_c} k_{ref} \left[E_{IN} - E_{OUT} + E_{ISI}\right] - E_{HACIM} \tag{3.56}$$

3.7 Dolgu Değişimi Boyunca Silindirde Isı İletimi

Silindir içinde bulunan gaz bileşenlerinin özellikleri bilindiği için dolgu değişimi boyunca silindir içerisinde oluşan konveksiyonla ısı iletimi için Annand denklemleri kullanılır.

Çevrimde güç zamanı sonunda, silindir içerisindeki egzoz gazı bileşenleri yani N_2, O_2, CO_2 ve H_2O gazlarının kg – mol cinsinden değerleri bilinmektedir. Bu değerlerden her bileşenin ağırlık oranı bulunur. Kg – mol cinsinden mol miktarı M, kütle m, molekül ağırlığı m_w, hava a, silindir c, ağırlık oranı pc ve N_2, O_2, CO_2 ve H_2O sırasıyla 1'den 4'e kabul edilirse:

$$m_T = \sum_{i=1}^{4} m_{w_i} M_i$$
$$(m_{pc})_i = \frac{m_{w_i} M_i}{m_T} \tag{3.57}$$

Her bileşen için kg – mol cinsinden mol miktarları aşağıda verilmiştir.

$$M_1 = \frac{[0.77(m_a)_c + (m_{pc})_1(m_c - (m_a)_c)]}{m_{w_1}} \quad \textbf{(3.58)}$$

$$M_2 = \frac{[0.23(m_a)_c + (m_{pc})_2(m_c - (m_a)_c)]}{m_{w_2}} \quad \textbf{(3.59)}$$

$$M_3 = \frac{[(m_{pc})_3(m_c - (m_a)_c)]}{m_{w_3}} \quad \textbf{(3.60)}$$

$$M_1 = \frac{[(m_{pc})_4(m_c - (m_a)_c)]}{m_{w_4}} \quad \textbf{(3.61)}$$

Güç strokunda konveksiyonla ısı iletimi Annand ısı geçiş denklemleri kullanılarak bulunur. Annand ısı geçiş denklemi (3.62) nolu denklemde verilmiştir.

$$dQ = F\frac{a\, k_q\, Re^b}{D_c}(T_w - T_{gaz}) \quad \textbf{(3.62)}$$

4. SİMÜLASYON PROGRAMI SONUÇLARI VE GRAFİKLER

Üçüncü bölümde genel yanma denklemleri kullanılarak biyodizel yakıt karışımları için matematik model kurulmuştur. Kurulan matematik modelin sonuçlarını görmek amacıyla bilgisayar kodu yazılması gerekmiştir. Özsoysal [29] tarafından daha önceden geliştirilen bilgisayar kodu temel alınarak, bu kod üzerinde gerekli düzeltme ve düzenlemeler yapılmıştır. Kullanılan bilgisayar kodu Ek A'da verilmiştir.

Bilgisayar programında kullanılan soya fasulyesi bazlı B40 biyodizelinin ve kanola bazlı B100 biyodizelinin özellikleri sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir. Kullanılan standart dizelin özellikleriyse şöyledir; indirgenmiş kimyasal denklemi $CH_{1.825}$, alt ısıl değeri 42.8 MJ/kg ve yoğunluğu 832 kg/m^3'tür [29].

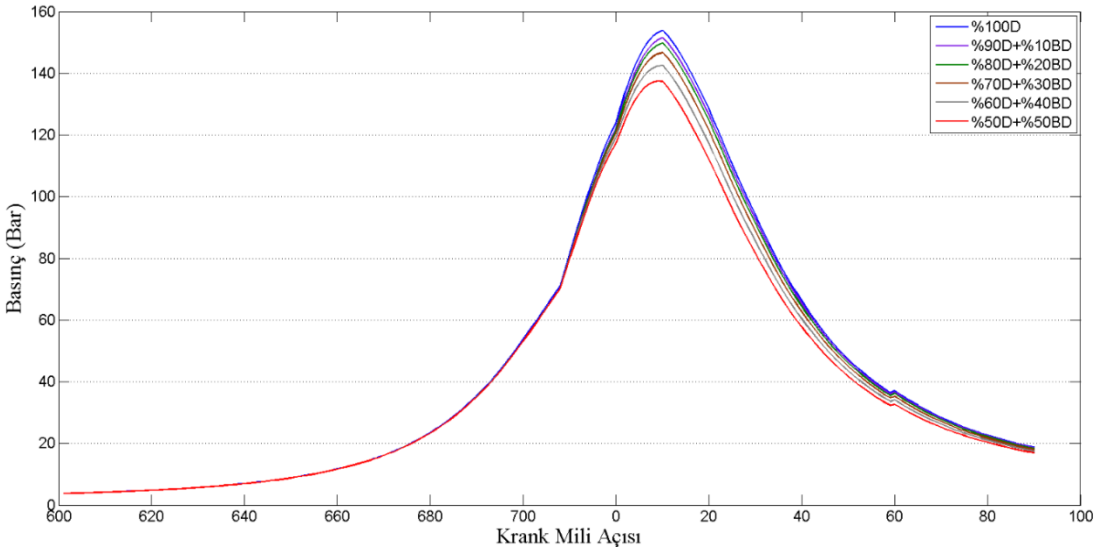
Bilgisayar kodu için uygun bir gemi dizel motoru datası elde edilmiş olup, bu motorun biyodizel yakıt yakması halindeki performansı teorik olarak grafiklerle ortaya konulmaya çalışılmıştır. Kullanılan motorun ana özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Motorun ana özellikleri [29].

Model	MTU 16V 396 TB 83
Güç	2620 HP
Hız	1900 RPM
Silindir Sayısı	16
Sıkıştırma Oranı	12.3
Strok Boyu	0.185 m

4.1 Kapalı Çevrim Grafikleri

B40 biyodizel yakıtın belirli oranlardaki karışımının yakılmasına göre ikinci silindirdeki kapalı çevrim basınç dağılımı Şekil 4.1'de verilmiştir. Bu grafikte basınç dağılımının yanma başlangıcı olan 708 krank mili açısına kadar bütün yakıt oranlarında aynı olduğu görülmüştür. Bu yüzden biyodizel yakıt karışımlarının etkilerinin daha iyi görülmesi için grafiğin ölçeği büyütülerek Şekil 4.2'de tekrar gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Kapalı Çevrim Basınç Dağılımı.

Şekil 4.2'de görüldüğü üzere B40 biyodizel yakıt oranının artmasıyla silindir içi basınçlarda düşüş gözlenmektedir. %100 dizel yakıtın yakılmasında en yüksek basınç 153.91 bar iken %10 oranında B40 biyodizel yakıt karışımında 151.50 bara düşmüş ve %1.56 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. Biyodizel yakıt karışım oranı %50'ye çıkarıldığında basınç 137.45 bara düşmüş ve %10.69 oranında bir azalma gerçekleşmiştir.

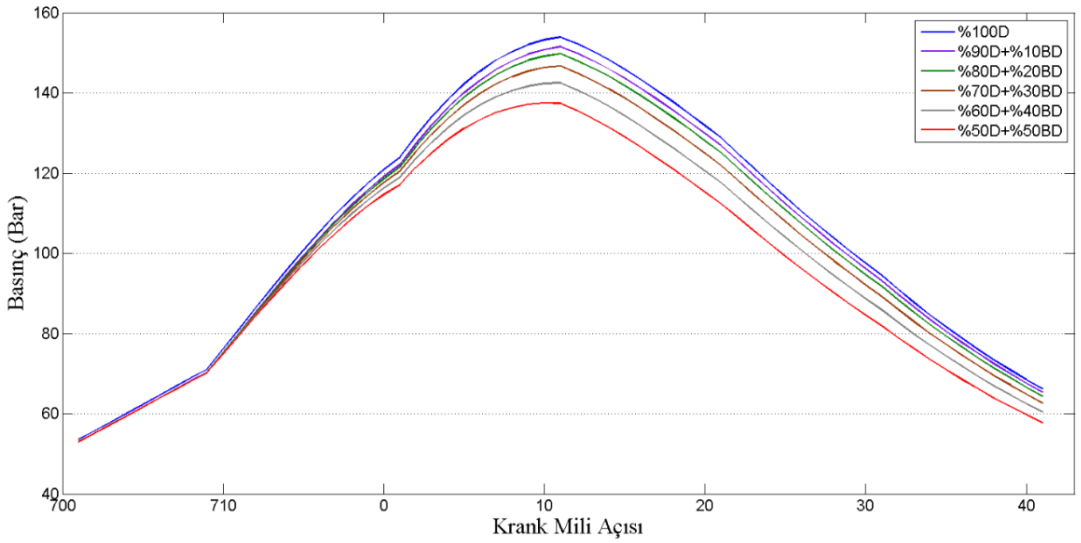
Standart dizel yakıta, %10 oranında B40 biyodizel yakıt karıştırılarak oluşturulan yakıtın alt ısıl değeri 42.58 MJ/kg olarak hesaplanmıştır. Standart dizel yakıta göre karışımın alt ısıl değerinde %0.52 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. %50 oranında B40 biyodizel yakıt karıştırılmasıyla alt ısıl değer 41.70 MJ/kg'a düşerek standart dizel yakıta göre %2.57 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. Alt ısıl değerdeki bu azalma neticesinde yakıttan alınan enerjide bir azalma olmuştur. Bu azalmanın silindir içerisindeki basıncın düşmesiyle ilişkisi olduğu görülmüştür.

Silindir içerisine 0.0004664 kg/çevrim yakıt püskürtülmektedir. Standart dizel yakıtın yoğunluğu 832 kg/m^3 iken %10 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışımın yoğunluğu 834.4 kg/m^3 ve %50 oranında B40 biyodizel yakıt bulunduran karışımın yoğunluğu 844 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. Yoğunlukların artmasından kaynaklı silindir içine püskürtülen yakıtın hacminde %10 ve %50 oranındaki karışımlarda sırasıyla %0.29 ve %1.41 oranında bir azalma olmuştur. Püskürtülen yakıtın hacminin azalmasıyla biyodizel yakıt karışımlarının silindir içindeki

atomizasyonunun azalacağı ve biyodizel yakıt karışımlarının yanma verimlerinin düşeceği düşünülmektedir [1].

Yanma denklemlerinden de görüleceği gibi biyodizel yakıt karışımlarının artık gaz miktarı standart dizel yakıta oranla daha fazladır. %10 oranında B40 biyodizel yakıt karışımının artık gazlarının mol miktarı standart dizel yakıttan %154; %50 oranında B40 biyodizel yakıt karışımının artık gazlarının mol miktarı ise %870 oranında daha fazladır. Artık gaz miktarının artmasıyla silindir içerisine emilen oksijen miktarında bir azalma gerçekleşeceği görülmüş ve bu durumun yanma veriminin ve silindir içi basıncın düşmesiyle ilişkisi olduğu görülmüştür.

Yakıt karışımlarında B40 biyodizel yakıt miktarının artmasıyla, silindir içi basınçlarda düşüş gözlenmektedir. Bu durumun bahsedildiği üzere alt ısıl değerdeki azalma, püskürtülen yakıt hacmindeki azalmadan kaynaklı atomizasyonun kötü oluşu ve artık gaz miktarındaki artma ile ilişkisi olduğu görülmüştür.



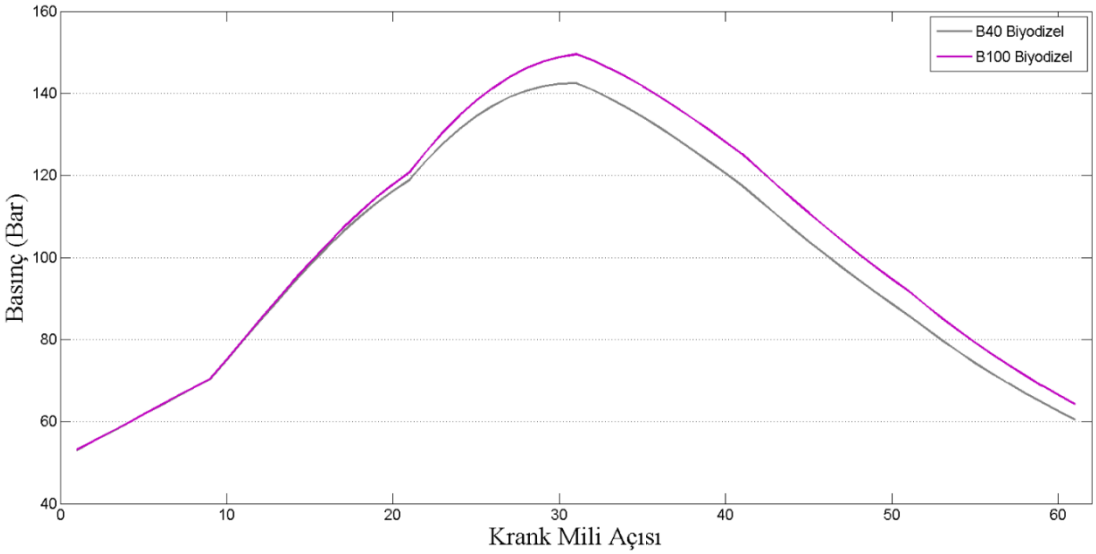
Şekil 4.2 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Kapalı Çevrim Basınç Dağılımı

Şekil 4.3'teki ikinci silindir kapalı çevrim basınç dağılımı grafiğinde %40 oranında dizelle karıştırılan B40 ve B100 biyodizel yakıtın arasındaki fark görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere B100 biyodizel yakıt karışımının silindir içi basınç değerleri B40 biyodizel yakıt karışımının silindir içi basınç değerlerinden daha yüksektir. B40 biyodizel yakıt karışımında en yüksek silindir içi basınç 142.50 bar iken B100 biyodizel yakıt karışımında en yüksek basınç 149.51 bardır. B100 biyodizel yakıt karışımının basıncı %4.92 daha fazladır.

Genel yanma denklemlerinden görüldüğü üzere standart dizel yakıtla %40 oranında karıştırılan B40 biyodizel yakıtın bileşiminde bulunan oksijen molekülleri, aynı oranda karıştırılan B100 biyodizel yakıtın bileşiminde bulunan oksijen moleküllerinden %86.25 oranında daha fazladır. Oksijen mol miktarının daha fazla olmasından kaynaklı olarak B40 biyodizel yakıt karışımının yanma sonrası artık gaz miktarı, B100 biyodizel yakıt karışımının yanma sonrası artık gaz miktarına göre %902 oranında daha fazladır. B40 biyodizel yakıt karışımında silindir içerisinde bulunan artık gazların, B100 biyodizel yakıt karışımından daha fazla olmasının yakıtın yanma verimindeki ve silindir içi basınçtaki düşüşlerle ilişkisi olduğu görülmüştür.

B100 biyodizel yakıtın setan sayısının B40 biyodizel yakıta göre daha yüksek olduğu Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Bu durumda B100 biyodizel yakıtın yanma veriminin B40 biyodizel yakıta göre daha iyi olduğuna kaynaklarda değinilmiştir [2, 32].

B100 biyodizel yakıt karışımının, B40 biyodizel yakıt karışımına göre yanma veriminin ve silindir içi basınçlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumla, silindir içi artık gaz miktarı ve setan sayısı arasında ilişki kurulabilmektedir.

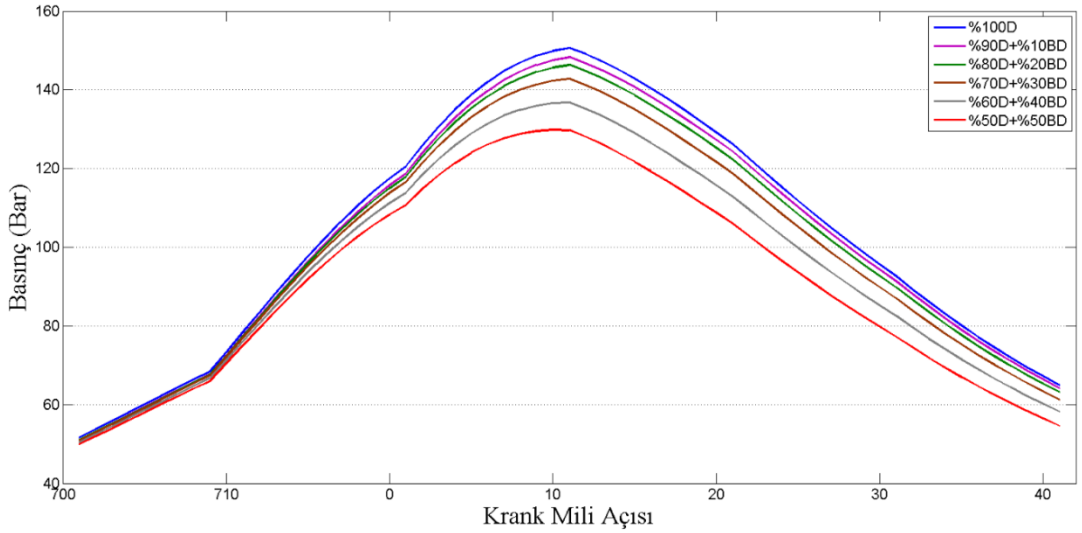


Şekil 4.3 : 2. Silindirdeki Kapalı Çevrim Basınç Dağılımının %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizel Yakıt Karışımına Göre Değişimi.

B40 biyodizel yakıt karışımının yedinci silindir için kapalı çevrim basınç dağılımı Şekil 4.4'te verilmiştir. %100 dizel yakıt kullanıldığında silindir içi en yüksek basınç 150.58 bardır. %10 oranında biyodizel yakıt karışımı olan yakıt kullanıldığında en

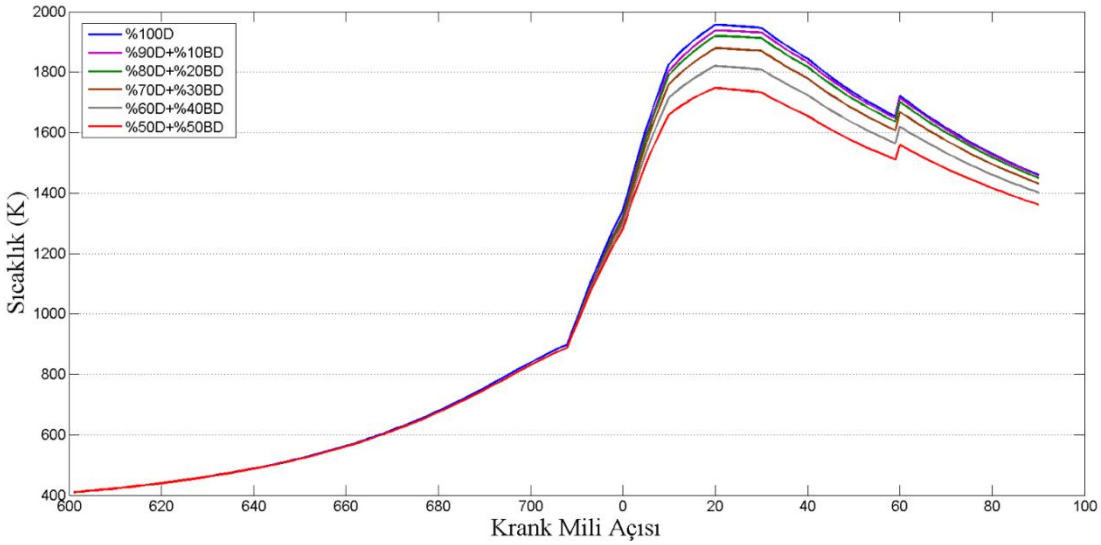
yüksek basınç 148.23 bardır. Bu durumda %1.56 oranında bir düşüş görülmüştür. %50 oranında biyodizel yakıt karışımında ise en yüksek basınç ise 134.48 bardır ve %10.69 oranında düşüş gerçekleşmiştir.

Önceki açıklamalarda belirtildiği üzere silindir içi basınçlardaki azalmanın, alt ısıl değerdeki azalma, püskürtülen yakıt hacmindeki azalmadan kaynaklı atomizasyonun kötü oluşu ve artık gaz miktarındaki artma ile ilişkisi olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 7. Silindir Kapalı Çevrim Basınç Dağılımı.

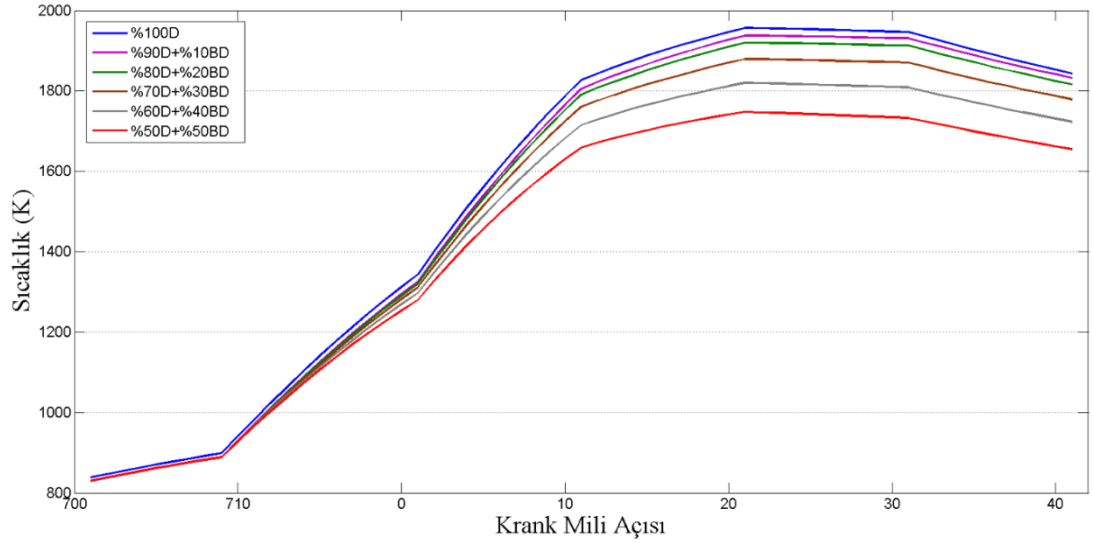
Şekil 4.5'te B40 biyodizel yakıtın belirli oranlardaki karışımının yanmasına göre ikinci silindir kapalı çevrim sıcaklık dağılımı verilmiştir. Bu grafikte sıcaklık dağılımının yanma başlangıcı olan 708 krank mili açısına kadar bütün yakıt oranlarında aynı olduğu görülmüştür. Biyodizel yakıt karışımlarının silindir içi sıcaklık değerlerine olan etkilerinin daha iyi görülebilmesi için grafiğin ölçeği büyütülerek Şekil 4.6'da tekrar gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Kapalı Çevrim Sıcaklık Dağılımı.

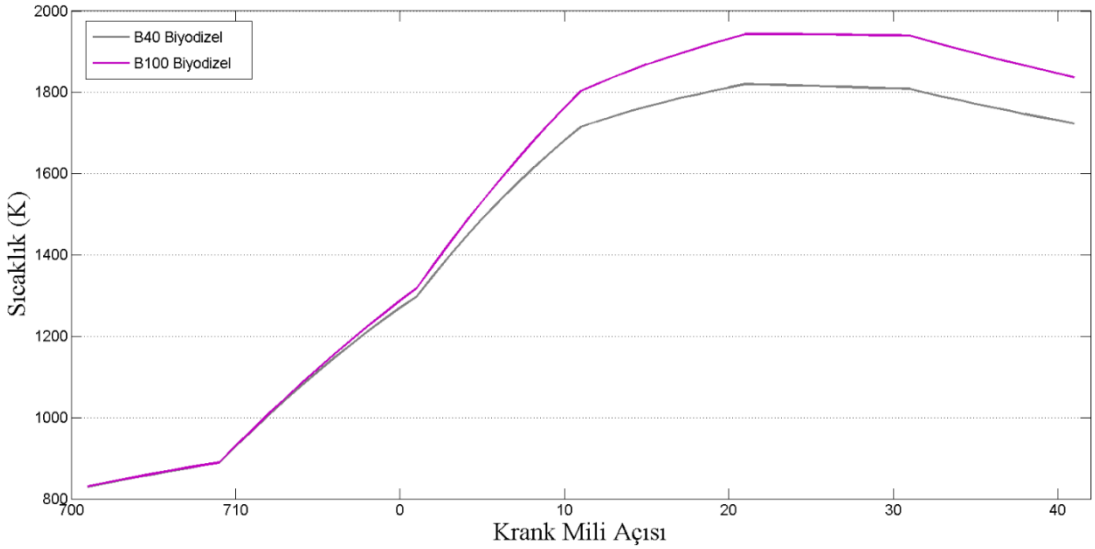
Şekil 4.6'da görüldüğü üzere karışımdaki B40 biyodizel oranı arttıkça silindir içi sıcaklıklarda düşüş gözlenmektedir. %100 dizel yakıt kullanıldığında en yüksek sıcaklık 1956.65 K olurken, %10 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında en yüksek sıcaklık 1937.52 K olmaktadır. Bu durumda sıcaklıkta %0.98 oranında bir düşüş gerçekleşmektedir. %50 oranında B40 biyodizel yakıt içeren yakıt karışımı kullanıldığında ise en yüksek sıcaklık 1747.53 K olmuştur. Bu yakıt kullanıldığındaki sıcaklık düşüş oranı ise %10.69'dur.

Karışımdaki B40 biyodizel yakıt miktarı arttıkça gözlemlenen silindir içi sıcaklıklardaki düşüşün daha önceden bahsedildiği gibi; alt ısıl değerlerdeki azalma, püskürtülen yakıt hacmindeki azalmadan kaynaklı atomizasyonun kötü oluşu ve artık gaz miktarındaki artma ile ilişkisi olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Kapalı Çevrim Sıcaklık Dağılımı.

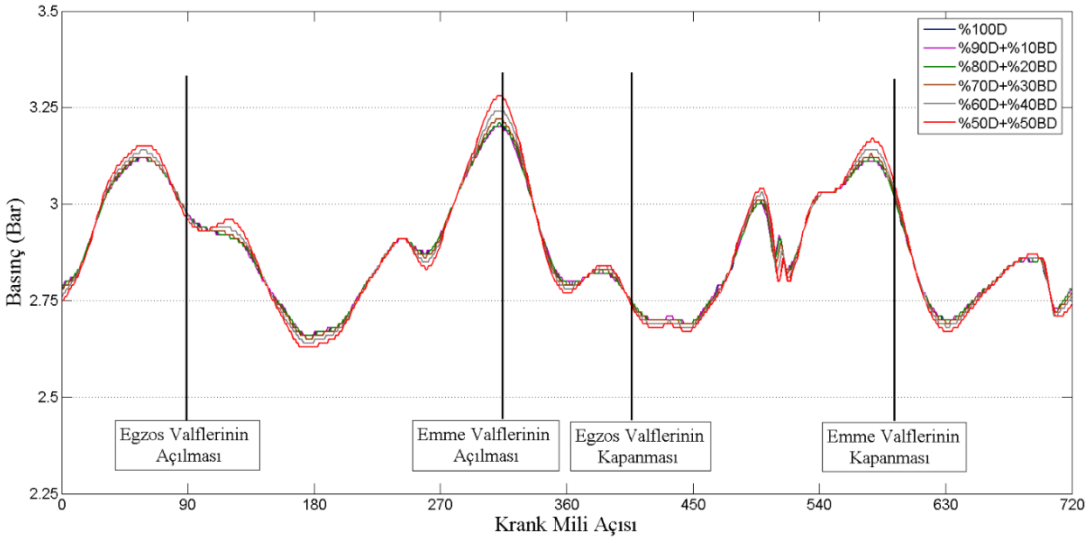
İkinci silindirdeki kapalı çevrim sıcaklık dağılımının %40 oranındaki B40 ve B100 biyodizeline göre değişimi Şekil 4.7'de verilmiştir. B100 biyodizeli içeren yakıt karışımı kullanıldığı zaman silindir içinde en yüksek 1943.82 K sıcaklığa ulaşılırken B40 biyodizeli içeren yakıt kullanıldığında en yüksek 1820.11 K sıcaklığa ulaşılmıştır. B40 biyodizeli yerine B100 biyodizeli kullanıldığında sıcaklıkta %6.79 oranında bir artış görülmüştür. Bu durumun daha önceden açıklandığı gibi B100 biyodizel yakıt karışımının içerdiği oksijen miktarının daha az olmasından kaynaklı yanma sonu oluşan artık gaz miktarının az olması ve setan sayısının B40 biyodizel yakıttan daha fazla olması ile ilişkisi olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7 : 2. Silindirdeki Kapalı Çevrim Sıcaklık Dağılımının %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizel Yakıt Karışımına Göre Değişimi.

4.2 Emme ve Egzoz Manifoldu Grafikleri

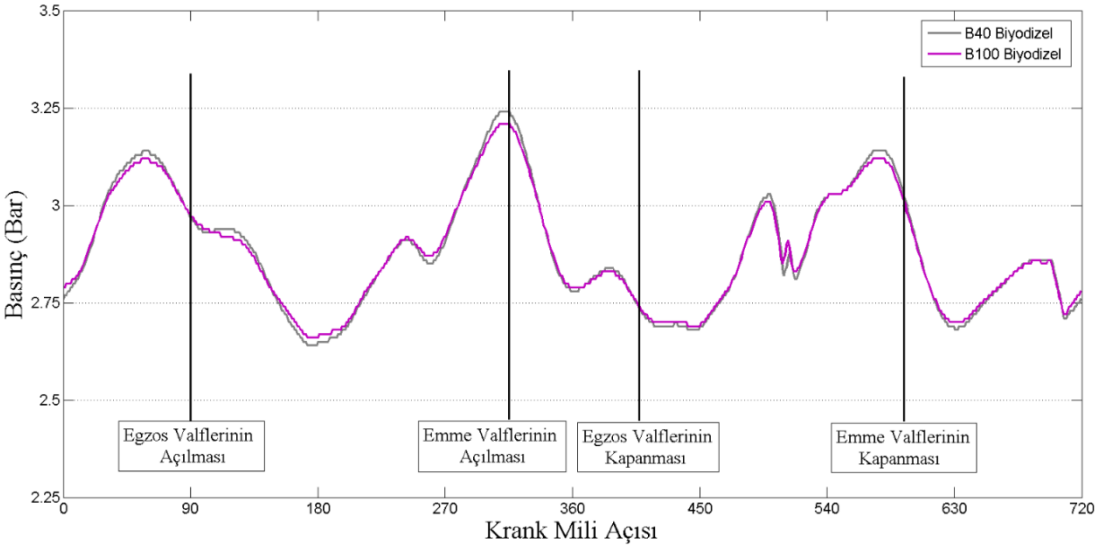
B40 biyodizel yakıtın belirli oranlardaki karışımının yanmasına göre ikinci silindir emme manifoldu basınç dağılım grafiği Şekil 4.8'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, emme valfleri açıldığı anda, %50 oranında B40 biyodizeli içeren yakıt kullanıldığında emme manifoldundaki basınç 3.28 bar, %10 oranında B40 biyodizel yakıtı kullanıldığındaki basınç 3.20 bar ve %100 dizel yakıt kullanıldığındaki basınç da 3.20 bar olarak bulunmuştur. B40 biyodizel yakıtın karışımdaki oranı %50 olduğu durumda emme manifoldundaki basınç artışı %2.5 olmuştur. Daha önceden belirtildiği üzere B40 biyodizel yakıtın karışımdaki oranı arttıkça silindir içindeki artık gaz miktarının da artmakta olduğu görülmüştür. Silindir içindeki artık gaz miktarı arttıkça silindir içerisine emme manifoldundan taze hava emilmesi güçleşecektir. Bu durumda emme manifoldundaki basıncın artmasıyla artık gaz miktarındaki artış arasında bir ilişki olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Emme Manifoldu Basınç Dağılımı.

Şekil 4.9'da ikinci silindirdeki emme manifoldu basınç dağılımının %40 oranındaki B40 ve B100 biyodizel yakıt karışımlarına göre değişimi verilmektedir. B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında emme valflerinin açıldığı krank açısındaki emme manifoldu basıncı 3.20 bar iken B40 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında bu açıdaki emme manifoldu basıncı 3.24 bardır. B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında emme manifoldu basıncı %1.23 oranında daha düşük çıkmaktadır. Daha önceden belirtildiği üzere emme manifoldundaki basınç düşüşünün B100 biyodizel yakıt karışımının içerdiği oksijen mol miktarının daha az olmasından

kaynaklı yanma sonu oluşan artık gaz miktarının B40 biyodizel yakıt karışımına oranla daha az olmasıyla ilişkisi olduğu görülmüştür.



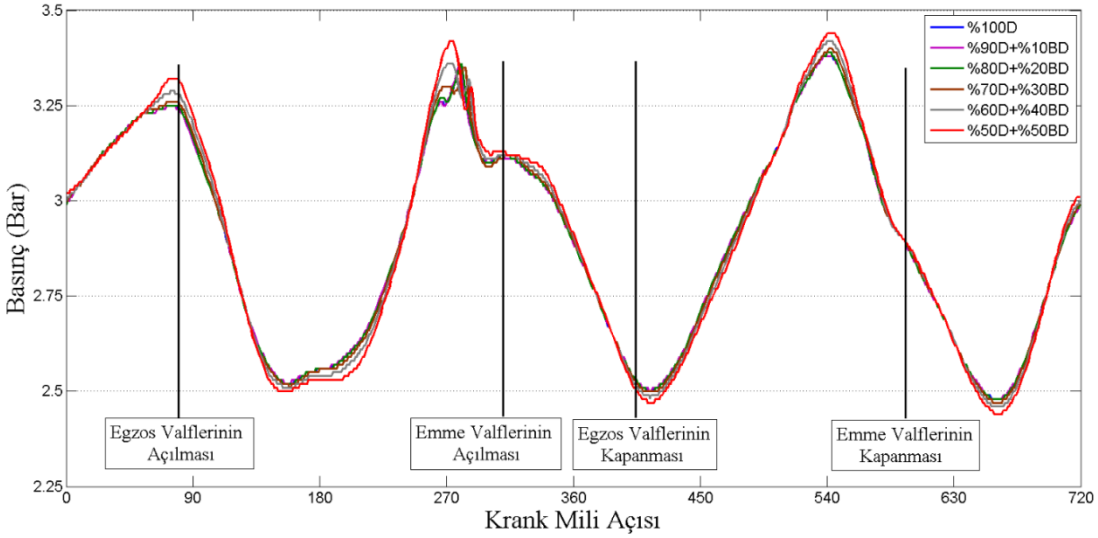
Şekil 4.9 : 2. Silindirdeki Emme Manifoldu Basınç Dağılımının %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizel Yakıt Karışımına Göre Değişimi.

Silindirlerin emme valfleri, emme manifolduna silindir sırasıyla bağlanırlar. Emme manifoldunun ucunda sabit basınçta hava bulunmaktadır. Silindirlere göre emme valflerinin açılıp kapanmasıyla emme manifoldundaki basınçta sinüsoidal dalga karakterine benzer dalgalanma meydana gelir. Basınçta oluşan bu dalganın genliği emme manifoldu ucunda daha az olmasına rağmen egzoz valflerinin sırasıyla açılıp kapanmasıyla emme manifoldunun sonuna doğru dalganın genliğinde artmalar görülür.

B40 biyodizel yakıtın belirli oranlardaki karışımının yanmasına göre yedinci silindir emme manifoldu basınç dağılımı Şekil 4.10'da verilmiştir. Yukarıda bahsedildiği üzere, yedinci silindir emme manifoldunda oluşan basınç dalgalarının genliği Şekil 4.8 ve Şekil 4.10' dan da görüleceği gibi ikinci silindir emme manifoldunda oluşan basınç dalgalarının genliğinden fazla olduğu belirlenmiştir.

Standart dizel yakıt kullanıldığında yedinci silindir emme manifoldu basıncı 3.35 bar, %10 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında emme manifoldu basıncı 3.36 bar ve %50 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında emme manifoldu basıncı 3.42 bar olarak bulunmuştur. Standart dizel yakıt için emme manifoldu basıncına göre %10 oranında B40 biyodizel içeren karışımın emme manifoldu basıncı %0.30 oranında, %50 oranında B40 biyodizel

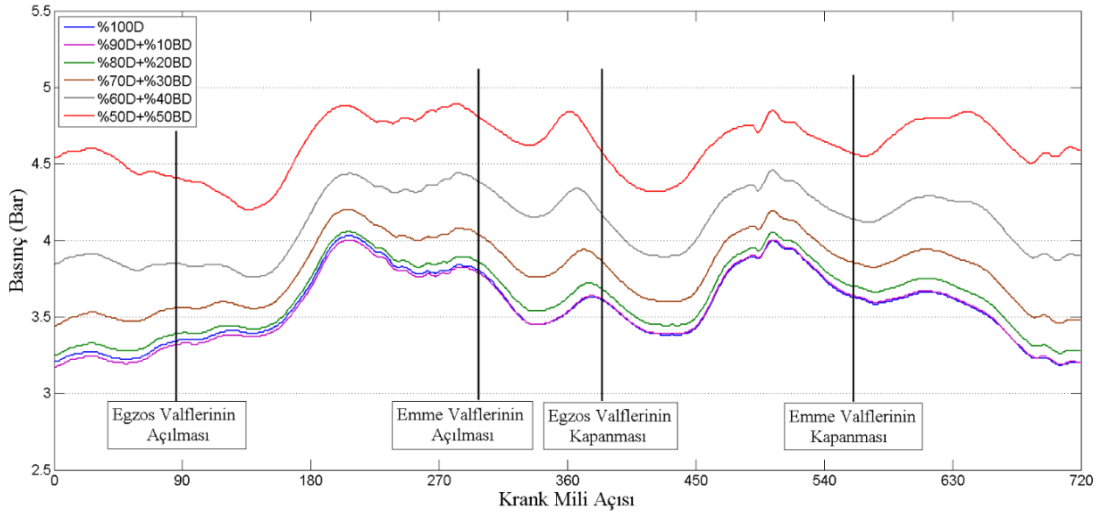
içeren karışımın emme manifoldu basıncı ise %2.09 oranında artmıştır. Önceki açıklamalarda bahsedildiği üzere B40 biyodizel yakıtın karışımdaki oranı arttıkça, yanma sonu artık gaz miktarında artma meydana gelmiştir. Bu durumda da emme manifoldundan silindire taze hava emilmesi güçleşecektir. B40 biyodizel yakıt oranındaki artış ile emme manifoldu basıncı arasında bir ilişki olduğu görülmüştür.



Şekil 4.10 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 7. Silindir Emme Manifoldu Basınç Dağılımı.

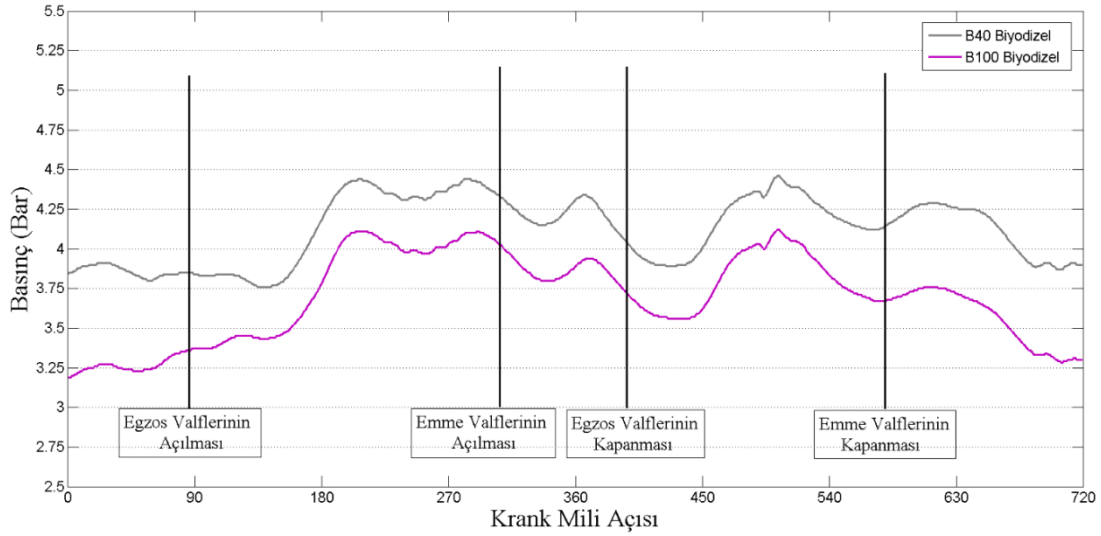
Şekil 4.11'de B40 biyodizel yakıtın belirli oranlardaki karışımının yanmasına göre ikinci silindir egzoz manifoldu basınç dağılımı verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere standart dizel yakıt kullanıldığında egzoz manifoldundaki basınç 3.24 bar iken %10 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında egzoz manifoldundaki basınç 3.85 bar ve %50 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında egzoz manifoldundaki basınç ise 4.92 bardır. %10 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında egzoz manifoldu basıncı %0.26 oranında, %50 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında ise egzoz manifoldu basıncı %28.13 oranında artmıştır.

B40 biyodizel yakıtın karışımdaki oranı arttıkça silindir içindeki artık gaz miktarının da arttığından daha önce bahsedilmişti. Silindir içindeki artık gaz miktarının artmasıyla silindirden egzoz manifolduna geçen egzoz gazlarının miktarında da bir artış olmaktadır. Bu miktarın artmasıyla egzoz manifoldundaki basıncın artması arasında bir ilişki olduğu görülmüştür.



Şekil 4.11 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 2. Silindir Egzoz Manifoldu Basınç Dağılımı.

%40 oranındaki B40 ve B100 biyodizel yakıt karışımına göre ikinci silindirdeki egzoz manifoldu basınç dağılımı Şekil 4.12'de verilmiştir. B40 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında egzoz manifoldundaki basınç değeri 4.46 bar iken B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında egzoz manifoldunun basınç değeri 4.11 bardır. B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında egzoz manifoldu basıncı, B40 biyodizel yakıt karışımının kullanıldığı duruma oranla %7.85 daha düşüktür. Daha önceden bahsedildiği üzere egzoz manifoldundaki basınç düşüşünün B100 biyodizel yakıt karışımının içerdiği oksijen mol miktarının daha az olmasından kaynaklı yanma sonu oluşan artık gaz miktarının B40 biyodizel yakıt karışımına oranla daha az olması ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

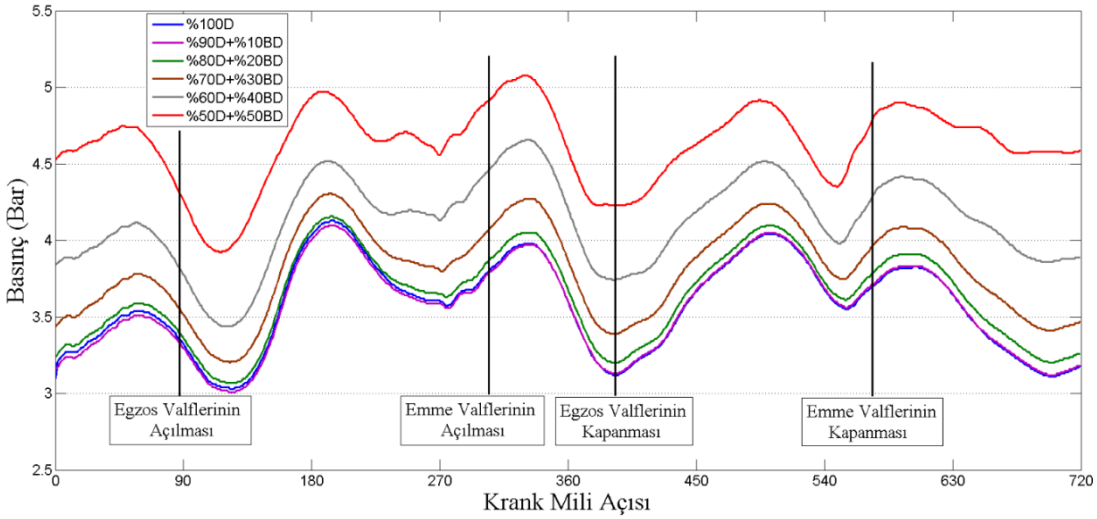


Şekil 4.12 : 2. Silindirdeki Egzoz Manifoldu Basınç Dağılımının %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizel Yakıt Kaışımına Göre Değişimi.

Silindirlerin egzoz valfleri, egzoz manifoldu boyunca manifolda silindir sırasıyla bağlanmıştır. Silindirleri egzoz valfleri, makinanın çalışması süresince, sırası geldiğinde açılarak silindir içindeki yanma sonu artık gazları emme manifolduna aktarırlar. Bu olay silindir sırasıyla gerçekleştiği için egzoz manifoldunun başından sonuna doğru egzoz manifoldunun içindeki basınç artar. Aynı zamanda bu işlem periyodik olduğu için egzoz manifoldundaki basınç dalgasının karakteri sinüsoidal dalga karakterine benzerdir. Egzos manifoldunun başlangıcından sonuna doğru gidildikçe basınç dalgasının genliğinde bir artma görülmektedir.

Şekil 4.13'te B40 biyodizel yakıtın belirli oranlardaki karışımının yanmasına göre yedinci silindir egzoz manifoldu basınç dağılımı verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere yukarıdaki açıklamalara paralel olarak yedinci silindir egzoz manifoldu basınç dağılımının genliğinin Şekil 4.11'de görülen ikinci silindir egzoz manifoldu basınç dağılımının genliğinden daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Standart dizel yakıt kullanıldığında egzoz manifoldunda oluşan basınç 3.97 bar iken %10 oranında B40 biyodizel yakıt kullanılarak oluşturulan yakıt kullanıldığında oluşan basınç 3.98 bar ve %50 oranında B40 biyodizel yakıt kullanılarak oluşturulan yakıt kullanıldığında oluşan basınç 5.08 bar olarak belirlenmiştir. Egzoz manifoldunda belirlenen basınçlarda %10 ve %50 oranında B40 biyodizel yakıt karışımı kullanılan durumlarda standart dizel yakıt kullanılan duruma kıyasla sırasıyla %0.25 ve %27.96 oranında bir artma görülmüştür. Daha önceden belirtildiği üzere B40 biyodizel yakıtın karışımdaki oranı arttıkça yanma sonu artık gaz miktarında artma meydana gelmiştir. Artık gaz miktarının artmasıyla egzoz manifolduna gönderilen egzoz gazı miktarında bir artma ve miktardaki artmaya bağlı olarak manifold basıncında bir yükselme olduğu görülmüştür.



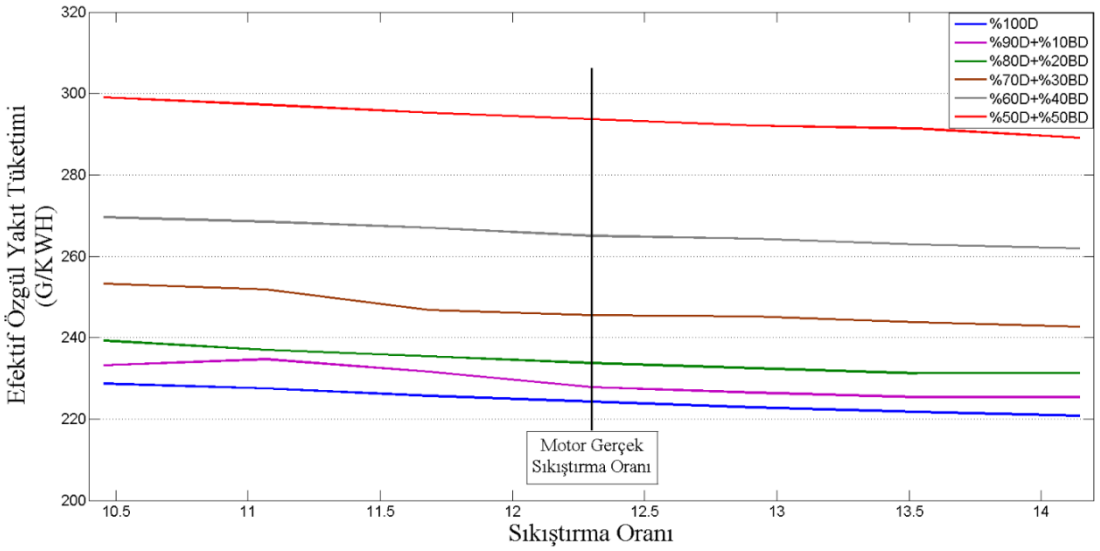
Şekil 4.13 : B40 Biyodizel Yakıtın Belirli Oranlardaki Karışımının Yanmasına Göre 7. Silindir Egzoz Manifoldu Basınç Dağılımı.

4.3 Sıkıştırma Oranının Değişimine Göre Motor Parametre Grafikleri

İkinci silindirdeki efektif özgül yakıt tüketiminin sıkıştırma ve B40 biyodizel yakıtın belirli karışım oranlarına göre değişimi Şekil 4.14'te verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında; standart dizel yakıt kullanıldığında efektif özgül yakıt tüketimi 224.36 g/kWh, %10 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında efektif özgül yakıt tüketimi 277.89 g/kWh ve %50 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında efektif özgül yakıt tüketimi 293.74 g/kWh olarak belirlenmiştir. Efektif özgül yakıt tüketiminde, %10 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında %1.57 oranında bir artış, %50 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında ise %30.92 oranında bir artış görülmüştür. Önceki açıklamalarda belirtildiği üzere efektif özgül yakıt tüketimindeki artmanın, alt ısıl değerdeki azalma, püskürtülen yakıt hacmindeki azalmadan kaynaklı atomizasyonun kötü oluşu ve artık gaz miktarındaki artma ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

Standart dizel yakıt kullanıldığında sıkıştırma oranının artmasıyla efektif özgül yakıt tüketimi 228.80 g/kWh 'ten 220.85 g/kWh 'e düşmüş ve %3.47 oranında bir azalma görülmüştür. %50 oranında B40 biyodizel bulunan yakıt kullanıldığında ise efektif özgül yakıt tüketimi 299.12 g/kWh 'ten 289.20 g/kWh 'e düşmüş ve %3.32 oranında bir azalma görülmüştür. Bu oranlar dikkate alındığında yakıttaki biyodizel yakıt karışım oranının, sıkıştırma oranına göre efektif özgül yakıt tüketiminin azalması üzerinde etkin bir rol oynamadığı görülmüştür. Fakat sıkıştırma oranı arttıkça efektif özgül yakıt tüketiminde bir azalma görülmüştür. Sıkıştırma oranının artmasıyla

yanma sürecinde silindir içindeki hacim azalmış ve silindir içindeki basınçta bir artma meydana gelmiştir. Silindir içindeki basıncın artmasıyla yanma verimi yükselmiş ve daha az miktarda yakıttan aynı güç elde edilmiştir. Efektif özgül yakıt tüketimindeki düşüş ile sıkıştırma oranı arasında ilişki kurulabilmektedir.

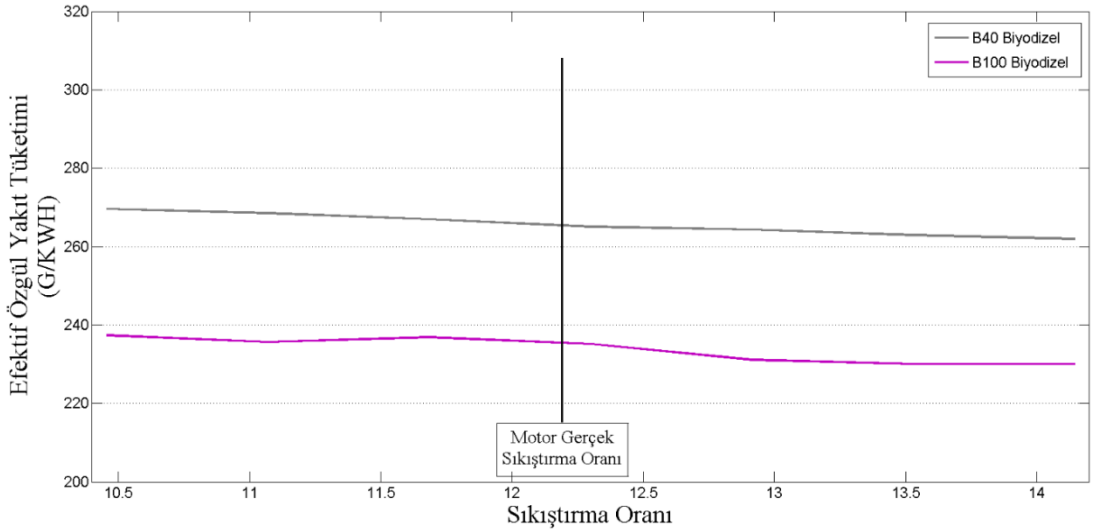


Şekil 4.14 : 2. Silindirdeki Efektif Özgül Yakıt Tüketiminin Sıkıştırma ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi.

Şekil 4.15'te ikinci silindirdeki efektif özgül yakıt tüketiminin sıkıştırma oranına ve %40 oranındaki B40 ve B100 biyodizeline göre değişimi verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında; %40 oranındaki B40 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında efektif özgül yakıt tüketimi 265.12 g/kWh, %40 oranındaki B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında efektif özgül yakıt tüketimi 235.27 g/kWh olarak elde edilmiştir. Efektif özgül yakıt tüketiminde B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında %11.26 oranında bir azalma görülmüştür. Önceki açıklamalarda belirtildiği üzere bu durumun B100 biyodizel yakıt karışımının içerdiği oksijen mol miktarının daha az olmasından kaynaklı yanma sonu oluşan artık gaz miktarının B40 biyodizel yakıt karışımından daha az olması ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

B40 biyodizel yakıt karışımında sıkıştırma oranının artmasıyla efektif özgül yakıt tüketimi 269.69 g/kWh 'ten 262.00 g/kWh'e düşmüş ve %2.94 oranında azalma gerçekleşmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımında sıkıştırma oranının artmasıyla efektif özgül yakıt tüketimi 237.48 g/kWh 'ten 230.11 g/kWh 'e düşmüş ve %3.10 oranında azalma gerçekleşmiştir. Bu oranlar dikkate alındığında biyodizel yakıt çeşidinin, sıkıştırma oranına göre efektif özgül yakıt tüketiminin azalmasında etkin bir rol oynamadığı görülmüştür. Sıkıştırma oranı arttıkça efektif özgül yakıt

tüketiminde görülen azalmanın daha önceden belirtildiği üzere silindir içi hacimdeki düşüşten kaynaklı basıncın artması ve basıncın artmasıyla yanma veriminin de artması ile ilişkili olduğu görülmüştür.

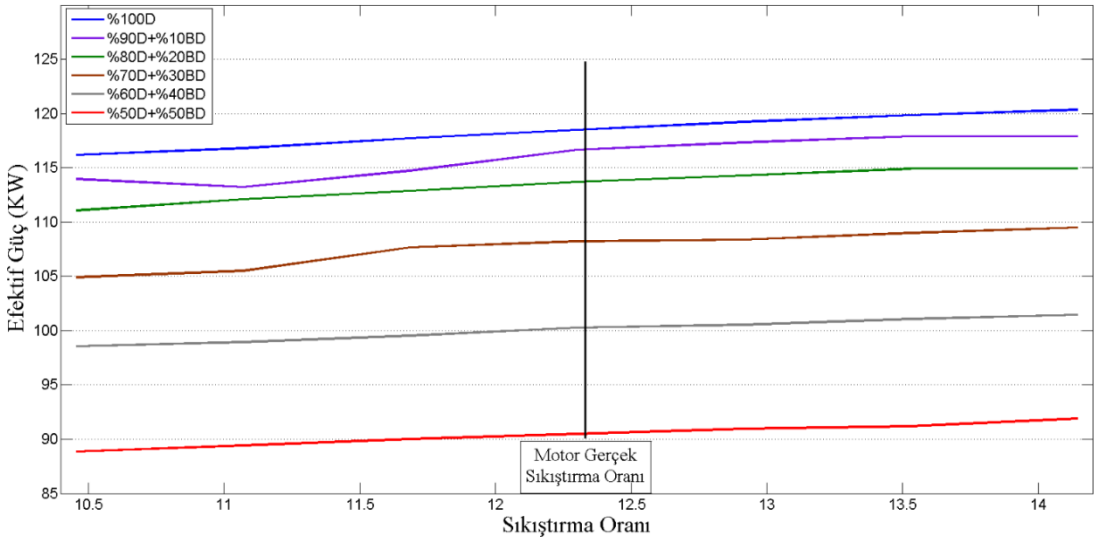


Şekil 4.15 : 2. Silindirdeki Efektif Özgül Yakıt Tüketiminin Sıkıştırma Oranına ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi.

İkinci silindirdeki efektif gücün sıkıştırma ve B40 biyodizel yakıtın belirli karışım oranlarına göre değişimi Şekil 4.16'ta verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında; standart dizel yakıt kullanıldığında efektif güç 118.51 kW, %10 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında efektif güç 116.67 kW ve %50 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında efektif güç 90.51 kW olarak belirlenmiştir. Efektif güçte, %10 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında %1.55 oranında bir azalma, %50 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında ise %23.63 oranında bir azalma görülmüştür. Önceki açıklamalarda belirtildiği üzere efektif güçteki azalmanın, alt ısıl değerdeki azalma, püskürtülen yakıt hacmindeki azalmadan kaynaklı atomizasyonun kötü oluşu ve artık gaz miktarındaki artma ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

Standart dizel yakıt kullanıldığında sıkıştırma oranının artmasıyla efektif güç 116.20 kW 'tan 120.39 kW 'a çıkmış ve %3.60 oranında bir artma görülmüştür. %50 oranında B40 biyodizel bulunan yakıt kullanıldığında ise efektif güç 88.88 kW 'tan 91.94 kW 'a çıkmış ve %3.44 oranında bir artma görülmüştür. Bu oranlar dikkate alındığında yakıttaki biyodizel yakıt karışım oranının, sıkıştırma oranına göre efektif güçteki artış miktarı üzerinde etkin bir rol oynamadığı görülmüştür. Fakat sıkıştırma oranı arttıkça efektif güçte bir artma görülmüştür. Sıkıştırma oranının artmasıyla

yanma sürecinde silindir içindeki hacim azalmış ve silindir içindeki basınçta bir artma meydana gelmiştir. Silindir içindeki basıncın artmasıyla yanma verimi yükselmiş ve aynı miktardaki yakıttan daha fazla güç elde edilmiştir. Bu durumda sıkıştırma oranının artmasıyla efektif gücün artması arasında bir ilişki kurulabilmiştir.

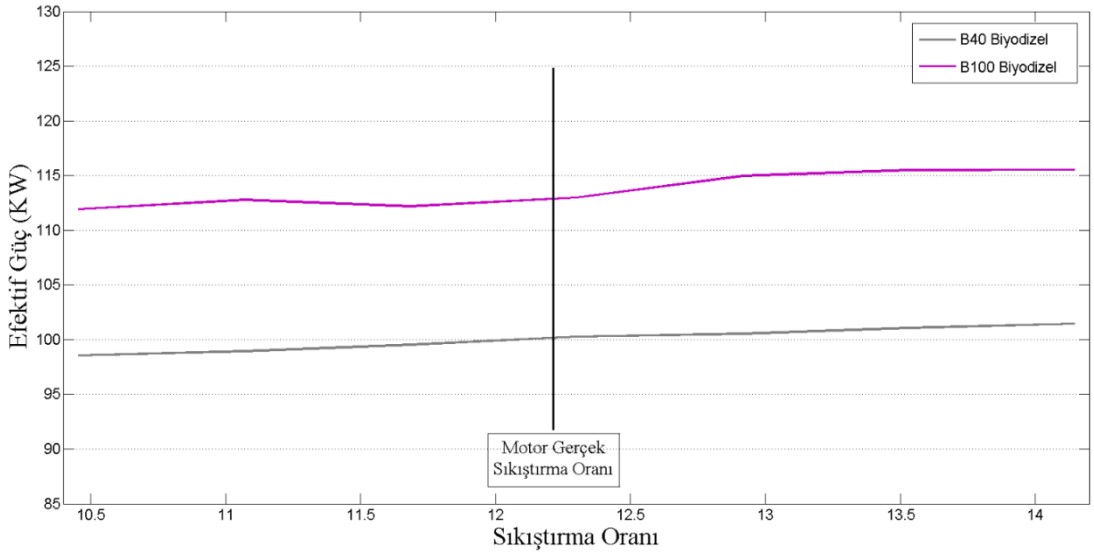


Şekil 4.16 : 2. Silindirdeki Efektif Gücün Sıkıştırma ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi.

Şekil 4.17'de ikinci silindirdeki efektif gücün sıkıştırma oranına ve %40 oranındaki B40 ve B100 biyodizeline göre değişimi verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında; %40 oranındaki B40 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında efektif güç 100.29 kW, %40 oranındaki B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında efektif güç 113.01 kW olarak elde edilmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında efektif güçte %12.68 oranında bir artma görülmüştür. Önceki açıklamalarda bahsedildiği üzere, bu durumun B100 biyodizel yakıt karışımının içerdiği oksijen mol miktarının daha az olmasından kaynaklı yanma sonu oluşan artık gaz miktarının B40 biyodizel yakıt karışımından daha az olması ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

B40 biyodizel yakıt karışımında sıkıştırma oranının artmasıyla efektif güç 98.59 kW 'tan 101.48 kW'a çıkmış ve %2.93 oranında artma gerçekleşmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımında sıkıştırma oranının artmasıyla efektif güç 111.96 kW 'tan 115.55 kW 'a çıkmış ve %3.20 oranında artma gerçekleşmiştir. Bu oranlar dikkate alındığında biyodizel yakıt çeşidinin, sıkıştırma oranına göre efektif gücün artmasında etkin bir rol oynamadığı görülmüştür. Sıkıştırma oranı arttıkça efektif güçte görülen artmanın daha önceden belirtildiği üzere silindir içi hacimdeki

düşüşten kaynaklı basıncın artması ve basıncın artmasıyla yanma veriminin de artması ile ilişkili olduğu görülmüştür.

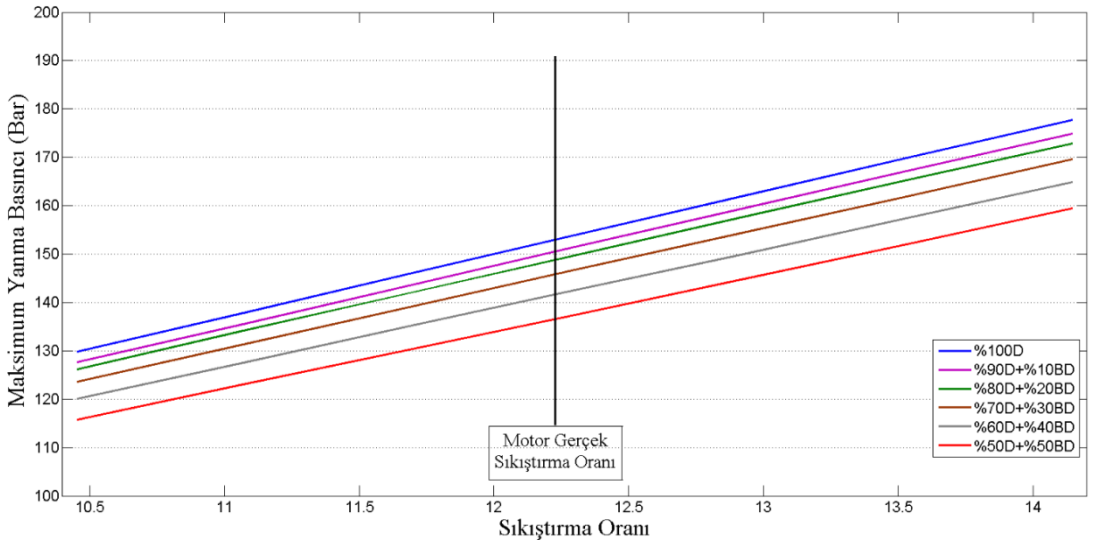


Şekil 4.17 : 2. Silindirdeki Efektif Gücün Sıkıştırma Oranına ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi.

İkinci silindirdeki maksimum yanma basıncının sıkıştırma ve B40 biyodizel yakıtın belirli karışım oranlarına göre değişimi Şekil 4.18'de verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında; standart dizel yakıt kullanıldığında maksimum yanma basıncı 153.91 bar, %10 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında maksimum yanma basıncı 151.50 bar ve %50 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında maksimum yanma basıncı 137.45 bar olarak elde edilmiştir. Maksimum yanma basıncında, %10 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında %1.57 oranında bir azalma, %50 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında ise %10.69 oranında bir azalma görülmüştür. Önceki açıklamalarda belirtildiği üzere maksimum yanma basıncındaki azalmanın, alt ısıl değerdeki azalma, püskürtülen yakıt hacmindeki azalmadan kaynaklı atomizasyonun kötü oluşu ve artık gaz miktarındaki artma ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

Standart dizel yakıt kullanıldığında sıkıştırma oranının artmasıyla maksimum yanma basıncı 129.80 bar'dan 177.72 bar'a çıkmış ve %36.92 oranında bir artma görülmüştür. %50 oranında B40 biyodizel bulunan yakıt kullanıldığında ise maksimum yanma basıncı 115.80 bar'dan 159.52 bar'a çıkmış ve %37.74 oranında bir artma görülmüştür. Bu oranlar dikkate alındığında yakıttaki biyodizel yakıt karışım oranının, sıkıştırma oranına göre maksimum yanma basıncının artış miktarı üzerinde etkin bir rol oynamadığı görülmüştür. Fakat sıkıştırma oranı arttıkça

maksimum yanma basıncında bir artma görülmüştür. Sıkıştırma oranının artmasıyla yanma sürecinde silindir içindeki hacim azalmış ve silindir içindeki basınçta bir artma meydana gelmiştir. Basıncın artması yanma veriminin artmasına da neden olduğundan maksimum yanma basıncındaki artma durumuyla sıkıştırma oranının artması arasında bir ilişki kurulabilmektedir.

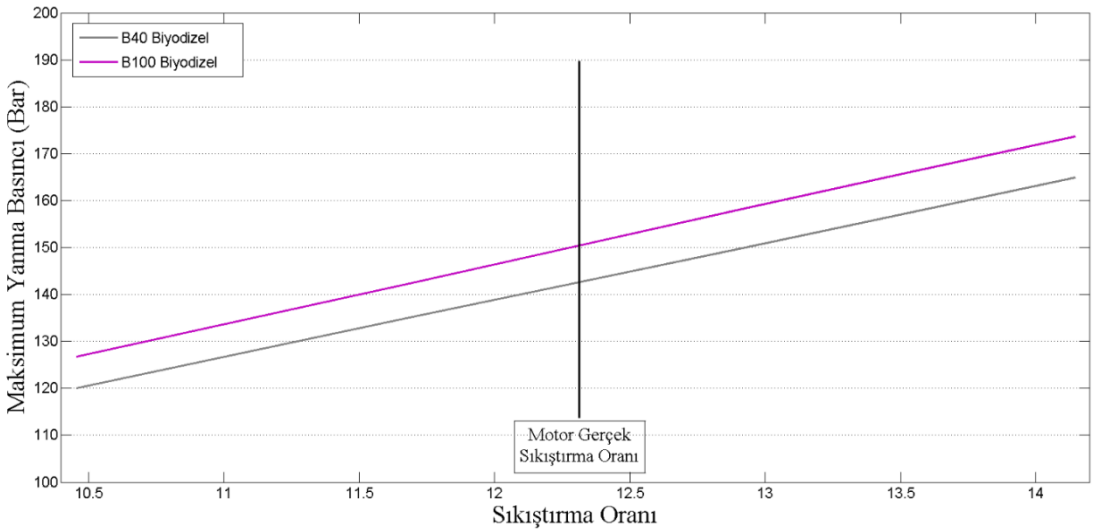


Şekil 4.18 : 2. Silindirdeki Maksimum Yanma Basıncının Sıkıştırma ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi.

Şekil 4.19'da ikinci silindirdeki maksimum yanma basıncının sıkıştırma oranına ve %40 oranındaki B40 ve B100 biyodizeline göre değişimi verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında; %40 oranındaki B40 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında maksimum yanma basıncı 142.50 bar, %40 oranındaki B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında maksimum yanma basıncı 150.30 bar olarak elde edilmiştir. Maksimum yanma basıncında, B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında, %5.47 oranında bir artma görülmüştür. Önceki açıklamalarda bahsedildiği üzere, bu durumun B100 biyodizel yakıt karışımının içerdiği oksijen mol miktarının daha az olmasından kaynaklı yanma sonu oluşan artık gaz miktarının B40 biyodizel yakıt karışımından daha az olması ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

B40 biyodizel yakıt karışımında sıkıştırma oranının artmasıyla maksimum yanma basıncı 120.10 bar'dan 164.90 bar'a çıkmış ve %37.30 oranında artma gerçekleşmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımında sıkıştırma oranının artmasıyla maksimum yanma basıncı 126.68 bar'dan 173.65 bar'a çıkmış ve %37.07 oranında artma gerçekleşmiştir. Bu oranlar dikkate alındığında biyodizel yakıt çeşidinin, sıkıştırma oranına göre maksimum yanma basıncının artmasında etkin bir rol

oynamadığı görülmüştür. Sıkıştırma oranı arttıkça maksimum yanma basıncında görülen artmanın daha önceden değinildiği üzere silindir içi hacimdeki düşüşten kaynaklı basıncın artması ve basıncın artmasıyla yanma veriminin de artması ile ilişkili olduğu görülmüştür.

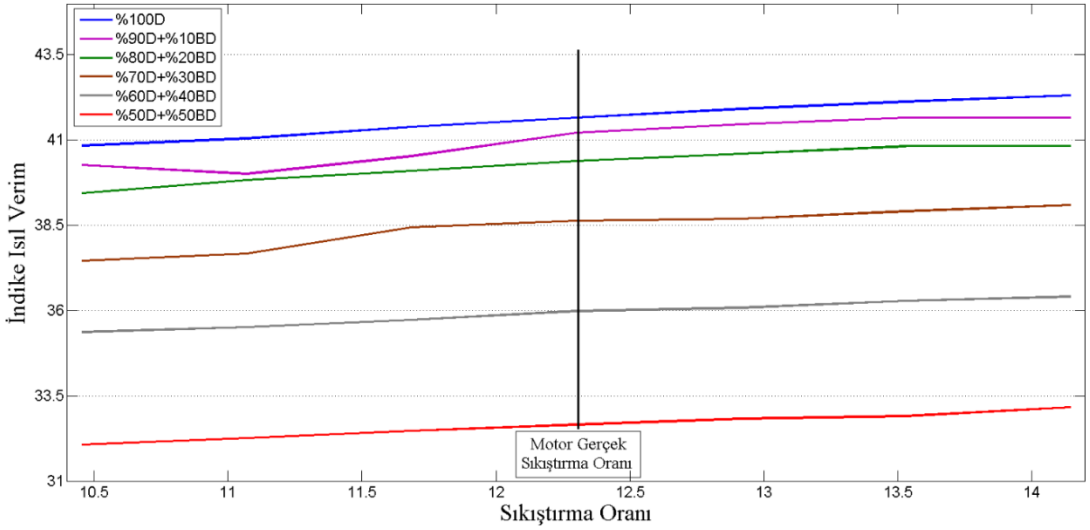


Şekil 4.19 : 2. Silindirdeki Maksimum Yanma Basıncının Sıkıştırma Oranına ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi.

İkinci silindirdeki indike ısıl verimin sıkıştırma ve B40 biyodizel yakıtın belirli karışım oranlarına göre değişimi Şekil 4.20'de verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında; standart dizel yakıt kullanıldığında indike ısıl verimin değeri 41.66, %10 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında indike ısıl verim değeri 41.22 ve %50 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında indike ısıl verim değeri 32.66 olarak elde edilmiştir. İndike ısıl verim değerinde, %10 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında %1.06 oranında bir azalma, %50 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında ise %21.60 oranında bir azalma görülmüştür. Önceki açıklamalarda belirtildiği üzere indike ısıl verim değerindeki azalmanın, alt ısıl değerdeki azalma, püskürtülen yakıt hacmindeki azalmadan kaynaklı atomizasyonun kötü oluşu ve artık gaz miktarındaki artma ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

Standart dizel yakıt kullanıldığında sıkıştırma oranının artmasıyla indike ısıl verim değeri 40.85'ten 42.32'ye çıkmış ve %3.59 oranında bir artma görülmüştür. %50 oranında B40 biyodizel bulunan yakıt kullanıldığında ise indike ısıl verim değeri 32.07'den 33.17'ye çıkmış ve %3.43 oranında bir artma görülmüştür. Bu oranlar dikkate alındığında yakıttaki biyodizel yakıt karışım oranının, sıkıştırma oranına göre

indike ısıl verim değerinin artması üzerinde etkin bir rol oynamadığı görülmüştür. Fakat sıkıştırma oranı arttıkça indike ısıl verim değerinde bir artma görülmüştür. Sıkıştırma oranının artmasıyla yanma sürecinde silindir içindeki hacim azalmış ve silindir içindeki basıncın artmasıyla yanma verimi yükselmiş ve indike ısıl verimdeki artış grafikte görülmüştür.

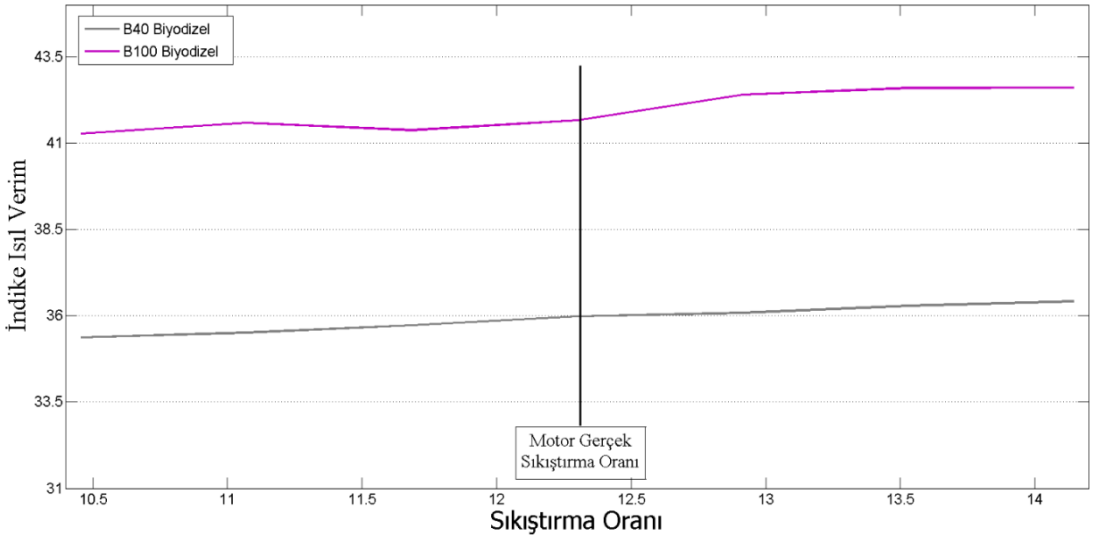


Şekil 4.20 : 2. Silindirdeki İndike Isıl Verimin Sıkıştırma ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi.

Şekil 4.21'de ikinci silindirdeki indike ısıl verimin sıkıştırma oranına ve %40 oranındaki B40 ve B100 biyodizeline göre değişimi verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında; %40 oranındaki B40 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında indike ısıl verim değeri 35.99, %40 oranındaki B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında indike ısıl verim değeri 41.67 olarak elde edilmiştir. İndike ısıl verim değerinde, B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında, %15.78 oranında bir artma görülmüştür. Önceki açıklamalarda değinildiği üzere, bu durumun B100 biyodizel yakıt karışımının içerdiği oksijen mol miktarının daha az olmasından kaynaklı yanma sonu oluşan artık gaz miktarının B40 biyodizel yakıt karışımından daha az olması ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

B40 biyodizel yakıt karışımında sıkıştırma oranının artmasıyla indike ısıl verim değeri 35.38'den 36.42'ye çıkmış ve %2.94 oranında artma gerçekleşmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımında sıkıştırma oranının artmasıyla indike ısıl verim değeri 41.28'den 42.62'ye yükselmiş ve %3.22 oranında artma gerçekleşmiştir. Bu oranlar dikkate alındığında biyodizel yakıt çeşidinin, sıkıştırma oranına göre indike ısıl verim değerinin artmasında etkin bir rol oynamadığı görülmüştür. Sıkıştırma oranı

arttıkça indike ısıl verim değerinde görülen artmanın daha önceden bahsedildiği üzere silindir içi hacimdeki düşüşten kaynaklı basıncın artması ve basıncın artmasıyla yanma veriminin de artması ile ilişkili olduğu görülmüştür.

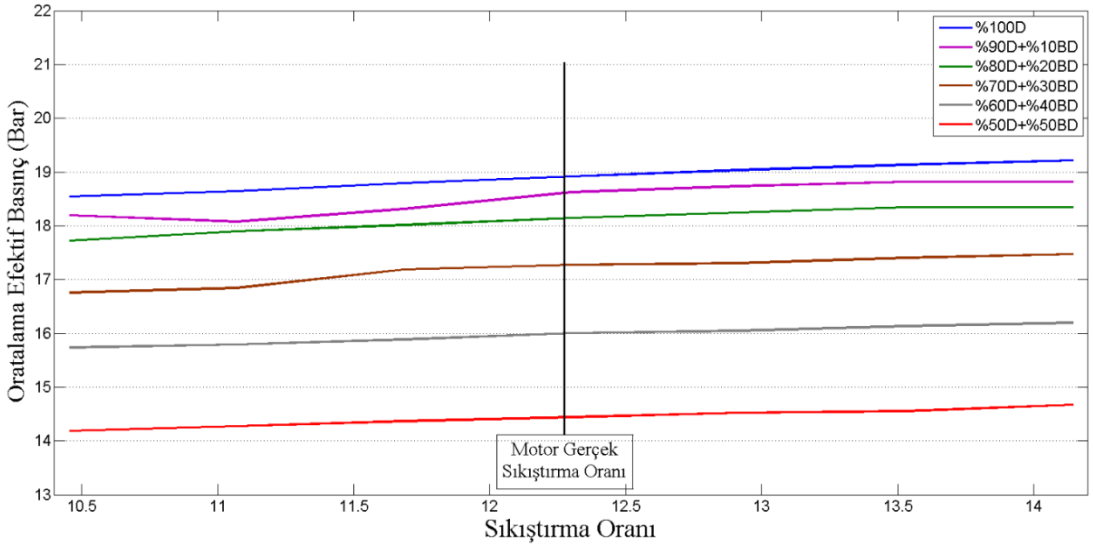


Şekil 4.21 : 2. Silindirdeki İndike Isıl Verimin Sıkıştırma Oranına ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi.

İkinci silindirdeki ortalama efektif basıncın sıkıştırma ve B40 biyodizel yakıtın belirli karışım oranlarına göre değişimi Şekil 4.22'de verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında; standart dizel yakıt kullanıldığında ortalama efektif basıncı 18.92 Bar, %10 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında ortalama efektif basıncı 18.63 Bar ve %50 oranında B40 biyodizel içeren yakıt kullanıldığında ortalama efektif basıncı 14.45 Bar olarak belirlenmiştir. Ortalama efektif basınçta, %10 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında %1.53 oranında bir azalma, %50 oranında B40 biyodizel yakıt bulunan karışım kullanıldığında ise %23.62 oranında bir azalma görülmüştür. Önceki açıklamalarda belirtildiği üzere ortalama efektif basınçtaki azalmanın, alt ısıl değerdeki azalma, püskürtülen yakıt hacmindeki azalmadan kaynaklı atomizasyonun kötü oluşu ve artık gaz miktarındaki artma ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

Standart dizel yakıt kullanıldığında sıkıştırma oranının artmasıyla ortalama efektif basınç 18.55 Bar'dan 19.22 Bar'a çıkmış ve %3.61 oranında bir artma görülmüştür. %50 oranında B40 biyodizel bulunan yakıt kullanıldığında ise ortalama efektif basınç 14.19 Bar'dan 14.68 Bar'a çıkmış ve %3.45 oranında bir artma görülmüştür. Bu oranlar dikkate alındığında yakıttaki biyodizel yakıt karışım oranının, sıkıştırma oranına göre ortalama efektif basınçtaki artmanın üzerinde etkin bir rol oynamadığı

görülmüştür. Fakat sıkıştırma oranı arttıkça ortalama efektif basınçta bir artma görülmüştür. Sıkıştırma oranının artmasıyla yanma sürecinde silindir içindeki hacim azalmış ve silindir içindeki basınçta bir artma meydana gelmiştir. Silindir içindeki basıncın artmasıyla yanma verimi yükselmiş ve silindirin ortalama efektif basınç değerlerinde bir artma görülmüştür.

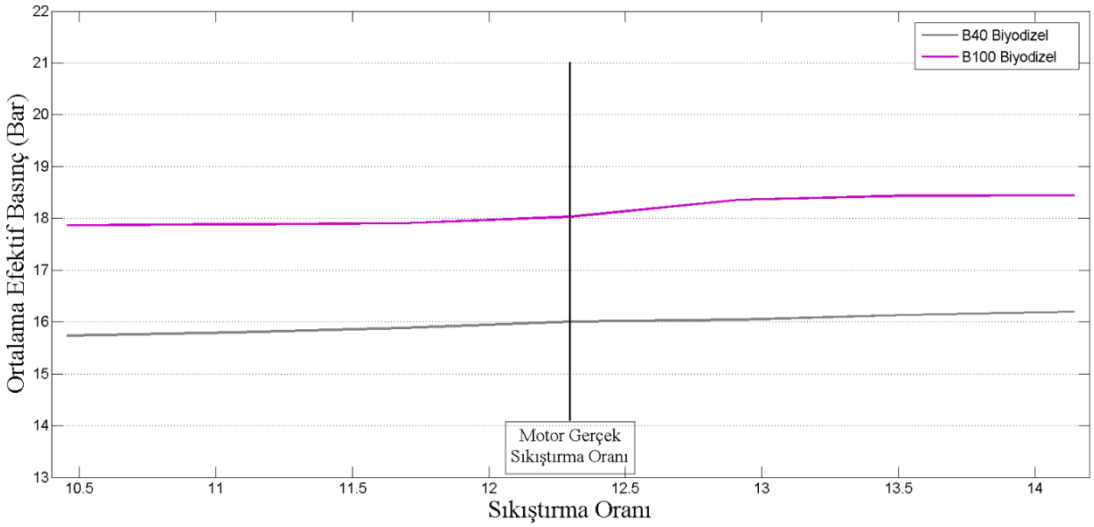


Şekil 4.22 : 2. Silindirdeki Ortalama Efektif Basıncın Sıkıştırma ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi.

Şekil 4.23'te ikinci silindirdeki ortalama efektif basıncın sıkıştırma oranına ve %40 oranındaki B40 ve B100 biyodizeline göre değişimi verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında; %40 oranındaki B40 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında ortalama efektif basınç 16.01 bar, %40 oranındaki B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında ortalama efektif basınç 18.04 bar olarak elde edilmiştir. Ortalama efektif basınçta, B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında, %12.68 oranında bir artma görülmüştür. Önceki açıklamalarda değinildiği üzere, bu durumun B100 biyodizel yakıt karışımının içerdiği oksijen mol miktarının daha az olmasından kaynaklı yanma sonu oluşan artık gaz miktarının B40 biyodizel yakıt karışımından daha az olması ile ilişkisi olduğu görülmüştür.

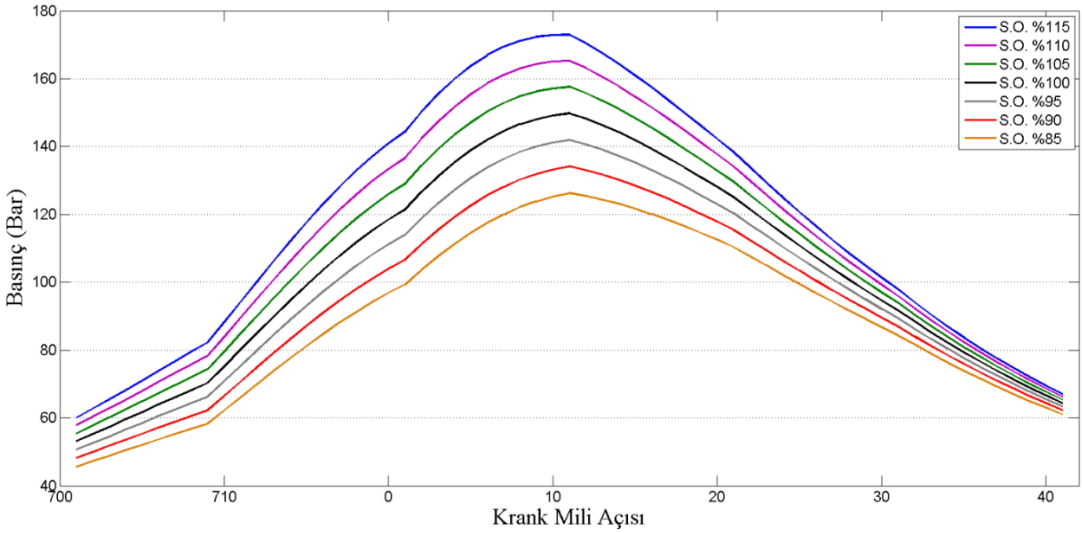
B40 biyodizel yakıt karışımında sıkıştırma oranının artmasıyla ortalama efektif basınç 15.74 bar'dan 16.20 bar'a yükselmiş ve %2.92 oranında artma gerçekleşmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımında sıkıştırma oranının artmasıyla ortalama efektif basınç 17.87 bar'dan 18.45 bar'a yükselmiş ve %3.25 oranında artma gerçekleşmiştir. Bu oranlar dikkate alındığında biyodizel yakıt çeşidinin, sıkıştırma oranına göre ortalama efektif basıncın artmasında etkin bir rol oynamadığı

görülmüştür. Sıkıştırma oranı arttıkça ortalama efektif basınç değerinde görülen artmanın daha önceden bahsedildiği üzere silindir içi hacimdeki düşüşten kaynaklı basıncın artması ve basıncın artmasıyla yanma veriminin de artması ile ilişkisi olduğu görülmüştür.



Şekil 4.23 : 2. Silindirdeki Ortalama Efektif Basıncın Sıkıştırma Oranına ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi.

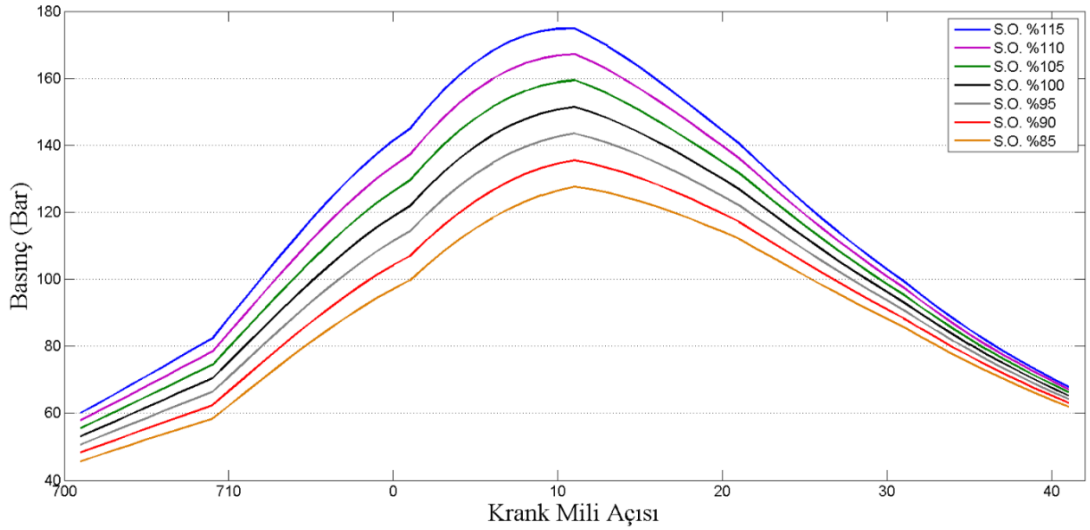
%80'i dizel %20'si B40 biyodizel olan yakıt kullanıldığında sıkıştırma oranının değişimine göre ikinci silindirdeki basınç dağılımı Şekil 4.24'te verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında silindir içi basınç 149.77 Bar iken; sıkıştırma oranı %15 arttırıldığında silindir içi basınç 172.89 bar'a çıkarak %15.44 oranında artmış, sıkıştırma oranı %15 azaltıldığında ise silindir içi basınç 126.23 bar'a düşerek %15.72 oranında azalmıştır. Sıkıştırma oranı arttıkça silindir içindeki hacimde bir azalma ve hacim – basınç arasındaki bağıntıdan kaynaklı silindir içi basınçta da bir artma olduğu bu grafikte de görülmüştür.



Şekil 4.24 : %80'i Dizel %20'si B40 Biyodizel Olan Yakıtın Sıkıştırma Oranının Değişimine Göre 2. Silindirdeki Basınç Dağılımı.

Bir önceki grafiğe benzer şekilde, %80'i dizel %20'si B100 biyodizel olan yakıt kullanıldığında sıkıştırma oranının değişimine göre ikinci silindirdeki basınç dağılımı Şekil 4.25'te verilmiştir. Motorun gerçek sıkıştırma oranında silindir içi basınç 151.43 bar iken; sıkıştırma oranı %15 arttırıldığında silindir içi basınç 174.91 bar'a çıkarak %15.50 oranında artmış, sıkıştırma oranı %15 azaltıldığında ise silindir içi basınç 127.67 bar'a düşerek %15.69 oranında azalmıştır.

Sıkıştırma oranı arttıkça silindir içi hacimdeki azalmadan kaynaklı basınçtaki artış bu grafikte de görülmüştür. Ayrıca daha önceden bahsedilen, B100 biyodizel yakıt karışımının silindir içi basınç değerlerinin B40 biyodizel yakıt karışımının silindir içi basınç değerlerinden daha yüksek olduğu durumu Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'teki grafiklerden de görülebilmektedir.

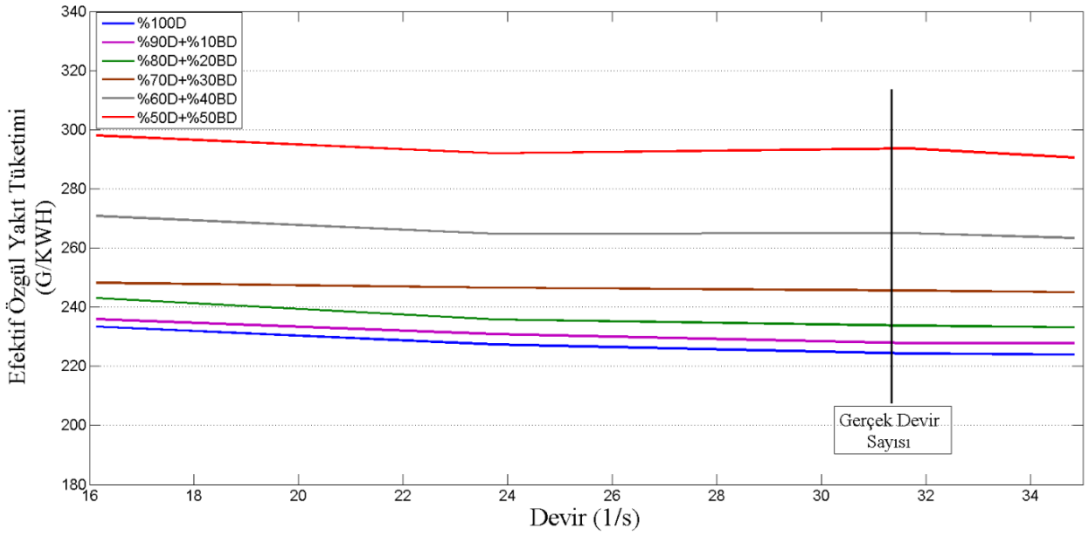


Şekil 4.25 : %80'i Dizel %20'si B100 Biyodizel Olan Yakıtın Sıkıştırma Oranının Değişimine Göre 2. Silindirdeki Basınç Dağılımı.

4.4 Devir Değişimine Göre Motor Parametre Grafikleri

İkinci silindirdeki efektif özgül yakıt tüketiminin devir ve B40 biyodizel yakıtın belirli karışım oranlarına göre değişimi Şekil 4.26'da verilmiştir. Motorun gerçek devir sayısındaki efektif özgül yakıt tüketiminin yakıt karışım oranlarının değişimine göre değerlendirilmesi, sıkıştırma oranına göre efektif özgül yakıt tüketimi değişim grafiğinde açıklanmıştır.

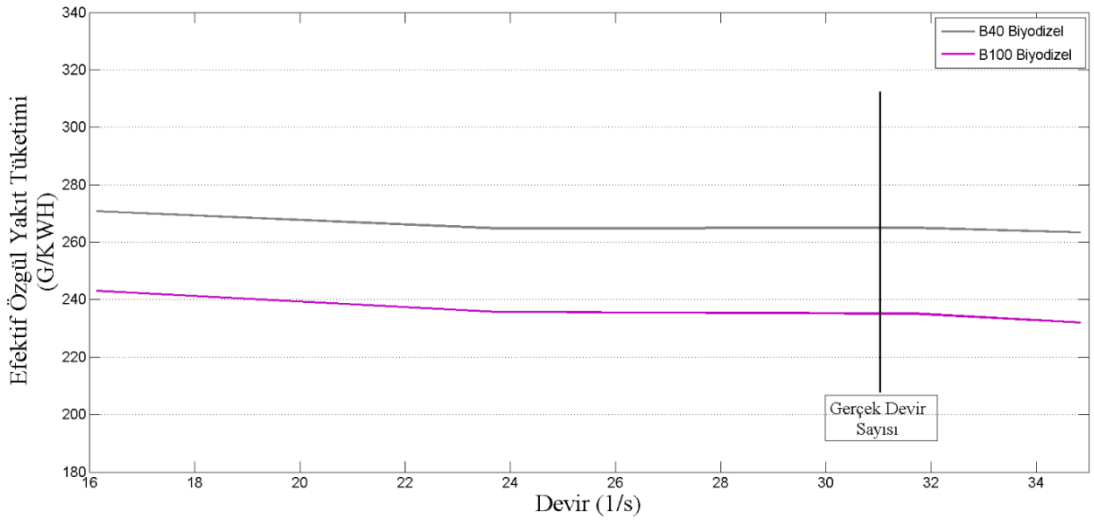
Standart dizel yakıt kullanıldığında devir sayısının artmasıyla efektif özgül yakıt tüketimi 233.54 g/kWh 'ten 224.03 g/kWh'e düşmüş ve %4.07 oranında bir azalma görülmüştür. %50 oranında B40 biyodizel bulunan yakıt kullanıldığında ise efektif özgül yakıt tüketimi 298.16 g/kWh'ten 290.70 g/kWh'e düşmüş ve %2.50 oranında bir azalma görülmüştür. Devir sayısı arttıkça pistonun hızı artmıştır. Piston hızının artmasıyla silindir içinde türbülans oluşmuştur. Oluşan bu türbülans sayesinde hava ile yakıt daha homojen bir karışım oluşturur. Bu sayede silindirin her bölgesinde daha iyi bir yanma gerçekleşir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda devir sayısının artmasıyla efektif özgül yakıt tüketimindeki azalma arasında bir ilişki olduğu görülmüştür. Fakat karışımdaki biyodizel yakıt miktarının fazla olduğu durumlarda devir sayısının artmasının efektif özgül yakıt tüketimindeki düşüşe etkisi oranlardan da görüldüğü üzere iyi değildir. Bu durumun silindir içindeki artık gazların fazla olmasıyla ilişkili olduğu görülmüştür.



Şekil 4.26 : 2. Silindirdeki Efektif Özgül Yakıt Tüketiminin Devir ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi.

Şekil 4.27'de ikinci silindirdeki efektif özgül yakıt tüketiminin devire ve %40 oranındaki B40 ve B100 biyodizeline göre değişimi verilmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında B40 biyodizel kullanılmasına oranla efektif özgül yakıt tüketiminin daha az olduğu, sıkıştırma oranına göre efektif özgül yakıt tüketiminin değişim grafiğinde (Şekil 4.15) açıklanmıştır.

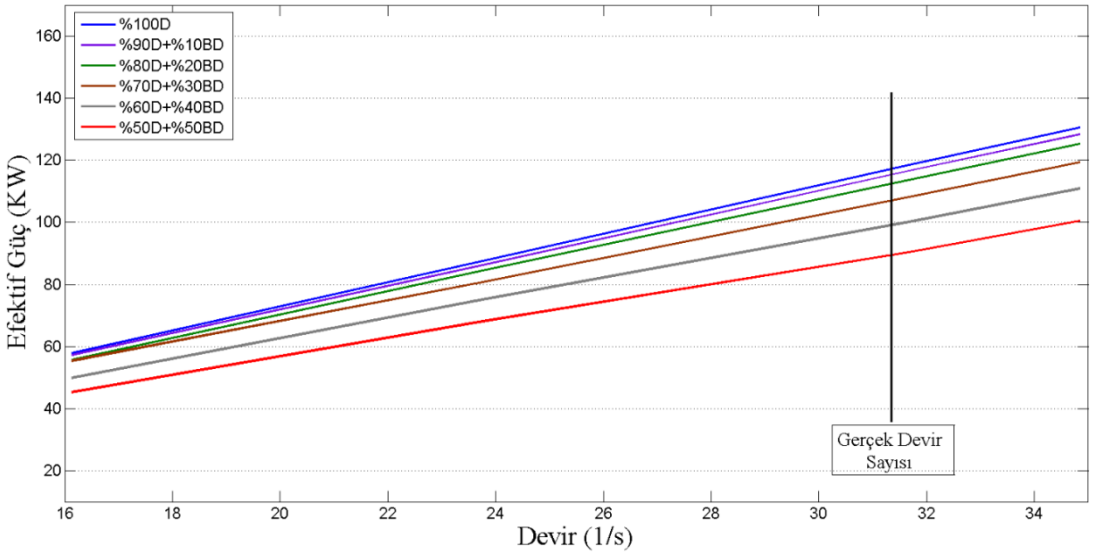
B40 biyodizel yakıt karışımında devir sayısının artmasıyla efektif özgül yakıt tüketimi 270.93 g/kWh'ten 263.51 g/kWh'e düşmüş ve %2.74 oranında azalma gerçekleşmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımında devir sayısının artmasıyla efektif özgül yakıt tüketimi 243.20 g/kWh'ten 232.08 g/kWh'e düşmüş ve %4.57 oranında azalma gerçekleşmiştir. Daha önceden değinildiği üzere devir sayısındaki artmadan kaynaklı hava – yakıt karışımı daha homojen olmuştur. Bu durumda silindirin her bölgesinde daha iyi bir yanma oluşmuş ve yanma verimi yükselmiştir. Efektif özgül yakıt tüketimindeki azalmanın yanma veriminin iyileşmesiyle ilişkili olduğu görülmüştür.



Şekil 4.27 : 2. Silindirdeki Efektif Özgül Yakıt Tüketiminin Devire ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi.

İkinci silindirdeki efektif gücün devir ve B40 biyodizel yakıtın belirli karışım oranlarına göre değişimi Şekil 4.28'de verilmiştir. Motorun gerçek devir sayısındaki efektif gücün yakıt karışım oranlarının değişimine göre değerlendirilmesi, efektif gücün sıkıştırma oranının değişmesine göre değerlendirildiği kısımda açıklanmıştır.

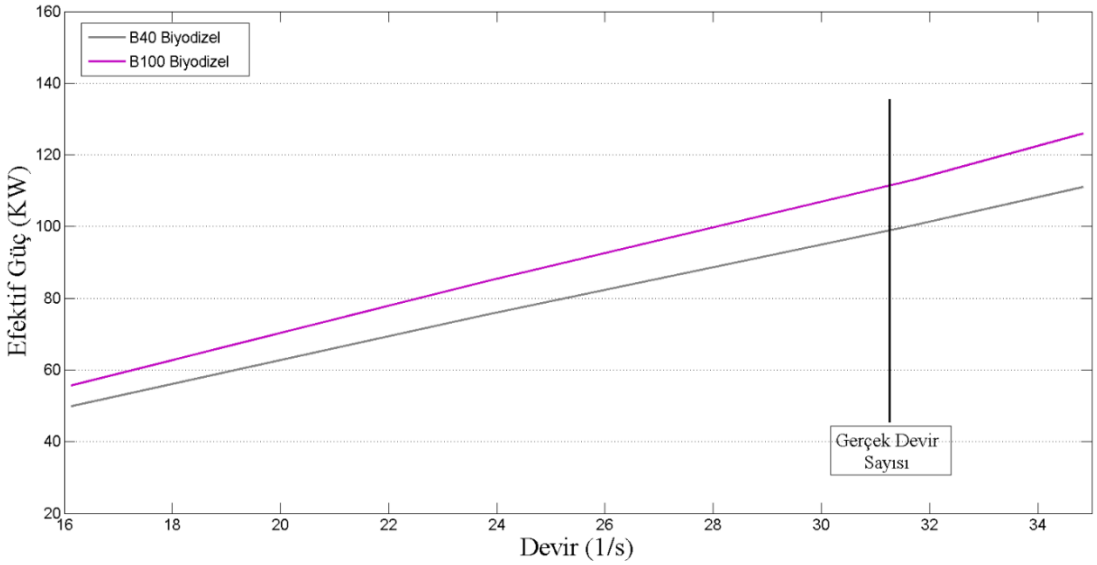
Standart dizel yakıt kullanıldığında devir sayısının artmasıyla efektif güç 58.00 kW 'tan 130.55 kW 'a çıkmış ve %125.08 oranında bir artma görülmüştür. %50 oranında B40 biyodizel bulunan yakıt kullanıldığında ise efektif güç 45.43 kW 'tan 100.61 kW 'a çıkmış ve %121.46 oranında bir artma görülmüştür. Daha önceden açıklandığı üzere, devir sayısı arttıkça pistonun hızı artmış ve silindir içinde türbülans oluşmuştur. Oluşan bu türbülans sayesinde hava ile yakıt daha homojen bir şekilde karışmıştır. Bu durumda silindirdeki yanma veriminde iyileşme olmuştur ve efektif gücün artmasının devir sayısının artmasıyla ilişkisi olduğu görülmüştür.



Şekil 4.28 : 2. Silindirdeki Efektif Gücün Devir ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi.

Şekil 4.29'da ikinci silindirdeki efektif gücün devire ve %40 oranındaki B40 ve B100 biyodizeline göre değişimi verilmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında B40 biyodizel kullanılmasına oranla efektif gücün daha fazla olduğu, sıkıştırma oranına göre efektif gücün değişim grafiğinde (Şekil 4.17) açıklanmıştır.

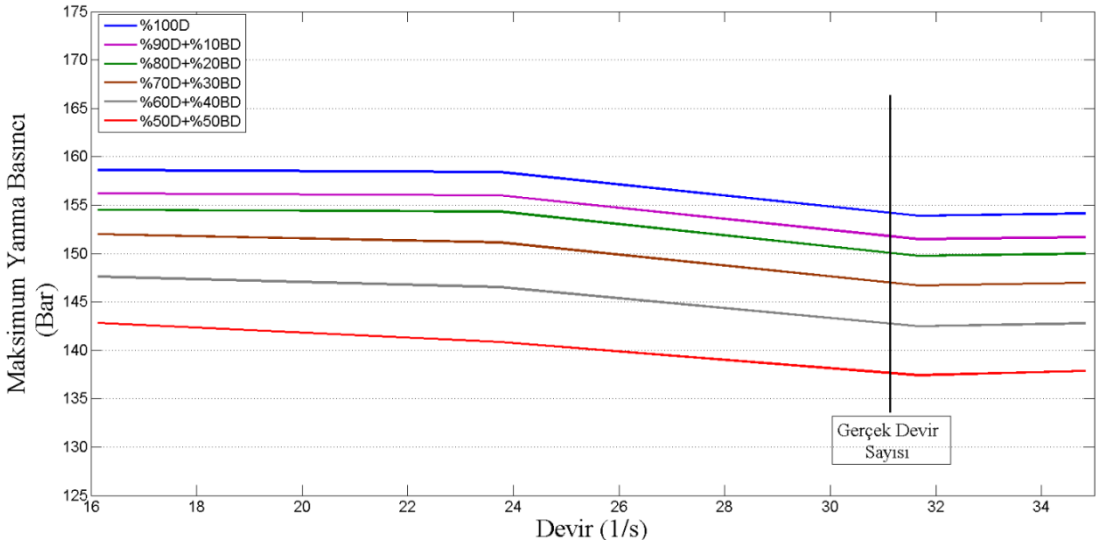
B40 biyodizel yakıt karışımında devir sayısının artmasıyla efektif güç 50.00 kW 'tan 110.99 kW 'a çıkmış ve %121.98 oranında artma gerçekleşmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımında devir sayısının artmasıyla efektif güç 55.70 kW 'tan 126.02 kW 'a çıkmış ve %126.25 oranında artma gerçekleşmiştir. Daha önceden belirtildiği üzere devir sayısındaki artmadan kaynaklı hava – yakıt karışımı daha homojen olmuştur. Bu durumda silindirin her bölgesinde daha iyi bir yanma oluşmuş ve yanma verimi yükselmiştir. Efektif güçteki artmanın yanma veriminin iyileşmesiyle ilişkili olduğu görülmüştür.



Şekil 4.29 : 2. Silindirdeki Efektif Gücün Devire ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi.

İkinci silindirdeki maksimum yanma basıncının devir ve B40 biyodizel yakıtın belirli karışım oranlarına göre değişimi Şekil 4.30'da verilmiştir. Motorun gerçek devir sayısındaki maksimum yanma basıncının yakıt karışım oranlarının değişimine göre değerlendirilmesi, sıkıştırma oranının maksimum yanma basıncının değişmesine göre değerlendirildiği kısımda açıklanmıştır.

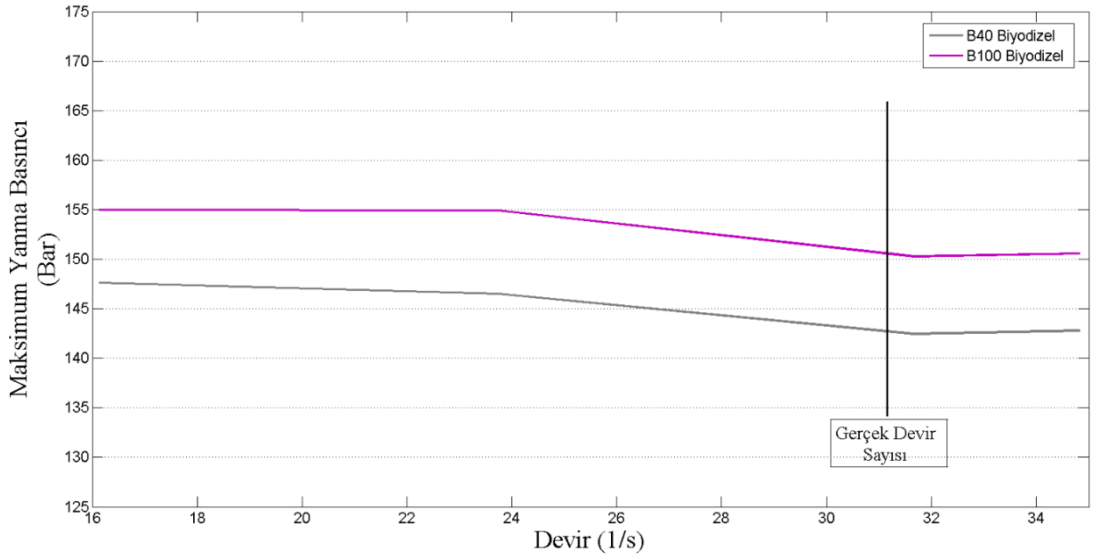
Standart dizel yakıt kullanıldığında devir sayısının artmasıyla maksimum yanma basıncı 158.63 bar'dan 154.15 bar'a düşmüş ve %2.90 oranında bir azalma görülmüştür. %50 oranında B40 biyodizel bulunan yakıt kullanıldığında ise maksimum yanma basıncı 142.86 bar'dan 137.89 bar'a düşmüş ve %3.60 oranında bir azalma görülmüştür. Bundan önce belirtildiği üzere, devir sayısı arttıkça pistonun hızı artmıştır. Piston hızının artmasıyla yanma başladıktan sonra silindir içindeki hacim daha hızlı genişler. Bu durum da yüksek devir sayılarında silindir içindeki maksimum yanma basıncının daha düşük olması ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 4.30 : 2. Silindirdeki Maksimum Yanma Basıncının Devir ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi.

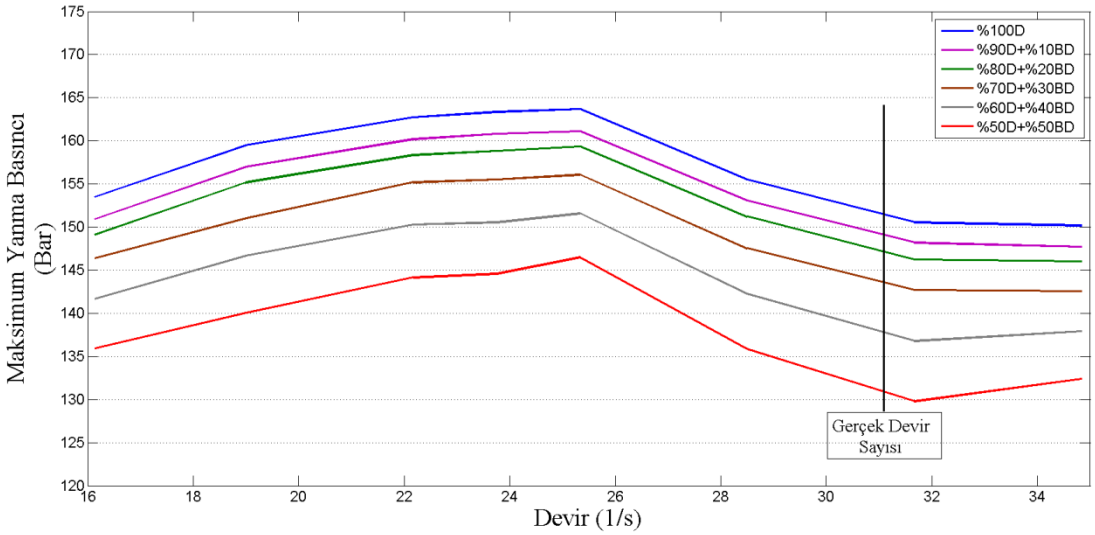
Şekil 4.31'de ikinci silindirdeki maksimum yanma basıncının devire ve %40 oranındaki B40 ve B100 biyodizeline göre değişimi verilmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımı kullanıldığında B40 biyodizel yakıt karışımı kullanılmasına oranla maksimum yanma basıncının daha az olduğu, sıkıştırma oranına göre maksimum yanma basıncının değişim grafiğinde (Şekil 4.19) açıklanmıştır.

B40 biyodizel yakıt karışımında devir sayısının artmasıyla maksimum yanma basıncı 147.83 bar'dan 142.83 bar'a düşmüş ve %3.38 oranında azalma gerçekleşmiştir. B100 biyodizel yakıt karışımında devir sayısının artmasıyla maksimum yanma basıncı 155.01 bar'dan 150.61 bar'a düşmüş ve %2.84 oranında azalma gerçekleşmiştir. Daha önceden belirtildiği üzere devir sayısı arttıkça piston hızı artmıştır. Piston hızının artmasıyla silindir içindeki hacim daha hızlı genişleyerek silindir içindeki basıncın düşmesine sebep olur. Bu durumun yüksek devirlerde maksimum yanma basıncının daha düşük olması ile ilişkili olduğu görülmüştür.



Şekil 4.31 : 2. Silindirdeki Maksimum Yanma Basıncının Devire ve %40 Oranındaki B40 ve B100 Biyodizeline Göre Değişimi.

Yedinci silindirdeki maksimum yanma basıncının devir ve B40 biyodizel yakıtın belirli karışım oranlarına göre değişimi Şekil 4.32'de verilmiştir. Standart dizel yakıt kullanıldığında, makinanın gerçek devir sayısında maksimum yanma basıncı 151.28 bar, gerçek devir sayısının %80'i kullanıldığında maksimum yanma basıncı 163.72 bar ve %50 si kullanıldığında maksimum yanma basıncı 153.51 bar olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde %50 oranındaki B40 biyodizel yakıt kullanıldığında gerçek devir sayısındaki maksimum yanma basıncı 131.83 bar, gerçek devir sayısının %80'i kullanıldığında maksimum yanma basıncı 146.52 bar ve %50'si kullanıldığında 135.96 bar olarak elde edilmiştir. Yedinci silindirde en yüksek yanma basıncı devir 25.336 d/s olduğunda yani gerçek devir sayısının %80'i olduğunda görülmektedir. Devir sayısı bu değerden daha az veya daha çok olduğunda maksimum yanma basıncında azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 4.32 : 7. Silindirdeki Maksimum Yanma Basıncının Devir ve B40 Biyodizelinin Belirli Karışım Oranlarına Göre Değişimi.

Bu grafiklerde görülen değerlerdeki artma ve azalmalar belirli bir devir sayısı ve sıkıştırma oranına kadar geçerlidir. Makinanın devir sayısı ve sıkıştırma oranı gibi makine özellikleri hesaplanırken, alınan efektif güç, efektif verim, efektif özgül yakıt tüketimi ve malzeme dayanımı gibi bir çok verinin optimum olduğu değerler hesaplanır. Bu değerlerin optimum olduğu noktaya göre makine özellikleri belirlenir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, bir gemi dizel motorunda dizel yakıtla biyodizel yakıt karışımlarının motorun performansına olan etkileri teorik olarak incelenmiştir.

İlk olarak biyodizel yakıtlar hakkında araştırmalar yapılmış ve dünyada yapılan çalışmalar incelenmiştir. Biyodizel yakıtların genel özellikleri, üretim yöntemleri ve yakıt olarak özellikleri ikinci bölümde incelenmiştir. Yapılan araştırmalar ışığında, kurulacak olan matematiksel modelde kullanılmak üzere iki çeşit biyodizel yakıt seçilmiştir. Seçilen biyodizel yakıtlardan biri soya yağı bazlı B40 biyodizeli, diğeri ise kanola yağı bazlı B100 biyodizeli olarak belirlenmiştir. Bu seçim yapılırken farklı tür yağdan elde edilmeleri, molekül yapılarının farklı olması ve alt ısıl değerlerinin farklı olması göz önünde bulundurulmuştur.

Üçüncü bölümde dizel motorlardaki güç strokunun matematiksel modeli oluşturulmuştur. Matematiksel model oluşturulurken adımsal yaklaşım metotu kullanılmıştır. Bu metotun kullanılmasının sebebi temel hava – yakıt reaksiyon denklemlerini ve kimyasal denge prensiplerini içermesidir. Temel hava – yakıt denklemleri, seçilen biyodizel yakıt ve dizel yakıtın değişik karışım oranlarına göre kimyasal denge ilkeleri sağlanarak oluşturulmuştur. Karışımlar için oluşturulan hava – yakıt reaksiyon denklemlerinin, hava ile yanma reaksiyonuna girmesinden sonra oluşan moleküler değişim incelenmiştir. Yanma sonucunda oluşan artık gaz miktarları belirlendikten sonra silindir içinde alıkonulan gazların mol miktarları hesaplanmıştır. Daha sonra Annand ilişkileri kullanılarak silindirde konveksiyon ve ışınım yolu ile ısı geçiş miktarları bulunmuştur. Termodinamiğin birinci kanunu kullanılarak silindir etrafında enerjinin korunumu denklemleri elde edilmiştir. Ayrıca Annand denklemleri kullanılarak dolgu değişimi boyunca silindirde olan ısı iletimi için de konveksiyonla ısı iletimi denklemleri oluşturulmuştur.

Üçüncü bölümde oluşturulan matematiksel modelin sonuçlarını görmek amacıyla bilgisayar kodu yazılması gerekmiştir. Özsoysal [29] tarafından geliştirilen bilgisayar kodu temel alınarak, bu kod üzerinde gerekli düzeltme ve düzenlemeler yapılmıştır. Düzenlenen kodda bir gemi dizel motorundan elde edilen datalar kullanılmıştır. Soya

ve kanola yağı bazlı biyodizel yakıtların dizel yakıtla değişik oranlardaki karışımlarını yakıt olarak kullanarak motorun performans verileri teorik olarak incelenmiştir.

Dizel makinanın kapalı çevrimdeki basınç ve sıcaklık eğrileri, emme ve egzoz manifoldlarındaki basınç değerleri incelenmiştir. Karışımdaki biyodizel oranı arttıkça basınç ve sıcaklık değerlerinde %10.69 oranına kadar düşüşler gözlenmiştir. Kullanılan biyodizel yakıtın alt ısıl değerinin düşük olmasının ve artık gaz miktarının fazla olmasının basınç ve sıcaklık değerlerindeki düşüşlerle ilişkili olduğu gözlenmiştir.

Kapalı çevrimdeki basınç ve sıcaklık değerleri incelenirken soya yağı bazlı B40 biyodizel yakıt karışımları ve kanola yağı bazlı B100 biyodizel yakıt karışımları karşılaştırıldığında ise B100 biyodizel içeren yakıt karışımlarının silindir içi sıcaklık ve basınç değerlerinin B40 biyodizel yakıt içeren karışımlarının silindir içi sıcaklık ve basınç değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun B100 biyodizel yakıt karışımları kulanıldığında oluşan artık gazların B40 biyodizel yakıt karışımları kullanılan duruma oranla daha az artık gaz oluşmasıyla ilişkili olduğu görülmüştür.

Emme ve egzoz manifoldlarındaki basınçlar incelendiğinde ise emme ve egzoz manifoldlarındaki basınçların karışımdaki biyodizel yakıt oranı arttıkça arttığı gözlenmiştir. Karışımdaki biyodizel oranı arttıkça silindir içindeki artık gaz miktarının arttığı matematiksel modelden görülmektedir. Emme ve egzoz manifoldlarındaki basınçların artması silindirdeki artık gaz miktarının artmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Bu değerler incelendikten sonra motorun sıkıştırma oranı değiştirilerek motorun efektif özgül yakıt tüketim, efektif güç, maksimum yanma basıncı, indike ısıl verim ve ortalama efektif basınç değerleri araştırılmıştır.

Karışımdaki biyodizel yakıt miktarı arttıkça motorun efektif özgül yakıt tüketiminde artmalar ve efektif gücünde azalmalar görülmüştür. Bu durumların biyodizel yakıt karışımlarının alt ısıl değerlerinin dizel yakıta oranla daha düşük olması ve biyodizel yakıt karışımlarının yanma sonunda silindir içerisinde oluşturdukları artık gaz miktarlarının daha fazla olması ile ilişkili olduğu görülmüştür. Aynı sebeplerden, karışımdaki biyodizel oranı arttıkça maksimum yanma basıncında, indike ısıl verim değerlerinde ve ortalama efektif basınçta düşüşler gözlenmiştir.

Motordaki sıkıştırma oranı arttıkça efektif özgül yakıt tüketiminde azalma ve efektif güç değerinde artma gözlemlenmiştir. Sıkıştırma oranının artmasıyla silindir içindeki hacim azalmış ve hacim basınç arasındaki ilişkiden bilindiği üzere basınç artmıştır. Bu durum maksimum yanma basıncı ve ortalama efektif basınç grafiklerinde de açık bir şekilde görülmüştür. Silindir içindeki basıncın artması sonucunda kullanılan yakıtların yanma kalitesi ve verimi artmış, bu durum da indike ısıl verim grafiğinde görülmüştür.

Yakıt karışımlarında kullanılan biyodizel yakıtlar yani soya yağı bazlı B40 ve kanola yağı bazlı B100 biyodizel yakıtlar karşılaştırıldığında ise B100 kodlu biyodizel yakıtın efektif özgül yakıt tüketimi B40 kodlu biyodizel yakıta kıyasla daha düşük, efektif güç değerleri ise daha yüksektir. B100 biyodizel yakıtın yanma veriminin daha iyi olması ve silindirde oluşturduğu artık gaz miktarının daha düşük olması, bu durumla ilişkilendirilebilir. Aynı şekilde B100 biyodizel kullanılan yakıt karışımlarının maksimum yanma basıncı, indike ısıl verim değeri ve ortalama efektif basıncı B40 biyodizeli kullanılan duruma kıyasla daha yüksektir.

Son olarak da motorun devir sayısı değiştirilerek, motorun efektif özgül yakıt tüketimi, efektif güç ve maksimum yanma basıncı değerleri incelenmiştir. Devir sayısı arttıkça efektif özgül yakıt tüketiminde %2.5 - %4 arasında bir düşüş gözlenmiştir. Efektif güçte ise %121 - %125 oranında bir artış görülmüştür. Devir sayısı arttıkça pistonun hızı artmış, bu da silindir içinde bir türbülans oluşturmuştur. Oluşan türbülans hava ile yakıtın daha iyi ve homojen karışmasını, böylece daha iyi ve verimli bir yanma oluşmasını sağlamıştır. Efektif özgül yakıt tüketiminin azalmasının ve efektif güçteki artmanın bu durumla ilişkili olduğu görülmüştür.

Aynı zamanda, maksimum yanma basıncının da devir sayısının artmasıyla azaldığı görülmüştür. Fakat yedinci silindirin maksimum yanma basıncı grafiği incelendiğinde, devir sayısı 25.336 d/s olduğunda yani makinanın gerçek devir sayısının %80'i olduğunda en yüksek yanma basıncı elde edilmiştir. Daha yüksek ve daha düşük devir sayılarında ise maksimum yanma basıncında azalmalar olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, biyodizel yakıtlar ile standart dizel yakıttan oluşan karışımlar kullanılırken, makine üzerinde hiçbir değişiklik yapılmamıştır. Biyodizel yakıt karışımları kullanıldığında makinanın performans verilerinde bir düşüş gözlenmiştir.

Performans düşüşleri B40 biyodizel yakıt karışımında B100 biyodizel yakıt karışımına göre daha fazladır. Bu durumun sebepleri detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca B100 biyodizel yakıt karışımıyla standart dizelin performans verileri arasında büyük bir fark olmadığı görülmüştür. Bu durumunda üretilen biyodizel yakıtın alt ısıl değeri, kimyasal bileşimi, yoğunluğu gibi değişkenlere bağlı olduğu görülmüştür. Eğer bu değişkenlerin en uygun olduğu biyodizeller üretilirse, makine performanslarında önemli gelişmeler sağlanabilir ve biyodizel yakıtlar dizel makinalarda rahatlıkla kullanılabilir. Biyodizel yakıtlar üretilirken ve kullanılırken bu kriterlerin göz önünde bulundurulması önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Qi, D. H., Chen, H., Matthews, R.D. ve Bian, Y. ZH.** (2009). Combustion and Emission Characteristics of Ethanol – Biodiesel – Water Micro – Emulsions Used in a Direct Injection Compression Ignition Engine. *Journal of Fuel,* **89**, 958-964.

[2] **Ashok, M. P.** (2011). Effect of Dimethyl Ether in a Selected Ethanol/Diesel Emulsified Fuel Ratio and Comparing the Performance and Emission of the Same to Diesel Fuel, *Energy and Fuels., **25***, 3799–3805.

[3] **Mulenga, M. C.** (2007). *Diesel Engine Performance Comparisons of High Temperature and Low Temperature Combustion with Conventional and Biodiesel Fuels*. , (doktora tezi). University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada.

[4] **Wagner, L.E., Clark, S.J. ve Schrock, M.D.** (1984). Effects of Soybean Oil Esters on the Performance, Lubricating Oil, Wear of Diesel Engines, *SAE., **841385***, 670-679.

[5] **Culshaw, F.** (1993). The Potential of Biodiesel from Oil seed Rape, IMechE., MEP, London, England.

[6] **Schlick, M.L., Hamma, M.A. ve Schinstock, J.L.** (1996). Soybean and Sunflower Oil Performance in a Diesel Engine, *Transactions of the ASAE, **Vol.31, No.5,*** 1345-1349.

[7] **Özaktaş, T., Cıgızoglu, K.B. ve Karaosmanoglu, F.** (1997). Alternative Diesel Fuel Study on Four Different Types Vegetable Oils of Turkish Origin, *Energy Sources, **19**, **2***, 173-181.

[8] **Altın, R.** (1998). *Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi,* (doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

[9] **İlkılıç, C.** (1999). *Çeşitli Alternatif Yakıtların Dizel Motoru Emisyonlarına Etkilerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi,* (doktora tezi). Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.

[10] **Yamık, H.** (2000). Dizel Motorlarda Bitkisel Yağlar ve Alkol Karışımlarının Performans ve Emisyonlara Etkilerinin Araştırılması, *Ulusal Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, Gazi Üniversitesi*, 141-149.

[11] **Agarwal A.K. ve Das L.M.** (2001). Biodiesel Development and Characterization for Use as a Fuel in Compression Ignition Engines,

*Journal of Engineering for Gas Turbines and Power-Transactions of The Asme, **123**, **2**,* 440-447.

[12] **Kaplan, C.** (2001). *Ayçiçeği Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı*, (yüksek lisans tezi). Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.

[13] **Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., Teas, Ch. ve Sakellaropoulos, F.,** (2003). An Investigation of Using Biodiesel/Marine Diesel Blends on the Performance of a Stationary Engine, *Biomass and Bio energy, **24***, 141-149.

[14] **Silvio, F.N., Prata, A.S., Teixeria, J.R.,** (2003). Technical Feasibility Assessment of Oleic Sunflower Methly Ester Utilisation in Diesel Bus Engine, *Energy Conversion and Management, **44***, 2857-2878.

[15] **Ramadhas A.S., Jayaraj S. ve Muraleedharan, C.,** (2005). Characterization and Effect of Using Rubber Seed Oil as Fuel in the Compression Ignition Engines, *Renewable Energy, **30***, 795-803.

[16] **Lee C.S., Park S.W. ve Kwon S.I.,** (2005). An Experimental Study on the Atomization and Combustion Characteristics of Biodiesel-Blended Fuels, *Energy Conversion and Management, **19***, 2201-2208.

[17] **Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y. ve Karaosmanoğlu, F.,** (2005). Engine and Winter Road Test Performances of Used Cooking Oil Originated Biodiesel, *Energy & Fuels, **46***, 1279-1291.

[18] **Akdere Y.** (2006). *Soya Yağımetil Esterlerinin Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması,* (yüksek lisans tezi). Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye.

[19] **Altıparmak, D., Keskin, A., Koca, A. ve Gürü, M.** (2007). Alternative Fuel Properties of Tall Oil Fatty Acid Methyl Ester-Diesel Fuel Blends, *Biosource Technology, **98***, 241-246.

[20] **Canakci, M.** (2007). Combustion and Characteristics of a Turbocharged DI Compression Engine Fueled with Petroleum Diesel Fuels and Biodiesel, *Bio Resource Technology, **98***, 1167-1175.

[21] **Shrivastava, N., Varma, S.N. ve Pandey M.** (2012). An Experimental Investigation of Performance and Exhaust Emission of a Diesel Engine Fuelled with Jatropha Biodiesel and Its Blends, *International Journal of Energy and Environment, **3**, **6,*** 915-926.

[22] **Jahirul, M.I., Rasul, M.G., Chowdhury, A.A. ve Ashwath N.** (2012). Biofuels Production through Biomass Pyrolysis — A Technological Review, *Energies, **5**,* 4952-5001.

[23] **Çoşgun, T.** (2012). *Farklı Yakıtlarla Çalışan Bir Dizel Motorunda Elektronik Kontrollü Su Buharı Enjeksiyonunun NOx Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması,* (yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

[24] **Nagaraju, V.** (2008). *Effect of Injection Pressure, Exhaust Gas Recirculation and Swirl Ratio on Autoignition, Combustion and Engine Out Emissions in a HSDI Engine Fueled by Soybean Biodiesel Blend (B-20),* (yüksek lisans tezi). Wayne State Univercity, Detroit, Michigan, USA.

[25] **Dobrucalı, E.** (2007). *Biyodizelin Bir Gemi Dizel Motorunun Performansına Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi,* (yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

[26] **Biyodizel Üretim Yöntemleri.** (t.y.). Alındığı tarih: 08.03.2013, adres: http://eng.ege.edu.tr/~otles/foodwaste-oil.tripod.com/biodizel/id2.html

[27] **Mesut, E.** (2011). *Atık Ayçiçeği Yağından Biyodizel Üretimi Ve Ön Isıtma Uygulaması,* (yüksek lisans tezi). Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye.

[28] **Gökalp B,** (2009). *Biyodizel Katkılı Gemi ve Uçak Yakıtlarının İçten Yanmalı Motorlardaki Performansının İncelenmesi,* (doktora tezi). Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.

[29] **Özsoysal, O.A.,** (1991). *Yüksek Devirli Gemi Dizel Motorlarının Analitik ve Denetsel İncelenmesi,* (doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

[30] **Sağ, O.K.,** (1983). *Gemi Dizel Motorlarının Sayısal Bilgisayar ile Termodinamik Simülasyonu,* (doçentlik tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

[31] **Ye, P.,** (2011). *Biodiesel Fueling on Engine Emissions and Performance,* (doktora tezi). Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA.

[32] **Altın, R., Çetinkaya, S. ve Yücesu, H.S.** (2000). *The Potential of Using Vegetable Oil Fuels as Fuel For Diesel Engines, Energy Conversion and Manegement, **42,*** 529-538.

EKLER

EK A: Bilgisayar Kodu

EK A

Silindirdeki güç strokunun %40 B40 biyodizel - %60 standart dizel için bilgisayar kodu

```
      SUBROUTINE POWER(N)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION VCYLA(360),VCYLE(360),VCYLP(360),TCP(360),PCP(360),
     &PRANG(360),CANG(2),PCFINT(2),WNI(4),WNF(4)
      COMMON/MF/AAAIR,AAEXH,ALPHAT,ANGEND,ANGRES,ANREV,
     &APAIR,APEXH,AREF,AVO(2),AVC(2),AAN(300),AP(300),
     &APN(300),FCYCLE,CLIN(300),CLOUT(300),DALPHA,
     &DANGRS,DREF,DZ,EREF,EVC(2),EVO(2),FREF,FPIPE(300),EFFMEC,
     &FPIPEN(300),IPOWER,IREV,GA,GE,GREF,IUNITL,
     &IUNITP,IUNITT,IUNITK,IUNITW,IUNITQ,MINDT

COMMON/SMF1/MREST,NAAT,NCLT,NCYLT,NINLET,NJUNCT,NNOZZT,NP
,NPA,
     &NPE,NPT,NTURBT,PAIR,PBACK,PBAR,PBARAB,PEXH,
     &PI,PREF,RBACK,REVENG,REVREF,RPAIR,RPEXH,RP(300),
     &RPN(300),TAIR,TEXH,TREF,VREF,WREF,XREF,Z,ZREF
      COMMON/CYL/ACSB,ALPHA,ALPHAE,ANNA,ANNB,ANNC,AC(24),
     &ACB(24),ACF(24),ACN(24),ACR(24),ALPHAC(24),ALPHEX(60),

&ALPHEXX(2,60),ALPAIR(60),ALPAIRR(2,60),APCWF(24),CALVAL,CARBO
N,
     &CDA,CDE,CR,COEFFA(4),COEFFB(4),COEFFC(4),COEFFD(4),
     &COEFFE(4),COEFFZ(4),CRANK(24),DELTA,DCYL,DHEAT(24),
     &DRC(24),DVCYL(24),DWCIN(24),DWCP(400),DWCYL(24)
      COMMON/CYL1/FCYL,FPISTA,FPISTE,FAIR1(60),FAIR2(60),FAIR3(60),
     &FEXH1(60),FEXH2(60),FEXH3(60),HEATG(24),PURITY,PVEL,PCR(24),
     &PCWF(24),PCYLT(24),PORTS(24),RC(24),RCN(24),RCR(24),SURF(24),

&TCR(24),TCYLT(24),TWALL(24),VALAIR,VALEXH,VCYL(24),WIDTHA,WI
DTHE,
     &WCAIR(24),WCIN(24),IPRT,MTYPE,NPCWF,NTAIR,NTEXH,NC(24),

&NENDE(24),NENDI(24),NENDEE(24),NENDII(24),NENDEEE(24),NENDIII(24
)

COMMON/CYL2/WCOUT(24),WCYL(24),WFUEL(24),WMW(4),WPCNT(96),
     &WN(4),WORKGA(24),WORKGE(24),XCRA,XCRE,XSTA,XSTE,
     &NCD(24),NSTORE(24),NSTORC(24),WCYLT(24),DWCINT(24),
     &DWCPT(24),DWCIN1(24),DWCIN2(24),DWCIN3(24)

COMMON/CY1/CCANG(1100),DATWC(1100),DATIN(1100),DATOUT(1100)
C
C HESAPLARA BASLANGIC ICIN ALTPROGRAMDA KULLANILAN ACI
DEGERLERININ
C SAPTANMASI
```

```
C
      ANGLA=ACSB
      ANGLE=ACSB+DELTA
      ANGLP=180*FCYCLE-ACSB+EVO(1)
      ANGLC=0.
      K=1
      PRANG(1)=ACSB
C
C YANMA ACILARININ SAPTANMASI
C
      ACBB=ACB(N)
      IF (ACBB.LT.180.) ACBB=180*FCYCLE+ACBB
      ACFF=ACF(N)
      IF (ACFF.LT.180.) ACFF=180*FCYCLE+ACFF
C
C GUC STROKU BASLANGICINDAKI SILINDIR HACMININ
HESAPLANMASI
C
      DST=0.
      CALL STROK(XST,DST,ANGLA,XSTA,XCRA,REVENG,ZREF)
      CALL CYLVOL(FCYL,XST,XSTA,CR,DST,VCYLA(1),DVCY)
      IF (MTYPE.EQ.1) FPISTE=1.
      VCYLE(1)=0.
      IF (MTYPE.EQ.1) GOTO 10
      DST=0.
      CALL STROK(XST,DST,ANGLE,XSTE,XCRE,REVENG,ZREF)
      CALL CYLVOL(FCYL,XST,XSTE,CR,DST,VCYLE(1),DVCY)
10    VCYLA(1)=VCYLA(1)*VREF
      VCYLE(1)=VCYLE(1)*VREF
      VCYLP(1)=VCYLA(1)+VCYLE(1)
      WORKA=0.
      WORKE=0.
      HEATRF=0.
      DQCR=0.
      ICOMB=0
C
C SIKISTIRMA BASLANGICINDA SILINDIRDEKI DOLGUYA AIT
BILESENLERIN
C DEGERLERI, WNA=HAVA MOL SAYISI, WNR=ARTIKLARIN MOL
SAYISI,
C WNP=YANMA URUNLERININ MOL SAYISI
C
      VCYLT=VCYLP(1)
      WNTF=PCYLT(N)*VCYLT*100/(8.3143*TCYLT(N))
      WNA=PURITY*WNTF
      WNR=WNTF-WNA
      WNP=(0.09*WFUEL(N)*(1-CARBON)/1.008)+3.198
C
C (1) AZOT, (2) OKSIJEN, (3) KARBONDIOKSIT, (4) SU BUHARI
C
```

```
      WNF(1)=0.79*WNA*(WNA+WNP+WNR)/(WNA+WNP)
      WNF(4)=(2*WNP-0.32)*WNR/(WNA+WNP)
      WNF(3)=(((4.032*CARBON*WNP-12.894336*CARBON)/(12.01*(1-
CARBON))
     &+6.46)/(WNA+WNP))*WNR
      WNF(2)=0.21*WNF(1)/0.79-WNF(3)-0.5*WNF(4)
C
C SILINDIRDE GUC CEVRIMI BASLANGICINDAKI KUTLE
C
      WMF=0.
      DO 20 I=1,4
20    WMF=WMF+WMW(I)*WNF(I)
      TRAF=28.967*WNA/WFUEL(N)
      TRMF=WMF/WFUEL(N)
      EAFR=32*WNF(2)*100/(23*WFUEL(N))
C
C GUC CEVRIMININ BASINDA SILINDIR BASINCI VE SICAKLIGININ
C SAKLANMASI
C
      PCF=PCYLT(N)
      PCP(1)=PCF
      LTWO=2
      CALL UNITP(IUNITP,LTWO,PCP(1),PBARAB)
      TF=TCYLT(N)
      TCP(1)=TF
      CALL UNITT(IUNITT,LTWO,TCP(1))
C
C GUC CEVRIMINDE DOLGUYA AIT BILESENLERIN IC ENERJILERININ
(KJ)
C BIRIMI CINSINDEN HESAPLANMASI
C
      ETF=0.
      DO 30 I=1,4
30    ETF=ETF+WNF(I)*(8.3143*((COEFFA(I)-1)*TF+COEFFB(I)*TF*TF+
     &COEFFC(I)*TF*TF*TF+COEFFD(I)*TF*TF*TF*TF)-COEFFE(I))
C
C SON ACI DEGERININ YENI ACI DEGERI OLARAK ATANMASI VE
CEVRIME
C DEVAM EDILMESI
C
40    K=K+1
      ANGLC=ANGLC+1
      ANGLA=ANGLA+1
      ANGLE=ANGLE+1
      PRANG(K)=ANGLA
      IF (PRANG(K).GE.180*FCYCLE) PRANG(K)=PRANG(K)-180*FCYCLE
      ETI=ETF
      PCI=PCF
      TI=TF
C
```

```
C YANMA OLUP OLMADIGININ VEYA GUC CEVRIMI HESAPLARININ
ISTENILIP
C ISTENMEDIGININ KONTROLU
C
C
      IF (ANGLA.LE.ACBB) GOTO 140
      IF ((ANGLA-1).GE.ACFF) GOTO 140
C
C
C YANMIS YAKIT YUZDESININ HESAPLANMASI
C
      IF (ICOMB.EQ.0) KC=K-1
      ICOMB=100
      CANG(1)=ANGLA-1
      CANG(2)=ANGLA
      DO 110 I=1,2
      ANG=CANG(I)-ACBB
      IF (ANG) 50,50,60
50    PCFINT(I)=0.
      GOTO 110
60    IF (APCWF(NPCWF)-ANG) 70,70,80
70    PCFINT(I)=100.
      GOTO 110
80    J=1
90    J=J+1
      IF (ANG-APCWF(J)) 100,100,90
100   JM1=J-1
      PCFINT(I)=PCWF(JM1)+(PCWF(J)-PCWF(JM1))*(ANG-APCWF(JM1))/
     &(APCWF(J)-APCWF(JM1))
110   CONTINUE
      DWFUEL=0.01*(PCFINT(2)-PCFINT(1))*WFUEL(N)
      DQF=DWFUEL*CALVAL
C
C YENI DOLGU BILESENLERINE AIT DEGERLERIN TESBIT EDILMESI
C
      WNTI=WNTF
      WMI=WMF
      DO 120 I=1,4
120   WNI(I)=WNF(I)
      X=0.09*DWFUEL*(1-CARBON)/1.008
      Y=0.36*DWFUEL*CARBON/12.01
      WNTF=WNTI+X
      WMF=WMI+DWFUEL
      WM=0.5*(WMI+WMF)
      WNF(2)=WNI(2)-X-Y-(9.338*0.4*DWFUEL/32)
      WNF(3)=WNI(3)+Y+(6.46*0.4*DWFUEL/44.01)
      WNF(4)=WNI(4)+2*X+(6.076*0.4*DWFUEL/18.016)
      DO 130 I=1,4
130   WN(I)=0.5*(WNF(I)+WNI(I))
      GOTO 160
```

```
C
C EGER YANMA YOKSA ...
C
140   DQF=0.
      DQCR=0.
      WNTI=WNTF
      WMI=WMF
      WM=WMF
      DO 150 I=1,4
      WNI(I)=WNF(I)
150   WN(I)=WNF(I)
C
C SILINDIR HACMI VE YANMA ODASI YUZEY ALANI
C
160   DST=0.
      CALL STROK(XST,DST,ANGLA,XSTA,XCRA,REVENG,ZREF)
      CALL CYLVOL(FCYL,XST,XSTA,CR,DST,VCYLA(K),DVCY)
      IF (MTYPE.EQ.1) FPISTE=1.
      VCYLE(K)=0.
      IF (MTYPE.EQ.1) GOTO 170
      DST=0.
      CALL STROK(XST,DST,ANGLE,XSTE,XCRE,REVENG,ZREF)
      CALL CYLVOL(FCYL,XST,XSTE,CR,DST,VCYLE(K),DVCY)
170   VCYLP(K)=VCYLA(K)+VCYLE(K)
      CALL SREA(CYLARE,VCYLP(K),FCYL,DCYL,XREF,DREF,
     &FPISTA,FPISTE,MTYPE)
      VCYLA(K)=VCYLA(K)*VREF
      VCYLE(K)=VCYLE(K)*VREF
      VCYLP(K)=VCYLP(K)*VREF
      KM1=K-1
      IF (VCYLP(K).LT.VCYLP(KM1)) VOLMIN=VCYLP(K)
      CYLARE=CYLARE*FREF
C
C ORTALAMA HACIM VE YOGUNLUK
C
C
      VC=0.5*(VCYLP(K)+VCYLP(KM1))
      RHO=WM/VC
C
C
C ZAMAN ADIMININ SONUNDAKI GAZ SICAKLIGININ TAHMINI
C
C
      TF=TI*(VCYLP(KM1)/VCYLP(K))**0.4+4*DQF/WM
C
C
C ORTALAMA GAZ SICAKLIGININ HESAPLANMASI
C
C
180   TM=0.5*(TI+TF)
```

```
C
C
C KONVEKSIYON ISI ILETIMININ (KJ) BIRIMI CINSINDEN
HESAPLANMASI
C
     CPT=0.
     DO 190 I=1,4
190   CPT=CPT+WN(I)*(COEFFA(I)+2*COEFFB(I)*TM+3*COEFFC(I)*TM**2+
    &4*COEFFD(I)*TM**3)
     CPT=8.3143*CPT/WM
     A=0.
     B=0.
     DO 200 I=1,4
     C=WN(I)*DSQRT(WMW(I))
     A=A+COEFFZ(I)*C
200   B=B+C
     VISCTY=(A*TM**0.645)/B
     CONDY=CPT*VISCTY/0.7
     REY=RHO*PVEL*DCYL*DREF/VISCTY
     H=(ANNA*CONDY*REY**ANNB)/(DCYL*DREF)
     DQCY=(CYLARE*H*(TM-TWALL(N)))/(360*REVREF*REVENG)
     IF (ICOMB.EQ.0) GOTO 210
C
C RADYASYON ISI ILETIMININ YANMANIN BASLADIGI ANDAN
ITIBAREN
C HESAPLANMASI
C
C
     DQCR=CYLARE*ANNC*(TM**4-
TWALL(N)**4)/(360*REVREF*REVENG)
C
C
C ZAMAN ADIMININ SONUNDA BULUNAN BASINC DEGERI
C
C
210   KM1=K-1
     PCF=PCI*VCYLP(KM1)*TF*WNTF/(VCYLP(K)*WNTI*TI)
C
C
C ZAMAN ADIMI BOYUNCA YAPILAN IS (KJ)
C
C
     DWORKA=0.5*(PCF+PCI)*(VCYLA(K)-VCYLA(KM1))*100
     DWORKE=0.5*(PCF+PCI)*(VCYLE(K)-VCYLE(KM1))*100
C
C
C ZAMAN ADIMININ SONUNDAKI IC ENERJI DEGERI (KJ)
C
     ETF=0.
     DO 220 I=1,4
```

```
220   ETF=ETF+WNF(I)*(8.3143*((COEFFA(I)-1)*TF+COEFFB(I)*TF**2+
     &COEFFC(I)*TF**3+COEFFD(I)*TF**4)-COEFFE(I))
C
C TERMODINAMIGIN 1.KANUNU, ENERJININ KORUNUMU ILKESI VE
C MODELLEME MANTIGI GEREGI ZAMAN ADIMININ BASINDA TAHMIN
C EDILEN ZAMAN SONU GAZ SICAKLIGI DEGERININ 1.KANUN
C ENERJI DENGELEMESINI SAGLAYIP SAGLAMADIGININ KONTROLU.
C ISTENILEN MERTEBEDE DENGE KURULAMAMIS ISE HESAPLANAN
C YENI GAZ SICAKLIGININ TAHMINI DEGER OLARAK ATANARAK
ISLEME
C HASSASIYET SAGLANINCAYA KADAR DEVAM EDILMESI
C
      ERR=ETF-ETI-DQF+DQCY+DQCR+DWORKA+DWORKE
      DERIV=0.
      DO 230 I=1,4
230   DERIV=DERIV+WNF(I)*8.3143*(COEFFA(I)-1+2*COEFFB(I)*TF+
     &3*COEFFC(I)*TF**2+4*COEFFD(I)*TF**3)
C
C SON SICAKLIK DEGERININ CEVRIME DEVAM ICIN YENI DEGER
OLARAK
C ALINMASI
C
C
      ERR=ERR/DERIV
      TF=TF-ERR
C
C
C HATA ISTENILEN KUCUKLUKTE DEGIL ISE -180- ETIKET NUMARALI
SATIRA
C DONUS
C
C
      IF (DABS(ERR).GT.0.0001) GOTO 180
C
C
C COZUMLER
C
      WORKA=WORKA+DWORKA
      WORKE=WORKE+DWORKE
      HEATRF=HEATRF+DQCY+DQCR
      TCP(K)=TF
      LTWO=2
      CALL UNITT(IUNITT,LTWO,TCP(K))
      PCP(K)=PCF
      CALL UNITP(IUNITP,LTWO,PCP(K),PBARAB)
          IF (PRANG(K).EQ.0.0) WRITE(24,24000) PCP(K)
          IF (PRANG(K).EQ.10.0) WRITE(24,24000) PCP(K)
24000 FORMAT(5X,F15.8)
      WRITE(6,9100) IREV, PRANG(K),TCP(K),PCP(K)
9100  FORMAT(1X,'CYCLE =',I2,'  CRANK ANGLE =',F6.1,
```

```
     &'  TEMPERATURE =',F7.2,'  PRESSURE =',F7.2)
C
C GUC CEVRIMININ BITIP BITMEDIGININ KONTROLU, BITMEMIS ISE -40-
C ETIKET NUMARALI SATIRA DONUS
C
C
      IF (ANGLC.LT.(ANGLP-0.1)) GOTO 40
C
C
C GUC CEVRIMI BITMISTIR. ACIGA CIKAN GUC, BASINC VE SICAKLIK
C DEGERLERININ SAKLANMASI
C
C
      PCR(N)=PCF
      TCR(N)=TF
      WORKP=WORKA+WORKE
      WORKT=WORKP+WORKGA(N)+WORKGE(N)
      HEATT=HEATRF-HEATG(N)
      CYCLES=REVENG*REVREF*2/FCYCLE
      POWERA=WORKA*CYCLES
      POWERE=WORKE*CYCLES
      POWEGA=WORKGA(N)*CYCLES
      POWEGE=WORKGE(N)*CYCLES
      POWERT=WORKT*CYCLES
      VSWEPT=(XSTA+XSTE)*FCYL*VREF
      PMIP=(WORKT/VSWEPT)*0.01
      HEATFL=WFUEL(N)*CALVAL
C
C SONUCLARIN DOSYALARA YAZDIRILMASI
C
      IF (IPRT) 240,240,270
240   WRITE(2,2000) PRANG(1),PCP(1),TCP(1)
2000  FORMAT(/,1X,'KRANK ACISI.....:',
     &F7.1,/,1X,'GUC CEVRIMI BASINDAKI SILINDIR BASINCI....:',F7.1,
     &/,1X,'GUC CEVRIMI BASINDAKI SILINDIR SICAKLIGI..:',F7.1,/)
      WRITE(2,2010) PRANG(KC),PCP(KC),TCP(KC)
2010  FORMAT(/,1X,'KRANK ACISI.....:',
     &F7.1,/,1X,'SIKISTIRMA STROKUNUN BASINDA BASINC.....:',F7.1,
     &/,1X,'SIKISTIRMA STROKUNUN BASINDAKI SICAKLIK...:',F7.1,/)
      I=0
250   I=I+1
      IF (PCP(I)-PCP(I+1)) 250,250,260
260   WRITE(2,2020) PRANG(I),PCP(I),TCP(I)
2020  FORMAT(//,1X,'KRANK ACISI',F6.1,5X,'MAKSIMUM BASINC',F8.2,
     &5X,'SICAKLIK',F8.2)
      WRITE(2,2030) PRANG(K),PCP(K),TCP(K)
2030  FORMAT(//,1X,'KRANK ACISI',F6.1,5X,'CIKIS BASINCI',F8.2,
     &5X,'CIKIS SICAKLIGI',F7.1)
      GOTO 300
270   WRITE(2,2040)
```

```
2040  FORMAT(/,3(1X,'  ACI     BASINC    SICAK.'))
      I=(K+2)/3
      DO 280 J=1,I
      L=J+2*I
      IF (L.GT.K) L=L-I
280   WRITE(2,2050)(PRANG(M),PCP(M),TCP(M),M=J,L,I)
2050  FORMAT(3(F6.1,F10.2,F10.2,1X))
      DO 290 IJK=1,K
      WRITE(4,4000) PRANG(IJK),PCP(IJK),TCP(IJK)
290   CONTINUE
4000  FORMAT(F6.1,F9.2,F8.1)
300   CONTINUE
      WRITE(2,2060) TRAF,EAFR,ACBB
      WRITE(6,2060) TRAF,EAFR,ACBB
2060  FORMAT(1X,'HAVA-YAKIT ORANI.....=',F8.2,
     &/,1X,'EFEKTIF HAVA YAKIT ORANI.....=',F8.2,/,
     &1X,'YANMANIN BASLANGICI.....=',F8.2)
      X=VCYLT/VOLMIN
      Y=VCYLP(K)/VOLMIN
      WRITE(2,2070) X,Y
      WRITE(6,2070) X,Y
2070  FORMAT(' EFEKTIF SIKISTIRMA ORANI.....=',F8.2,/,
     &1X,'EFEKTIF GENISLEME ORANI.....=',F8.2)
      IF (IUNITK.EQ.2) GOTO 320
      WRITE(2,2080)
      WRITE(6,2080)
2080  FORMAT(/,1X,'INDIKE MOTOR GUCU [KW]')
      X=POWERA+POWEGA
      WRITE(2,2090) POWERA,POWEGA,X
      WRITE(6,2090) POWERA,POWEGA,X
2090  FORMAT(1X,'HAVA.....(GUC CEVRIMI).....=',F8.2,
     &/,1X,'HAVA...(GAZ HAL DEGISIMI).....=',F8.2,/,
     &1X,'TOPLAM ALINAN GUC.....=',F8.2)
      IF (MTYPE.NE.2) GOTO 310
      Y=100*(WORKA+WORKGA(N))/WORKT
      WRITE(2,2100) Y
      WRITE(6,2100) Y
2100  FORMAT(1X,'YUZDE OLARAK TOPLAM ALINAN GUC.....=',F8.2)
      X=POWERE+POWEGE
      Y=100*(WORKE+WORKGE(N))/WORKT
      WRITE(2,2110) POWERE,POWEGE,X,Y
      WRITE(6,2110) POWERE,POWEGE,X,Y
2110  FORMAT(1X,'EGSOZ.....(GUC CEVRIMI).....=',F8.2,
     &1X,'EGSOZ....(GAZ HAL DEGISIMI).....=',
     &F8.2,1X,'TOPLAM ALINAN GUC.....=',F8.2,
     &1X,'YUZDE OLARAK TOPLAM ALINAN GUC.....=',F8.2)
310   SPIFCM=WFUEL(1)*3600*1000*REVREF*REVENG/(2*POWERT)
      WRITE(2,2120) POWERT,PMIP,SPIFCM
      WRITE(6,2120) POWERT,PMIP,SPIFCM
2120  FORMAT(1X,'BIRLESIK GUC (HAVA + EGSOZ).....=',
```

```
     &F8.2,/,1X,'ORTALAMA INDIKE BASINC..[BAR].....=',
     &F8.2,/,1X,'INDIKE OZGUL YAKIT TUKETIMI..[G/KWH]....=',F8.2)
      PPWRTT=POWERT*EFFMEC
      PPMEPP=PMIP*EFFMEC
      SPFUCM=WFUEL(1)*3600*1000*REVREF*REVENG/(2*PPWRTT)
      WRITE(2,2125) EFFMEC,PPWRTT,PPMEPP,SPFUCM
      WRITE(6,2125) EFFMEC,PPWRTT,PPMEPP,SPFUCM
2125  FORMAT(/,1X,'MEKANIK VERIM.....=',F8.2,
     &/,1X,'TEK BIR SILINDIRIN EFEKTIF GUCU..[KW]...=',F8.2,/,
     &1X,'ORTALAMA EFEKTIF BASINC..[BAR].....=',F8.2,/,1X,
     &'EFEKTIF OZGUL YAKIT TUKETIMI..[G/KWH]...=',F8.2,/)
          WRITE(24,24000) PPMEPP
          WRITE(24,24000) SPFUCM
          WRITE(24,24000) PPWRTT
      GOTO 340
320   WRITE(2,2130)
      WRITE(6,2130)
2130  FORMAT(/,1X,'INDIKE MOTOR GUCU [HP]')
      A=POWERA*1.34
      B=POWEGA*1.34
      X=A+B
      WRITE(2,2090) A,B,X
      WRITE(6,2090) A,B,X
      IF (MTYPE.NE.2) GOTO 330
      Y=100*(WORKA+WORKGA(N))/WORKT
      WRITE(2,2100) Y
      WRITE(6,2100) Y
      A=POWERE*1.34
      B=POWEGE*1.34
      X=A+B
      Y=100*(WORKE+WORKGE(N))/WORKT
      WRITE(2,2110) A,B,X,Y
      WRITE(6,2110) A,B,X,Y
330   A=POWERT*1.34
      B=PMIP*14.5
      WRITE(2,2140) A,B
      WRITE(6,2140) A,B
2140  FORMAT(1X,'BIRLESIK GUC (HAVA + EGSOZ).....=',F8.2,
     &/,1X,'ORTALAMA INDIKE BASINC..[P.S.I].....=',F8.2)
340   A=100*HEATRF/HEATFL
      B=-100*HEATG(N)/HEATFL
      X=100*HEATT/HEATFL
      WRITE(2,2150) A,B,X
      WRITE(6,2150) A,B,X
2150  FORMAT(1X,'YUZDE  OLARAK  ISI  KAYIPLARI',/,
     &1X,'GUC CEVRIMI BOYUNCA.....=',F8.2,/,
     &1X,'GAZ HAL DEGISIMI BOYUNCA.....=',F8.2,/,
     &1X,'TOPLAM.....=',F8.2)
      Y=100*WORKT/HEATFL
      WRITE(2,2160) Y
```

```
      WRITE(6,2160) Y
 2160  FORMAT(/,1X,'INDIKE ISIL VERIM.....=',F8.2)
      WRITE(24,24000) Y
      RETURN
      END
```

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad:	**Görkem BENEK**
Doğum Yeri ve Tarihi:	**Eskişehir - 1986**
E-Posta:	**gbenek@itu.edu.tr**
Lisans:	**Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği**