

**BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA AMİL ALKOL
KULLANIMININ DENEYSEL VE YAPAY SİNİR
AĞLARIYLA İNCELENMESİ**

**2018
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Samet USLU

**BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA AMİL ALKOL KULLANIMININ
DENEYSEL VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA İNCELENMESİ**

Samet USLU

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Doktora Tezi

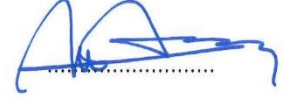
Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Aralık 2018

Samet USLU tarafından hazırlanan “BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA AMİL ALKOL KULLANIMININ DENEYSEL VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylıyorum.

Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 14/12/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

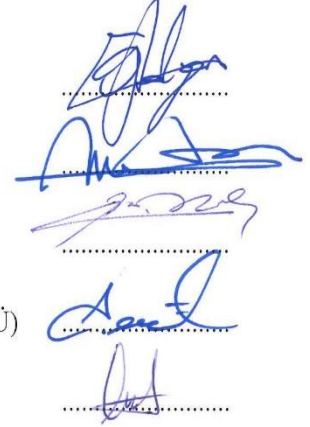
Başkan : Prof. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)

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

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cihan MIZRAK (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alaattin Osman EMİROĞLU (BAİBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ŞEN (BAİBÜ)



21.12/2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





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

Samet USLU

ÖZET

Doktora Tezi

BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA AMİL ALKOL KULLANIMININ DENEYSEL VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA İNCELENMESİ

Samet USLU

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK

Aralık 2018, 122 sayfa

Taşıtlarda petrol türevi yakıt kullanımı sonucu ulaşım maliyetlerinin artması ve emisyon değerlerinin yükselmesi nedeniyle araştırmacılar alternatif yakıt arayışı içine girmişlerdir. Buji ateşlemeli motorlarda halen LPG, doğal gaz, alkoller (etanol, metanol, bütanol) ve hidrojen alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Alkol yakıtların oktan sayısının benzine göre nispeten yüksek olması ve biyokütle kaynaklarından üretilebiliyor olması, alternatif yakıtlar arasında alkol yakıtları bir adım öne çıkarmıştır. Bununla birlikte, alkollerin içeriğinde oksijen bulunması emisyonları iyileştirici etki yapmaktadır. Bu çalışmada alkollerden izoamil alkol tercih edilmiştir. İzoamil alkol, alkol üretiminde yan ürün olarak çıkan fuzel yağının içerisinde hem hacimsel hem de kütleli olarak yaklaşık %65 oranında bulunmaktadır. Amil alkolün motorda kullanılmasıyla atık fuzel yağı değerlendirilebilecektir.

Çalışma kapsamında, izoamil alkolün üç farklı oranda (%10, %20 ve %30) benzin ile karıştırılması ile oluşturulan yakıt karışımları ve benzin olmak üzere dört farklı yakıt (A0, A10, A20 ve A30) kullanılmıştır. Motor deneyleri; tam yükte, değişik hızlarda ve üç farklı sıkıştırma oranında (8,0:1, 8,5:1 ve 9,0:1) gerçekleştirilmiştir. İzoamil alkol oranı değişiminin ve sıkıştırma oranı değişiminin performans, emisyon ve yanma üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Deneylelerden elde edilen sonuçlara göre, tüm sıkıştırma oranı değerlerinde, yakıt içerisindeki izoamil alkol oranının artmasıyla birlikte egzoz emisyon değerleri benzine kıyasla azalmıştır. A30 yakıtının kullanımı ile CO, NO_x ve HC emisyonu benzine kıyasla sırasıyla %12,2, %35,6 ve %6,45 oranında daha düşük çıkmıştır. Diğer taraftan; tüm sıkıştırma oranı değerlerinde, fren efektif verimi, fren özgül yakıt tüketimi, silindir içi gaz basıncı ve fren ortalama efektif basınç değerleri izoamil alkol kullanımı ile artmıştır. Bu artışlar sırasıyla %2,67, %23,05, %7,83 ve %2,03 oranında gerçekleşmiştir. Deney sonuçlarına göre moment ve efektif güç değerleri de izoamil alkol kullanımı ile %2,03 ve %2,51 oranında artmıştır.

Buji ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının artmasıyla verim de artmaktadır. Yüksek oktanlı yakıtlar daha yüksek sıkıştırma oranına imkân vermektedir. Çalışmada kullanılan izoamil alkolün oktan sayısı benzine göre nispeten daha yüksektir. İzoamil alkol kullanımı ile motorun orijinal sıkıştırma oranı olan 8,5:1'in üzerinde bir sıkıştırma oranı ile motor çalıştırılabilmiş ve efektif verimde %2,67 oranında artış elde edilmiştir.

Bu çalışmada ayrıca, performans ve emisyon tahmininde bulunmak amacıyla deneylelerden elde edilen veriler kullanılarak yapay sinir ağı oluşturulmuş ve daha sonra yapay sinir ağının performansını değerlendirmek amacıyla bir kıyaslama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre korelasyon katsayısı değerleri 0,945-0,989 arasında, ortalama bağıl hata (mean relative error) değerleri ise %1,54-%7,01 arasında çıkmıştır ve bu değerler yapay sinir ağının performansının iyi olduğunu göstermektedir. Yapılan kıyaslama sonucunda yapay sinir ağının motor performansının ve emisyonlarının tahmininde kullanılmaya uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Sözcükler : Yapay sinir ağıları, izoamil alkol, benzinli motor, alternatif yakıt,
sıkıştırma oranı.

Bilim Kodu : 914.3.026



ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INVESTIGATION OF USING AMYL ALCOHOL ON SPARK IGNITION ENGINE WITH EXPERIMENTAL AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Samet USLU

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK

December 2018, 122 pages

Researchers have been in search of alternative fuel due to the increase in transportation costs and the increase in emission values as a result of the use of petroleum derivative fuel in vehicles. In spark ignition engines, LPG, natural gas, alcohols (ethanol, methanol, butanol) and hydrogen are still used as alternative fuels. The fact that the octane number of alcohol fuels is relatively high compared to gasoline and can be produced from biomass sources has made alcohol fuels one step ahead of alternative fuels. However, the presence of oxygen in the content of alcohols has a curative effect on emissions. In this study, isoamyl alcohol was preferred. Isoamyl alcohol, in the production of alcohol as a by-product in the fuzel oil, both volumetric and mass is about 65%. The use of amyl alcohol in the engine can be used to assess waste oil.

In the study, four different fuels (A0, A10, A20 and A30) were used. Engine experiments were made at full load, different engine speeds and three different compression ratios (8,0:1, 8,5:1 and 9,0:1). The effects of isoamyl alcohol ratio change and compression ratio change on performance, emission and combustion was investigated.

According to the results obtained from the experiments, in all compression ratio values, with the increase of the isoamyl alcohol content in the fuel, the exhaust emission values decreased compared to gasoline. The CO, NO_x and HC emissions were lower about 12,2%, 35,6% and 6,45%, respectively with the use of A30. On the other hand; at all compression ratio values, the brake effective efficiency, brake specific fuel consumption, in-cylinder gas pressure and brake average effective pressure values increased with the use of isoamyl alcohol. These increases were realized as %2,67, %23,05, %7,83 and %2,87, respectively. According to the results of the experiment, moment and effective power values increased by 2,03% and 2,51% with isoamyl alcohol usage.

Effective efficiency increases with increasing compression ratio in spark ignition engines. High octane fuels provide higher compression ratio. The octane number of isoamyl alcohol is relatively higher than gasoline. With the use of isoamyl alcohol, the engine could be operated with higher compression ratio than 8,5:1 which is original compression ratio of the engine, and an effective efficiency increase about 2,67%.

In addition to this study, an artificial neural network was created by using the data obtained from the experiments to estimate performance and emission, and then a comparison was made to evaluate the performance of the artificial neural network. According to the results obtained, the correlation coefficient values were between 0,944 and 0,989, mean relative error values were between 1,54% and 7,01%, and these values show that the performance of the artificial neural network is good. As a result of the comparison, it has been found that the artificial neural network is suitable for use in predicting motor performance and emissions.

Key Word : Artificial neural network, isoamil alcohol, gasoline engine,
alternative fuel, compression ratio.

Science Code : 914.3.026



TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Hocam Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Arő. Gör. Dr. Mustafa AYDIN'a teşekkür ederim.

Sevgili eşime ve aileme, manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR TARAMASI.....	3
BÖLÜM 3	8
BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR	8
3.1. METANOL	8
3.2. ETANOL	9
3.3. BÜTANOL	10
3.4. HİDROJEN	10
3.5. DOĞALGAZ.....	11
3.6. SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI (LPG)	12
3.7. ETERLER	13
3.7.1. Dietil Eter.....	13
3.7.2. Dimetil Eter	13

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	15
MOTORLARDA PERFORMANS VE EMİSYONLAR	15
4.1. MOTOR PERFORMANSINA ETKİ EDEN PARAMETRELER	15
4.1.1. Sıkıştırma Oranı.....	15
4.1.2. Oktan Sayısı.....	19
4.2. BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA KİRLETİCİ EMİSYONLAR.....	20
4.2.1. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma.....	21
4.2.2. Emisyonlar	21
BÖLÜM 5	25
MATERYAL YÖNTEM	25
5.1. DENEY DONANIMI.....	26
5.1.1. Deney Motoru.....	26
5.1.2. Yük ve Hız Kontrol Paneli	27
5.1.3. Yakıt Tüketimi Ölçümü.....	28
5.1.4. Emisyon Ölçüm Cihazı.....	29
5.1.5. Silindir İçi Gaz Basıncı Ölçüm Sistemi.....	29
5.2. DENEYLERDE KULLANILAN HESAPLAMALAR	31
5.2.1. Motor Momenti ve Gücü	31
5.2.2. Fren Özgül Yakıt Tüketimi.....	32
5.2.3. Fren Efektif Verim.....	32
5.2.4. Fren Ortalama Efektif Basınç	33
5.2.5. Silindir İçi Gaz Basıncı.....	33
5.2.6. Motor Hacminin Anlık Değişimi.....	33
5.2.7. Isı Açığa Çıkış Oranı (İÇÖ).....	35
5.3. DENEY YÖNTEMİ	37
5.4. DENEY YAKITLARI.....	38
5.5. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	43
5.5.1. Aktivasyon Fonksiyonları.....	45
5.5.1.1. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu.....	45
5.5.1.2. Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu	46
5.5.1.3. Log-sigmoid Fonksiyonu	46

	<u>Sayfa</u>
5.5.2. YSA Sınıflandırılması.....	47
5.5.2.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	47
5.5.2.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	48
5.5.2.3. Geri Beslemeli Geri Yayılmalı Sinir Ağları	49
5.5.3. YSA Hesaplamaları	50
5.5.4. YSA Uygulamasında İşlem Basamakları	51
5.5.5. YSA'nın Motor Performans Tahmininde Kullanımı İle İlgili Örnek Çalışma	59
BÖLÜM 6	66
BULGULAR VE TARTIŞMA	66
6.1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	66
6.1.1. Motor Performansları.....	66
6.1.1.1. Motor Momenti ve Efektif Gücü	66
6.1.1.2. Fren Ortalama Efektif Basınç	70
6.1.1.3. Fren Özgül Yakıt Tüketimi	73
6.1.1.4. Fren Efektif Verim (FEV).....	76
6.1.2. Egzoz Emisyonları.....	78
6.1.2.1. Karbonmonoksit.....	78
6.1.2.2. Hidrokarbon Emisyonu	81
6.1.2.3. Azotoksit	84
6.1.3. Silindir İçi Gaz Basıncı (SİGB).....	87
6.1.4. Isı Açığa Çıkış Oranı (İÇÖ).....	93
6.2. YSA SONUÇLARI	97
6.2.1. Deneysel ve Tahminsel Sonuçların Kıyaslanması.....	97
6.2.1.1. Performans Parametreleri.....	98
6.2.1.2. Emisyonlar	100
BÖLÜM 7	103
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	103
7.1. SONUÇLAR	103
7.2. ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR	107

	<u>Sayfa</u>
EK AÇIKLAMALAR A.....	118
MOTOR TESTLERİNDEN VE HESAPLAMALARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	118
ÖZGEÇMİŞ	123



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Biyokütleden etanol üretim prosesi	9
Şekil 4.1. SO'nun motor gücüne etkisi	17
Şekil 4.2. Farklı eşdeğerlik oranlarında termik verimin SO'ya bağlı değişimi	18
Şekil 4.3. OS'ye bağlı olarak vuruntu sınırının değişimi	20
Şekil 4.4. HFK'ya göre egzoz emisyonlarının değişimi	23
Şekil 5.1. Şematik olarak deney akışı.....	25
Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.	26
Şekil 5.3. Deney motoru	27
Şekil 5.4. Dinamometre ünitesi.	28
Şekil 5.5. Elektronik terazi.	28
Şekil 5.6. Emisyon ölçüm cihazı.	29
Şekil 5.7. Optrand marka silindir basıncı sensörü.	30
Şekil 5.8. Dijital osiloskop.	30
Şekil 5.9. İçten yanmalı motorlarda krank-biyel mekanizması.	34
Şekil 5.10. Fuzel yağının elde edilişi	40
Şekil 5.11. Fuzel yağının damıtıldığı deney sistemi	41
Şekil 5.12. Erlich reaksiyonu ile i-AA oluşumu	42
Şekil 5.13. Biyosentez yöntemiyle i-AA oluşumu	42
Şekil 5.14. Biyolojik sinir hücresi	44
Şekil 5.15. Yapay sinir ağı yapısı	45
Şekil 5.16. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu	46
Şekil 5.17. Tanjant hiperbolik fonksiyonu.	46
Şekil 5.18. Log-sigmoid fonksiyonu.	47
Şekil 5.19. Tek katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı	47
Şekil 5.20. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı.	48
Şekil 5.21. Geri beslemeli yapay sinir ağı.	49
Şekil 5.22. Çok katmanlı geri yayılımlı yapay sinir ağı yapısı.	50
Şekil 5.23. Geliştirilen YSA'nın şematik gösterimi.	51
Şekil 5.24. YSA'nın proses akış şeması.	52

Şekil 5.25. MATLAB programı nntool arayüzü.	53
Şekil 5.26. YSA'nın oluşturulması.	54
Şekil 5.27. Oluşturulan Doktora_Tez ağı.	54
Şekil 5.28. Ağın eğitilmesi.	55
Şekil 5.29. Eğitim parametreleri.	55
Şekil 5.30. YSA uygulamasında eğitimin yapılması.	56
Şekil 5.31. Eğitim, doğrulama, test ve tümü için regression eğrileri.	57
Şekil 5.32. Ağın test edilmesi.	58
Şekil 5.33. Çıkış verilerinin ağdan alınması.	58
Şekil 5.34. Oluşturulan YSA'nın şematik görüntüsü.	59
Şekil 5.35. Test, değerlendirme ve eğitim verileri için R değerleri.	60
Şekil 5.36. FÖYT için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması. .	61
Şekil 5.37. FEV için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.	61
Şekil 5.38. EGS için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.	62
Şekil 5.39. NO _x için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.	62
Şekil 5.40. CO için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.	63
Şekil 5.41. HC için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.	64
Şekil 5.42. İS için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.	64
Şekil 6.1. Dört farklı yakıt için 2600 d/d'da ve farklı SO'larda moment ve efektif gücün değişimi.	67
Şekil 6.2. Dört farklı yakıt için 2800 d/d'da ve farklı SO'larda moment ve efektif gücün değişimi.	68
Şekil 6.3. Dört farklı yakıt için 3000 d/d'da ve farklı SO'larda moment ve efektif gücün değişimi.	69
Şekil 6.4. Dört farklı yakıt için 3200 d/d'da ve farklı SO'larda moment ve efektif gücün değişimi.	70
Şekil 6.5. SO değişiminin 2600 d/d'da FOEB üzerindeki etkisi.	71
Şekil 6.6. SO değişiminin 2800 d/d'da FOEB üzerindeki etkisi.	71
Şekil 6.7. SO değişiminin 3000 d/d'da FOEB üzerindeki etkisi.	72
Şekil 6.8. SO değişiminin 3200 d/d'da FOEB üzerindeki etkisi.	72
Şekil 6.9. SO değişiminin 2600 d/d'da FÖYT üzerindeki etkisi.	74
Şekil 6.10. SO değişiminin 2800 d/d'da FÖYT üzerindeki etkisi.	74
Şekil 6.11. SO değişiminin 3000 d/d'da FÖYT üzerindeki etkisi.	75
Şekil 6.12. SO değişiminin 3200 d/d'da FÖYT üzerindeki etkisi.	75
Şekil 6.13. SO değişiminin 2600 d/d'da FEV üzerindeki etkisi.	76

Şekil 6.14. SO değişiminin 2800 d/d'da FEV üzerindeki etkisi.	77
Şekil 6.15. SO değişiminin 3000 d/d'da FEV üzerindeki etkisi.	77
Şekil 6.16. SO değişiminin 3200 d/d'da FEV üzerindeki etkisi.	78
Şekil 6.17. SO değişiminin 2600 d/d'da CO üzerindeki etkisi.....	79
Şekil 6.18. SO değişiminin 2800 d/d'da CO üzerindeki etkisi.....	80
Şekil 6.19. SO değişiminin 3000 d/d'da CO üzerindeki etkisi.....	80
Şekil 6.20. SO değişiminin 3200 d/d'da CO üzerindeki etkisi.....	81
Şekil 6.21. SO değişiminin 2600 d/d'da HC üzerindeki etkisi.....	82
Şekil 6.22. SO değişiminin 2800 d/d'da HC üzerindeki etkisi.....	83
Şekil 6.23. SO değişiminin 3000 d/d'da HC üzerindeki etkisi.....	83
Şekil 6.24. SO değişiminin 3200 d/d'da HC üzerindeki etkisi.....	84
Şekil 6.25. SO değişiminin 2600 d/d'da NO _x üzerindeki etkisi.	85
Şekil 6.26. SO değişiminin 2800 d/d'da NO _x üzerindeki etkisi.	85
Şekil 6.27. SO değişiminin 3000 d/d'da NO _x üzerindeki etkisi.	86
Şekil 6.28. SO değişiminin 3200 d/d'da NO _x üzerindeki etkisi.	86
Şekil 6.29. Üç farklı SO'da ve 2600 d/d'da dört farklı yakıt için SİGB değişimleri. 88	
Şekil 6.30. Üç farklı SO'da ve 2800 d/d'da dört farklı yakıt için SİGB değişimleri. 89	
Şekil 6.31. Üç farklı SO'da ve 3000 d/d'da dört farklı yakıt için SİGB değişimleri. 90	
Şekil 6.32. Üç farklı SO'da ve 3200 d/d'da dört farklı yakıt için SİGB değişimleri. 91	
Şekil 6.33. Üç farklı SO'da ve dört farklı motor devrinde oluşan maksimum SİGB'nin değişimi.....	92
Şekil 6.34. Üç farklı SO'da ve dört farklı motor devrinde oluşan maksimum SİGB'nin olduğu KA°	93
Şekil 6.35. Üç farklı SO'da ve 2600 d/d'da dört farklı yakıt için İÇÖ değişimleri. . 94	
Şekil 6.36. Üç farklı SO'da ve 2800 d/d'da dört farklı yakıt için İÇÖ değişimleri. . 95	
Şekil 6.37. Üç farklı SO'da ve 3000 d/d'da dört farklı yakıt için İÇÖ değişimleri. . 96	
Şekil 6.38. Üç farklı SO'da ve 3200 d/d'da dört farklı yakıt için İÇÖ değişimleri. . 97	
Şekil 6.39. FOEB için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması. . 98	
Şekil 6.40. FEV için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması. 99	
Şekil 6.41. FÖYT için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması. 100	
Şekil 6.42. NO _x için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.... 100	
Şekil 6.43. CO için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması. 101	
Şekil 6.44. HC için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması. 102	

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Metanol ve benzinin temel özellikleri.....	9
Çizelge 3.2. Etanol ve benzinin temel özellikleri.	9
Çizelge 3.3. Bütanol ve benzinin temel özellikleri.	10
Çizelge 3.4. Hidrojen ve benzinin temel özellikleri.....	11
Çizelge 3.5. Doğalgazın özellikleri.	12
Çizelge 3.6. DEE'nin özellikleri.	13
Çizelge 3.7. DME'nin özellikleri.	14
Çizelge 5.1. Dene motoruna ait teknik özellikler.....	27
Çizelge 5.2. Emisyon ölçüm cihazı teknik özellikleri.....	29
Çizelge 5.3. Basınç sensörünün bazı özellikleri.....	30
Çizelge 5.4. Fuzel yağı bileşenlerinin fiziksel özellikleri.....	40
Çizelge 5.5. Fraksiyonların kaynama aralıkları.	41
Çizelge 5.6. İ-AA ve benzinin özellikleri.	43
Çizelge 5.7. Fuzel yağı ve benzinin Türkiye fiyatının karşılaştırılması.	43
Çizelge Ek A.1. Üç farklı SO'da ve 2600 d/d'da benzin ve i-AA ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.	119
Çizelge Ek A.2. Üç farklı SO'da ve 2800 d/d'da benzin ve i-AA ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.	120
Çizelge Ek A.3. Üç farklı SO'da ve 3000 d/d'da benzin ve i-AA ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.	121
Çizelge Ek A.4. Üç farklı SO'da ve 3200 d/d'da benzin ve i-AA ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.	122

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- (A/F)_s : stokiyometrik hava/yakıt oranı
CH₄ : metan
du : sistem içerisindeki kütlenin iç enerji değişimi
F : loadcell'den okunan kuvvet değeri
H_u : yakıtın alt ısıl değeri
L : motor merkezinin loadcell'e uzaklığı
m : kütleli yakıt debisi
M_e : efektif motor momenti
n : motor hızı
η_e : fren efektif verim
NO : azotoksit
NO₂ : azotdioksit
NO_x : azotoksitler
o : tahmini çıktı
O₂ : oksijen
P : sıkıştırma basıncı
P_e : efektif güç
Q_n : yanma odasında ortaya çıkan net ısı
R : regresyon
S : sensör hassasiyeti
SO_g : motorun gerçek sıkıştırma oranı değeri
t : gerçek çıktı

- V : silindir hacmi
 V_1 : sıkıştırma başlangıcı silindir hacmi
 V_2 : sıkıştırma sonu silindir hacmi
 V_h : kurs hacmi
 V_c : yanma odası hacmi
 V_k : alt ölü noktadan sonra subaplar kapanana kadar pistonun taradığı hacim
 V_{min} : minimum çıkış voltajı
 W : sistem tarafından yapılan iş
 ω : açısal hız
 θ : krank açısı
 Δt : 10 g yakıtın tüketilme süresi

KISALTMALAR

ANN	: Artificial Neural Network
AÖN	: Alt Ölü Nokta
A0	: %100 Benzin
A10	: %90 Benzin + %10 İzoamil Alkol
A20	: %80 Benzin + %20 İzoamil Alkol
A30	: %70 Benzin + %30 İzoamil Alkol
BA	: Buji Ateşlemeli
BMBN	: Benzinin Maksimum Basınç Noktası
BMİN	: Benzinin Maksimum Isı Noktası
DEE	: Dietil Eter
DEE0	: %100 Dizel
DEE2.5	: %97,5 Dizel + %2,5 Dietil Eter
DEE5	: %95 Dizel + %5 Dietil Eter
DEE7.5	: %92,5 Dizel + %7,5 Dietil Eter
DEE10	: %90 Dizel + %10 Dietil Eter
DME	: Dimetil Eter
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
FEV	: Fren Efektif Verim
FOEB	: Fren Ortalama Efektif Basınç
FÖYT	: Fren Özgül Yakıt Tüketimi
HCCI	: Homogeneous Charge Compression Ignition (Homojen Dolgunun Sıkıştırma ile Ateşlenmesi)
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
IÇO	: Isı Açığa Çıkış Oranı
i-AA	: İzoamil Alkol
İYM	: İçten Yanmalı Motor
KA	: Krank Açısı
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MON	: Motor Octane Number (Motor Oktan Sayısı)
MRE	: Mean Relative Error (Ortalama Bağlı Hata)
RMSE	: Root Mean Square Error (Ortalama karesel kök hata)

RON : Research Octane Number (Araştırma Oktan Sayısı)
OS : Oktan Sayısı
SİGB : Silindir İçi Gaz Basıncı
SO : Sıkıştırma Oranı
ÜÖN : Üst Ölü Nokta
YZ : Yapay Zekâ
YSA : Yapay Sinir Ağı



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünyada nüfusun hızla artması ve insanların daha rahat bir yaşam sürmek istemesi, gün geçtikçe araç sayısının artmasına sebep olmaktadır. Artan araç sayısı ile birlikte, yakıt ihtiyacı ve araçların emisyonlarından kaynaklanan çevre zararları da artmaktadır. Günümüz araçlarında kullanılan motorlar içten yanmalı motor (İYM)'lardır ve bu motorların çalışması için fosil yakıtlar tercih edilmektedir. Ancak, bilim adamları, önümüzdeki 15-20 sene içerisinde fosil yakıt rezervlerinin artan yakıt talebini karşılayamayacak duruma geleceğini savunmaktadırlar. Hem fosil yakıt rezervlerinin azalması hem de İYM'lerin saldığı karbonmonoksit (CO), azotoksitler (NO_x) ve hidrokarbon (HC) gibi emisyonların çevreye verdiği yüksek zarardan dolayı araştırmacılar yeni, yenilebilir ve daha az emisyon salan alternatif yakıtlara yönelmişlerdir. Alternatif yakıt ve fosil yakıtlara katkı maddesi olarak en çok kullanılanlar alkol ve türevi yakıtlar olmuştur. Başlangıcı 70li yılların sonuna dayanan alkol yakıtların kullanımı günümüzde hala araştırılmakta ve uygulanmaktadır. Alkol yakıtlar bitkisel kökenli olduğu için biyoyakıtlar olarak da adlandırılmaktadır. Ayrıca çoğu tarım ürününün işlenmesinde atık olarak alkol ürünleri oluşmaktadır ve bu sayede atıkların değerlendirilmesi adına da alkollerin yakıt olarak kullanımı önem arz etmektedir. Bir yakıtın İYM'de kullanılabilmesi için bol olması yani ekonomik olması, yüksek ısıl değere sahip olması, emisyon seviyesinin az olması, motor verimini olumlu yönde etkilemesi ve motorun yüksek sıkıştırma oran (SO)'larında çalışmasına imkan sağlayabilmesi gerekmektedir [1]. Petrol fiyatlarının sürekli artması ve yakıt maliyetlerinin azaltılması amacıyla endüstri artığı olan ürünlerin yakıt olarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir. İzoamil alkol (İ-AA), alkol üretiminde yan ürün olarak elde edilen ve atık olarak adlandırılan fuzel yağının içerisinde yaklaşık %65 oranında bulunmaktadır.

Karbon sayısı üç ve daha fazla olan alkollere yüksek alkoller denilmektedir ve yüksek enerji yoğunluğu ve tutuşma kabiliyetine ve geleneksel yakıtlarla kolay karışabilme özelliğine sahip oldukları için son yıllarda araştırmacıların dikkatini çekmiştir [2–4]. Çalışmamızda kullandığımız i-AA da yüksek alkol grubunun bir üyesidir ve fuzel yağının destilasyonu ile elde edilebilmektedir [2,5].

Günümüzde içten yanmalı motor test yöntemlerinin geliştirilmesi, teknolojinin ilerlemesi ile birlikte daha fazla bilgisayarlı sistemlere dayanmaya başlamıştır. Deneysel yöntemlere dayanan motor testleri hem zaman alıcı hem de maliyetli olduğu için araştırmacılar yazılım temeline dayanan metotları kullanmaya başlamışlardır. Bu metotların başında yapay zekâ (YZ) tekniklerinden olan yapay sinir ağı (YSA) tekniği gelmektedir. [6,7]. YSA teknikleri ile oluşturulan sistemlerden elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, uzun süren deneyleri yapmak yerine oluşturulan sisteme eldeki veriler girdi olarak sunulabilir ve çıkışlar çok kısa zamanda elde edilebilir. Bu ve benzeri çalışmalarda geliştirilecek olan yeni teknikler ile yüksek maliyete sahip olan ve motorun modifiyesini gerektiren sensörler yerine yüksek doğruluk oranına sahip ve deneysel sonuçlara yaklaşık sonuçlar veren sistemler oluşturulabilir. Bu da beraberinde daha düşük maliyete sahip ve daha hassas motorlara sahip olunmasını sağlar.

Bu çalışmanın iki amacı bulunmaktadır. Birincisi; atık yan ürün olan fuzel yağından elde edilen i-AA'nın buji ateşlemeli bir motorda yakıt olarak değerlendirilebilirliğinin incelenmesidir. Bunun için yüksek oktan sayısı (OS) 'na sahip i-AA ile benzinin farklı oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen yakıtların, buji ateşlemeli bir motorda yüksek SO'da kullanımının performans ve emisyonlara olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. İkinci olarak; motor test sayılarının azaltılması ve performans ve emisyon tahminlerinin yapılması amacıyla bir YSA modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan YSA modelinde deneysel verilerden elde edilen veriler kullanılmıştır. YSA uygulaması tahmin yapılarak daha az deneyle sonuca ulaşmak hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde alkol yakıtların buji ateşlemeli (BA) motorlarda kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen i-AA kullanımı ile ilgili çok az sayıda çalışma vardır. Bununla birlikte i-AA'nın İYM'lerde kullanımının YSA ile tahmini konusunda henüz bir çalışma yapılmamıştır.

Yang vd. farklı motor hızlarında bir homogeneous charge compression ignition - homojen dolgunun sıkıştırma ile ateşlenmesi (HCCI) motorunda, i-AA (diğer adıyla izopentanol) kullanımının ekivalans oranı, giriş sıcaklığı ve giriş basıncı üzerindeki etkilerini araştırmış ve sonuçları daha önce benzin ve etanol ile yapılan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Yang vd. elde ettikleri sonuçlara göre HCCI motorda kullanım açısından, izoamil alkol etanole kıyasla üstün fiziko-kimyasal özelliklere sahiptir. Benzine kıyasla ise benzer özelliklere sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle i-AA uygun bir benzin katkı maddesi olmakla birlikte, gelecekte HCCI motorları için şu anda kullanılan etanolden daha iyi bir seçenek olacaktır [8].

Tsujimura vd. HCCI motor simülasyonlarında kullanılmak üzere i-AA için kimyasal kinetik model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model, HO₂'nin izoamil alkolden uygun bir şekilde çıkarılması için yeni bir reaksiyon aşaması ihtiva etmiştir. İ-AA modeli, hızlı sıkıştırma makinesi verileri ile çeşitli sıcaklık, ekivalans oranları ve basınçta (sırasıyla 712- 1205 K, 0,5- 1,0 ve 0,8- 2,3 MPa) doğrulanmıştır. Model tahminleri ile deneysel veriler arasında mükemmel bir uyum olduğu gözlenmiştir. Deneysel veriler, sabit bir giriş basıncı için sıcaklığın artırılmasının, ara sıcaklık ısı tahliyesi üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğunu ve ateşleme sıcaklığını arttırdığını göstermiştir [9].

Dayma vd. i-AA'nın yanma özelliklerini daha iyi anlamak için, bir jet-karma reaktörde oksidasyon kinetiği için yeni deneysel veriler bulmuşlardır. İ-AA oksidasyonu, kapsamlı bir kimyasal kinetik reaksiyon mekanizması kullanılarak gösterilmiştir ve mevcut deneysel verilerle uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir [10].

Tsujimura vd. üç farklı sıcaklıkta ayrıntılı reaksiyon yolları dahil olmak üzere, i-AA için yeni bir model oluşturmuşlar ve onu ateşleme gecikme süreleri açısından karşılaştırmışlardır. Deneyler, 652-1457 K'lık bir sıcaklıkta, 0,7-2,3 MPa'lık bir basınçta ve 0,5-2,0'lık bir ekivalans oranında gerçekleştirilmiştir. Model ve deneysel veriler arasındaki benzerlik çoğu durumda görülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışmada yer alan modelin yanma performansının tahmini ve araştırılmasında faydalı olduğuna inanılmaktadır [11].

Welz vd. i-AA'nın oksidasyon yollarını ve yapısının önemini vurgulamak için düşük sıcaklıkta foto-termist kütle spektrometresi kullanılarak incelemişlerdir ve bu projeden elde edilen test sonuçlarının HCCI gibi motorlar için doğrulamaya yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir [12].

Lucassen vd. i-AA'nın yanma kimyasını önceden karıştırılmış alevli düşük basınçlı bir spektrometre kullanarak araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre bu çalışmanın, zaten hali hazırda olan modelin daha da geliştirilmesine yardımcı olacağını savunmuşlardır [13].

Tang vd. üç C5 primer alkol izomerinin (izoamil alkol, n-pentanol ve 2-metil-1-bütanol) ateşleme gecikme zamanlarını, 1,0 ve 2,6 atm basınçlarında 1100-1500 K sıcaklık aralığında araştırmışlardır. Ölçümlere göre, üç izomerin ateşleme gecikme süresi ve global aktivasyon enerjisi, sırasıyla izopentanol, 2-metil-1-butanol ve n-pentanol olarak azalmıştır [14].

Najafi vd. dört zamanlı bir SI motoruna %5, %10, %15 ve %20 (hacimsel olarak) etanol eklenmesinin etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır ve elde edilen deneysel verilerle bir ANN modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde deneysel verilerin %70'i eğitim için, %30'u test için kullanılmıştır. Yakıt karışımları ve motor devri giriş

parametreleri olarak seçilirken, çıkış parametreleri olarak fren gücü, fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT), fren efektif verim (FEV), tork, volumetrik verim ve emisyon seçilmiştir. Yapılan uygulama sonucunda regresyon (R) değerleri 0,97-1 aralığında bulunurken mean relative error (MRE) %0,46-5,57 aralığında bulunmuştur. Bu yüzden, YSA'nın BA motor parametrelerini tam olarak tahmin etmek için uygulayabildiğini savunmuşlardır [15].

Rezaei vd. oksijenat yakıtla (bütanol) çalışan bir HCCI motor performansının YSA ile tahminini yapmışlardır. Çalışmada radyal temel fonksiyonu ve ileriye dönük iki tip yöntem kullanılmıştır. Giriş parametrelerinde bütanol yüzdesi ve yakıt eşdeğerlik oranı kullanılırken, çıkış parametreleri olarak fren ortalama efektif basınç (FOEB), FEV, toplam net ısı, silindir basıncı, HC, NO_x ve CO kullanılmış ve ortalama hata %4'ten az bulunmuştur [16].

Herawan vd. dört silindri bir BA motorunda egzoz gazının ısı enerjisini tahmin etmek için bir YSA modeli oluşturmuşlardır ve geliştirilen YSA modelinin deneysel verilerle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır [17].

Soufi vd. iki zamanlı bir BA motorunda, motor performansı ve egzoz emisyonlarını tahmin etmek için YSA yöntemini kullanmışlardır. YSA modelinde, FÖYT, HC, CO, karbondioksit (CO₂), oksijen (O₂) ve NO_x çıkış parametreleri olarak kullanılırken, yağlayıcı türü, lambda ve motor hızı giriş parametreleri olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yazarlar, YSA'nın motor parametrelerini tahmin etmek için kullanabileceğini önermişlerdir [18].

Kiani vd. dört silindri, dört zamanlı BA bir motorda, motor gücü, torku ve egzoz emisyonlarının (NO_x, CO, CO₂ ve HC) tahmini için bir YSA modeli geliştirmişlerdir. YSA'nın uygulanması için gerekli deneysel parametreler, farklı oranlarda etanol (%0, %5, %10, %15 ve %20) -benzin karışımlarının kullanılarak yapıldığı deneyler sonucunda elde edilmiştir. Geliştirilen YSA modelinden elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla kıyaslanarak YSA'nın performansı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre R değerleri CO, CO₂, HC ve NO_x için sırasıyla 0,98, 0,96, 0,90 ve 0,71 olarak bulunurken, motor gücü ve torku için ise sırasıyla 0,99 ve 0,96 olarak elde

edilmiştir. Genel olarak YSA'nın, özellikle sayısal ve matematiksel yöntemler başarısız olduğunda, motor performansı ve emisyonlarının tahmininde hızlı, doğru ve güvenilir bir yöntem olduğunu savunmuşlardır [19].

Çay dört silindirli, dört zamanlı benzinle çalışan bir BA motorda özgül yakıt tüketimi, efektif güç ve egzoz sıcaklığının tahmini için YSA'yı kullanmıştır. YSA modelini geliştirmek için motoru farklı motor hızlarında ve torkunda çalıştırarak deneyleri yapmış ve elde ettiği verilerle YSA modelini geliştirmiştir. YSA'dan elde ettiği sonuçlarla deneysel sonuçları kıyaslayarak YSA'nın performansını değerlendirmiştir. Oluşturduğu YSA modelinde giriş parametreleri olarak motor hızı, tork, yakıt akış oranı, emme manifoldu ortalama sıcaklığı ve soğutma suyu giriş sıcaklığı kullanılırken, çıkış parametreleri olarak özgül yakıt tüketimi, efektif güç ve egzoz sıcaklığı kullanılmıştır. Uygulama sonunda elde edilen verilere bakıldığında, eğitim ve test aşamaları için R^2 değeri yaklaşık 0,99 civarında çıkarken hata oranı ise %2,7'den daha az çıkmıştır. Bu çalışmadan YSA'nın motor performansını tahmin etmek için kullanılabilir uygun bir yöntem olduğu sonucunu çıkarmışlardır [7].

Kapusuz vd. farklı oranlarda etanol, metanol ve benzin karışımlarının kullanıldığı BA bir motorda tork, güç ve özgül yakıt tüketimi tahmini için YSA'yı kullanmışlar ve sırasıyla 0,991, 0,997 ve 0,931 R değerleri elde etmişlerdir. Oluşturulan model ve optimizasyona göre performans açısından en iyi yakıtın benzine %11 metanol ve %1 etanol eklenerek oluşturulan yakıt karışımının olduğunu tespit etmişlerdir. Yakıt tüketimi açısından ise en iyi sonucu veren yakıtın ise %2 metanol içeren benzin-metanol yakıt karışımının olduğunu tespit etmişlerdir. YSA'nın İYM'lerin modellenmesi için uygun ve başarılı bir teknik olduğu sonucuna varmışlardır.

Nwufu vd. sabit motor yükünde etanol ve benzin karışımlarının kullanıldığı benzinli bir motordan elde ettiği verilerle bir YSA modeli oluşturmuşlardır. YSA'da Levenberg Marquardt algoritması ve Logistic sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Giriş parametresi olarak kütle akış oranı, biyoyakıt oranı ve egzoz gaz sıcaklığı seçilirken, çıkış parametresi olarak FÖYT, basınç ve yanma verimi seçilmiştir. YSA'nın performansının belirlenmesi amacıyla elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar kıyaslanmıştır. R değeri FÖYT, yanma verimi ve basınç için sırasıyla 0,974, 0,996 ve

0,995 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre Levenberg Marquardt algoritmasının ve YSA'nın motor modellenmesi için kullanıma uygun yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır [20].

Liu vd. farklı ekivalans oranlarında çalışan ve n-bütanol ve benzin karışımlarının kullanıldığı benzinli bir motorda deneylerini yapmış ve YSA modelini oluşturmuşlardır. Oluşturulan modelde giriş parametresi olarak SO, ekivalans oranı, karışım oranı ve motor yükü seçilirken, FEV, FÖYT, CO, HC ve NO_x çıkış parametresi olarak seçilmiştir. R değerleri 0,993 ile 0,999 aralığında çıkmıştır. Hata oranı ise %0,194 ile %9,953 arasında çıkmıştır. Bu sonuçlara göre YSA'nın motor modellenmesi ve tahmininde uygun bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır [21].

BÖLÜM 3

BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir kısmının petrol tabanlı kaynaklardan karşılanması, petrol rezervlerinin sınırlı olması ve gün geçtikçe artan kullanımının sonucunda hızla tükenmesi alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmaların daha çok önem kazanmasına neden olmuştur. Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlarda aranacak temel özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [22];

- Motor verimini artırmalı veya düşürmemeli,
- Motorlarda önemli yapısal bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilmesi,
- Motorlardan atmosfere yayılan kirletici egzoz emisyonlarını azaltabilmesi,
- Maliyeti düşük ve üretimi kolay olmalıdır.

3.1. METANOL

Metanol, yüksek bir yoğunluğa, buharlaşma ısısına ve vuruşta mukavemetine sahiptir [23]. Metanol, biyokütle kaynaklarından ve atıklardan, petrol ve kömürden ve biyoteknolojik yöntemlerden üretilebilen bir alternatif enerji kaynağıdır [24,25]. Bu maddelerden üretilebiliyor olmasının yanında metanol doğal gaz ile de üretilebilir ve en ekonomik olanı da doğalgazdır [26]. 1970'lerde patlak veren petrol krizinden sonra alternatif yakıt arayışına giren bilim adamlarının ilk tercih ettiği yakıt metanol olmuştur. Ancak yakıt olarak kullanımından ziyade, daha çok oktan artırıcı olarak kullanılmıştır [27]. Metanol ve benzinin bazı temel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Metanolün benzine eklenmesiyle, yakıt ekonomisi ve termal verim artırılır ve yüksek oktan sayısından dolayı motorların daha yüksek bir sıkıştırma oranı altında çalışmasına izin verilir [28].

Çizelge 3.1. Metanol ve benzinin temel özellikleri [29,30].

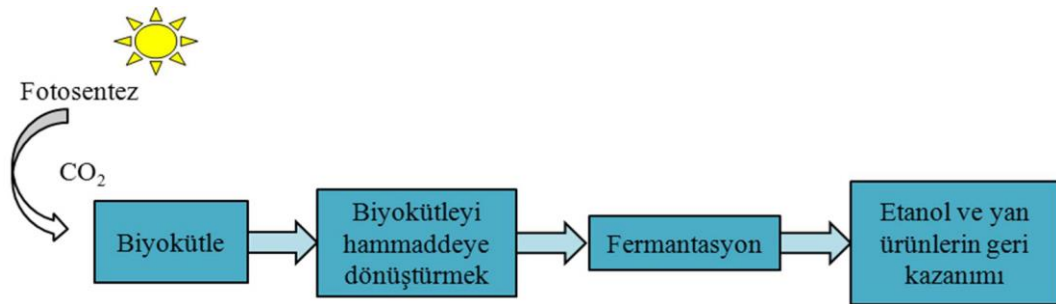
Özellikler	Metanol	Benzin
Kimyasal formül	CH ₃ OH	C ₈ H ₁₈
Molekül ağırlığı	32 kg/kmol	114 kg/kmol
Yoğunluk	792 kg/m ³	720-780 kg/m ³
Buharlaştırma gizli ısısı	1103 kJ/kg	350 kJ/kg
Alt ısıl değer	20000 kJ/kg	43850 kJ/kg
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	6,47	14,6
Oktan sayısı	111	88-100

3.2. ETANOL

Etanol; karbon bazlı tarım hammaddesi, yerel yetiştirilen ürünler ve hatta atık odun, kağıt, çim ve ağaç kırpıntıları gibi atık ürünler ile üretilebilen yenilenebilir bir enerji türüdür [31]. Renksiz ve saydam olan etanol şeker kamışı ve etilenden de üretilebilmektedir [32]. 1950'li yıllarda başlayan etanol üretimi ile ilgili farklı yöntemler mevcuttur. Etanol üretimi için genel bir akış şeması Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Etanol ve benzinin temel özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Etanol ve benzinin temel özellikleri [30,33].

Özellikler	Etanol	Benzin
Kimyasal formül	C ₂ H ₅ OH	C ₈ H ₁₈
Molekül ağırlığı	46 kg/kmol	114 kg/kmol
Yoğunluk	785 kg/m ³	720-780 kg/m ³
Buharlaştırma gizli ısısı	904 kJ/kg	350 kJ/kg
Alt ısıl değer	26800 kJ/kg	43850 kJ/kg
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	9,0	14,6
Araştırma oktan sayısı	106-110	91-96



Şekil 3.1. Biyokütleden etanol üretim süreci [34].

Çizelge 3.2'ye bakıldığında etanolün alt ısıl değeri benzine göre daha düşük, stokiyometrik hava/yakıt oranı ise daha yüksektir. Bu sebeple BA motorlarda saf

benzinle kullanımında elde edilen performansı elde edebilmek için etanol veya etanol-benzin yakıt karışımları kullanımında daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulur [35,36]. Ayrıca, etanol benzine göre daha yüksek oktan sayısına sahip olduğu için etanol ile kullanılan BA motorlar daha yüksek SO'larda çalıştırılabilir ve bu sayede motor veriminde iyileştirme sağlanabilir.

3.3. BÜTANOL

Şeffaf, hafif kokulu ve renksiz olan butanol aynı zamanda su ile karışmama özelliğine de sahip bir alkol türüdür [37]. Boya, plastik, kozmetik, yiyecek ve otomotiv sektöründe geniş kullanım alanlarına sahiptir [38]. Bütanol genellikle petrokimyasal kaynaklardan üretilmekle birlikte mısır, tahıl, patates, şeker pancarı, çim, bitki ve ağaç yaprakları gibi biyokütle besleme stoklarının yanı sıra tarımsal atıklardan da üretilmektedir [39–41].

Bütanolün fiziksel özellikleri, benzinle karıştırmaya uygun olduğu için buji ateşlemeli motorlarda kullanılabilen alkol türlerindedir. Ayrıca etanolla karıştırılmaya uyumludur ve herhangi bir oranda etanolün benzine karışmasını geliştirebilir. Bütanol, etanolden nispeten daha uzun bir hidrokarbon zincirine sahiptir, bu yüzden özellikleri, benzine nispeten daha yakındır. Bütanol, etanole göre daha az aşındırıcıdır ve benzine daha yakın değerlerde yüksek enerji içeriğine sahiptir [42,43]. Bütanol ve benzinin bazı temel özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Bütanol ve benzinin temel özellikleri [30,44,45].

Özellikler	Bütanol	Benzin
Kimyasal formül	C ₄ H ₉ OH	C ₈ H ₁₈
Molekül ağırlığı	74 kg/kmol	114 kg/kmol
Yoğunluk	813 kg/m ³	720-780 kg/m ³
Buharlaşma gizli ısısı	584 kJ/kg	350 kJ/kg
Alt ısıl değer	32100 kJ/kg	43850 kJ/kg
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	11,1	14,6
Oktan sayısı	113	88-100

3.4. HİDROJEN

Hidrojenin, motorlarda yakıt olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar 20. Yüzyılın başlarına dayanmaktadır [46]. Yakıt seçiminde kriter olarak kabul edilen çok yönlülük, verim, uygunluk, emniyet ve maliyet açısından yapılan değerlendirmeler hidrojenin motorlarda kullanıma uygun olduğunu göstermektedir [47]. Emisyonlarının son derece düşük olması ve petrol tabanlı yakıtlara olan ihtiyacı azaltacak olması hidrojenin diğer avantajlarıdır [48]. Kokusu ve rengi olmayan hidrojenin yapısı da saydamdır. Hava ve oksijen içerisinde kolayca patlayarak yanar ve su açığa çıkarır. Çok kolay tepkimeye girdiği için genelde başka elementlerle bileşik halinde bulunur. Bir litresi 0 °C ve 1 atm basınçta 0,0838 grama karşılık gelmektedir. Hidrojen herhangi bir zehir etkisi meydana getirmez ve yanma sonu ürünü sadece su buharıdır. Eşit ağırlıktaki benzinle kıyaslanacak olursa hidrojenin enerjisi yaklaşık 2,75 kat daha fazladır [49]. Hidrojen ve benzinin bazı temel özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Hidrojen ve benzinin temel özellikleri [30,50].

Özellikler	Hidrojen	Benzin
Kimyasal formül	H ₂	C ₈ H ₁₈
Molekül ağırlığı	2,016	114 kg/kmol
Yoğunluk	0,0838 kg/m ³	720-780 kg/m ³
Buharlaştırma gizli ısı	447 kJ/kg	350 kJ/kg
Alt ısı değer	119900 kJ/kg	43850 kJ/kg
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	29,53	14,6

3.5. DOĞALGAZ

Doğal gaz, büyük oranda metan (CH₄) gazından oluşur ve doğal yoldan elde edilir. Bunun dışında yapısında düşük oranlarda etan, propan, butan, azot (N), pentan ve CO₂ gazı da bulundurulur. Oktan sayıları yüksek değerlerdedir. Korozif özelliği yoktur. Bunun yanında ısı değerinin yüksek oluşu egzoz gazı emisyonlarının düşük olması ve yakıt maliyeti açısından sağladığı ekonomiklik gibi özellikleri motor yakıtı olarak kullanılmasına olanak sağlar. Taşıtlarda doğal gaz kullanımı sonucu yanma sonu sıcaklıkları düşük olduğundan benzin motorlarında CO ve HC emisyonlarında azalma görülür. Motorlarda kullanıldığında gürültü düzeyinde de azalma görülür. Doğal gazın BA motorlarda kullanımı için bir karıştırıcı eklenmesi ve ateşleme sisteminin motora uygun olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Ayrıca depolanması ve depodan motora iletilmesi için de ek donanımlar kullanılmalıdır. Yakıt olarak kullanıldığında motorun

volümetrik verimini düşürmesi, yüksek basınç altında depolanabilmesi, yakıt tanklarının taşıt ağırlığını arttırması motor yakıtı olarak kullanılması durumunda karşılaşılan yetersizlikler olarak belirtilebilir. Günümüzde doğal gazla çalışan stasyonier motorlar, pickup, otobüs gibi taşıt motorları birçok ülkede kullanılmaktadır. Çizelge 3.5'te doğalgazın özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Doğalgazın özellikleri.

Özellikler	Doğalgaz
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	537 °C
Yanma hızı	0,36 m/s
Yoğunluk	0,710 kg/m ³
Alev sıcaklığı	1900-2000 °C
Alt ısıl değer	189,556 kcal/kmol
Üst ısıl değeri	211,858 kcal/kmol
Hava fazlalık katsayısı	1,05-1,1

3.6. SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI (LPG)

Atmosferik koşullarda gaz halinde bulunan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve doğal gaz gibi yakıtlara gaz yakıtlar denilmektedir. Metan, etan, propan, bütan, hava gazı, doğalgaz, hidrojen ve asetilen gibi yakıtlar bu gruptadır [51]. Dünya üzerinde fazla sayıda rezervinin olması LPG ile ilgili en önemli noktalardan biridir [52].

Gaz yakıtlar, doğal veya üretilen gaz yakıtlar olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Üretilen gaz yakıtlardan en önemlisi LPG'dir. Gaz yakıtlar, depolama hacmini küçültmek amacıyla, orta ve yüksek basınçlarda sıkıştırılarak sıvılaştırılmaktadırlar [51]. LPG; propan, propilen, bütan, bütilen, büten, etan, etilen ve bu gazların oluşturduğu hidrokarbon karışımlarıdır. Normal şartlar altında (15 °C ve 1 atm basınçta) gaz halinde bulunan LPG, basınç uygulandığında sıvı fazına geçer. Sıvı halinde taşınan, depolanan ve ölçülen LPG, basınç kaldırıldığında tekrar gaz fazına geçer ve gaz fazında tüketilir [51]. LPG basınçla depolanınca sıvı hale gelen ticari propan ve bütan için kullanılan genel isimdir. Bu gazlar basınç altında sıvılaştırılarak belli oranlarda karıştırılır ve LPG'yi oluşturur. Bu karışımın yüzde oranı, çeşitli parametrelere göre farklılık gösterir.

3.7. ETERLER

3.7.1. Dietil Eter

Dietil eter (DEE); etoksietan, etil eter, sülfürik eter ve basit eter olarak da bilinen berrak, renksiz, uçucu, kolay yanan ve parlayabilen bir bileşiktir. Çoğunlukla genel anestetik ve çözücü olarak kullanılmaktadır. Ancak yüksek oksijen içeriği sayesinde İYM’lerde yakıt katkısı olarak öne çıkmaktadır. Oksijen içerikli yakıtlar, daha temiz ve daha rahat solunabilir hava gereksinimlerini karşılayabilmek, ozon oluşturuucu hava kirliliğini önlemek, tehlikeli CO kirliliğini azaltmak ve diğer zehirli hava kirleticileri minimum düzeye indirmek amacıyla kullanılırlar. Oksijenli içerikli yakıtlar, motorlu taşıt yakıtlarına ilave edildiğinde zehirli egzoz gazı emisyonlarının önemli ölçüde azalmalarını sağlayan, katıldığı yakıtın daha temiz yanmasına yardımcı olan bileşiklerdir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan zararlı emisyonlar özellikle sanayileşmiş ülkeler arasında, insan kaynaklı NO oluşumlarının neredeyse yarısından, CO emisyonlarının yaklaşık üçte ikisinden ve HC emisyonlarının da yaklaşık yarısından sorumludur. Temiz yanan oksijenli yakıtlar, otomotiv kaynaklı hava kirliliği ile mücadelede önde gelen çözümlerden biridir [53]. DEE’nin özellikleri Çizelge 3.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. DEE’nin özellikleri [54].

Özellikler	DEE
Kimyasal formül	$C_4H_{10}O$
Molekül ağırlığı	74 kg/kmol
Yoğunluk	0,710 kg/L
Buharlaşma gizli ısısı	360 kJ/kg
Alt ısı değer	33900 kJ/kg
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	11,2
Kaynama noktası	34,6 °C
Oksijen içeriği	%21

3.7.2. Dimetil Eter

Dimetil eter (DME) yaygın olarak kullanılan basit bir oksijenli bileşiktir. Ortam sıcaklığında renksiz bir gazdır ve kimyasal olarak stabildir, alevi doğal gaza benzer

şekilde mavi görünür ve sıvı formu da renksizdir [55]. DME, atmosferik basınçta ve oda sıcaklığında düşük (C / H) oranı ile gaz halinde eterdir. Genel olarak, DME'nin fiziksel özellikleri propan ve bütandan oluşan LPG'ye benzerdir. Bu nedenle, DME için depolama, yakıt kullanımı ve nakliye gereksinimleri, yakın özellikleri nedeniyle LPG'ye benzerdir. DME ve LPG'nin buhar basıncı diyagramının karşılaştırması, DME için buhar basıncı eğrisinin bütan ve propan eğrileri arasında düştüğünü göstermektedir. Bu, LPG motor sistemleri için kullanılan benzer yakıt hattı ve depo basıncı tasarımlarının DME motor sistemi için kullanılabileceği anlamına gelir. 0,1 MPa ve 298 K atmosferik koşullar altında DME, gaz fazında görünmez bir eter bileşiği olarak bulunur ve standart atmosferik sıcaklıkta 0,5 MPa'nın üzerinde basınçlandığında buhardan sıvı fazına geçiş yapar [56]. Ayrıca, DME'nin normal kullanım için toksik etkileri yoktur ve buharlaştırılmış DME'nin cilt ile temasının hiçbir yan etkisi yoktur. DME'nin bazı özellikleri Çizelge 3.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.7. DME'nin özellikleri [56].

Özellikler	DME
Kimyasal formül	CH ₃ OCH ₃
Molekül ağırlığı	46,07 kg/kmol
Yoğunluk	0,660 kg/L
Buharlaşma gizli ısısı	460 kJ/kg
Alt ısı değer	28430 kJ/kg
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	9
Kaynama noktası	-25 °C
Oksijen içeriği	%34

BÖLÜM 4

MOTORLARDA PERFORMANS VE EMİSYONLAR

4.1. MOTOR PERFORMANSINA ETKİ EDEN PARAMETRELER

Motorlarda yapısal parametreleri; SO ve yanma odası şekli olarak sınıflandırmak mümkündür. Yapısal parametreler daha çok motor imalatı esnasında önceden belirlenen şartlara göre ayarlanmaktadır. Bu şartlar, üretilen motorda kullanılacak olan yakıtın özelliklerine göre yanma odası şeklinin ve SO'nun tasarlanmasıdır. Yapısal parametreler motorda kullanılacak yakıttan en iyi performansı alacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu parametrelerin belirlenmesi motor yapımında kullanılacak olan malzemeyi de etkileyeceği için oldukça önemlidir.

Motorun çalışması sırasında değiştirilebilen parametrelere işletme parametreleri denir. Bunlar; ateşleme avansı, motor hızı, motor yükü, supap açılma-kapanma dereceleri ve H/Y oranıdır.

4.1.1. Sıkıştırma Oranı

İdeal motorda, sıkıştırma başlangıcındaki silindir hacminin (V_1), sıkıştırma sonu hacmine (V_2) oranı şeklinde tanımlanan SO;

$$SO = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \text{ ile saptanır. Burada;} \quad (4.1)$$

V_h : kurs hacmini

V_c : yanma odası hacmini ifade etmektedir.

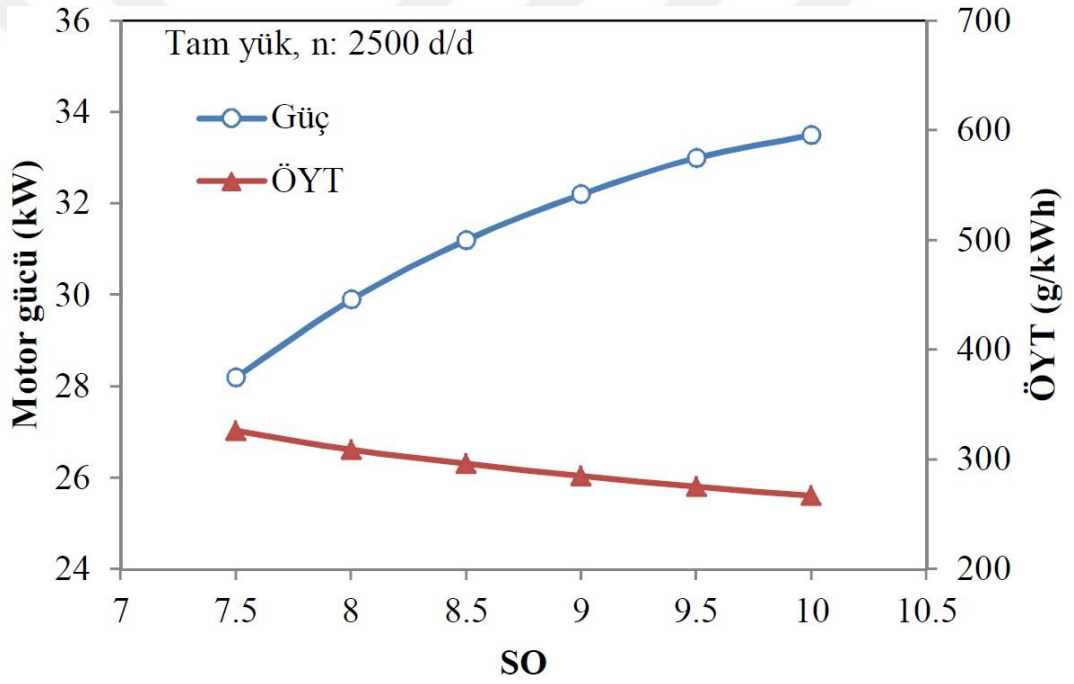
Gerçek bir çevrimde ise sıkıştırma alt ölü noktada (AÖN) değil, emme supabı kapandıktan sonra başlamaktadır. Bu nedenle motorun gerçek SO değeri (SO_g);



$$SO_g = \frac{(V_h - V_k) + V_c}{V_c} \text{ dir. Burada;} \quad (4.2)$$

V_k : AÖN'den sonra subapların kapanmasına kadar pistonun taradığı hacimdir [57].

BA motorlarında SO, yakıtın vuruntu direnci sınırına kadar yükseltilebilmektedir. SO'nun yüksek tutulduğu nokta, yakıtın kendi kendine tutuşacağı ve ateşleme yapıldıktan sonra yanma odasının çeşitli noktalarından kendi kendine yanma başlatmadan, vuruntu yapmayacağı son noktaya kadar ayarlanmaktadır [58]. SO'nun motor gücüne etkisi Şekil 4.1'de verilmiştir.

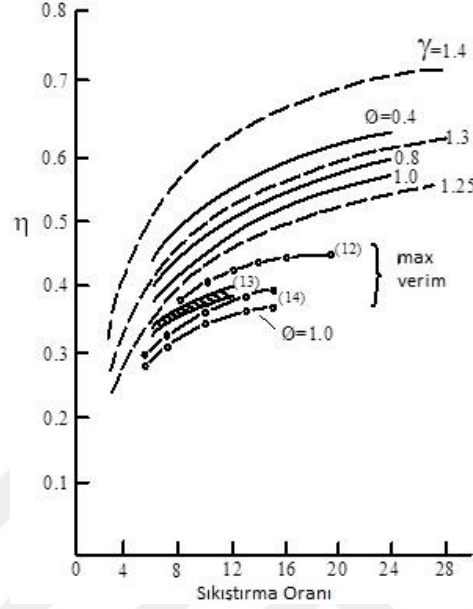


Şekil 4.1. SO'nun motor gücüne etkisi [59].

BA motorlarda oluşan işlemleri en iyi açıklayan model olan otto çevrimi, çevrim termik veriminin SO ile arttığını gösterir [60].

$$\eta = 1 - \frac{1}{SO^{k-1}} \quad (4.3)$$

Hava/yakıt çevrimi, otto çevriminin geliştirilmiş halidir ve gazların gerçek termodinamik özellikler göstermesine izin verir. Bu çevrime göre SO'nun eşdeğerlik oranına bağlı olarak termik verime etkisi Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Farklı eşdeğerlik oranlarında termik verimin SO'ya bağlı değişimi [61].

Şekil 4.2'de açıkça görüldüğü gibi karışım fakirleştikçe ($\phi \rightarrow 0$), belirtilen SO'da verim artar. Başka bir ifade ile, fakir karışımlardaki gazların karakteristikleri Otto çevrimi için kabul edilen karakteristiklere çok yakındır. Bu sebeple maksimum verime fakir karışımlarda ulaşılır.

Yüksek SO'larda silindir kapağı ile piston arasındaki ezilme bölgesindeki kütle yüzdesinin artması, yanma süresini uzatmaktadır. Ayrıca, yanma odası yüzey/hacim oranının SO ile birlikte artması, yanma süresinin uzamasına katkıda bulunmaktadır. Artan SO ile yanma odası şeklinin değişmesi, dolayısıyla türbülansın az olması da yanma süresini artırabilmektedir. Yanma süresinin artması ile birlikte ısı alışverişi için geçen süre artmakta, piston üst ölü noktadan (ÜÖN) bir hayli uzaklaştıktan sonra bile yanma devam etmektedir. Bu durum motorlarda efektif verimin azalmasına neden olur [57].

SO'nun yanmayı etkilemesi sonucu emisyon miktarları da değişmektedir. HC emisyonlarının en önemli kaynaklarından birisi yanma odası yüzey alanıdır. Yanma

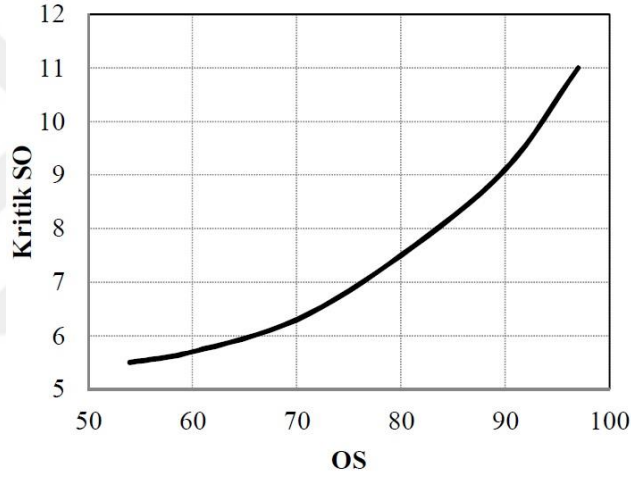
odası içindeki alev yüzeye yakın bölgelerde soğumakta ve sönmektedir. Bu yanmamış bir HC tabakası bırakır ve bu tabaka yanmamış gazlarla karışarak egzozla atılır. Yanma odası yüzey alanı SO ile birlikte artmaktadır. Dolayısıyla SO'nun artması HC emisyonunu da artırmaktadır. Aynı zamanda, SO'nun artmasıyla yanma sonu sıcaklıkları yükselmekte buna bağlı olarak da NO_x emisyonları artmaktadır [57].

4.1.2. Oktan Sayısı

Yakıtın kendi kendine tutuşmaya karşı gösterdiği direnç OS ile tanımlanır. OS yakıt kalitesini belirlediği için vuruğu ve erken ateşlemenin temel göstergesidir [62,63]. Vuruğu; karışım buji tarafından ateşlendikten sonra alev yanma odasında ilerlerken diğer bölgede bulunan karışımın sıcaklık ve basıncın artmasından dolayı kendi kendine tutuşması neticesinde iki alev cephesinin karşılaşması ile arada kalan karışımın çok hızlı şekilde (patlama) yanması sonucunda meydana gelen olumsuz yanma şeklidir. Erken ateşleme; karışım buji tarafından ateşlenmeden önce silindir içerisindeki basınç ve sıcaklığın karışımı tutuşturabilecek seviyeye gelmesi sonucunda oluşan yanma şeklidir. Bu tip yanma meydana geldiğinde piston silindir içerisinde ÜÖN'ye doğru hareket ettiğinden piston hareketini engelleyici bir kuvvetle karşılaşacaktır. Bu da yanmanın kalitesini düşüreceğinden motordan elde edilecek verimin kötüleşmesine sebep olacaktır.

Benzin motorlarında sıkıştırılan yakıt-hava karışımının yüksek basınç ve sıcaklıkta buji ateşlemeden kendi kendine tutuşması (vuruğu) istenmez. Benzin-hava karışımlarında sıkıştırma sonu basıncı ile yanma odasındaki en yüksek sıcaklığın arttırılabilmesi yakıtın vuruğu mukavemetine bağlıdır. Yakıtın vuruğu mukavemeti kendi fizikokimyasal özellikleri yanında motorun yapısal ve işletme özelliklerine de bağlıdır. Motorun vuruğu şeklinde meydana gelen yanma ile çalıştırılması sonucunda yakıttan elde edilecek enerjinin boşa gitmesine ve motorun zarar görmesine sebep olur. Ortaya çıkan vuruğu motorda çekiçleme şeklindeki gürültülerle kendini belli eder. Vuruğu motorun gücünü düşürür, yakıt tüketimini arttırır ve uzun süre devam etmesi halinde yanma odası çeperlerinde hasara neden olur [62,63]. Erken ateşleme meydana geldiğinde piston, ÜÖN'ye gelmeden önce silindirde maksimum basınç ortaya çıkar ve bu basınç, pistonu aşağı itmek ister. Bunun sonucunda piston yakması, yatak hasarı

ve güç kaybı meydana gelir. Yüksek OS'li yakıtların kullanılması, yüksek motor basınç oranlarına izin verir. Bu yakıtları kullanmak için tasarlanan yüksek SO'lu motorlar, yüksek verim ve güce sahip olurlar. Bu sebeplerden dolayı spor arabalarda yüksek OS'li benzin kullanılmaktadır. Yüksek OS'li benzin elde etmek için bazı katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Bu tip yakıtlara örnek olarak 97 oktan benzini verebiliriz. Burada sözü edilen OS'nin artışı, benzinin ısı değerini arttırmamakta, fakat yakıtın yüksek sıcaklık ve basınçlar da kendi kendine tutuşma (vuruntu) olayı eğilimini azaltmaktadır. Yani süper benzin daha zor tutuşur. OS'nin artmasıyla birlikte benzin motorlarının SO arttırılabilmekte (Şekil 4.3) ve bu da motorun verimini iyileştirmekte, yakıt tüketimini düşürmektedir.



Şekil 4.3. OS'ye bağlı olarak vuruntu sınırının değişimi.

Vuruntulu yanma üzerine en önemli etkiyi yakıtın kimyasal ve fiziksel özellikleri yapmaktadır. Yakıtlar birçok değişik fiziksel ve kimyasal özellikteki hidrokarbonların birleşiminden oluştuğu için, bazılarının vuruntulu yanmaya meyilleri fazla, bazılarının ise azdır. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi OS arttıkça vuruntu olmadan çalışılabilecek SO'ya ulaşmak mümkündür [60].

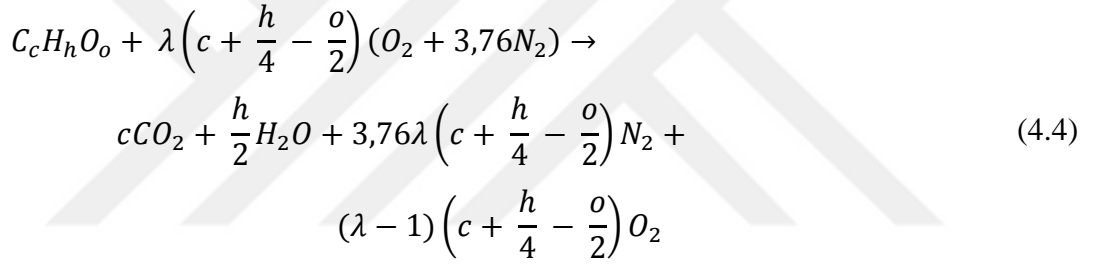
4.2. BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA KİRLLETİCİ EMİSYONLAR

Günümüzün en önemli problemlerinden biri haline gelen çevre sorunları her geçen gün artarak devam etmektedir. Son yıllarda dünya nüfusu hızla artmakta ve önümüzdeki yıllarda enerji üretiminin tüketime karşılık veremeyecek duruma geleceği

düşünülmektedir. Geçmişte enerji tüketiminin çevresel boyutuna yeterince önem verilmediği için günümüzde çeşitli ekolojik tehlikelerle yüz yüze gelinmiştir. Bu konuda en önemli unsurlardan biri fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere atılan gazlardır.

4.2.1. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma

İçten yanmalı motorlarda yanma olayı, yanma odasına gönderilen yakıtın oksijenle reaksiyona girmesi sonucu oluşur. Yakıt ister sıvı ister gaz fazda olsun, bünyesinde değişik oranlarda ve çeşitli bağ şekillerinde C, H, S ve O gibi molekülleri bulundurmaktadır. Bir hidrokarbon yakıt $C_cH_hO_o$ şeklinde tanımlandığında genel yanma denklemi Eş. 4.4'deki gibi olacaktır:



Motorda gerçekleşen ideal yanma sonucunda zehirli etkileri olmayan CO_2 , su buharı ve havadaki azot da bulunacaktır. Su buharı kirletici özellik taşımamaktadır. Ancak CO_2 , atmosferde birikerek sera etkisine yol açtığı için kirleticiler sınıfındadır. Tam gerçekleşmeyen yanma ve kimyasal parçalanmalar sonucunda oluşan ara ürünler; HC, CO, NO_x gibi zararlı maddelerin oluşmasına sebep olmaktadır. Ayrıca yakıtın içeriğinde bulunan kükürten dolayı SO_2 gibi zararlı maddeler de yanma ürünü olarak açığa çıkabilmektedir.

4.2.2. Emisyonlar

Emisyon kaynakları içerisinde egzoz gazları büyük bir bölümü kapsamaktadır. BA motorlarda, yanma sonucu açığa çıkan ana kirletici maddeler CO, HC ve NO_x 'tir.

HC emisyonu çeşitli sebeplerden meydana gelmektedir. Sıkıştırma ve yanma zamanında artan silindir basıncının etkisiyle yakıt buharları, silindir ve yanma odası

içerisindeki boşluklara girmektedir. Yanma aşamasında alev cephesi bu boşluklara ulaşamadığı için bu kısımlarda reaksiyona girmeden kalan yakıt buharları, silindir basıncının düşmesiyle birlikte ortaya çıkarak egzoz gazı ile birlikte dışarı atılırlar. Diğer bir HC oluşum sebebi ise silindir cidarlarında meydana gelen ve yüksek basınçlarda yakıt buharlarını yok ederek içerisine alan yağ film tabakasıdır. Basıncın düşmesiyle birlikte bünyesine aldığı yakıt buharlarını geri salarak HC emisyonlarına sebep olur [64].

Eksik yanma, yanma odasını çevreleyen dar boşlukların sıkıştırma esnasında hava-yakıt karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakaları içinde absorpsiyonu, kalıntıların yağ filmi etkisi göstermesi, silindir içinde sıvı yakıt kalması ve supap yatak boşluklarında karışım sızması şeklindeki etkenler HC emisyonuna sebep olan diğer etkenlerdir [65].

CO yakıtın eksik yanması yani O₂'nin yetersiz olmasından ortaya çıkan renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır [66]. Yanma odasında yetersiz oksidantın ve düşük sıcaklığın sebep olduğu eksik yanma dolayısı ile CO emisyonları oluşur. Yanmanın sonuna doğru oluşan CO emisyonları, değişik oksidantlarla birleşme tepkimesine girerek CO₂ emisyonlarına dönüşürler. Düşük yanma odası sıcaklığı ve yetersiz oksidant seviyesinden dolayı gerçekleşemeyen birleşme tepkimeleri, CO emisyonlarının artmasına neden olur [67].

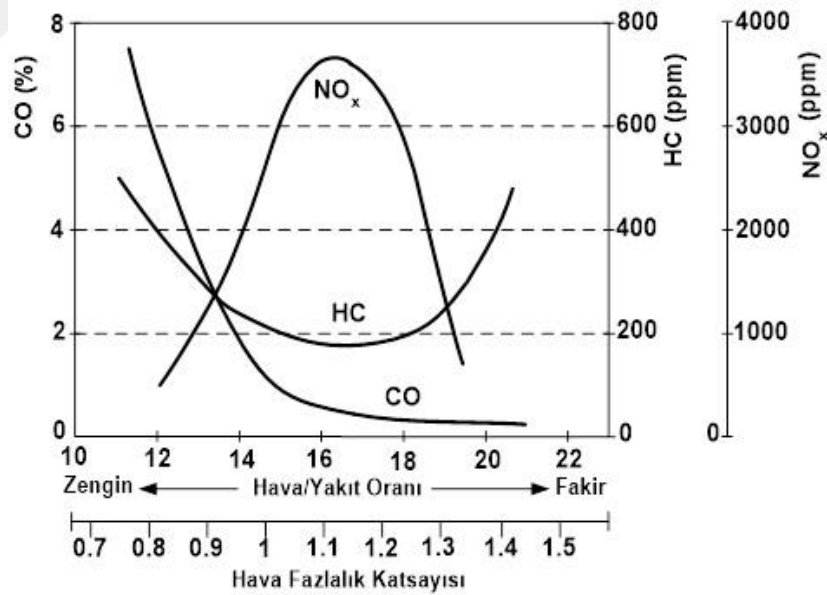
Havanın içinde bulunan bileşenlerin başında gelen azot, yanma sırasında sıcaklığın 1600 °C'den daha yükseğe çıkması sonucunda O₂ ile tepkimeye girerek NO_x'leri oluşturur. Bu NO_x'lerin en zararlı olanları azotoksit (NO) ve azotdioksit (NO₂)'tir. Ana kaynağı, silindire alınan emme havası içerisinde bulunan moleküler azot olan NO, miktar olarak en fazla olanıdır. Atmosferik azottan NO oluşumu Zeldovitch mekanizması olarak bilinmektedir [68]. Eş. 4.5, Eş. 4.6 ve Eş. 4.7'de NO reaksiyonları görülmektedir.





Eş. 4.6 reaksiyonu çok zengin karışım şartlarında oluşur. NO hem alev cephesinin içinde hem de alevin geçtiği, alevin arka kısmında kalan bölgelerdeki gazın içerisinde oluşur. Yanmanın yüksek basınç altında gerçekleştiği motorlarda, alev içerisindeki reaksiyon bölgesi oldukça ince ve kısa ömürlüdür. Alev reaksiyon bölgesi oldukça ince olduğundan NO oluşumunun esas olarak alevin arkasındaki yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgesinde oluştuğu kabul edilebilir. NO_x emisyonlarını etkileyen en önemli faktörler hava/yakıt oranı, silindir içerisinde bir önceki çevrimden kalan yanmış art gazların miktarı ve ateşleme zamanıdır [69].

Çalışma şartlarının değişimi sırasında yakıt-hava karışımı, ateşleme avansı, egzoz gazı resirkülasyonu oranı gibi faktörlerin değişimi yanmayı kötüleştirerek emisyonları artmaktadır. Bu faktörler içinde yakıt-hava oranı en büyük etkiye sahiptir. Şekil 4.4'te hava fazlalık katsayısı (HFK) ile egzoz emisyonları arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 4.4. HFK'ya göre egzoz emisyonlarının değişimi [70].

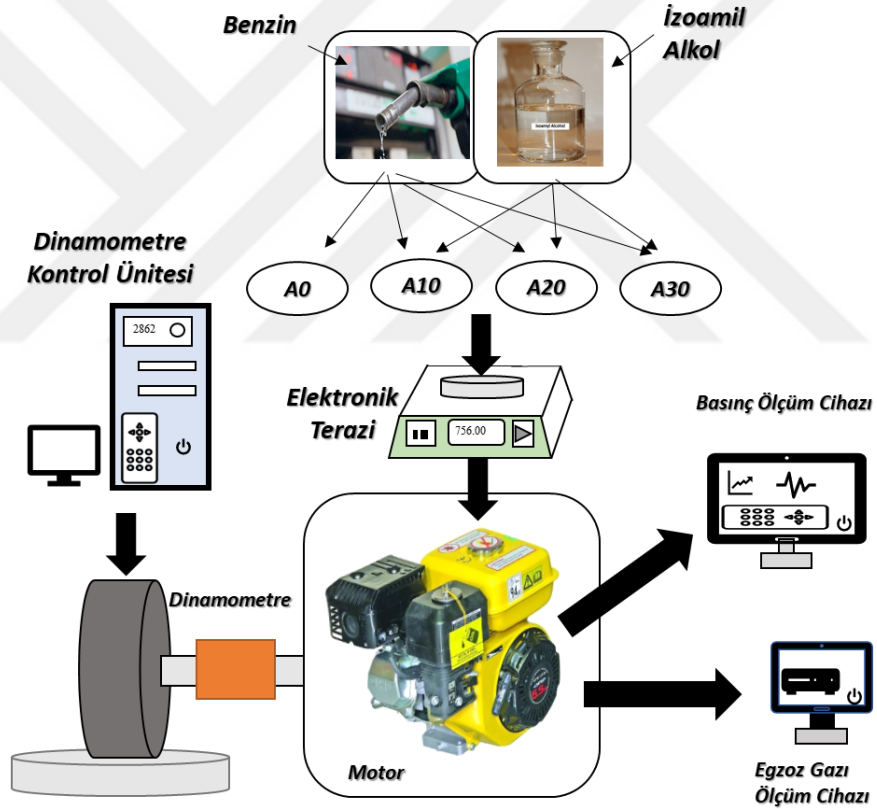
Zengin karışımlarda motor kararlı çalışırken egzoz emisyonları artmakta, karışımın fakirleşmesiyle önce yanma veriminin arttığı ve emisyonların iyileştiği, fakirleşmenin daha fazla artmasıyla yanmanın kötüleşerek teklemelerin oluştuğu ve bununla birlikte HC emisyonların arttığı görülmektedir [70].



BÖLÜM 5

MATERYAL YÖNTEM

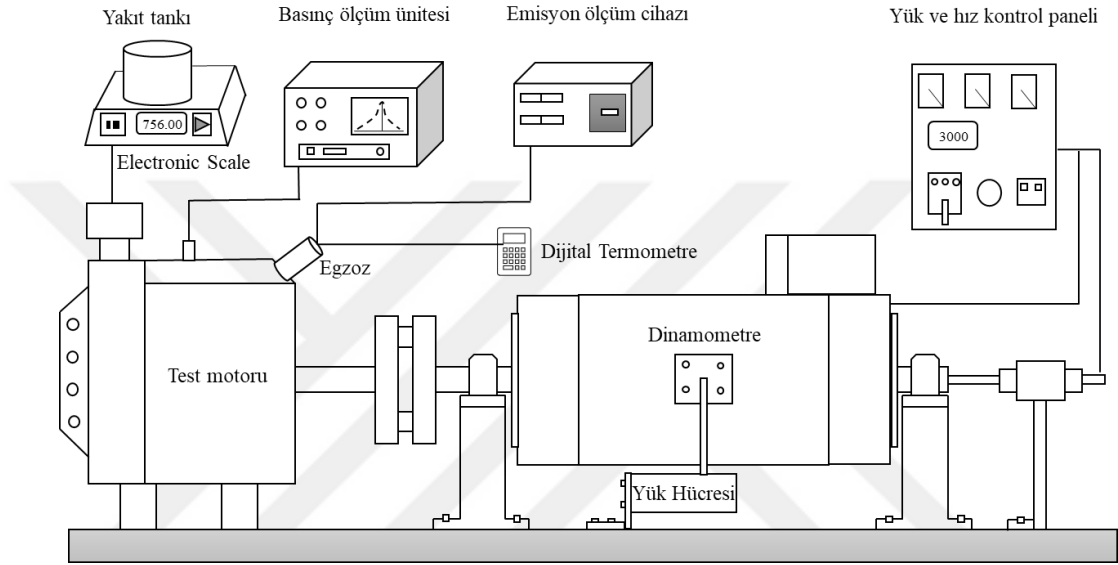
Bu bölümde deneylerde kullanılan ekipmanlar, deneysel sonuçların hesaplanması, deney yakıtları, deneylerin yapılışı ve YSA ile ilgili bilgiler verilmiştir. Şekil 5.1’de şematik olarak deney akışı gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Şematik olarak deney akışı.

5.1. DENEY DONANIMI

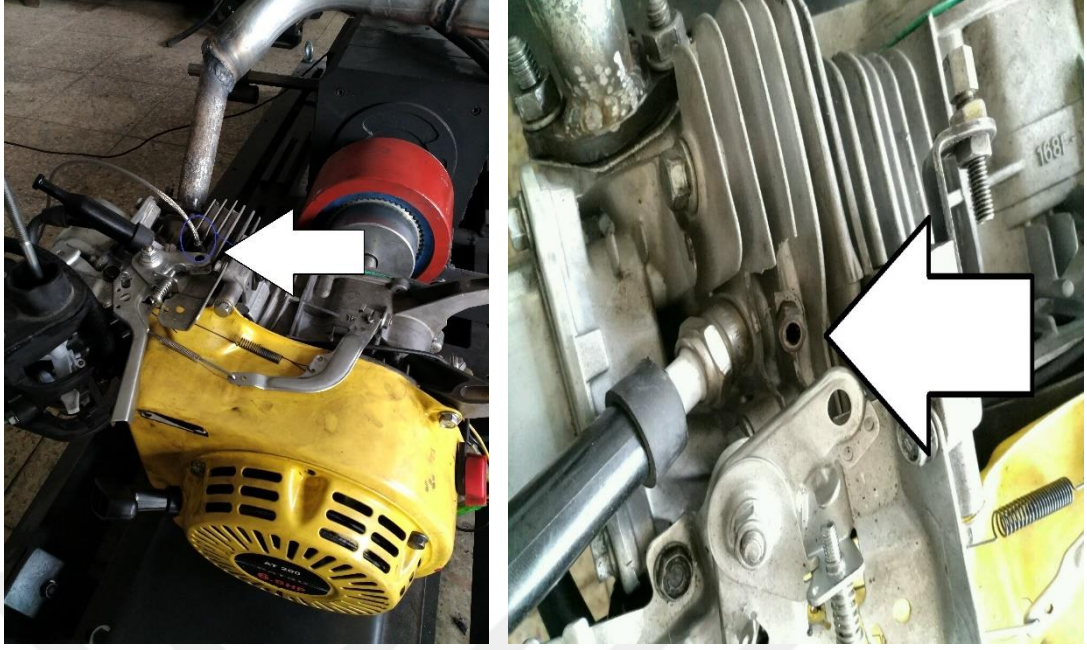
Deney düzeneği; deney motoru, dinamometre, osiloskop, egzoz gaz analizörü, yakıt deposu, elektronik terazi, dijital termometre ve silindir içi gaz basıncı (SİGB) ölçüm sisteminden oluşmaktadır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

5.1.1. Deney Motoru

Deneysel çalışmada orijinal SO 8,5:1 olan ve 196 cm^3 silindir hacmine sahip olan, düşük güçlü, tek silindirli ve hava soğutmalı DATSU LT200 marka bir BA motor kullanılmıştır. Deney motorunun genel görünümü Şekil 5.3’te ve deney motoruna ait teknik özellikler Çizelge 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.3. Deney motoru.

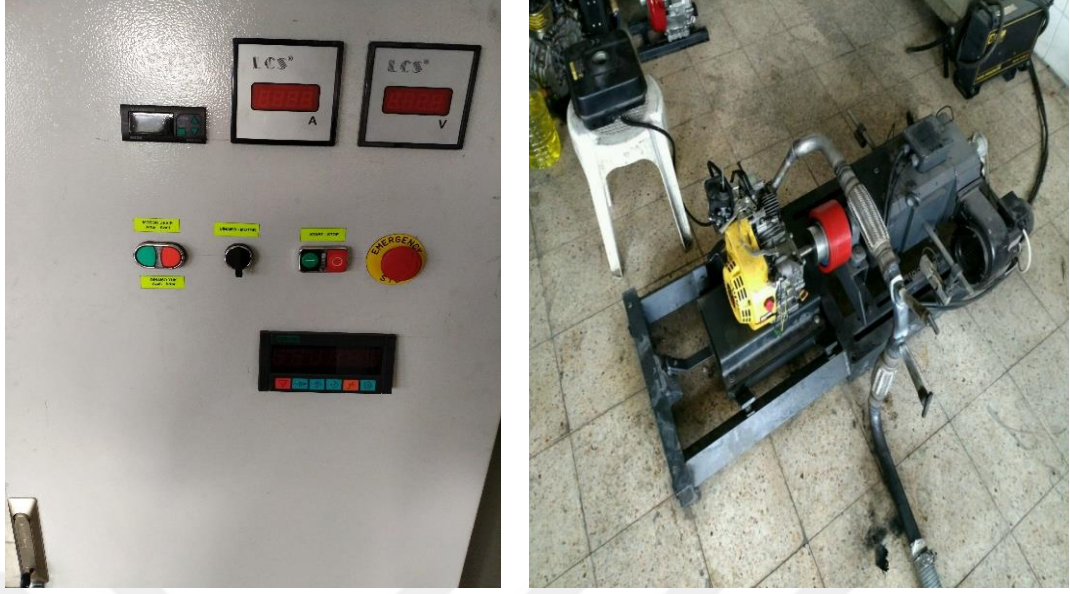
Çizelge 5.1. Deney motoruna ait teknik özellikler.

Özellikler	
Motor tipi	Hava soğutmalı, 4-zamanlı, tek silindirli
Çap x Strok (mm)	68 x 54 mm
Motor hacmi (cm ³)	196
Orijinal SO	8,5:1
Maksimum çıkış gücü	4,8 kW/3600 rpm
Maksimum Tork	12,4 Nm/3600 rpm
Motor ağırlığı (kg)	16

Deneyle esnasında SİGB'nin ölçümü için yanma odasının hizasında olacak şekilde silindir kapaklarına delik açılmıştır ve bu deliklere Şekil 5.3'te görüldüğü gibi basınç sensörü tertibatı yerleştirilmiştir. Deneye başlamadan önce basınç sensörü bu deliğe yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır.

5.1.2. Yük ve Hız Kontrol Paneli

Deneyle sırasında deney motorunun yüklenmesi ve motor hızının değiştirilmesi ya da bir değerde sabitlenmesi işlemleri Şekil 5.4'te verilen 10 kW gücünde bir dinamometre ve kontrol ünitesi ile yapılmıştır. Dinamometrede oluşan kuvvet değerini ölçmek amacıyla 0,25 m uzaklığa Esit SP 100 kg C1 marka bir yük hücresi (load cell) yerleştirilmiştir.



Şekil 5.4. Dinamometre ünitesi.

5.1.3. Yakıt Tüketimi Ölçümü

Deneyler sırasında yakıt tüketimini ölçmek amacıyla 20 kg kapasiteli ve 0.1 g hassasiyetine sahip elektronik bir terazi üzerine yakıt deposu konulmuştur. Alkol uçucu olduğu için yüksek hassasiyetli ölçümler elde edebilmek adına deney başlatılırken yakıt karışımları oluşturulup depoya konulmuştur ve anlık olarak yakıt tüketim ölçümleri kütleli yöntem kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan tertibat ve elektronik terazi Şekil 5.5'te gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Elektronik terazi.

5.1.4. Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneyle esnasında, kullanılacak yakıt ile deney motoru bir süre çalıştırıldıktan sonra emisyon ölçümlerini yapmak için Şekil 5.6'da görülen SPIN marka egzoz analizörü kullanılmıştır. Bu çalışmada, CO, HC ve NO_x emisyonu ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler dijital ekrandan direk okunabildiği gibi, çıktı olarak da cihazdan alınabilmektedir. Kullanılan emisyon ölçüm cihazının bazı teknik özellikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.6. Emisyon ölçüm cihazı.

Çizelge 5.2. Emisyon ölçüm cihazı teknik özellikleri.

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Hassasiyet
Oksijen (%)	0-25	± 0,1
Karbon monoksit (%)	0-15	± 0,01
Karbon dioksit (%)	0-20	± 0,01
Hidrokarbon (ppm)	0-20000	± 12
Azot oksit (ppm)	0-4000	± 5

5.1.5. Silindir İçi Gaz Basıncı Ölçüm Sistemi

Silindir içerisinde meydana gelen gaz basıncının ölçümü için silindir kafasına yanma odasına denk gelecek şekilde ve basınç sensörünün çapı kadar delik açılmıştır. Optrand marka 0-3000 psi ölçüm kapasitesi ve 1,80 mV-psi hassasiyete sahip fiber optik basınç sensörü, konum sensörü ve RİGOL DS1064B model 4 kanallı dijital osiloskop kullanılarak SİGB ölçümleri yapılmıştır. Sensör 5 VDC sabit gerilim altında çalıştırılarak çıkış gerilimi değişimi osiloskop üzerinde görüntülenerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Osiloskopta okunan veriler flash belleğe kaydedilerek

bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Kullanılan basınç sensörüne ait özellikler Çizelge 5.3'te, kullanılan sensörlere ve osiloskoba ait görüntüler ise Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Basınç sensörünün bazı özellikleri.

	Sensör Özellikleri
Basınç aralığı (kPa)	0-20000 (~ 3000 PSI)
Frekans aralığı (Hz)	0,1 Hz – 15 kHz
Hassasiyet	1,80 mV-psi
Çıkış empedansı	250 ohm
Kablo çalışma sıcaklığı	-40- 200 °C
Pc Bağlantısı	USB Sürücü, USB Host, LXI-C Compliant LAN
Sensör montaj çalışma sıcaklığı	-40- 350 °C
Fiber optik kablo uzunluğu	2 m
Sensör vida boyutları	M5x0,5



Şekil 5.7. Optrand marka silindir basıncı sensörü.



Şekil 5.8. Dijital osiloskop.

5.2. DENEYLERDE KULLANILAN HESAPLAMALAR

Motor momenti ve gücü, FÖYT, FEV, FOEB, SİGB ve ısı açığa çıkış oranı (İÇÖ)'nin detaylı bir şekilde irdelenebilmesi için, yapılan testlerden elde edilen ham verilerin kullanıldığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

5.2.1. Motor Momenti ve Gücü

Motor momenti, deneylerde ölçülen kuvvet değerinin aşağıdaki eşitlikte kullanılmasıyla hesaplanmıştır;

$$M_e = F \times L \quad (5.1)$$

Eş. 5.2'de gösterildiği gibi hesaplanan momentin açısal hız ile çarpılması ile efektif güç elde edilir.

$$P_e = \omega \times M_e = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \times M_e \times \frac{1}{1000} \text{ (kW)} \quad (5.2)$$

Elde edilen eşitliği sadeleştirilmesi ile aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir [70–72];

$$P_e = \frac{M_e \cdot n}{9549} \quad (5.3)$$

Burada;

M_e : Etkin Motor Momenti (Nm)

F : Load cell'den okunan kuvvet değeri (N)

L : Motor merkezinin load cell'e uzaklığı (m)

P_e : Efektif güç (kW)

n : Motor hızı (d/d)

ω : Açısal hızı (rad/s) ifade etmektedir.

5.2.2. Fren Özgül Yakıt Tüketimi

Deneyle esnasında dijital kronometre vasıtasıyla 10 g yakıtın ($m_{\text{yakıt}}$) tüketilme süresi ölçülmüş ve Eş. 5.4'te gösterilen eşitlik kullanılarak birim zamanda harcanan yakıt miktarı hesaplanmıştır;

$$\dot{m}_y = \frac{m_{\text{yakıt}} \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{\Delta t} \quad (\text{kg/h}) \quad (5.4)$$

Burada;

\dot{m}_y : kütleli yakıt debisi (kg/h)

Δt : 10 g yakıtı tüketme süresini (s) göstermektedir.

Eş. 5.3 ve Eş. 5.4 kullanılarak hesaplanan değerler Eş. 5.5'te yerine yazılarak FÖYT değeri hesaplanmaktadır;

$$FÖYT = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \times 10^3 \quad (\text{g/kWh}) \quad (5.5)$$

5.2.3. Fren Efektif Verim

FEV'in hesaplanması için Eş. 5.5 ile hesaplanan değer ile birlikte Eş. 5.6 kullanılmıştır.

$$\eta_e = \left(\frac{1}{FÖYT \times H_u} \times 1000 \times 3600 \right) \times 100 \quad (\%) \quad (5.6)$$

Burada;

H_u : yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg).

5.2.4. Fren Ortalama Efektif Basınç

Motorun gerçek çevrimdeki P_e gücünü verebilmesi için strok boyunca pistonu etki eden basınç olarak nitelendirilen FOEB aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır [71,73];

$$FOEB = \frac{P_e}{V_h \times n \times i} \quad (kPa) \quad (5.7)$$

i ifadesi 4 zamanlı motorlarda 1/2 olarak alınmaktadır.

5.2.5. Silindir İçi Gaz Basıncı

SİGB ölçümü için tüm silindir kafalarına yanma odası hizasında olacak şekilde basınç sensörünün montajının yapılacağı bir delik açılmıştır ve değerler osiloskop vasıtasıyla okunup flash belleğe kaydedilmiştir. Sensör teknik dökümanında yer alan Eş. 5.8 ile kaydedilen veriler analiz edilerek SİGB değerleri ve eğrileri oluşturulmuştur. SİGB’de çevrimden çevrime farklılıklar meydana geldiği için 10 çevrimin ortalaması alınarak bu farklılıklar minimize edilmiştir.

$$SİGB = \frac{V - V_{min}}{S} \quad (5.8)$$

Burada;

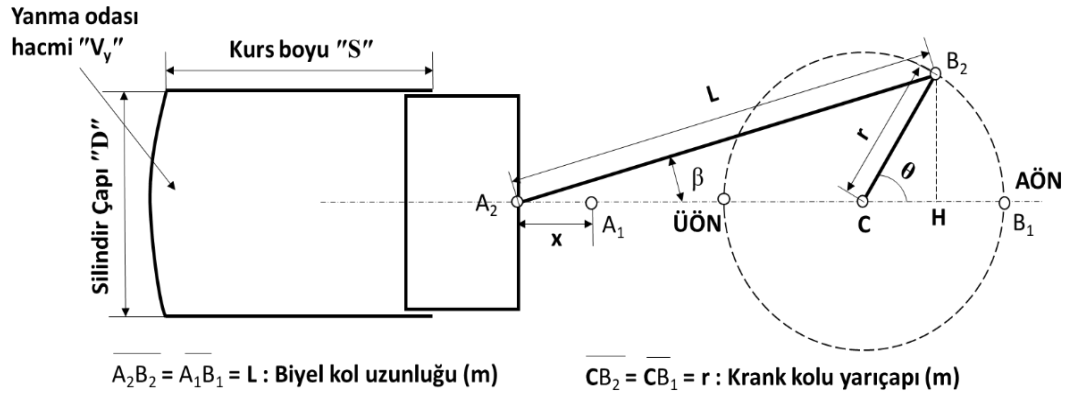
V : Çıkış voltajı

V_{min} : Minimum çıkış voltajı

S : Sensör hassasiyeti

5.2.6. Motor Hacminin Anlık Değişimi

Motor hacminin anlık değişimi direkt olarak ölçülemez ancak deney motoruna ait geometrik özelliklerin bilinmesi ile hesaplanabilir [74]. İçten yanmalı bir motora ait şematik bir krank-biyel mekanizması ve çeşitli geometrik ölçülerin gösterimi Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9. İçten yanmalı motorlarda krank-biyel mekanizması.

Yanma odası hacmi;

$$SO = \frac{V_y + V_s}{V_y} \rightarrow SO = 1 - \frac{V_s}{V_y} \rightarrow V_y = \frac{V_s}{SO - 1} \quad (5.9)$$

Anlık silindir hacminin hesaplanabilmesi için silindir içerisinde pistonun süpürdüğü anlık mesafenin hesaplanması gerekmektedir. Anlık yol (x) Şekil 5.9'da gösterilen krank-biyel mekanizmasından geometrik metotlarla hesaplanmaktadır;

$$x = \overline{A_2B_1} - \overline{A_1B_1} \quad (5.10)$$

$$\overline{A_2B_1} = \overline{A_2H} - \overline{HB_1} \quad (5.11)$$

$$\overline{A_2H} = L \cdot \cos \beta \quad (5.12)$$

$$\overline{HB_1} = \overline{CB_1} - \overline{CH} \rightarrow \overline{HB_1} = r - r \cdot \cos \theta \quad (5.13)$$

Eş. 5.11, Eş. 5.12 ve Eş. 5.13 Eş. 5.10'da yerine yazılırsa;

$$x = L \cdot \cos \beta + r - r \cdot \cos \theta - L \quad (5.14)$$

elde edilir. Düzenlenirse;

$$x = L \cdot (\cos \beta - 1) + r \cdot (1 - \cos \theta) \quad (5.15)$$

Elde edilen Eş. 5.15'i KA cinsinden yazabilmek için gerekli düzenlemeler yapılırsa;

$$L \cdot \sin \beta = r \cdot \sin \theta \rightarrow \sin \beta = \frac{r}{L} \cdot \sin \theta \quad (5.16)$$

$$\sin^2 \beta + \cos^2 \beta = 1 \quad (5.17)$$

Eş. 5.16 Eş. 5.17'ye yazılırsa;

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{L} \cdot \sin \theta\right)^2} \quad (5.18)$$

Eş. 5.18 Eş. 5.15'te yerine yazılır ve düzenlenirse;

$$x(\theta) = (L - r) + r \cdot \cos \theta - \sqrt{L^2 - r^2 \cdot \sin^2 \theta} \quad (5.19)$$

$$V_T(\theta) = V_y + V_s \quad (5.20)$$

$$V_s(\theta) = x \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (5.21)$$

Eş. 5.21 ve Eş. 5.9, Eş. 5.20'de yerine yazılırsa;

$$V_T(\theta) = \left(\frac{1}{SO - 1}\right) \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot x \quad (5.22)$$

ifadesi ile pistonun silindir içerisinde katettiği anlık hacim hesaplanabilmektedir [75].

5.2.7. Isı Açığa Çıkış Oranı (İÇÖ)

Yanma analizi için kullanılan yöntemlerden birisi termodinamiğin I. kanunu ile elde edilen İÇÖ'dür. Yanma sırasında kullanılan yakıtların kimyasal enerjilerinin çıkış anları bu eğriler ile belirlenebilmektedir. Dört farklı yakıt karışımının kullanıldığı bu çalışmada yanma sonrası oluşan İÇÖ değişimleri tek boyutlu bir model ile hesaplanmıştır. Bu modelde, silindir içerisinde yanma odası bölgesinde bulunan hava-yakıt karışımının ideal gaz olduğu ve silindire giren enerji ile yanma sonrası açığa çıkan enerjinin eşit olduğu kabulü yapılmıştır. İYM'lerde yanma termodinamiğin I. kanunu ile tanımlanır ve enerji dönüşüm eşitliği Eş. 5.23 gibi yazılır ise [70];

$$\frac{du}{d\theta} = Qn - W \quad (5.23)$$

$$mC_v \frac{dT}{d\theta} = Qn - P \frac{dV}{d\theta} \quad (5.24)$$

Burada;

du : Sistem içerisindeki kütle için iç enerji değişimi

Qn : Yanma odasında ortaya çıkan net ısı (İÇÖ)

W : Sistem sınırı tarafından yapılan işi belirtmektedir.

İdeal gaz kabulü ile;

$$PV = mRT \quad (5.25)$$

Kütlenin değişmediği kabulü ile anlık sıcaklık değişimi için Eş. 5.25'te krank açısına göre türev alınır;

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{1}{mR} \left[P \cdot \frac{dV}{d\theta} + V \cdot \frac{dP}{d\theta} \right] \quad (5.26)$$

eşitliği elde edilir. Eş. 5.24 ve Eş. 5.26 beraber düzenlenirse;

$$Qn = \left[\frac{C_v}{R} + 1 \right] \cdot P \frac{dV}{d\theta} + \frac{C_v}{R} \cdot V \cdot \frac{dP}{d\theta} \quad (5.27)$$

eşitliği elde edilir. Burada $\frac{C_v}{R}$, özgül ısı (k) cinsinden yazılır ise;

$$Q_n (I\dot{C}O) = \left(\frac{k}{k-1}\right) \cdot P \frac{dV}{d\theta} + \left(\frac{1}{k-1}\right) \cdot V \cdot \frac{dP}{d\theta} \quad (5.28)$$

eşitliği elde edilir ve bu eşitlik silindir içiresindeki anlık IÇO değişiminin bulunmasında kullanılabilir. Burada;

IÇO : Isı açığa çıkış oranı (J/°)

P : Silindir basıncı (Pa)

V : Silindir hacmi (m³)

θ : Krank açısı (°)

5.3. DENEY YÖNTEMİ

Deneylere başlamadan önce motorun yağ kontrolü ve bağlantılarının kontrolü yapılmıştır. Ayrıca deneyler sırasında kullanılacak ölçüm aletlerinin çalışır vaziyette olup olmadığı kontrol edilmiştir. Egzoz gazları ölçüm cihazının filtreleri basınçlı hava ile temizlenmiştir.

Bu çalışmada üç farklı SO (8,0:1, 8,5:1 ve 9,0:1)'da ve dört farklı motor hızında (2600, 2800, 3000 ve 3200 d/d'da) saf benzin (A0) ve i-AA-benzin yakıt karışımları (A10, A20 ve A30) kullanılarak motor testleri gerçekleştirilmiştir. Yakıt karışımları, i-AA'nın uçma riskine karşı deneyler sırasında oluşturulmuştur. Deney motoru sabit ateşleme avansı (23°) ile çalışmaktadır. Deneyler sırasında ateşleme avansı değiştirilmemiştir.

Motorun SO'sunu değiştirmek için farklı silindir kafaları ayarlanmıştır. 8,0:1 SO'yu ayarlayabilmek için 8,5:1 SO'ya sahip olan motorun orijinal silindir kafasına 0,50 mm kalınlığında conta eklemesi yapılmıştır. 9,0:1 SO'yu ayarlamak için ise silindir kafası 0,45 mm taşlanmıştır. Deneyi yapılacak olan SO silindir kafası motora gerekli bağlantılarla sabitlendikten sonra deney motoru saf benzinle çalıştırılarak kararlı hale gelmesi beklenmiş ve dinamometre ile yükleme yapılarak devir sayısı sabitlenmiş ve

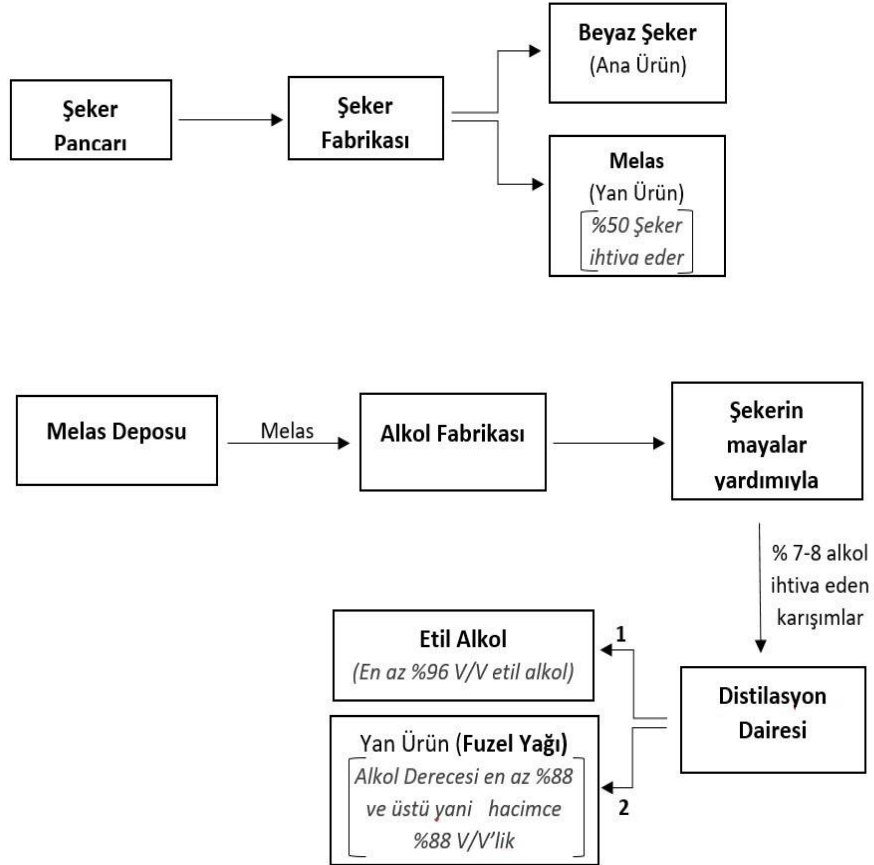
ölçümler yapılmıştır. Her bir devir sayısı için aynı işlemler yapılmıştır. Motor hava soğutmalı olduğu için her deney arasında en az 15 dk beklenmiş ve daha sonra deneylere devam edilmiştir. Benzinle yapılan çalışma tamamlandıktan sonra i-AA-benzin yakıt karışımları için aynı işlemler tekrarlanmıştır. Yapılan tüm deneylerde egzoz emisyonları ölçümü için değerlerin kararlı hale gelmesi beklenmiştir. Bu sırada elektronik terazi aracılığıyla 10 g yakıtın tüketilme süresi, egzoz gaz sıcaklığı ve SİGB değerleri belirli aralıklarla üçer defa kaydedilmiş ve kaydedilen değerlerin ortalaması alınarak tek bir sonuca indirgenmiştir.

9,5:1 SO'da benzinli çalışmada yapılan testlerde motorda vuruuntu meydana geldiği için motor hızı sabitlenememiş ve veri alınamamıştır. Bu sebepten 9,5:1 SO'da deney yapılmamıştır. Ayrıca A40 ve daha yüksek alkol karışimli yakıtlar testlerde denenmemiştir. Çünkü A30 yakıtı ile yapılan testlerde motor gücü ve verimi azalmaya başladığından daha yüksek oranlı alkol karışimli yakıtlar ile deney yapılmasına gerek duyulmamıştır. Benzinli motorlarda %20'ye kadar alkol içeren karışımlar motorda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Daha yüksek oranlı alkol içeren karışımlar kullanıldığında motora verilen yakıt miktarının artırılması ve ateşleme avansı gibi parametrelerin değiştirilmesi önerilmektedir.

5.4. DENEY YAKITLARI

Motor modifikasyonu gerektirmeksizin İYM'lerde benzinle herhangi bir oranda karıştırılarak kullanılabilen benzinden daha yüksek enerji yoğunluğuna ve daha düşük buhar basıncına sahip olan i-AA, çeşitli biyosentez yöntemlerle ve fuzel yağının destilasyonu ile elde edilebilen beş karbonlu bir yüksek alkol çeşididir [2,5,76]. Mantar ve maya, fermantasyon işlemiyle doğal olarak az miktarda i-AA üretebilmektedir [76]. İ-AA renksizdir ve birkaç amil alkol izomerlerinden biridir. Muz yağının üretiminde, doğada bulunan ve aynı zamanda sanayide lezzet verici olarak üretilen bir esterdir. Bakteriyel diagnostik indol testi için kullanılan bir Kovac reaktif bileşenidir ve aynı zamanda kloroformda bir köpük önleyici madde olarak kullanılmaktadır [77]. Ribonükleaz aktivitesini daha fazla inhibe etmek ve RNA'ların uzun süreli poli-adenin ile çözünürlüğünü önlemek için kloroform ile karıştırılmış bir fenol-kloroform ekstraksiyonunda da i-AA kullanılır [78].

Fuzel yağı, ismi sebebiyle yağ olarak bilinmesine rağmen, aslında bünyesinde birçok değerli alkolü barındıran bir alkol bileşiğidir. Şeker fabrikalarında şeker pancarından şeker üretiminin son basamağında elde edilen şlempeden (Şeker küspesinin sulu halidir) etil alkol veya metil alkol üretimi sırasında oluşan ve ana bileşen olarak izoamil alkolden oluşan yüksek moleküllü bir atık alkol bileşiğidir [79]. Fuzel yağı renksiz veya sarımtırak tonlarda olabilen ve kötü kokuya sahip bir özelliği vardır ve yaklaşık 390 g / L izoamil alkol, 158 g / L izobütil alkol, 28,4 g / L etil alkol, 16,6 g / L metil alkol ve 11,9 g / L n-propil alkolden oluşur [80,81]. Şekil 5.10’da fuzel yağının elde edilişi gösterilmektedir. Ülkemizde şeker fabrikalarının alkol üreten bölümlerinde üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde, her 100 litre alkole karşılık 0,4-0,7 litre fuzel yağı açığa çıkmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Şeker Fabrikaları A.Ş. bünyesinde bulunan tek fuzel yağı üretim birimi Eskişehir Şeker Fabrikası, Alkol Üretim A. Ş’dir. Fabrika enerji ihtiyacının bir kısmını fuzel yağından sağlamaktadır [82]. Fuzel yağının elde edilişi Şekil 5.10’da gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Fuzel yağının elde edilişi [83].

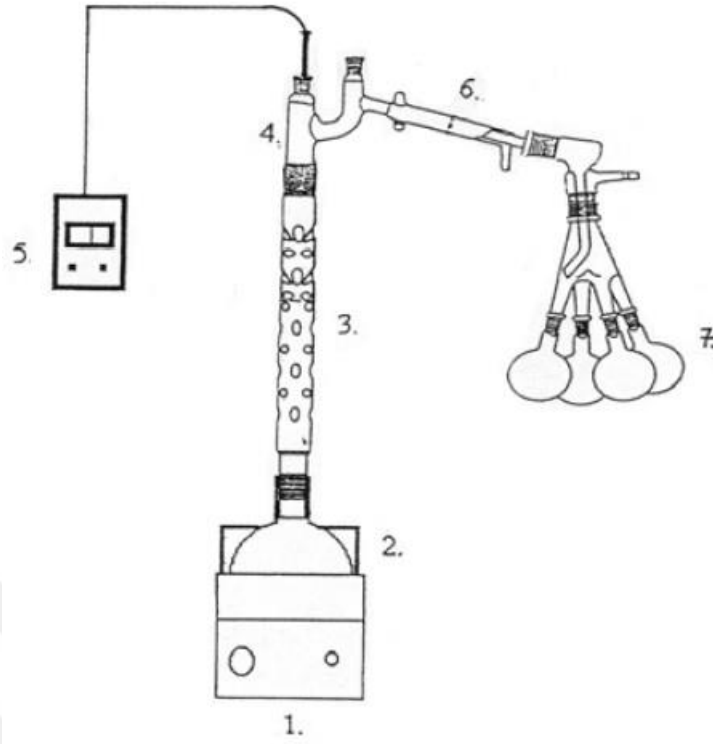
Fuzel yağı bileşenlerinin fiziksel özellikleri Çizelge 5.4'te gösterilmektedir. Fuzel yağının ana bileşeni olan izoamil alkol, endüstriyel çözücüler, lezzet verici maddeler ve plastikleştiriciler olarak kullanılan organik esterlerin üretiminde kullanılabilir [5].

Çizelge 5.4. Fuzel yağı bileşenlerinin fiziksel özellikleri [84,85].

Bileşen	i-amil alkol	i-bütül alkol	n-bütül alkol	n-propil alkol	Etanol	Su
Kimyasal Formül	C ₅ H ₁₂ O	C ₄ H ₁₀ O	C ₄ H ₁₀ O	C ₃ H ₈ O	C ₂ H ₆ O	H ₂ O
Molekül Ağırlık (g/mol)	88,148	74,122	74,122	60,09	46,07	18
Yoğunluk (g/cm ³)	0,8104	0,802	0,8098	0,8034	0,789	1
Kaynama Noktası (°C)	131,1	108	117,73	97,1	78,4	100
Donma Noktası (°C)	-117,2	-108	-89,5	-126,5	-114,3	0
Hacimsel (%)	63,93	16,66	0,736	0,738	9,58	10,3
Kütlesel (%)	61,52	15,87	0,708	0,704	8,98	12,23

Fuzel yağı içindeki suyun ve alkollerin damıtma sırasında azeotrop oluşturduğu literatürden bilindiği gibi deneysel olarak da tespit edildiğinden, fuzel yağını damıtmadan önce, moleküler elek ve sodyum sülfat ile su içeriği azaltılmaktadır. Bu maddelerin su tutma kapasiteleri sırasıyla, 0.22-0.26 kg su/kg kuru katı ve 0,34 kg su/kg kuru katıdır (deneysel olarak belirlenmiştir). Su içeriğini azaltma işlemi, 500 mL fuzel yağına sırasıyla 150 g moleküler elek, 150 g sodyum sülfat ve 300 g moleküler elek katılarak, 25 °C sıcaklık, 100 rpm karıştırma hızında 16 saat süreyle gerçekleştirilmektedir. Suyu azaltılmış fuzel yağı kurutucu maddelerden ayrılarak ayrı ayrı şişelerde depolanmaktadır [2].

Suyu azaltılmış fuzel yağı, çok bileşenli karışımların ayrılmasında etkili bir kolon olan Vigreux kolonunda fraksiyonlarına ayrılmaktadır. Damıtma işleminin gerçekleştirildiği deney sisteminin şematik diyagramı Şekil 5.11'de verilmiştir [2].



Şekil 5.11. Fuzel yağının damıtıldığı deney sistemi [2].

Damıtma işlemi sırasında ürünler, alkollerin kaynama noktalarına göre aşağıda belirtilen 6 fraksiyon halinde alınmaktadır. Bu fraksiyonlar Çizelge 5.5'te verilmiştir.

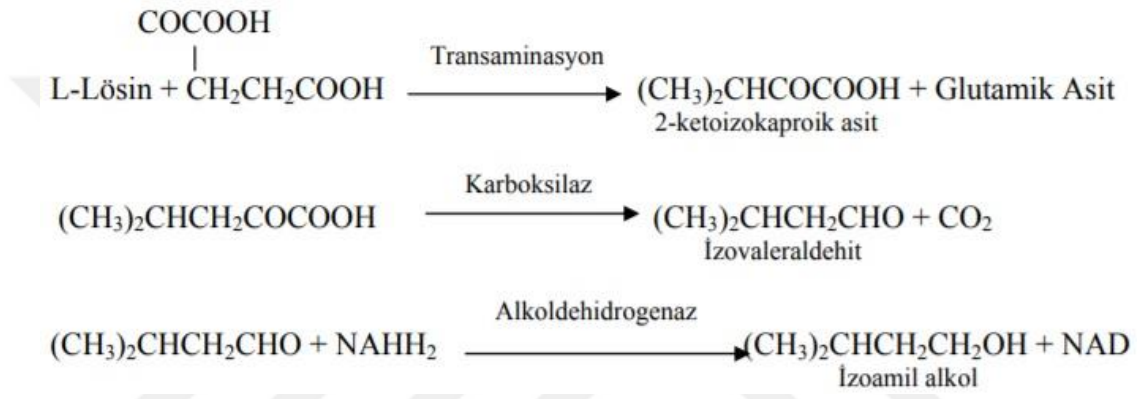
Çizelge 5.5. Fraksiyonların kaynama aralıkları [2].

Fraksiyon No	Kaynama Aralığı
1 nolu fraksiyon	78-97 °C
2 nolu fraksiyon	97-100 °C
3 nolu fraksiyon	100-107 °C
4 nolu fraksiyon	107-117 °C
5 nolu fraksiyon	117-128 °C
6 nolu fraksiyon	128 °C

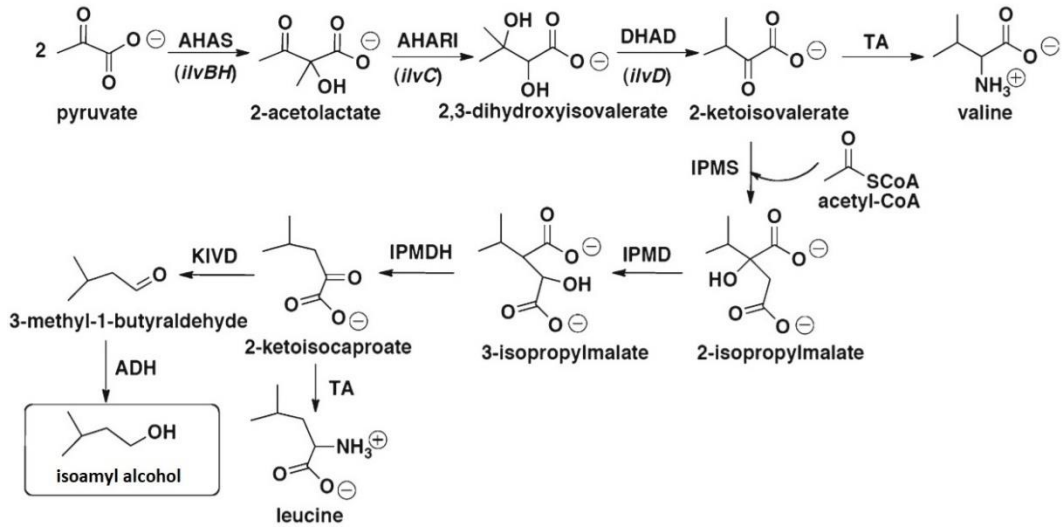
Bu fraksiyonlar ayrı ayrı depolanır ve i-amil alkolce zengin iki fraksiyon (5 ve 6 nolu fraksiyonlar) birleştirilerek tekrar damıtma işlemi yapılır ve i-AA elde edilir.

Fuzel yağından elde edilmenin dışında i-AA biyosentez yollarla da üretilebilmektedir. Maya, Erlich ve biyosentez (katabolik) yollarını kullanarak, i-AA'yı üretir. Erlich yolu ortamda amino asitlerin bulunması halinde kullanılır. Bu yolda fermantasyon ortamında bulunan amino asit maya tarafından hücre içine alınır. Hücre içinde, amino

asitlerin amino gurubu transaminasyona uğrar ve keto asit oluşur. Daha sonra keto asit aldehide dönüşmek üzere dekarboksile olur. Oluşan aldehit indirgenir ve Şekil 5.12’de görüldüğü gibi i-AA ortaya çıkar. Bu reaksiyonlarda etkili olan enzimler sırasıyla transaminaz, dekarboksilaz ve alkol dehidrogenazdır. Ayrıca ortamda bulunan amino asitler maya tarafından tüketildiğinde i-AA biyosentez yolu ile şekerlerden üretilir. Yani şeker metabolizmasından, pürivat yolu ile önce keto asitler oluşur ve daha sonra da i-AA meydana gelir [86]. Şekil 5.13’te ise biyosentez yöntemiyle i-AA oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Erlich reaksiyonu ile i-AA oluşumu [87].



Şekil 5.13. Biyosentez yöntemiyle i-AA oluşumu [88,89].

Çalışmada kullanılan i-AA ve benzinin bazı fiziki ve kimyasal özellikleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. İ-AA ve benzinin özellikleri [8,30,90,91].

Özellikler	İ-AA	Benzin
Kimyasal Formül	C ₅ H ₁₂ O	C ₈ H ₁₈
Molekül ağırlığı, g/mol	88	114
Yoğunluk (kg/m ³)	801,4	720-780
Oksijen içeriği (% ağırlık)	18,1	0
Viskozite (mm ² /s)	3,69	0,5-0,6
Stokiyometrik hava/yakıt oranı (A/F) _s	11,76	14,6
Kaynama noktası (°C)	131	210
Alt ısı değeri (MJ/kg)	35,37	43,85
Buharlaştırma gizli ısı (kJ/kg)	621	350
Araştırma Oktan Sayısı (RON)	113	91-100
Motor Oktan Sayısı (MON)	84	82-92

Bu çalışmada fuzel yağı yerine i-AA tercih edilmiştir. Fuzel yağı yaklaşık 6 farklı alkolden oluşmaktadır ve %65'i i-AA'dır. Bu alkoller farklı kaynama noktalarına sahiptir. Sabit bir kaynama noktası olan yakıtlar daha iyi buharlaşmakta, karışım daha homojen oluşmakta ve daha temiz yanmaktadır [92]. İ-AA'nın tek bir kaynama noktasına sahip olması verim ve emisyonların iyileştirilmesine katkıda bulunacağından dolayı bu yakıt tercih edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan %99 saflıktaki i-AA, şişelenmiş bir halde Merck firmasından tedarik edilmiştir. Bu yakıt alkol üretiminde yan ürün olarak çıkan fuzel yağından damıtılarak elde edilebilir ki çok daha düşük maliyetli olacaktır. Fuzel yağının ve benzinin ülkemizdeki güncel fiyatları Çizelge 5.7'de verilmiştir. Damıtma işlemi ise evde bile yapılabilecek basit düzeneklerle yapılabilen bir ayrıştırma işlemidir. Damıtma işleminde çıkacak maliyet ısıtma için kullanılacak olan elektrik ya da gazın maliyetidir.

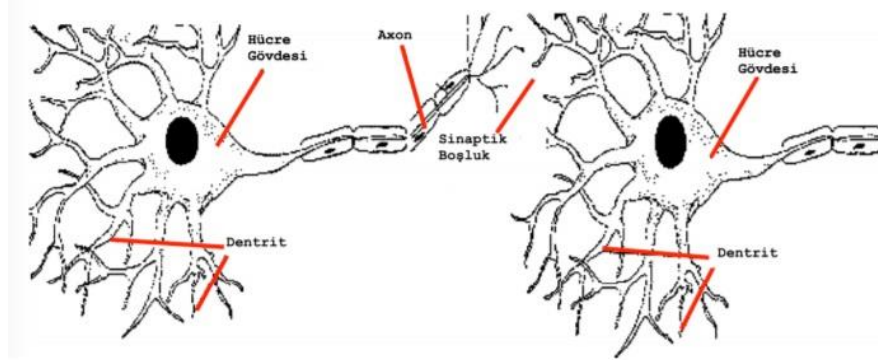
Çizelge 5.7. Fuzel yağı ve benzinin Türkiye fiyatının karşılaştırılması [93,94].

Yakıt	Ücret (TL/L)	Ülke
Fuzel yağı	2,36	Türkiye
Benzin	6,20	Türkiye

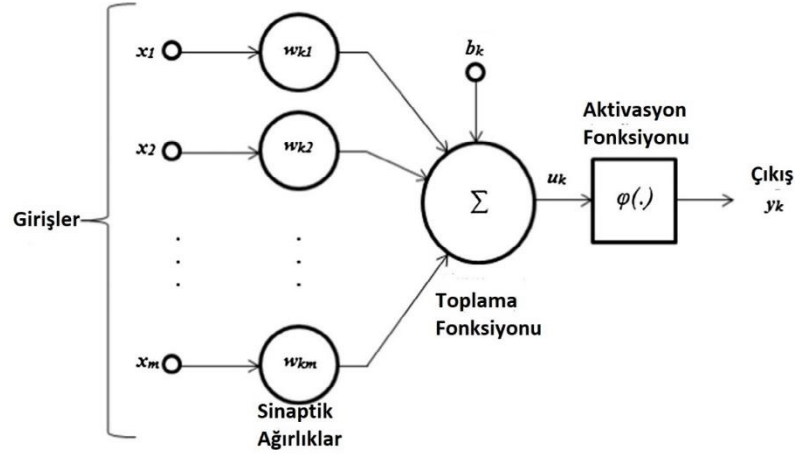
5.5.YAPAY SİNİR AĞLARI

YSA, karmaşık gerçek dünya problemlerini modellemek için birçok disiplinde yoğun olarak kabul edilen en son teknolojiye sahip, insan beyninde bulunan sinir hücrelerinden ilham alınarak oluşturulmuş hesaplamalı modelleme araçlarıdır. YSA'lar, veri işleme ve bilgi temsili için büyük ölçüde paralel hesaplamalar yapabilen yapay nöronlar veya düğümler olarak adlandırılan birbirine bağlı basit işlem elemanlarından oluşan yapılar olarak tanımlanabilir [95,96]. YSA, temel olarak biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini baz alarak çalışmayı amaç edinmektedir [97]. Yüksek paralellik, sağlamlık, öğrenme, sınıflandırma, kesin olmayan ve bulanık bilgi ile başa çıkma kabiliyeti, fonksiyon uydurma, öngörülebilirlik ve genelleştirilebilirlik yetenekleri vardır [98,99].

İnsan vücudunda bulunan merkezi sinir sisteminin ana unsuru sinir hücresidir [100]. İnsan beyninde hemen hemen 10^{11} sinir hücresi bulunmaktadır [101]. Sinir hücresinin dentrit, akson, hücre gövdesi ve hücrelerin birbirine bağlanması görevini üstlenen sinaps olmak üzere 4 adet bileşeni vardır [102]. Sinir hücresinde bilgi taşınması elektriksel, sinapta ise kimyasal yolla gerçekleşir ve işlenmiş bilgiler akson ve sinapslar vasıtasıyla diğer hücelere gönderilir [103,104]. Şekil 5.14'te biyolojik sinir hücresi örneği ve Şekil 5.15'te yapay sinir ağının yapısı görülmektedir.



Şekil 5.14. Biyolojik sinir hücresi [105].



Şekil 5.15. Yapay sinir ağı yapısı [106].

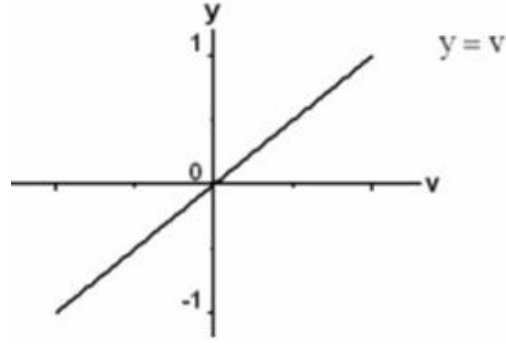
Şekil 5.15'te gösterilen girdiler, dış çevreden veya sistemdeki sınırlardan gelen bilgilerdir. Ağırlıklar ise nörona tesir eden girdilerin matematiksel katsayılarıdır. YSA'da öğrenmenin sağlanması ağırlıkların ayarlanması ile olur. Girdiler kendilerine ait ağırlıklarla çarpılarak toplama fonksiyonunu oluşturur ve bu fonksiyonda ortaya çıkan değer aktivasyon fonksiyonundan iletilerek çıkış değeri üretilmiş olur [95,107,108].

5.5.1. Aktivasyon Fonksiyonları

YSA modellerinde en çok kullanılan log-Sigmoid, tanjant hiperbolik ve doğrusal fonksiyonları aşağıda gösterilmiştir.

5.5.1.1. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

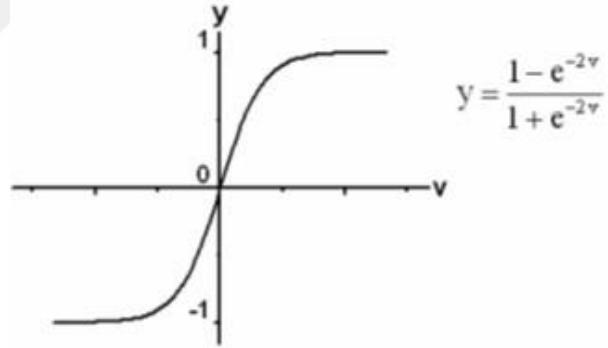
Doğrusal bir problemi çözmek için kullanılan bu aktivasyon fonksiyonları, hücrenin net girdisini direct hücre çıkışı olarak verebilmelerinden dolayı çok katmanlı yapay sinir ağlarının çıkış katmanında sıklıkla kullanılırlar. Doğrusal fonksiyon, hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir. Doğrusal fonksiyonun grafiği Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu [107,109].

5.5.1.2. Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu

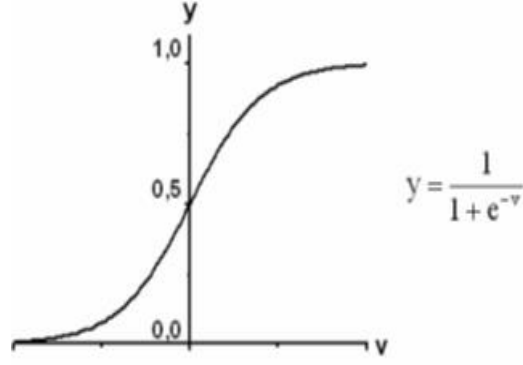
Tanjant hiperbolik fonksiyonunun çıkışı $[-1, 1]$ aralığındadır ve fonksiyon bu aralıkta lineer olmayan bir şekilde değişir. Tansig olarak da adlandırılan bu fonksiyon, türevi alınabilir olduğu için kullanımı siktir [110,111]. Tanjant hiperbolik fonksiyonu Şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17. Tanjant hiperbolik fonksiyonu [107,109].

5.5.1.3. Log-sigmoid Fonksiyonu

Yapay sinir ağlarında çok sık kullanılan ve sigmoid fonksiyonu olarak da isimlendirilen log-sigmoid aktivasyon fonksiyonu s biçimlidir. Doğrusal ve doğrusal olmayan değişimler arasında iyi bir denge kuran bu fonksiyonun değişim aralığı $[0, 1]$ aralığıdır ve fonksiyon bu aralıkta lineer olmayan bir biçimde değişir [110,111]. Log-sigmoid fonksiyonu Şekil 5.18’de verilmiştir.



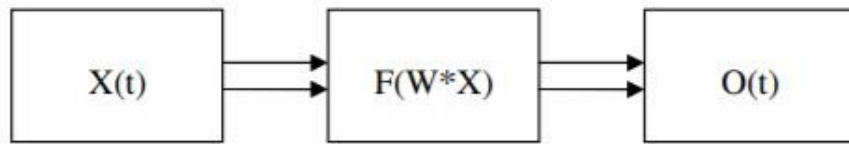
Şekil 5.18. Log-sigmoid fonksiyonu [92,94].

5.5.2. YSA Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları, hücrelerin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmalarından oluşur. Hücre çıkışları, ağırlıklar üzerinden diğer hücrelere ya da kendisine giriş olarak bağlanabilir ve bağlantılarda gecikme birimi de kullanılabilir. Hücrelerin bağlantı şekillerine göre çeşitli YSA yapıları geliştirilmiştir.

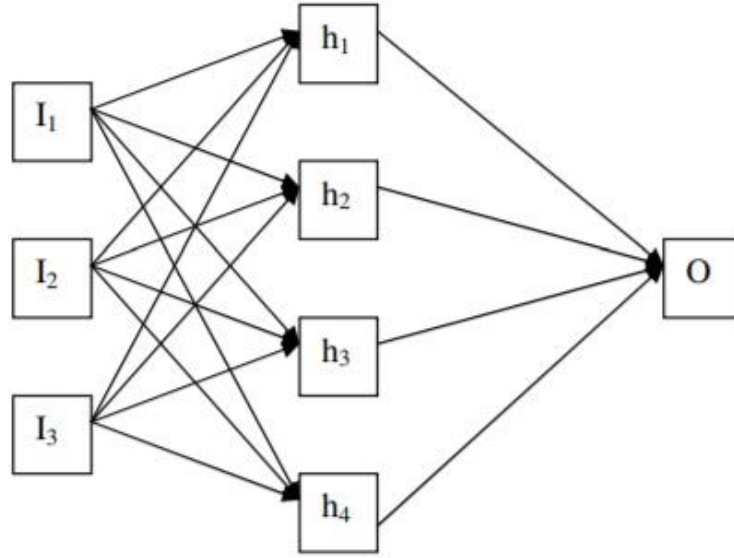
5.5.2.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

İleri beslemeli ağlar genellikle tek katmanlı ve çok katmanlı olmak üzere 2 gruba ayrılmışlardır. Veriler giriş katmanından çıkış katmanına tek yönlü bir akış ile iletilirler. Giriş katmanı Şekil 5.19’da görüldüğü gibi veri üzerinde işlem yapmadan çıkış katmanına ilettiği için tek katmanlı olarak adlandırılan ağlar en basit ve en temel ağ yapısı olarak kabul edilir. Bir giriş ve bir çıkış katmanı mevcuttur [109].



Şekil 5.19. Tek katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı.

Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağında ise Şekil 5.20’de görüldüğü gibi birden fazla gizli katman vardır. Bu yüzden giriş katmanından gelen verilere işlem yapılabilmektedir.



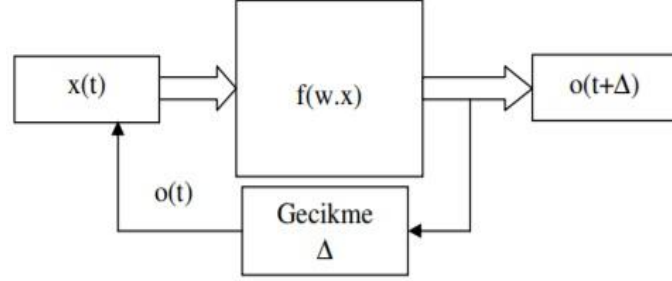
Şekil 5.20. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı [112].

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında işlem girişten çıkışa doğru ilerlediği için gecikme olmaz. Çıkış değerleri, öğreticiden alınan çıkış değeriyle karşılaştırılarak bir hata sinyali elde edilir ve ağ ağırlıkları güncellenir [113].

5.5.2.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında, en az bir işlemci elemanın çıktısı, kendisine ya da diğer işlemci elemanlara girdi olarak verilmekte ve genellikle geri besleme, bir geciktirme elemanı (ara katman veya çıktı katmanındaki aktivasyon değerlerini, bir sonraki iterasyona girdi olarak taşımakla görevli eleman) üzerinden yapılmaktadır. İleri beslemeli yapay sinir ağlarının aksine; bu ağda tıpkı kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler söz konusudur. Bu çeşit yapay sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır ve herhangi bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır. Bu yapısı sayesinde geri beslemeli yapay sinir ağları, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterirler. Bu sayede, geri beslemenin yapılış sekline göre farklı yapı ve davranışta geri beslemeli yapay sinir ağları elde edilebilir. Geri beslemeli yapay sinir ağları, karmaşık bir çalışma düzeneğine sahip olmasına rağmen, dinamik hafızaları nedeniyle ön tahmin uygulamalarında başarılı sonuçlar verirler [114].

Aşağıda Şekil 5.21’de geri beslemeli yapay sinir ağının genel işleyişi ve geri besleme olayı sembolik olarak gösterilmiştir.

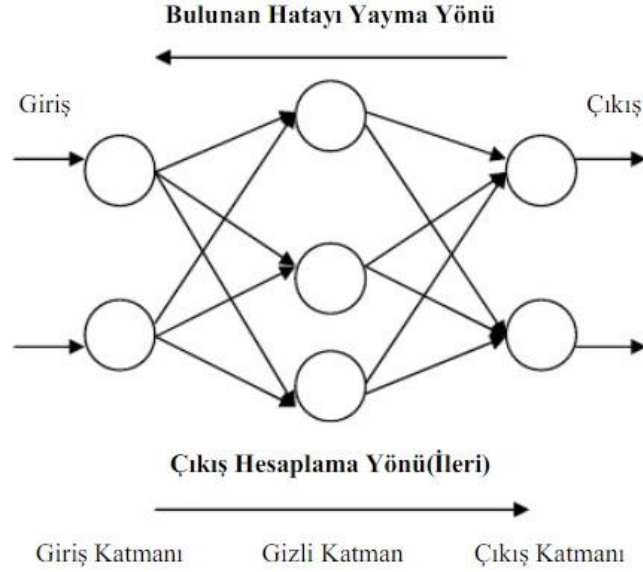


Şekil 5.21. Geri beslemeli yapay sinir ağı [114].

5.5.2.3. Geri Beslemeli Geri Yayılmalı Sinir Ağları

Geri beslemeli geri yayılmalı ağlar (Feed Forward, Back Propagation Networks), sinir ağlarının çok popüler bir modelidir. Çok katmanlı geri beslemeli ağlarda, işlemci elemanlar katmanlar halinde inşa edilmiştir ve yalnızca bitişik katmanlardaki elemanlar birbirleriyle iletişim halindedir. Bu tip ağlarda bilgi yayılımı geriye doğru olmakta ve bir geri besleme düğüm noktası yoktur. Hatalar, ağı öğrenme sürecinde geriye doğru yayılarak öğrenilir ve çözüme kavuşturulur [115].

Aşağıda Şekil 5.22’de geri beslemeli, geri yayılmalı sinir ağı modelinin hataları geriye doğru yayarak öğrenmesi, yani hatalardan deneyim kazanarak uzmanlaşması süreci gösterilmiştir. Şekil 5.22’de görüldüğü gibi, model geri besleme sayesinde karşılaştığı her hatadan bir şeyler öğrenerek, bir ileriki adımda bu hataları tanıyarak kolayca çözümler üretebilir.



Şekil 5.22. Çok katmanlı geri yayımlı yapay sinir ağı yapısı [116].

5.5.3. YSA Hesaplamaları

Root Mean Square Error (RMSE) – kök ortalama karesel hata ve MRE, YSA'nın uygulanması üzerine yapılan çalışmada üretilen modellerin tahmin performanslarını değerlendirmek için kullanılmıştır [117,118].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - o_i)^2} \quad (5.29)$$

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| 100 \frac{t_i - o_i}{t_i} \right| \quad (5.30)$$

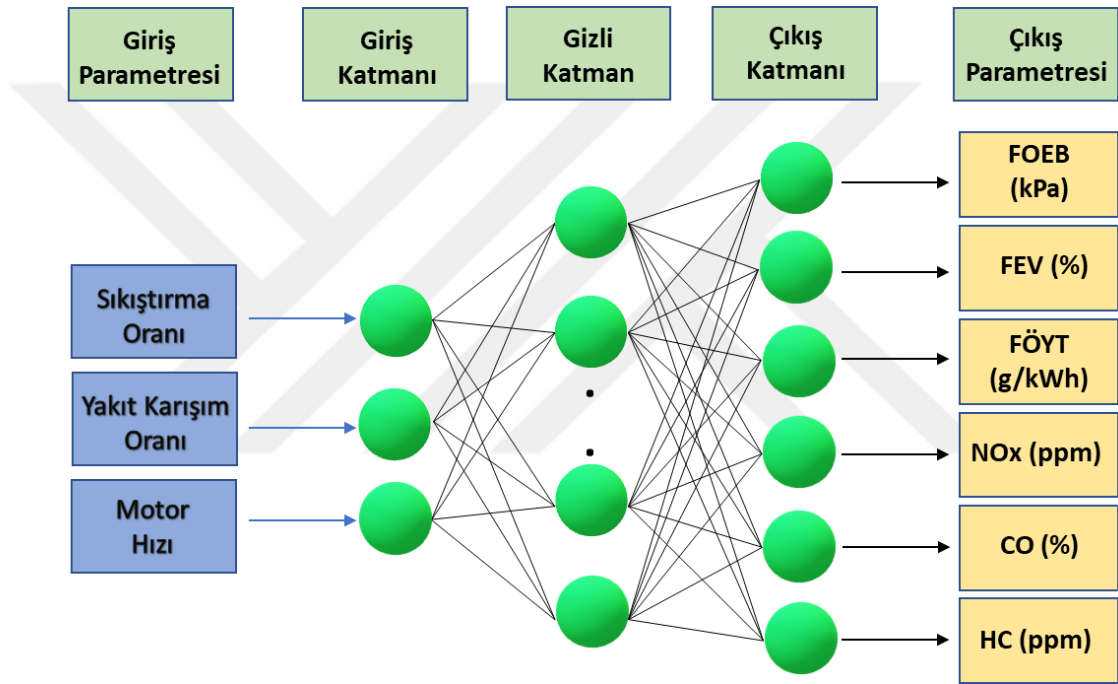
$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i)^2} \right) \quad (5.31)$$

Burada;

- n : Çıkış verisi sayısı
- t : Gerçek çıktı
- o : Tahmini çıkış değeridir.

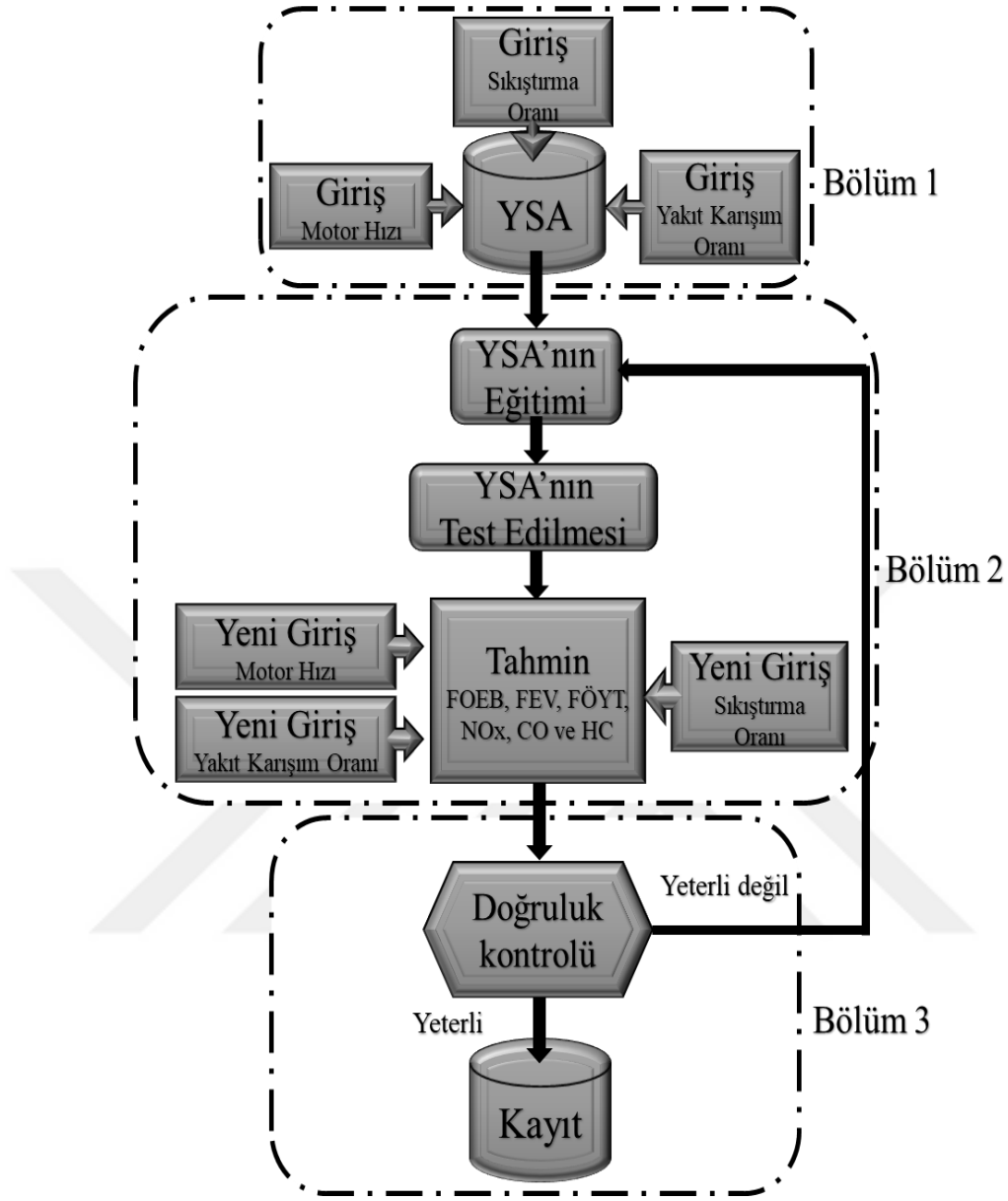
5.5.4. YSA Uygulamasında İşlem Basamakları

Bu kısımda YSA'nın MATLAB'da uygulanması ile ilgili işlem basamakları verilmiştir. YSA uygulaması, tez çalışmasında elde edilen deneysel verilerden yararlanılarak oluşturulmuştur. YSA uygulamasında giriş parametreleri için yakıt karışım oranı, motor hızı ve SO seçilirken, çıkış parametreleri olarak FOEB, FEV, FÖYT, HC, CO ve NO_x seçilmiştir. Oluşturulacak YSA modelinin şematik görünümü Şekil 5.23'te gösterilmektedir.



Şekil 5.23. Geliştirilen YSA'nın şematik gösterimi.

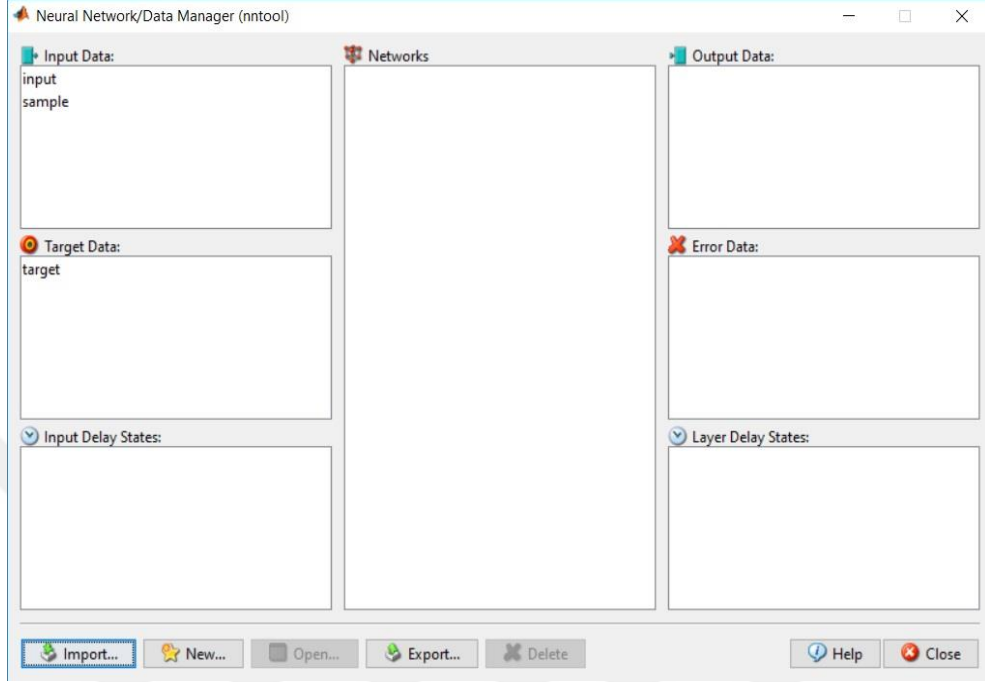
YSA uygulamasının akış şeması ise Şekil 5.24'te gösterilmektedir. Programda uygulanan YSA modelinin tüm adımları tek tek gösterilmiştir. 3 bölüme bölünerek uygulaması yapılan modelin 1. bölümünü giriş parametreleri oluştururken, 2. bölümünü YSA'nın eğitilmesi ve sonrasında test edilmesi işlemleri oluşturmaktadır. 3. bölüm ise modelin doğruluğunun kontrol edilmesi aşamasından oluşmaktadır. Bu bölümde doğruluğu kontrol edilen modelin sonuçları yeterli bulunursa sonuçlar kayıt edilerek program sonuçlandırılır ancak sonuçların doğruluğu yetersiz ise 2. bölümün başına tekrar dönülerek eğitim ve test aşamaları tekrarlanır. Modelin sonuçlarının doğruluğu kabul edilebilir olana kadar bu işlemler tekrarlanır.



Şekil 5.24. YSA'nın proses akış şeması.

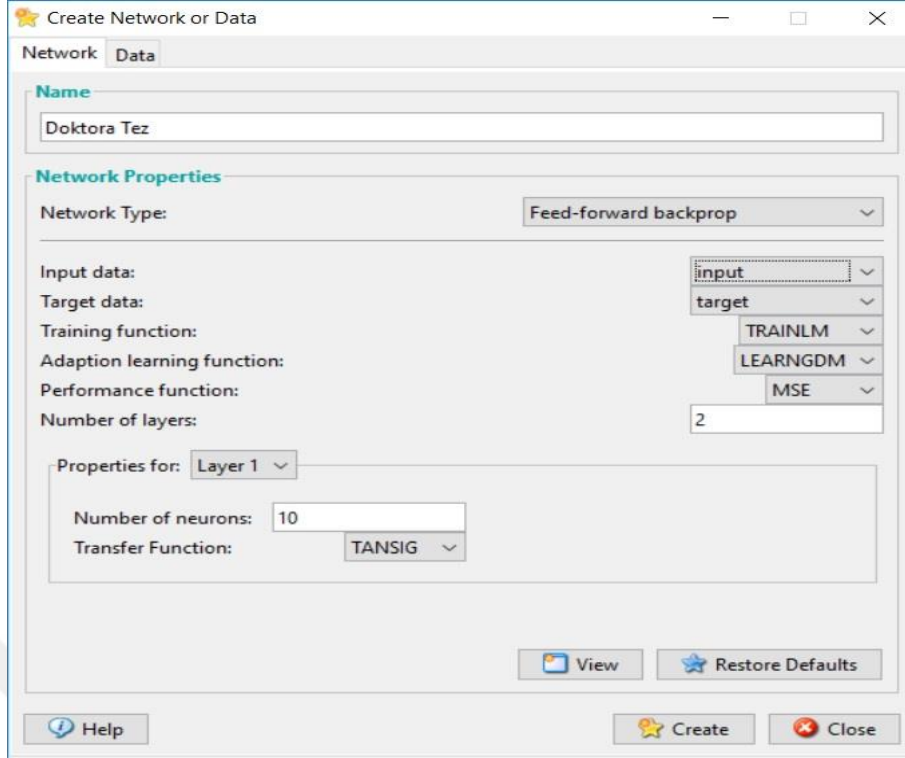
YSA modelinin uygulanması için Şekil 5.25'te gösterilen MATLAB programının 'nntool' sekmesi kullanılmıştır. Programa 'input', 'target' ve 'sample' şeklinde 3 dosya yükleyerek işleme başlanmıştır. 'input' dosyasının içinde giriş parametresi olarak kullanılacak olan yakıt karışım oranı, SO ve motor hızı bulunmaktadır. 'target' dosyası içerisinde ise deneylerde elde edilmiş olan ölçümler ve deneylerden elde edilen verilerle yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar bulunmaktadır. Burada kullanılan veriler deneysel verilerin %75'idir. Kalan %25'lik kısım ise 'sample' dosyası içerisinde kullanılmıştır. 'input' ve 'sample' dosyaları programın 'Input Data'

sekmesine, 'target' dosyası ise 'Target Data' sekmesine 'Import' tuşuna basılarak girilmiştir.

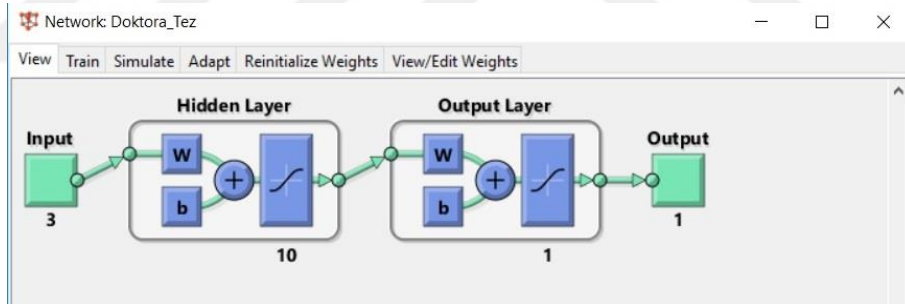


Şekil 5.25. MATLAB programı nntool arayüzü.

Ağda kullanılacak dosyalar 'import' edildikten sonra 'New' tuşuna basılarak Şekil 5.26'da gösterilen arayüz açılmıştır. Bu arayüzde 'Doktora_Tez' isminde bir ağ oluşturulmuştur. Oluşturulan ağ için ağ türü olarak 'Feed-forward backprop', eğitim fonksiyonu olarak literatürde en çok tercih edilen 'TRAINLM (Levenberg- Marquardt training function)', adaptasyon öğrenme işlevi için 'LEARNGDM', performans fonksiyonu için 'MSE (mean square error)', transfer fonksiyonu için 'TANSIG' ve gizli katmanda kullanılacak nöron sayısı için 10 seçilmiştir ve 'Create' tuşuna basılarak ağ oluşturulmuştur. Tezimizde YSA uygulaması için 6 farklı çıkış uygulanmıştır ancak 6 çıkışın tek ağda kullanılması sonuçların doğruluğunu olumsuz olarak etkilediği için 6 çıkışın her biri için ayrı ayrı YSA uygulaması yapılmıştır ve oluşturulan ağlardan birinin örneği Şekil 5.27'de gösterilmektedir.



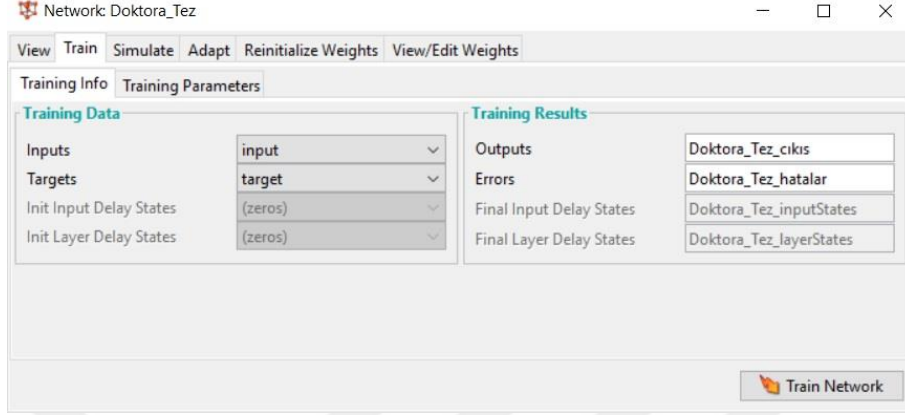
Şekil 5.26. YSA'nın oluşturulması.



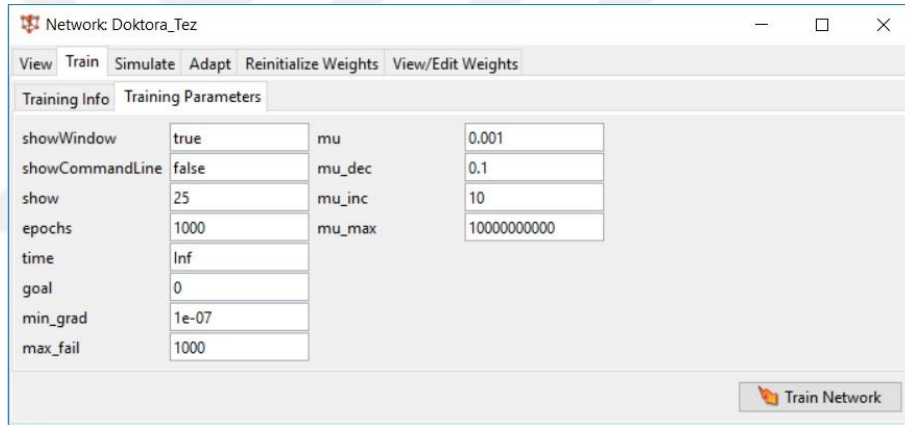
Şekil 5.27. Oluşturulan Doktora_Tez ağı.

Ağ oluşturulduktan sonra Şekil 5.28'de gösterilen ağın eğitilmesi prosesine geçilmiştir. Oluşturulan ağda 'Train' sekmesine geçilerek 'Training Info' 'da 'Training Data' kısmında bulunan 'Inputs' bölümüne programın başında sisteme tanıtılan 'input' dosyası, 'Targets' bölümüne de 'target' dosyası girilmiştir. 'Training Results' kısmında bulunan 'Outputs' ve 'Errors' bölümlerine ise sırasıyla 'Doktora_Tez_cıkıs' ve 'Doktora_Tez_hatalar' yazılmıştır. Ağ uygulaması bitiminde içerisinde programın yaptığı tahminleri içeren 'Doktora_Tez_cıkıs' isimli bir dosya program çıktısı olarak alınmıştır. Bu işlemlerden sonra Şekil 5.29'da gösterilen 'Training Parameters' kısmına geçilerek ağın eğitilmesi için gerekli olan parametreler

girilmiştir. Burada ‘max_fail’ kısmına ‘1000’ değeri girilerek, ağın eğitilmesinin 1000 iterasyonda durdurulması amaçlanmıştır.

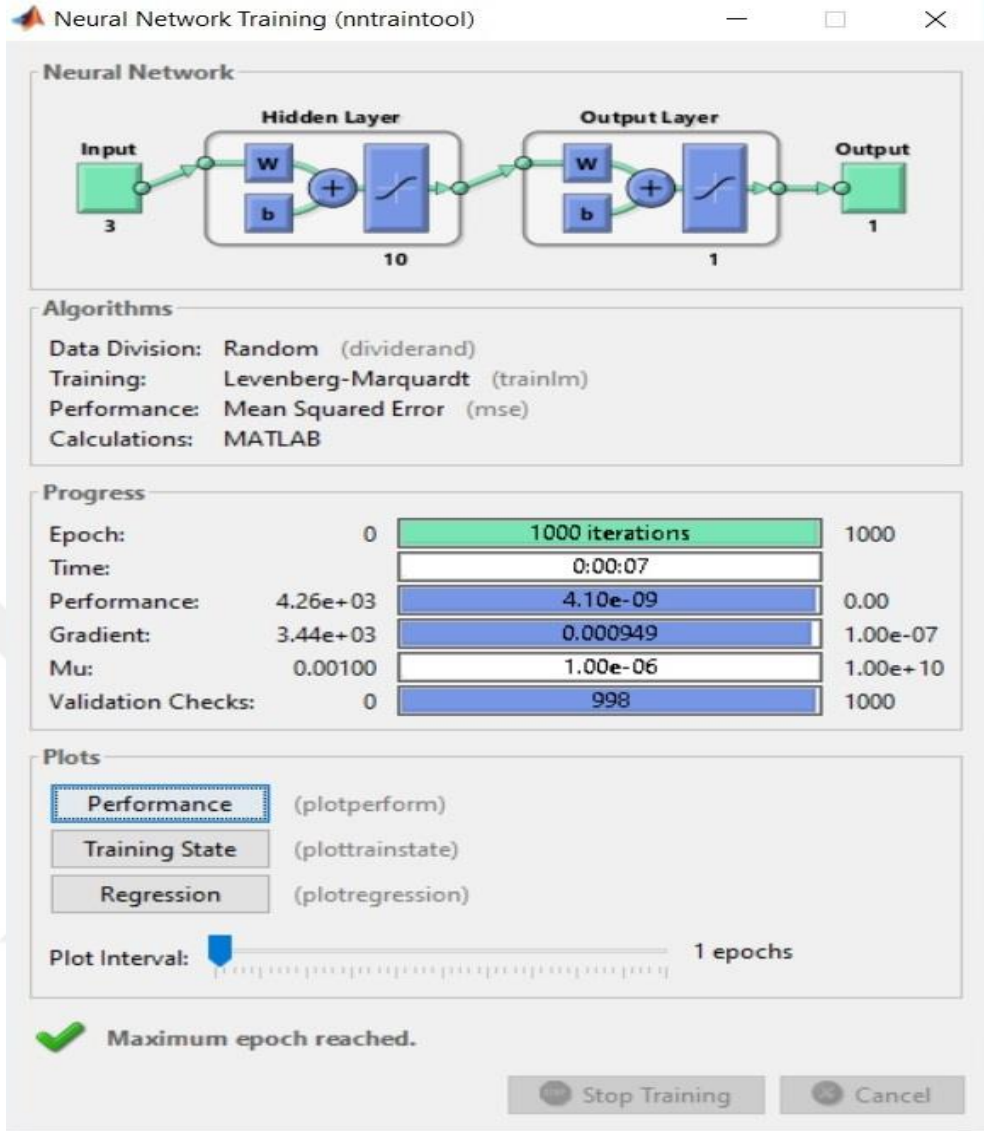


Şekil 5.28. Ağı eğitilmesi.



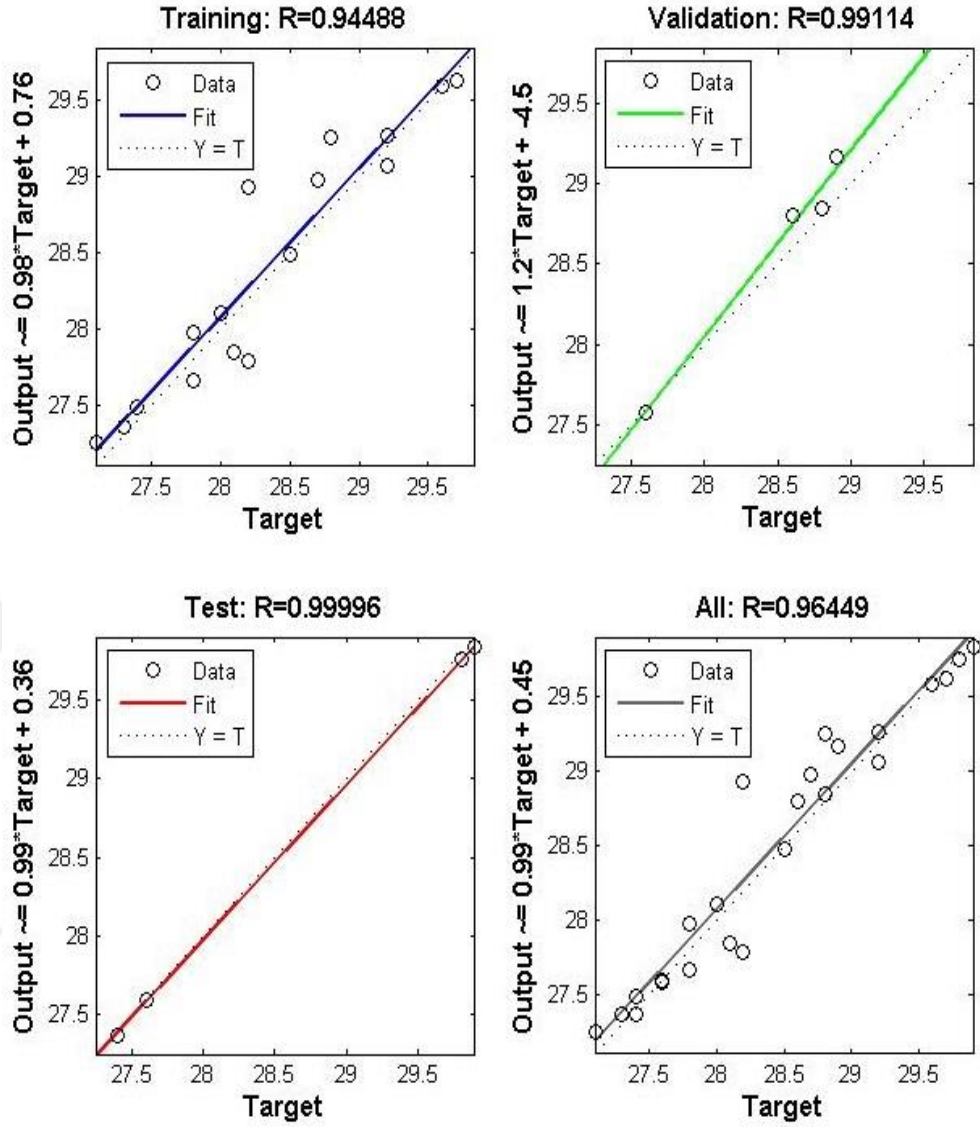
Şekil 5.29. Eğitim parametreleri.

Gerekli parametreler ve dosyalar girildikten sonra Şekil 5.30’da gösterildiği gibi 1000 iterasyonda duracak şekilde programın eğitilmesine başlanmıştır ve 1000 iterasyon tamamlanınca eğitim işlemi program tarafından durdurulmuştur. ‘Regresyon’ ve ‘Performance’ tuşlarına basılarak eğitimin yeterliliği değerlendirilmiş ve yetersiz görüldüğü durumlarda yeterli seviyeye gelene kadar eğitime devam edilmiştir.



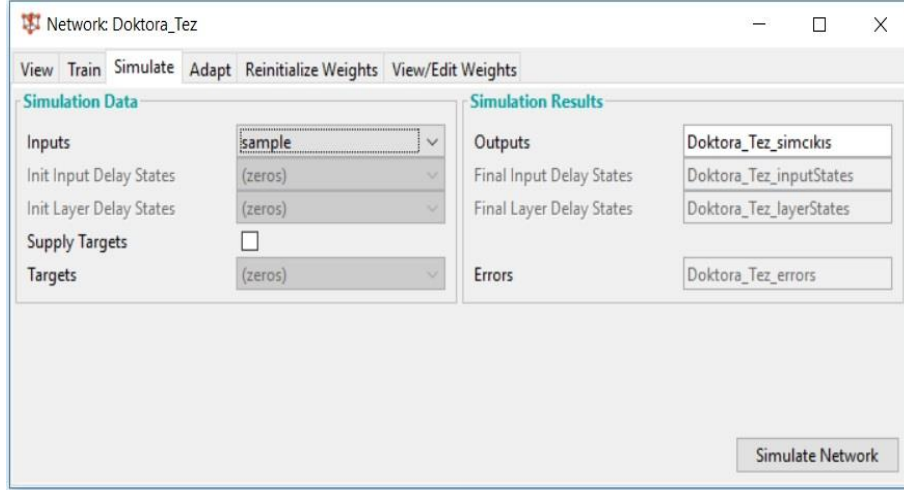
Şekil 5.30. YSA uygulamasında eğitimin yapılması.

YSA'nın eğitim işlemi bittiğinde 'Regression' tuşuna basılarak Şekil 5.31'de görülen, gerçekleştirilen YSA uygulamasından eğitim, değerlendirme, test ve hepsinin ortalaması için elde edilen R değerleri elde edilmiştir.



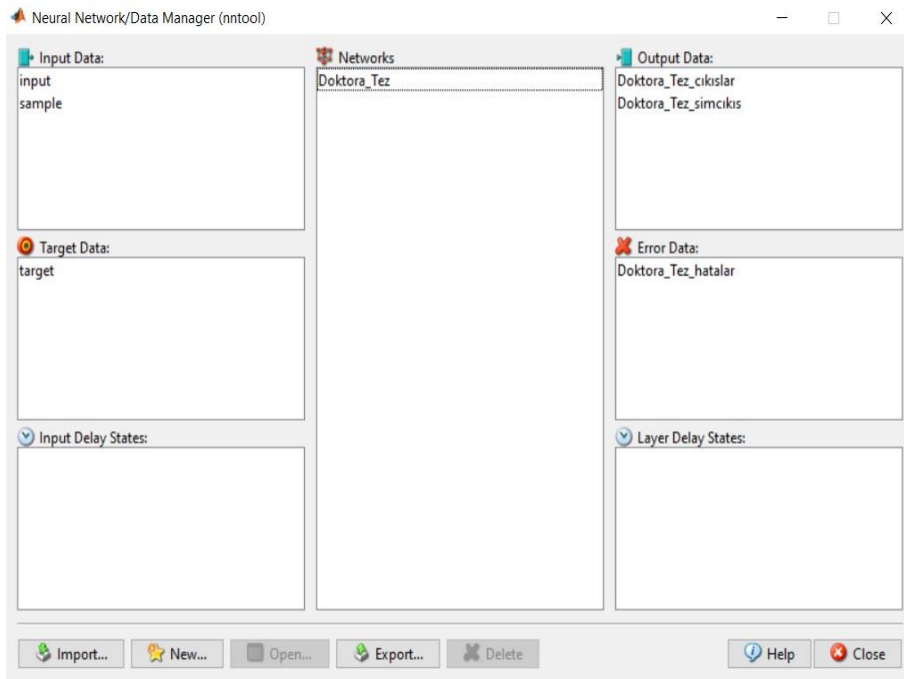
Şekil 5.31. Eğitim, doğrulama, test ve tümü için regression eğrileri.

Ağın eğitim aşaması bittikten sonra YSA uygulamasının başında programa 'input data' olarak girilen 'sample' dosyası, Şekil 5.32'de görüldüğü gibi program ara yüzünde 'Simulate' sekmesine geçilerek burada 'Simulation Data' bölümünün altında bulunan 'Inputs' kısmına eklenir. Daha sonra 'Simulate Network' tuşuna basılarak ağın test edilmesi işlemi tamamlanır. Ağın test edilmesinden sonra çıkış verilerinin alınması aşamasına geçilmiştir.



Şekil 5.32. Ağın test edilmesi.

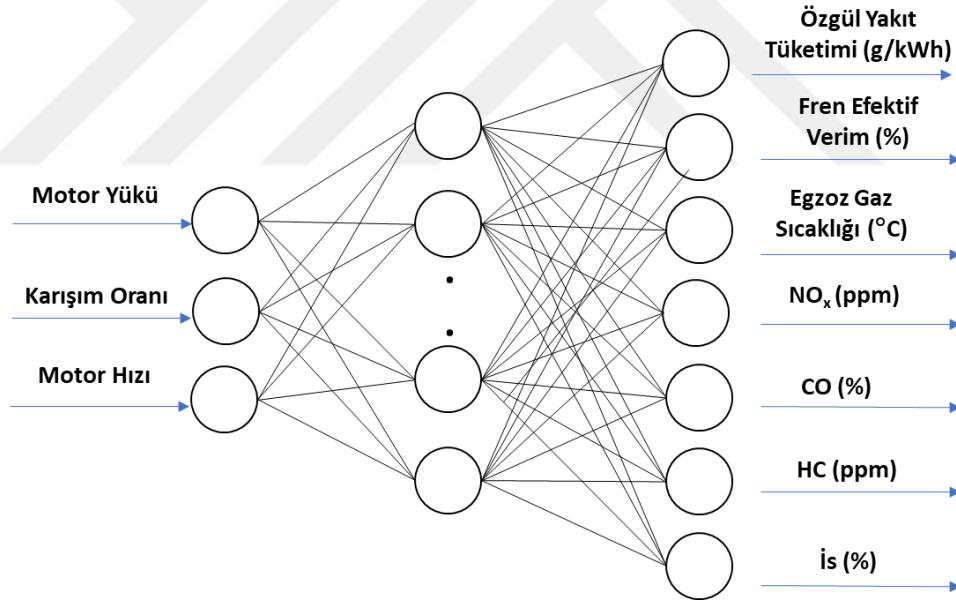
Şekil 5.33'te YSA uygulamasının sonunda elde edilen verilerin çıkışının alınması için kullanılan arayüz gösterilmektedir. Ağın eğitim ve test işlemleri bittikten sonra çıkış için oluşturulan dosyadan 'Export' tuşuna basarak çıkış verileri alınmıştır. Daha sonra alınan bu çıkış verileri ile deneysel veriler kıyaslanarak YSA'nın performansı ve kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.



Şekil 5.33. Çıkış verilerinin ağdan alınması.

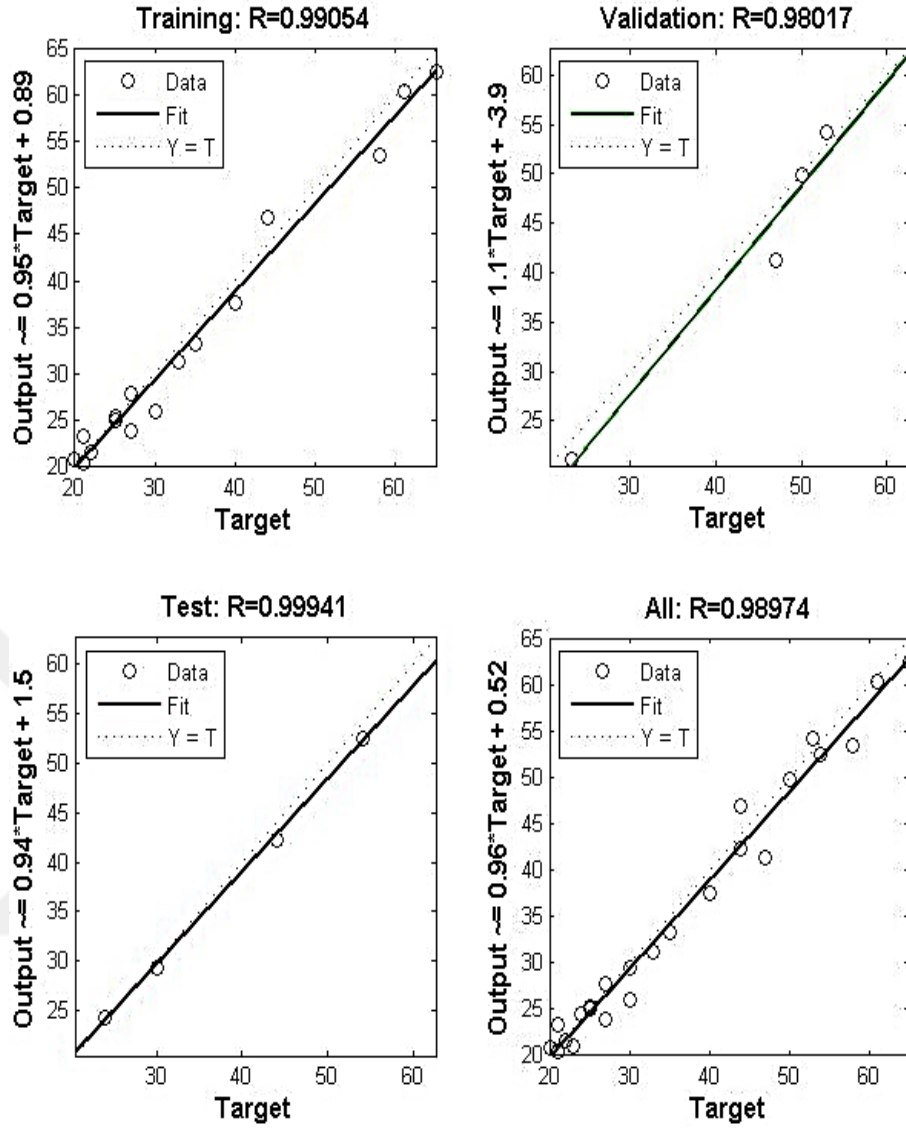
5.5.5. YSA'nın Motor Performans Tahmininde Kullanımı İle İlgili Örnek Çalışma

Daha önce yapılan bir çalışmada [54] DEE'nin bir dizel motorda kullanılmasının performans ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Bu tez çalışmasında ilgili çalışmanın deney sonuçları kullanılarak bir YSA modeli oluşturulmuş ve performans ve emisyon değerlerinin tahmininde bulunulmuştur. Bu kapsamda YSA'yı oluşturmak için giriş parametreleri olarak motor yükü, karışım oranı ve motor hızı seçilirken, çıkış parametreleri olarak FÖYT, egzoz gaz sıcaklığı (EGS), FEV, NO_x, HC, CO ve is seçilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin %75'i eğitim için, %25'i test için kullanılarak YSA uygulaması yapılmıştır. Kullanılan veriler sabit bir hızda (3000 d/d) ve altı farklı yükte (500, 800, 1000, 1300, 1500 ve 1650 watt) DEE-dizel yakıt karışımları ile yapılan motor testlerinden elde edilmiştir.



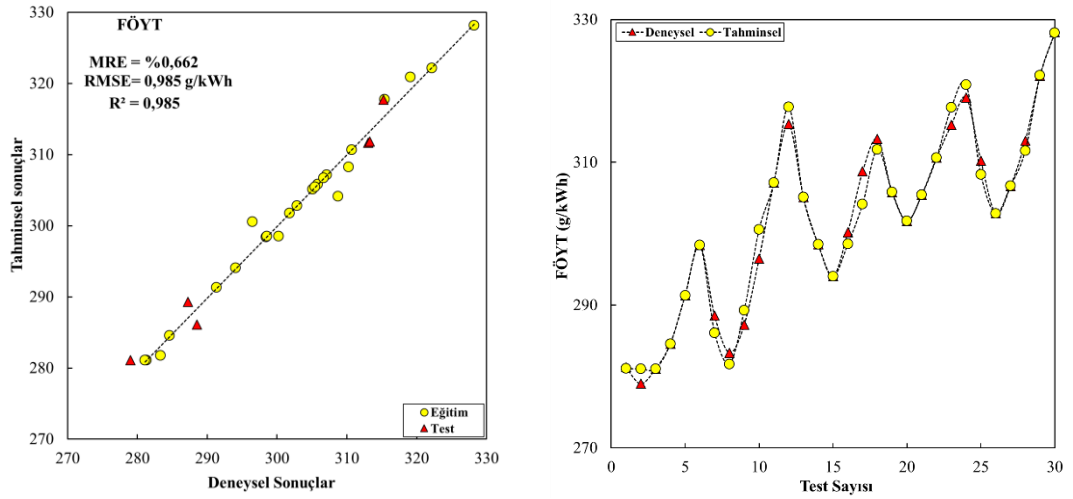
Şekil 5.34. Oluşturulan YSA'nın şematik görüntüsü.

YSA uygulaması ile elde edilen R değerlerinden bir örnek Şekil 5.35'te gösterilmiştir. Şekil 5.35'e göre eğitim, değerlendirme ve test için sırasıyla 0,990, 0,980 ve 0,999 değerleri elde edilmiştir. Toplam ortalama R değeri ise 0,989 çıkmıştır.



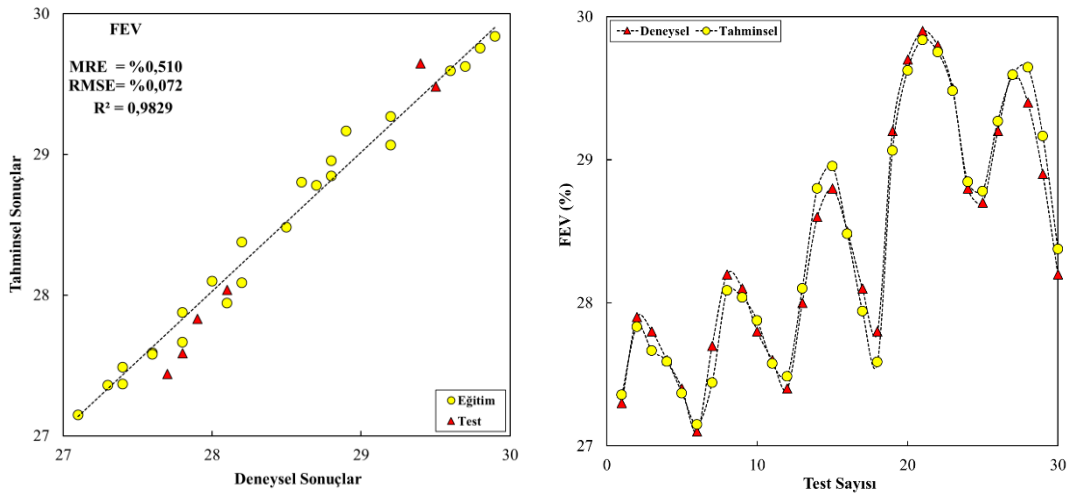
Şekil 5.35. Test, değerlendirme ve eğitim verileri için R değerleri.

Bu çalışmada YSA'nın eğitilmesi için deneysel verilerin %70'i, test edilmesi için ise %30'u kullanılmıştır. Şekil 5.36'da FÖYT için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması gösterilmektedir. Şekil 5.36'ya bakıldığında FÖYT için R^2 değeri 0,985 olarak elde edilmiştir ve bu sonuç YSA'dan elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğunu göstermektedir. FÖYT için RMSE ve MRE değeri sırasıyla 0,985 g/kWh ve %0,662 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.36. FÖYT için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

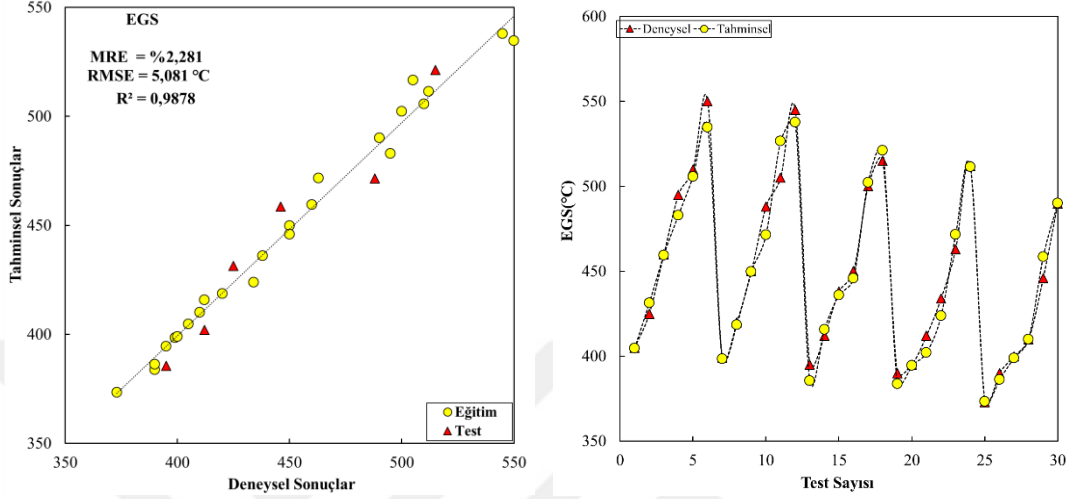
FEV için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 5.37’de gösterilmektedir. Şekil 5.37’ye bakıldığında FEV için YSA’dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine çok yakınsadığı açıkça görülmektedir. Yakınsamanın bir ifadesi olan R² değeri FEV için 0,982 olarak bulunmuştur ve bu sonuç deneysel sonuçlarla YSA sonuçlarının son derece yakın çıktığı anlamına gelmektedir. RMSE değeri FEV için %0,072 olarak elde edilirken MRE değeri %0,510 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.37. FEV için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

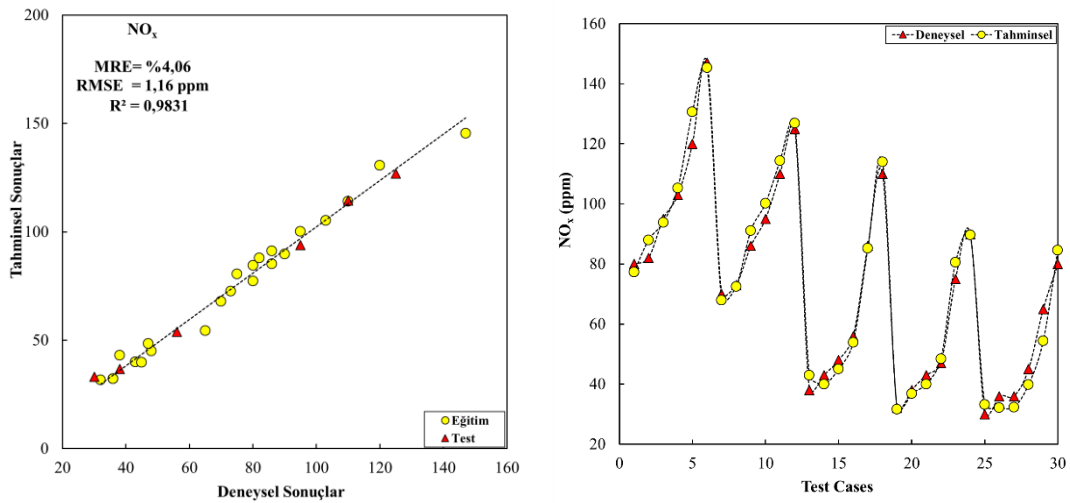
EGS için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 5.38’de gösterilmektedir. Şekil 5.38’e bakıldığında EGS için YSA’dan alınan tahminsel

sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine son derece yakın sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. R^2 değeri EGS için 0,987 olarak bulunmuştur. RMSE değeri EGS için 5,081 °C olarak hesaplanırken, MRE değeri %2,281 olarak hesaplanmıştır.



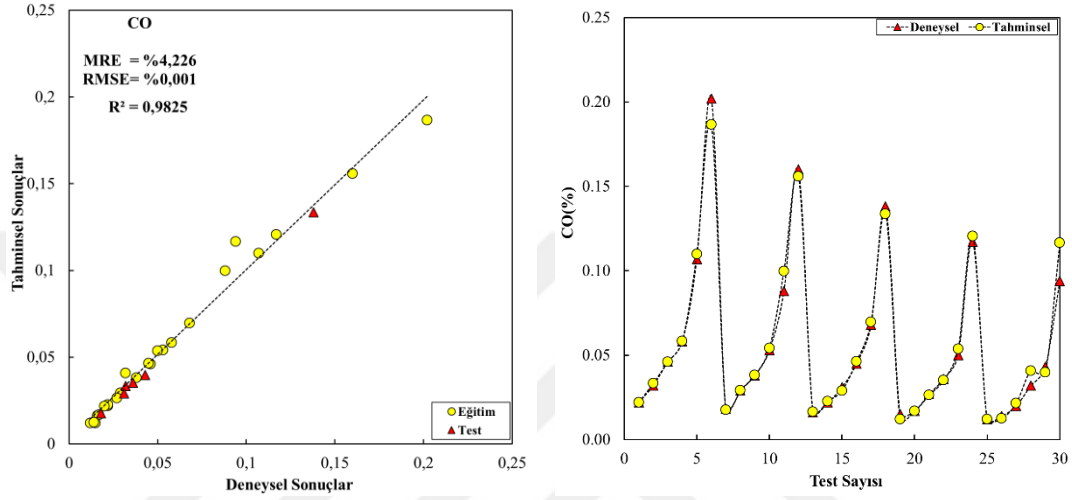
Şekil 5.38. EGS için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

NO_x için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 5.39’da gösterilmektedir. Şekil 5.39’a bakıldığında NO_x için YSA’dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine çok yakın sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. R^2 değeri NO_x için 0,983 olarak bulunmuştur. RMSE değeri NO_x için 1,16 ppm olarak hesaplanırken, MRE değeri %4,06 olarak hesaplanmıştır.



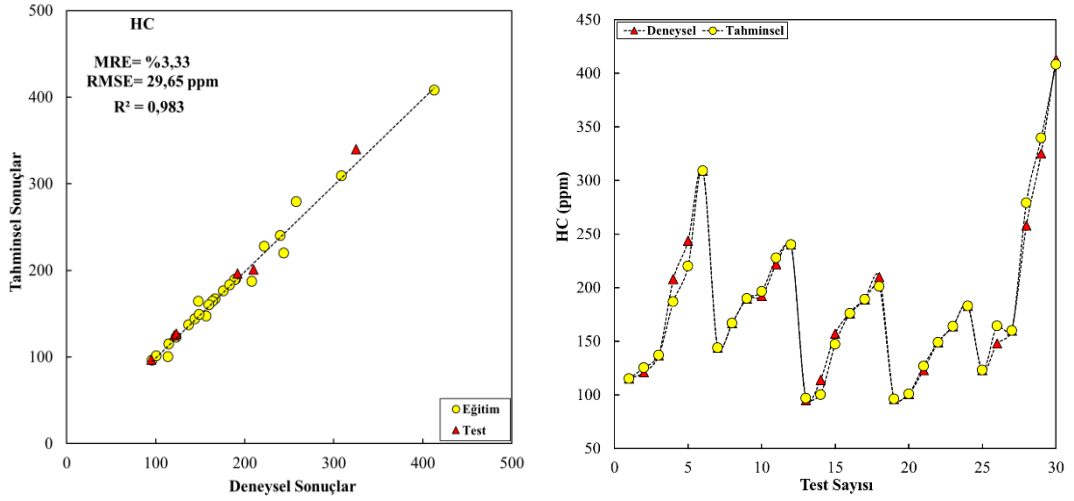
Şekil 5.39. NO_x için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

CO için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 5.40'ta gösterilmektedir. Şekil 5.40'a bakıldığında CO için YSA'dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine çok yakın sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. R^2 değeri CO için 0,9825 olarak bulunmuştur. RMSE değeri CO için %0,001 olarak hesaplanırken, MRE değeri %4,226 olarak hesaplanmıştır.



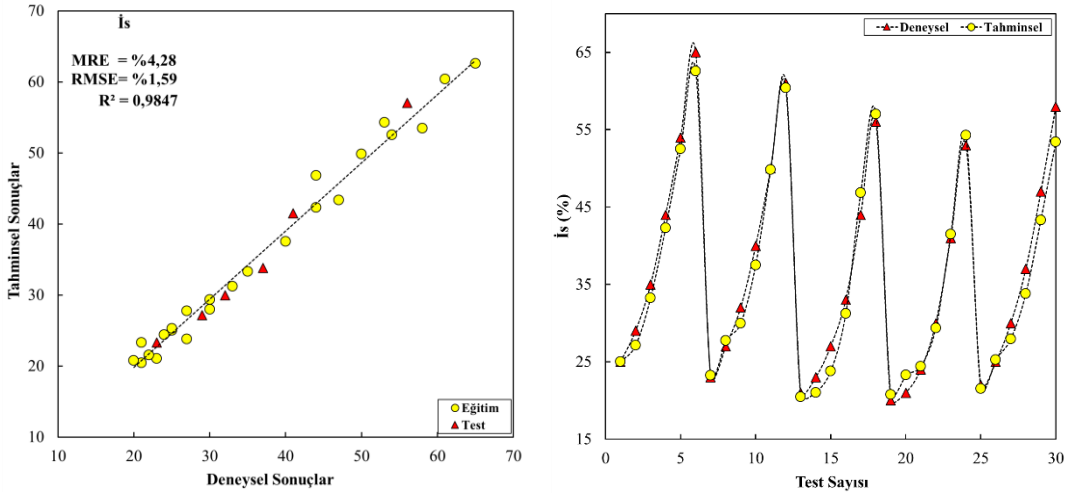
Şekil 5.40. CO için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

HC için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 5.41'de gösterilmektedir. Şekil 5.41'e bakıldığında HC için YSA'dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine çok yakın sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. R^2 değeri HC için 0,983 olarak bulunmuştur. RMSE değeri HC için 29,65 ppm olarak hesaplanırken, MRE değeri %3,33 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.41. HC için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

İs için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 5.42’de gösterilmektedir. Şekil 5.42’ye bakıldığında is için YSA’ dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine çok yakın sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. R² değeri is için 0,984 olarak bulunmuştur. RMSE değeri is için %1,59 olarak hesaplanırken, MRE değeri %4,28 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.42. İs için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

Bu çalışmada, motor performans parametreleri ve egzoz emisyonları için deneysel sonuçlar ile YSA’ dan elde edilen tahmin sonuçlarının kıyaslanması gösterilmiştir. Şekillere bakıldığında deneysel sonuçlar ile tahminsel sonuçların birbirine ne kadar çok yakınsadığı açıkça görülmektedir. YSA uygulamasından elde edilen sonuçlar ile

deneysel verilerden elde edilen sonuçlar kıyaslandığında YSA'nın motor performans ve parametrelerinin tahmininde kullanılmasının uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.



BÖLÜM 6

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde i-AA ve benzin karışımları ile oluşturulmuş deney yakıtları (A10, A20 ve A30) ve saf benzin (A0) ile farklı motor hızlarında (2600, 2800, 3000 ve 3200 rpm) ve farklı SO (8,0:1, 8,5:1 ve 9,0:1)'larda çalıştırılan tek silindirli BA motordan elde edilen verilerle oluşturulan sonuçlar grafiğe dökülmüş ve irdelenmiştir. Motor hızına ve SO'ya bağlı değişimler başlıklar halinde ayrı olarak incelenmiş ve tüm yakıtlar için ayrı ayrı kıyaslanmıştır. Bununla birlikte deneysel veriler kullanılarak oluşturulan YSA'dan elde edilen tahmin sonuçları ve deneysel sonuçlarla kıyaslanması, motor performans ve egzoz emisyonları açısından ayrı ayrı yine bu bölümde verilmiştir.

6.1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel sırasında ölçümlerden elde edilen veriler ve hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçlar bu kısımda grafiksel olarak gösterilmektedir.

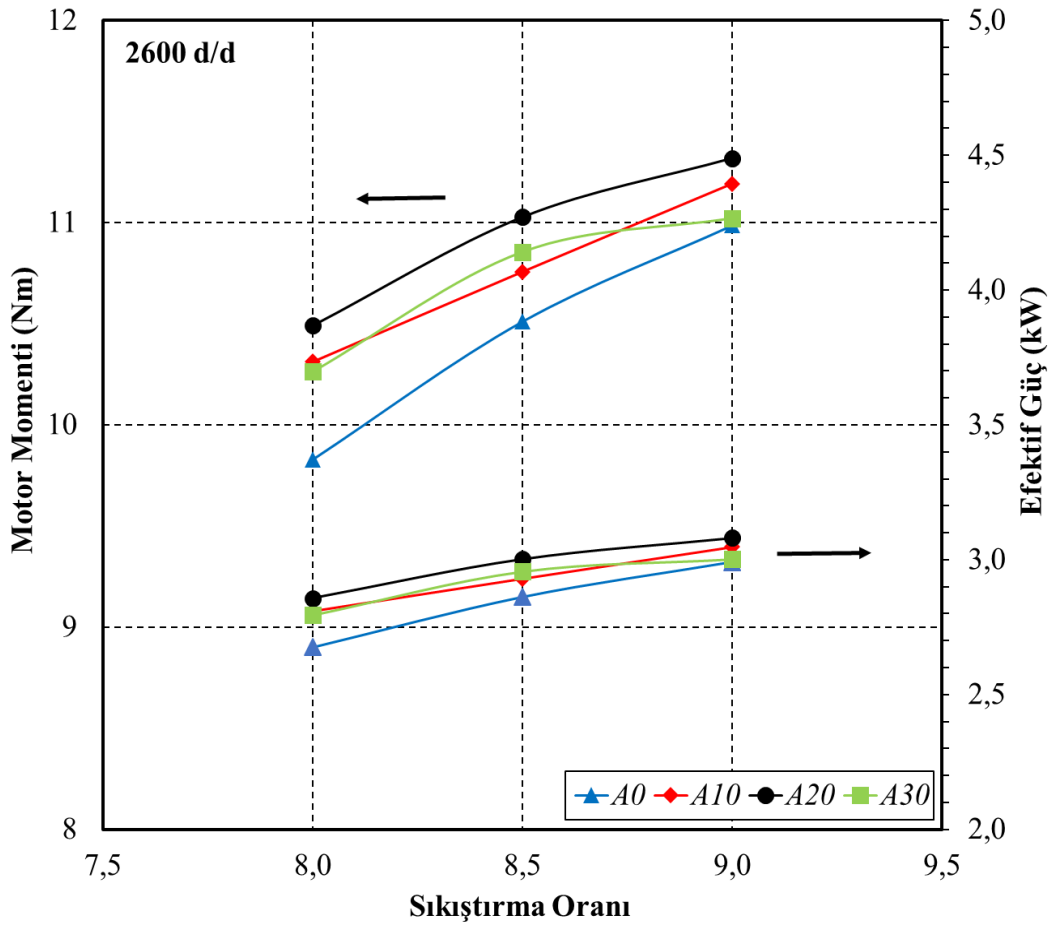
6.1.1. Motor Performansları

6.1.1.1. Motor Momenti ve Efektif Gücü

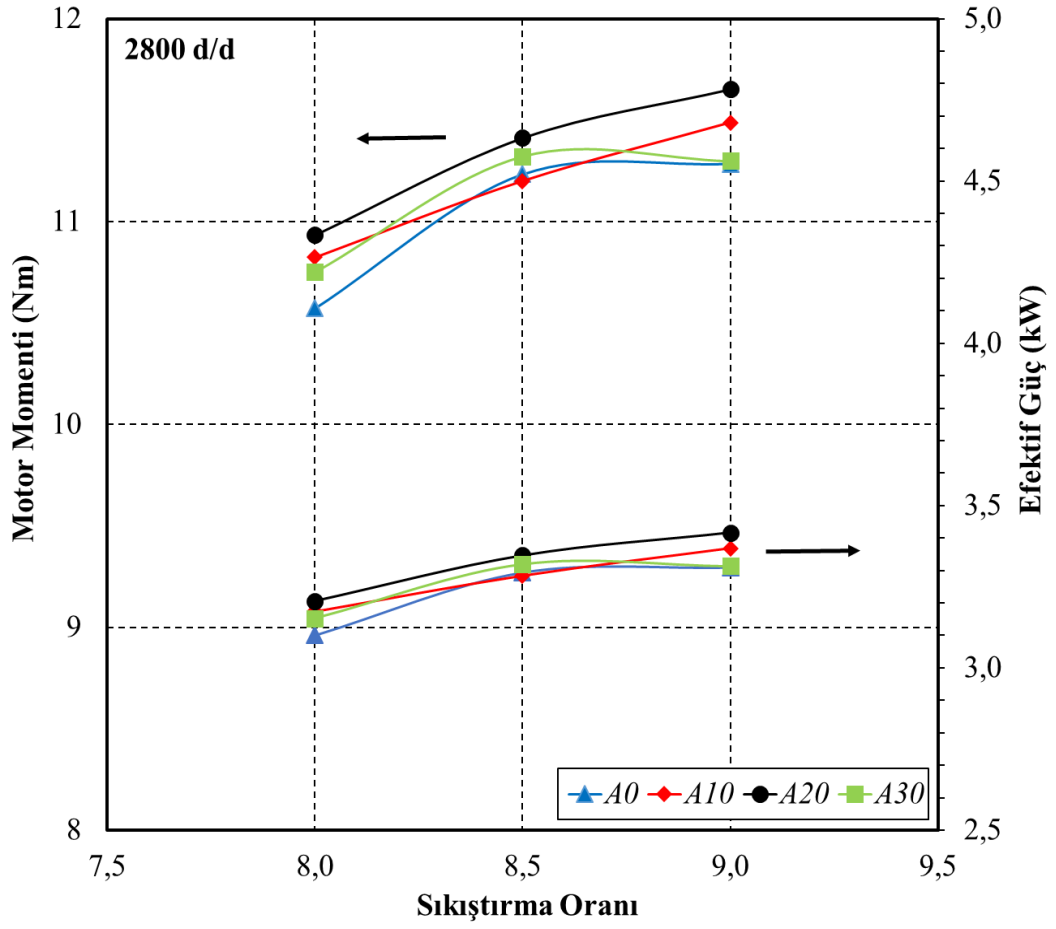
Motor momentinin ve efektif gücün farklı SO'larda ve farklı motor hızlarında değişimi herbir yakıt için Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde motor momentinin 3000 d/d'ya kadar tüm yakıtlarda arttığı, bu devirden sonra ise azalma eğilimi gösterdiği açıkça görülmektedir. Genel olarak tüm yakıtlarda SO arttıkça motor momentini de arttırmıştır. Motor efektif gücü ise tüm yakıt türlerinde artan SO ve motor hızıyla birlikte artış göstermiştir. Maksimum moment değeri 11,82 Nm olarak 9,0:1 SO'da ve 3000

d/d'da A20 yakıtı ile elde edilirken, maksimum efektif güç değeri 3200 d/d'da ve 9,0:1 SO'da A20 yakıtı ile 3,89 kW olarak hesaplanmıştır. A20 yakıtı ile elde edilen moment değeri aynı SO'da ve motor hızında benzinli çalışma ile kıyaslandığında yaklaşık %2,03 oranında bir artış sağlandığı görülmektedir. Efektif güç aynı şekilde kıyaslandığında ise yaklaşık %2,51'lik bir artış söz konusudur. SO arttıkça yanma sonu basınç ve sıcaklığı da artmakta bu da moment ve gücün artmasına neden olmaktadır.

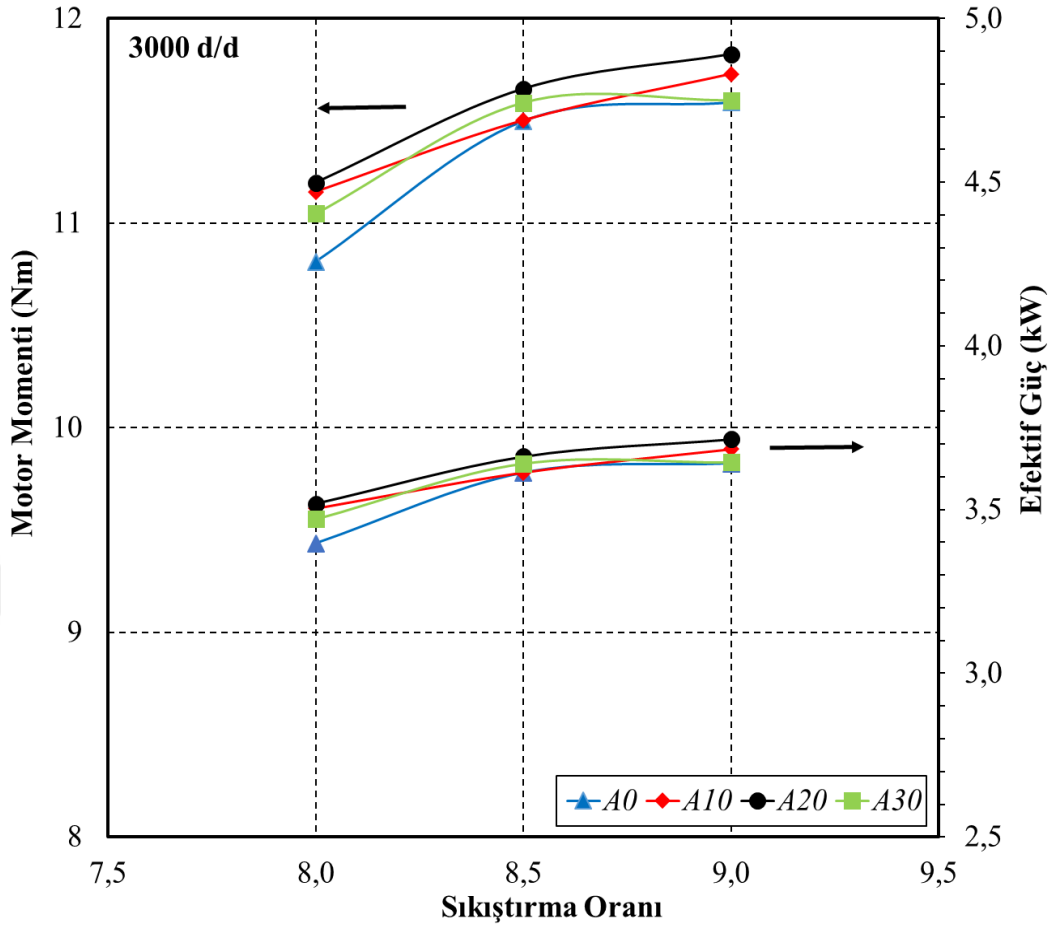
A10 ve A20 yakıtında moment ve güç artmıştır. Alkol oranı arttıkça emme dolgusu soğumakta ve volumetrik verim artmaktadır. Artan volumetrik verim momenti artırmaktadır. A30 yakıtında karışımın alt ısıl değeri daha da azaldığı için moment ve güç azalmaya başlamıştır.



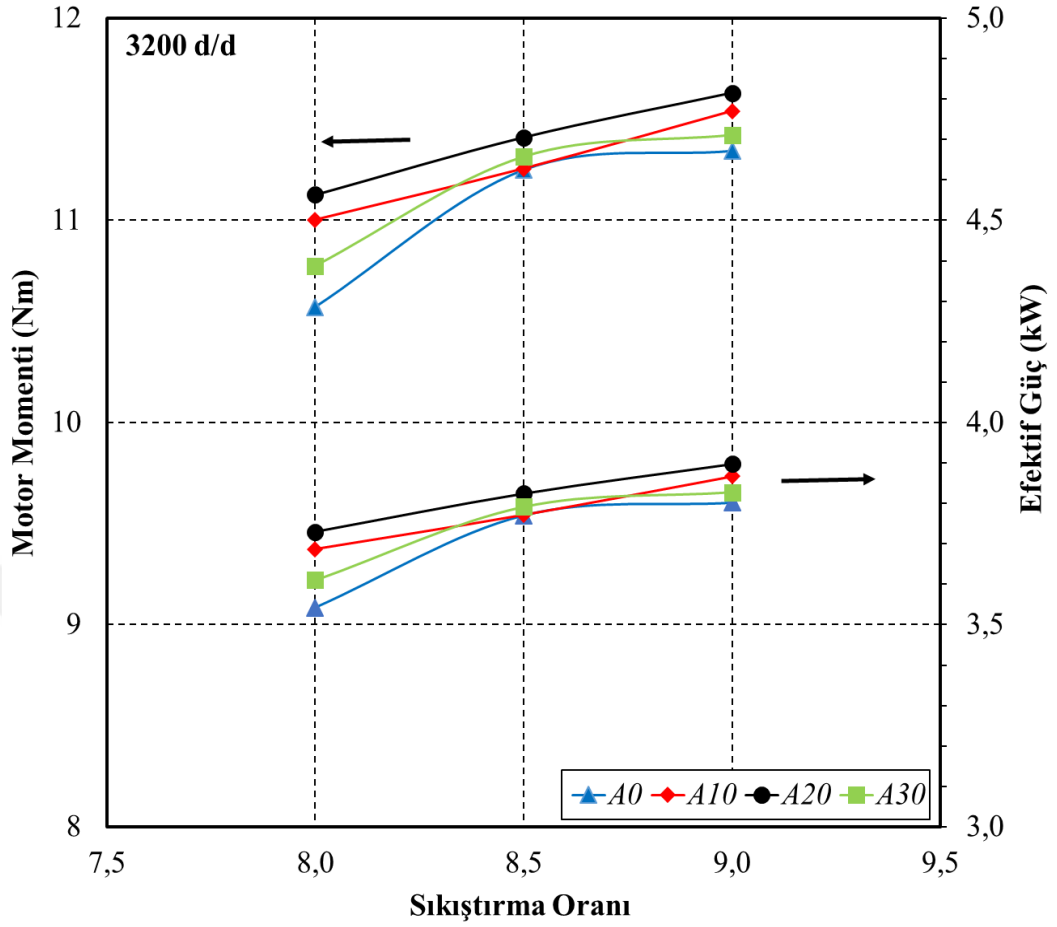
Şekil 6.1. Dört farklı yakıt için 2600 d/d'da ve farklı SO'larda moment ve efektif gücün değişimi.



Şekil 6.2. Dört farklı yakıt için 2800 d/d'da ve farklı SO'larda moment ve efektif gücün değişimi.



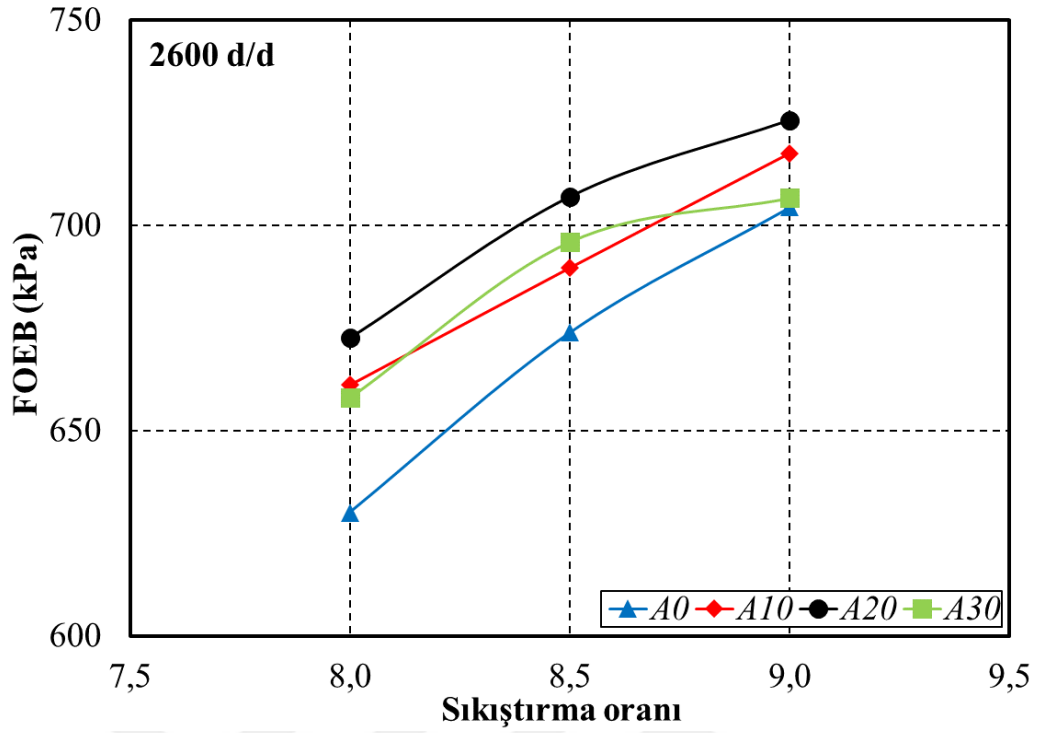
Şekil 6.3. Dört farklı yakıt için 3000 d/d'da ve farklı SO'larda moment ve efektif gücün değişimi.



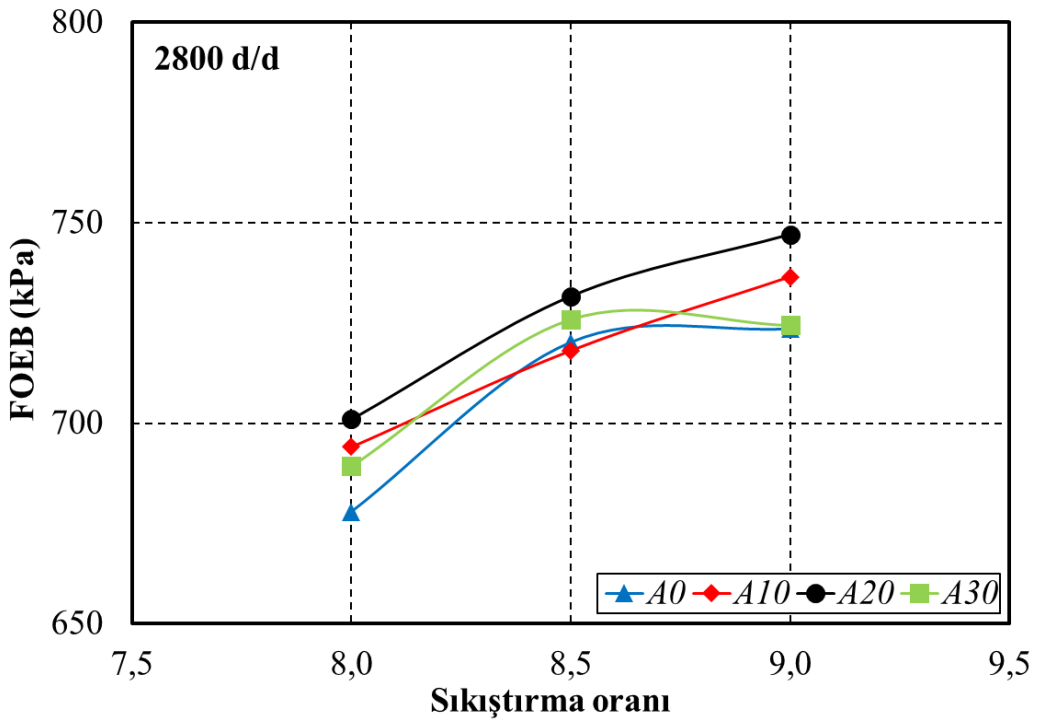
Şekil 6.4. Dört farklı yakıt için 3200 d/d'da ve farklı SO'larda moment ve efektif gücün değişimi.

6.1.1.2. Fren Ortalama Efektif Basınç

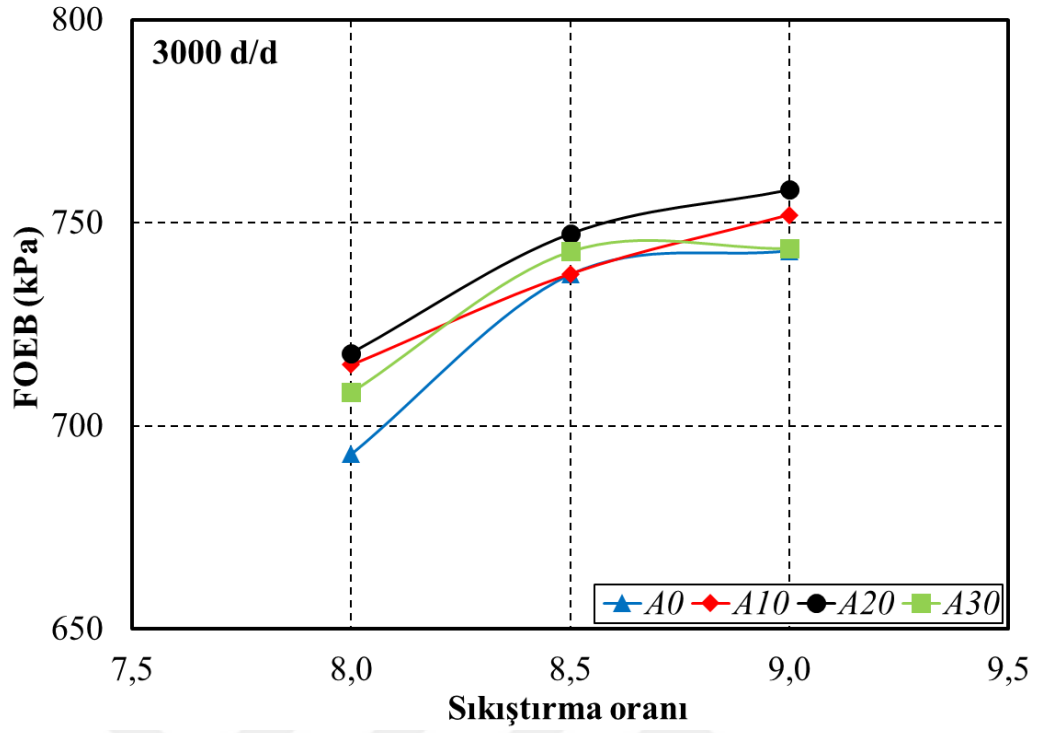
Bir motorun reel çevrimdeki motor gücünü verebilmesi için kurs boyunca pistonu etki etmesi gereken basınca FOEB denilmektedir [119]. Artan SO ile birlikte silindir içi sıcaklık ve basınç değerleri de artmakta ve bu da FOEB'in artmasına sebep olmaktadır [120,121]. Farklı SO ve devirlerde, benzin ve i-AA ile yapılan çalışmalarda elde edilen FOEB'nin değişimi Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde bütün SO'larda i-AA yakıtlı çalışmalarda elde edilen FOEB'in benzinle yapılan çalışmalara göre daha yüksek çıktığı gözlemlenmektedir. Tüm şekiller kıyaslandığında en yüksek FOEB değeri Şekil 6.8'de görüldüğü gibi 3000 d/d'da ve 9,0:1 SO'da A20 yakıtının kullanımı ile 758,21 kPa olarak elde edilmiştir. Aynı devir sayısında ve SO'da benzinli çalışmaya kıyasla %2,03'lük bir artış söz konusudur.



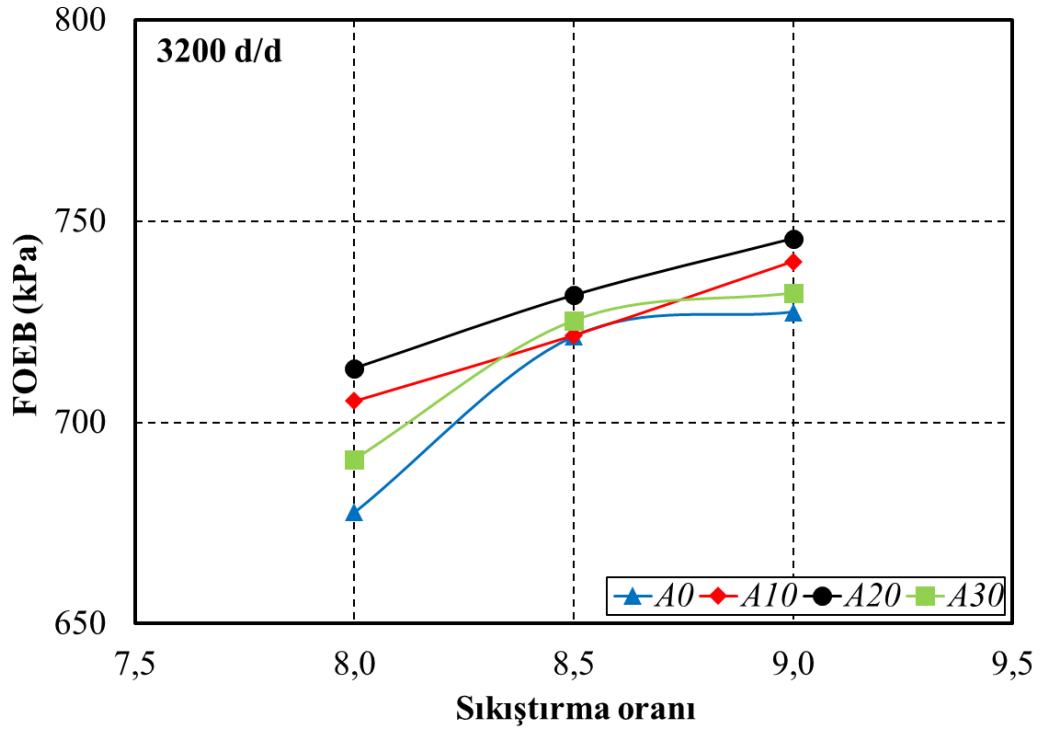
Şekil 6.5. SO değişiminin 2600 d/d'da FOEB üzerindeki etkisi.



Şekil 6.6. SO değişiminin 2800 d/d'da FOEB üzerindeki etkisi.



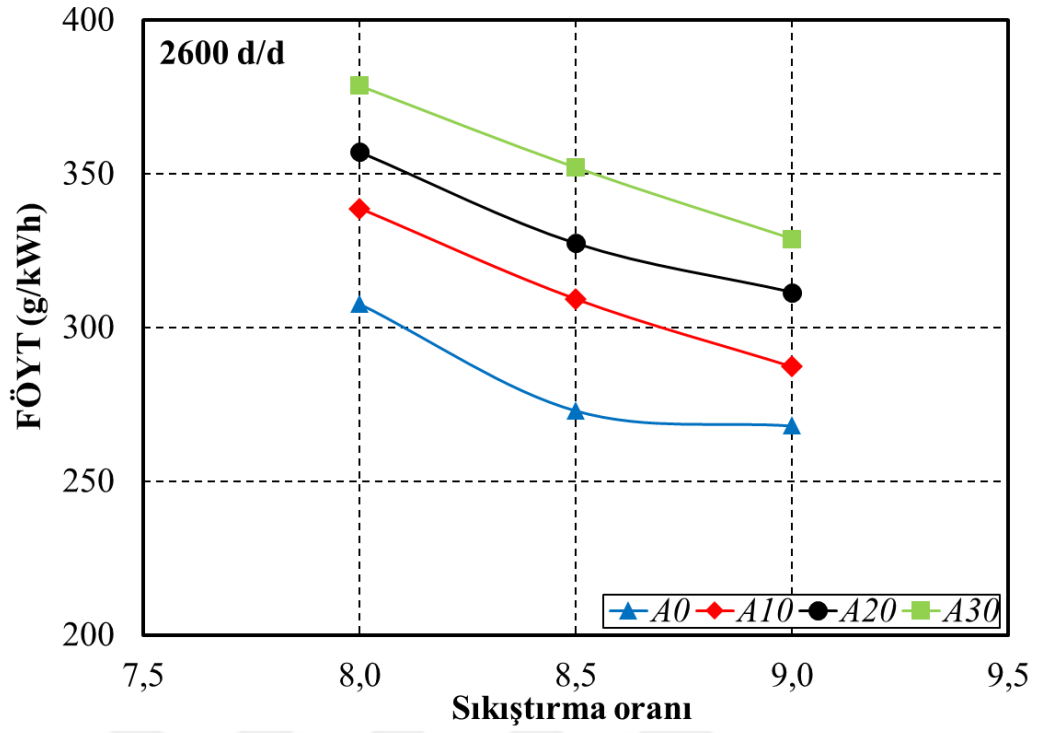
Şekil 6.7. SO değişiminin 3000 d/d'da FOEB üzerindeki etkisi.



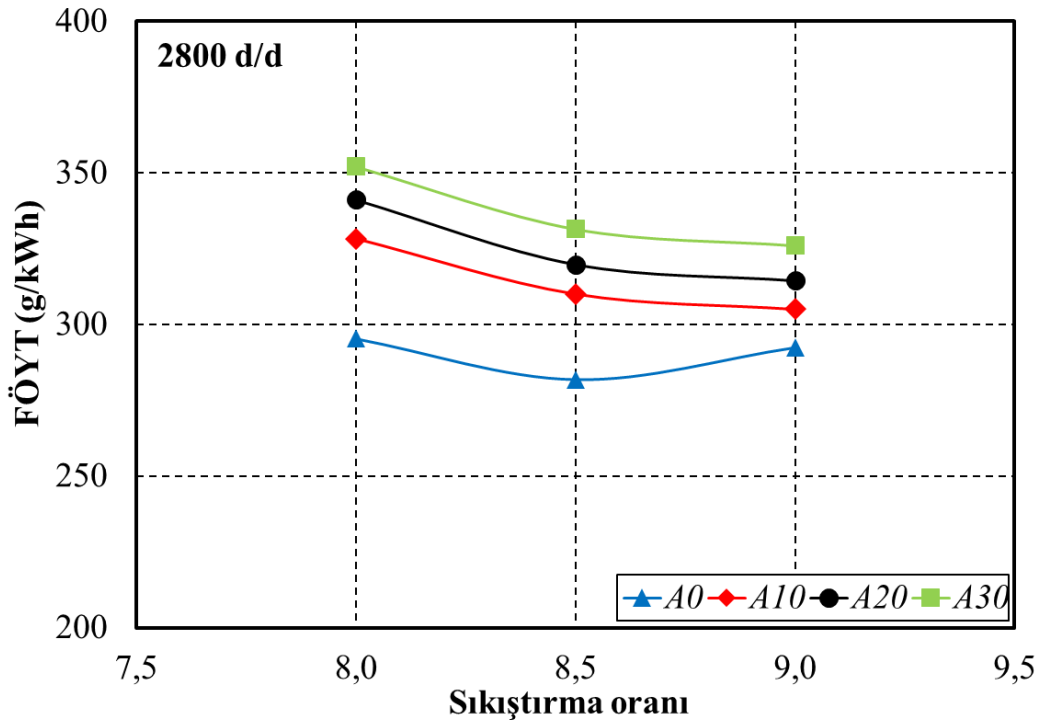
Şekil 6.8. SO değişiminin 3200 d/d'da FOEB üzerindeki etkisi.

6.1.1.3. Fren Özgöl Yakıt Tüketimi

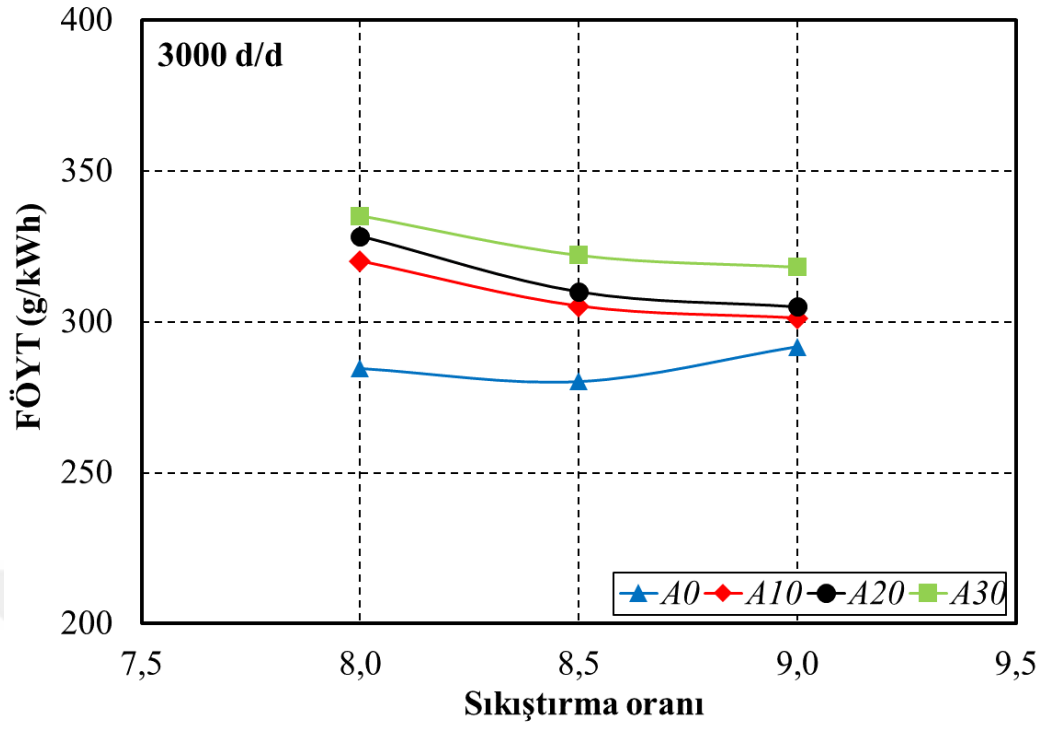
FÖYT birim güç başına tüketilen yakıt miktarını gösteren bir parametredir [122]. İ-AA karışımları ve benzin ile yapılan çalışmaların farklı devir sayısı ve SO'lardaki FÖYT üzerindeki etkisi Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de gösterilmektedir. Alkollerin alt ısı değerinin benzine göre daha düşük olmasından dolayı aynı çıkış gücünü elde edebilmek için daha fazla yakıt kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle alkollerin yakıt olarak kullanımında FÖYT benzin kullanımına göre yüksek çıkmaktadır [92,123]. İ-AA kullanımı ile tüm SO'larda FÖYT benzine göre artış göstermiştir. Şekil 6.9 incelendiğinde artan SO ile birlikte artan FOEB'e bağlı olarak FÖYT azalmıştır. Şekil 6.9'a bakıldığında minimum FÖYT 268,18 g/kWh olarak 9,0:1 SO'da ve 2600 d/d'da A0 yakıtının kullanımı ile elde edilmiştir. Maksimum FÖYT ise Şekil 6.9'da görüldüğü gibi 378,74 g/kWh olarak 8,0:1 SO'da ve 2600 d/d'da A30 yakıtının kullanımı ile elde edilmiştir. Bu artış aynı SO ve devir sayısında benzine kıyasla yaklaşık olarak %23'tür. Genel olarak bütün yakıtlarda SO arttıkça artan FOEB'e bağlı olarak FÖYT azalmıştır ancak 9,0:1 SO'da FOEB'de düşme eğilimi başladığı için FÖYT bir miktar artmıştır. FÖYT parametresinde, tüm motor devirlerinin ortalaması alınarak benzine yapılan çalışmaya kıyaslama yapılırsa A10, A20 ve A30 yakıtları için sırasıyla ortalama %8,96, %12,83 ve %17,36'lık bir artış meydana gelmiştir.



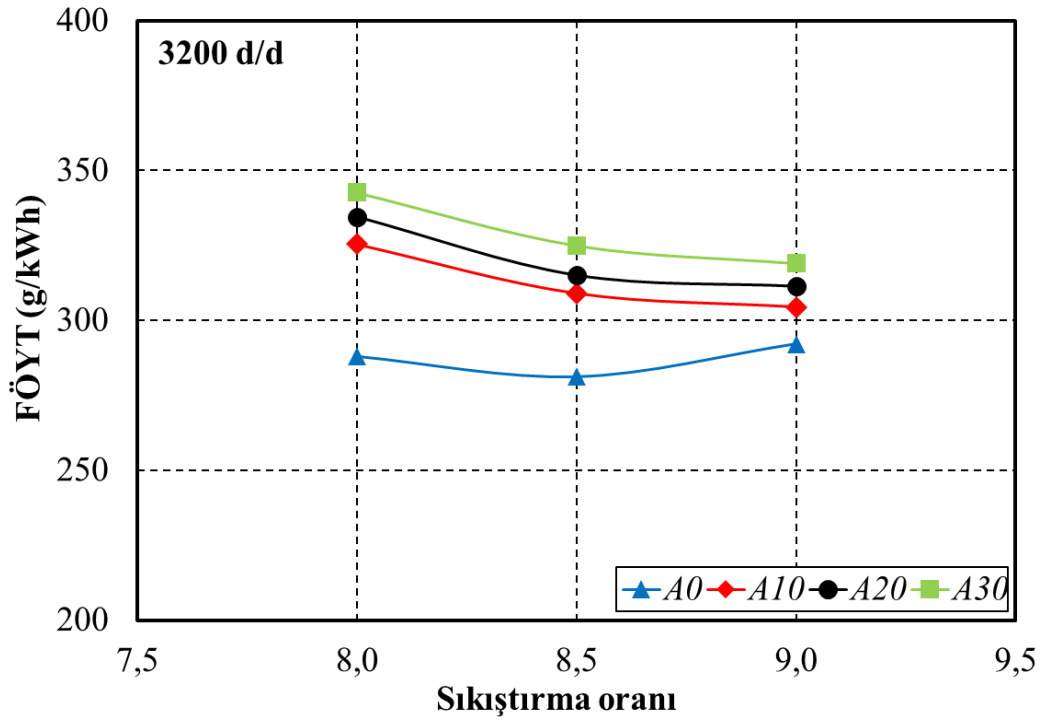
Şekil 6.9. SO değişiminin 2600 d/d'da FÖYT üzerindeki etkisi.



Şekil 6.10. SO değişiminin 2800 d/d'da FÖYT üzerindeki etkisi.



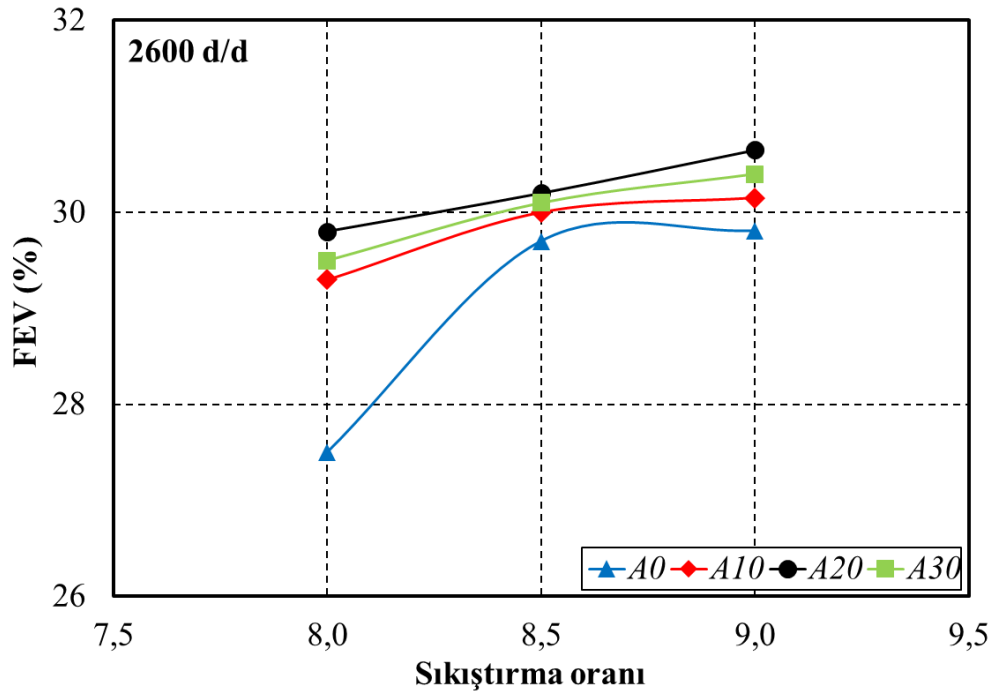
Şekil 6.11. SO değişiminin 3000 d/d'da FÖYT üzerindeki etkisi.



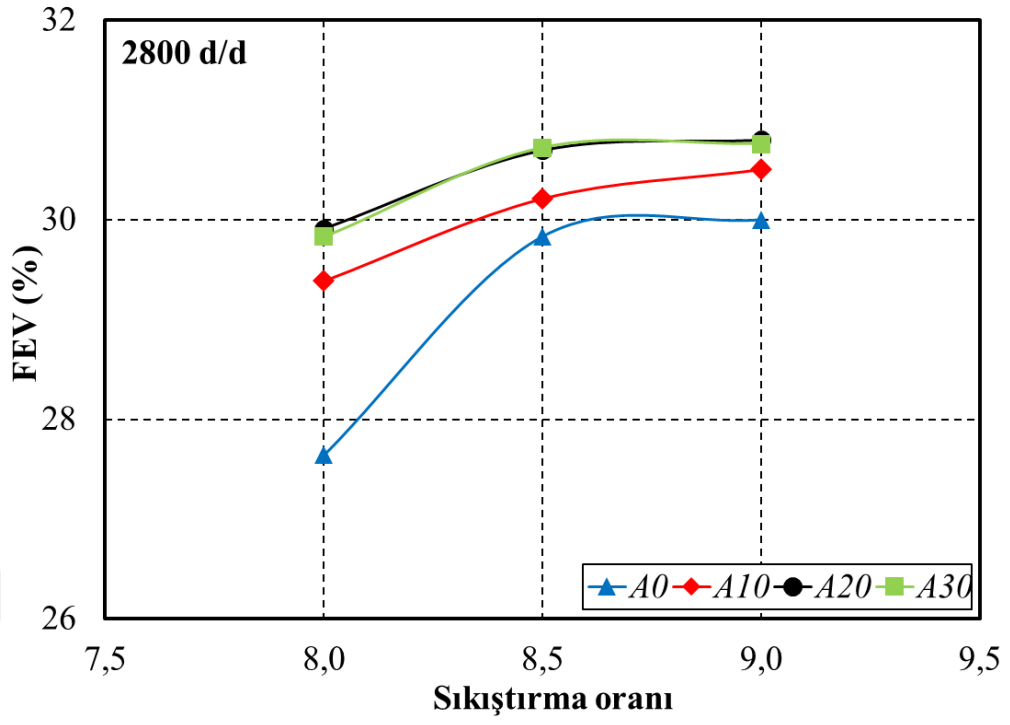
Şekil 6.12. SO değişiminin 3200 d/d'da FÖYT üzerindeki etkisi.

6.1.1.4. Fren Efektif Verim (FEV)

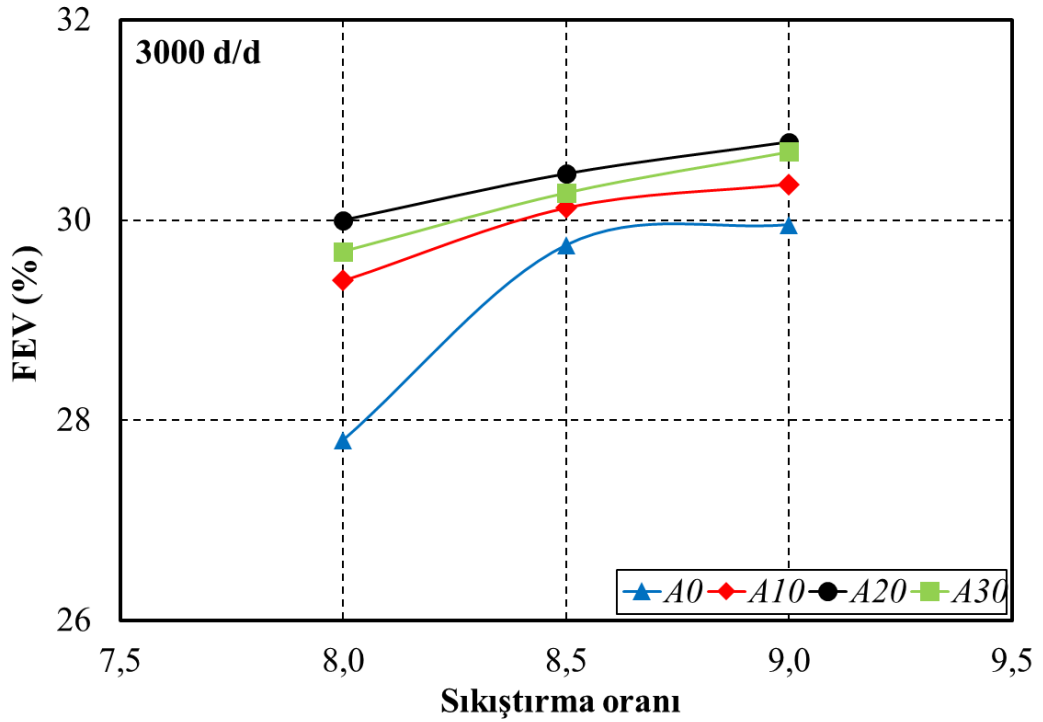
FEV yakıt enerjisinin ne oranda yararlı işe dönüştüğünün bir göstergesidir. Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da SO ve motor hızı değişiminin FEV üzerindeki etkisi dört farklı yakıt için gösterilmiştir. BA motorlarda FEV SO'ya bağlı bir fonksiyondur [124]. Genel olarak tüm SO değerlerinde tüm yakıtlarda FEV artış göstermiştir. İçeriğinde oksijen ihtiva eden ve oksijenat diye adlandırılan alkol türevi yakıtların oksijen içeriği benzinden daha yüksektir [125,126]. Bundan dolayı yakıt olarak kullanıldıklarında FEV'i artırmaktadırlar [127,128]. Maksimum FEV değeri Şekil 6.14'te görüldüğü gibi 9,0:1 SO değerinde ve 2800 d/d'da A20 yakıtının kullanımı ile %30,8 olarak elde edilmiştir. Aynı SO ve devir sayısında benzine kıyasla %2,67'lik bir artış meydana gelmiştir. A30 yakıtı ile verimin düşmesinin nedeni, alkollerin buharlaşma ısılarının yüksek olması nedeniyle silindiri soğutması ve sonucunda maksimum çevrim sıcaklığının düşük çıkmasıdır. Maksimum sıcaklığın düşük olması verimin düşmesine neden olmaktadır. FEV parametresinde, tüm motor devirlerinin ortalaması alınarak benzine yapılan çalışmaya kıyasla A10, A20 ve A30 yakıtları için sırasıyla ortalama %3,02, %4,34 ve %3,87'lik bir artış sağlanmıştır.



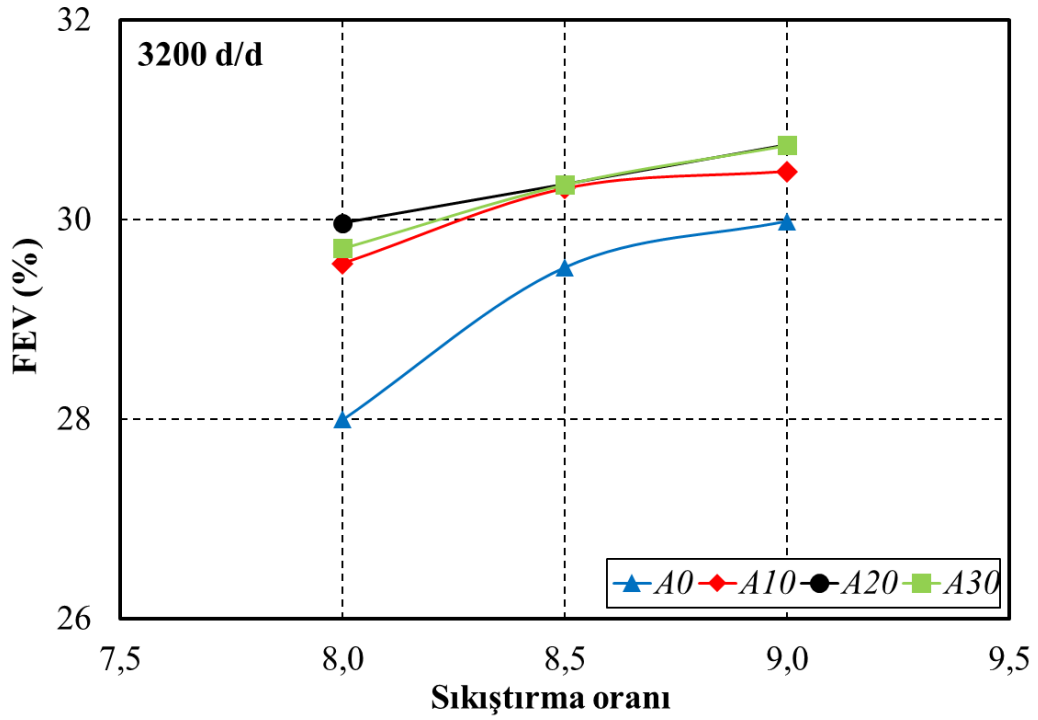
Şekil 6.13. SO değişiminin 2600 d/d'da FEV üzerindeki etkisi.



Şekil 6.14. SO değişiminin 2800 d/d'da FEV üzerindeki etkisi.



Şekil 6.15. SO değişiminin 3000 d/d'da FEV üzerindeki etkisi.



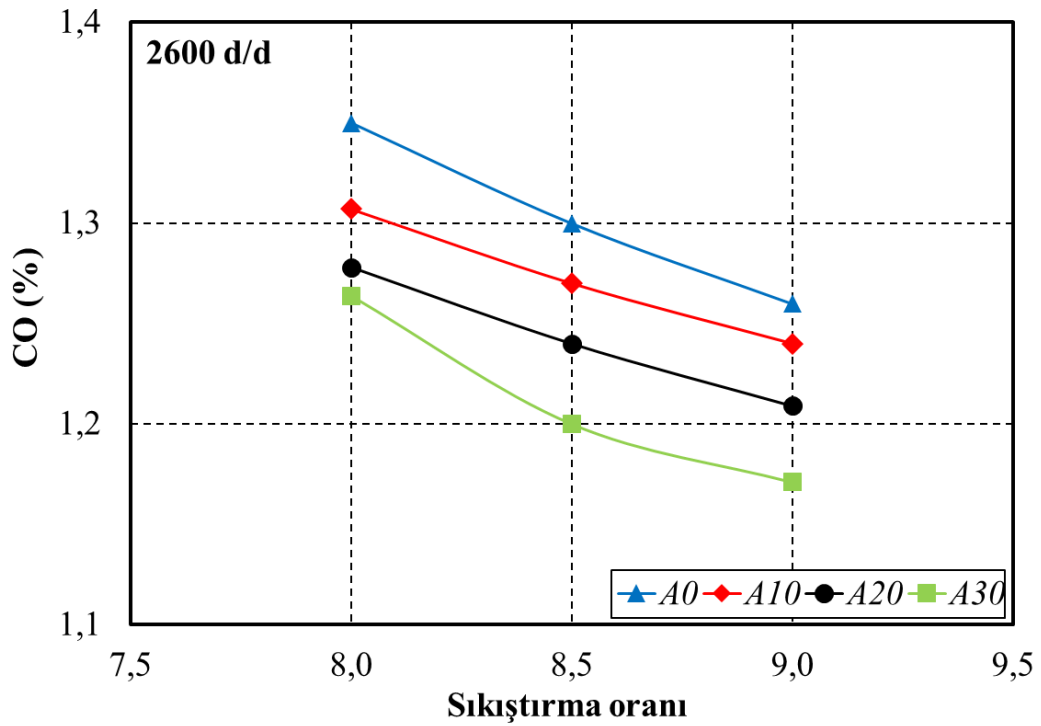
Şekil 6.16. SO değişiminin 3200 d/d'da FEV üzerindeki etkisi.

6.1.2. Egzoz Emisyonları

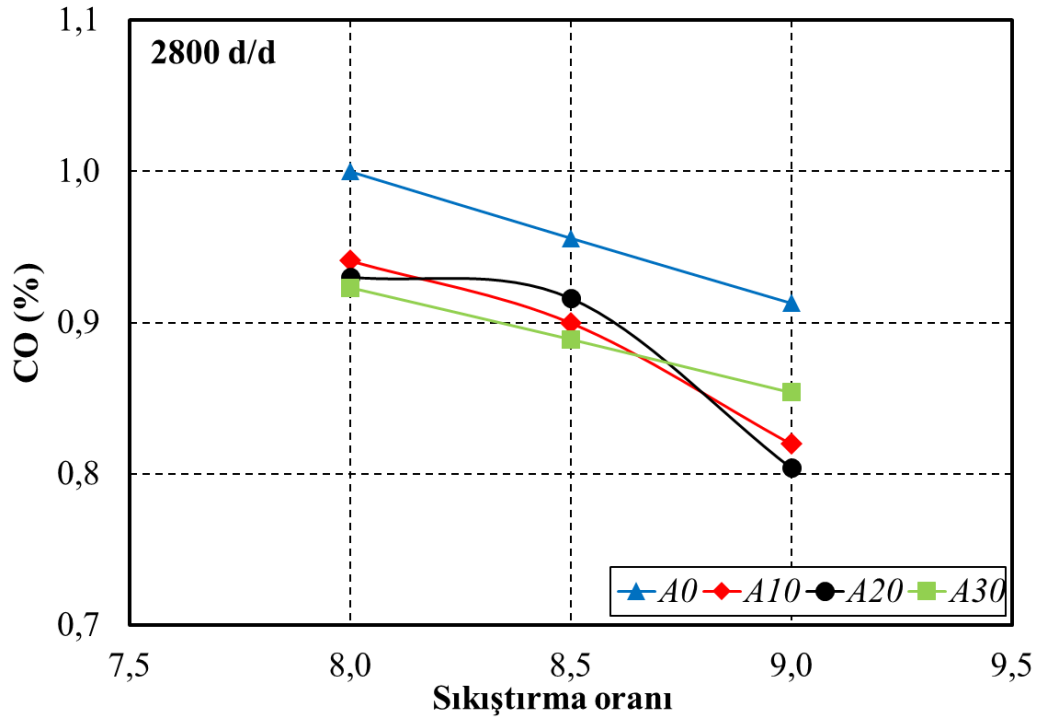
6.1.2.1. Karbonmonoksit

Silindirin içerisinde oksijen yetersizliğinden dolayı meydana gelen eksik yanma sonucu CO emisyonları oluşmaktadır ve yakıtın kimyasal bileşiminde bulunan karbon atomunun sayısı CO emisyonunu doğrudan etkilemektedir [62,70]. Alkol yakıtlarda kimyasal bileşimlerinde bulunan karbon atomu sayısı benzine göre daha azdır ve C/H oranları daha düşüktür [71]. Bu sebepten daha temiz bir yanma sağlayarak CO emisyonunu azaltırlar. İ-AA karışımları ve benzin ile yapılan çalışmaların farklı devir sayısı ve SO'lardaki CO üzerindeki etkisi Şekil 6.17, Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde i-AA ilavesi ile birlikte tüm motor hızlarında CO emisyonu azalmıştır ve bu azalma yakıt karışımı içerisinde i-AA miktarı arttıkça artmıştır. Motor hızının artmasıyla meydana gelen azalma gibi, SO arttıkça da CO emisyonu değerleri azalma göstermiştir çünkü SO arttıkça silindir içi sıcaklığı ve yanma verimi iyileşmektedir [129,130]. Alkollerin benzine kıyasla daha düşük ve sabit bir kaynama noktasına sahip olmalarından dolayı alkol kullanılarak oluşturulan yakıt

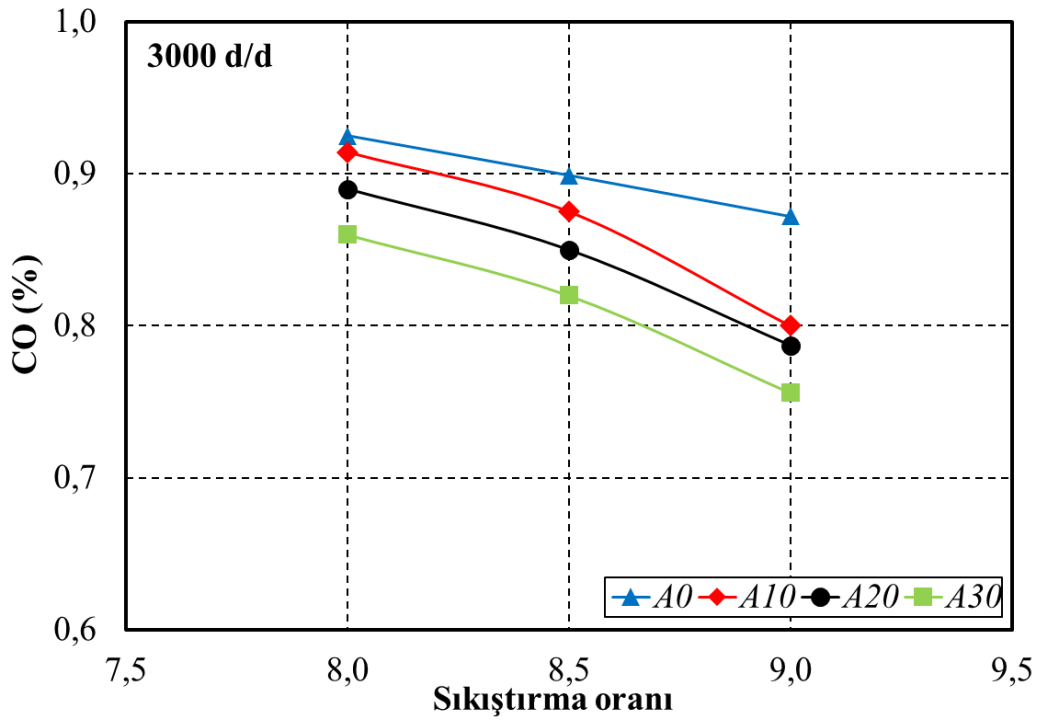
karışımları silindir içerisinde benzine göre daha iyi buharlaşmaktadır ve karışım daha homojen oluşmaktadır [92]. Bununla birlikte, alkol yakıtların içeriğinde bulunan oksijen, yetersiz oksijenden kaynaklanan eksik yanmayı gidererek CO emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Şekil 6.20’de görüldüğü gibi minimum CO değerinin %0,74 olarak 3200 d/d’da ve 9,0:1 SO’da A30 yakıtının kullanımı ile elde edilmiştir. Maksimum CO emisyonu değerinin ise %1,35 olarak 8,0:1 SO’da ve 2600 d/d’da A0 yakıtı ile elde edildiği Şekil 6.17’de açıkça görülmektedir. CO emisyonunda meydana gelen azalma, aynı SO ve motor hızında benzine kıyasla yaklaşık olarak %12,22’dir. CO emisyonunda, tüm motor devirlerinin ortalaması alınarak benzinle yapılan çalışmaya kıyaslama yapılırsa A10, A20 ve A30 yakıtları için sırasıyla ortalama %4,33, %6,18 ve %8,06’lık bir azalma sağlanmıştır.



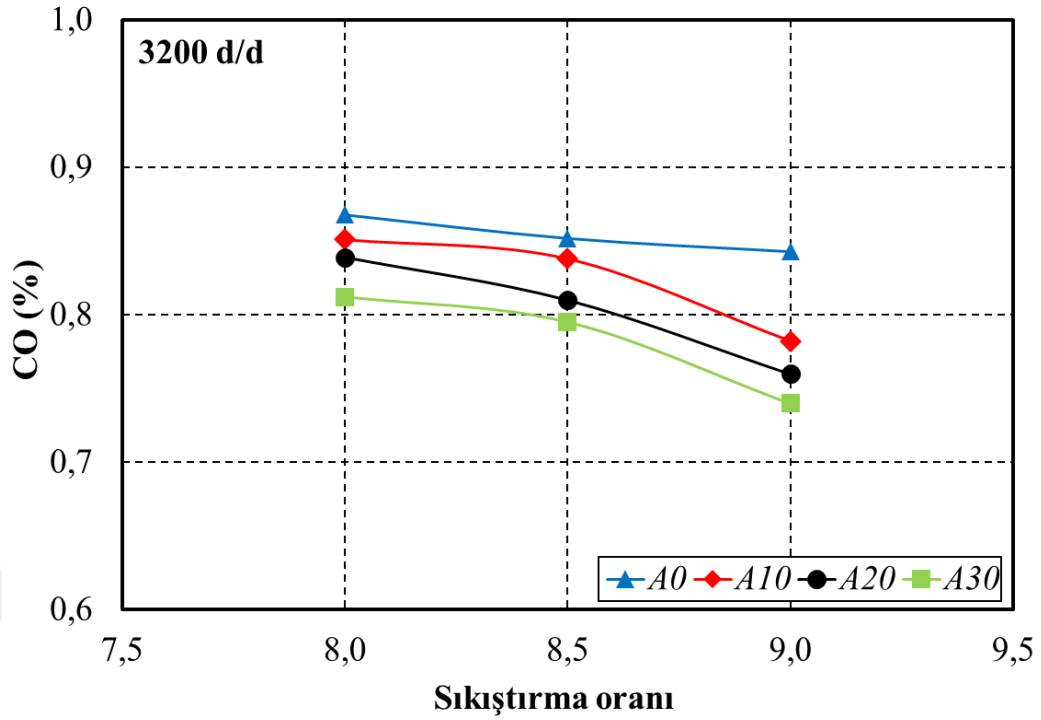
Şekil 6.17. SO değişiminin 2600 d/d’da CO üzerindeki etkisi.



Şekil 6.18. SO değişiminin 2800 d/d'da CO üzerindeki etkisi.



Şekil 6.19. SO değişiminin 3000 d/d'da CO üzerindeki etkisi.

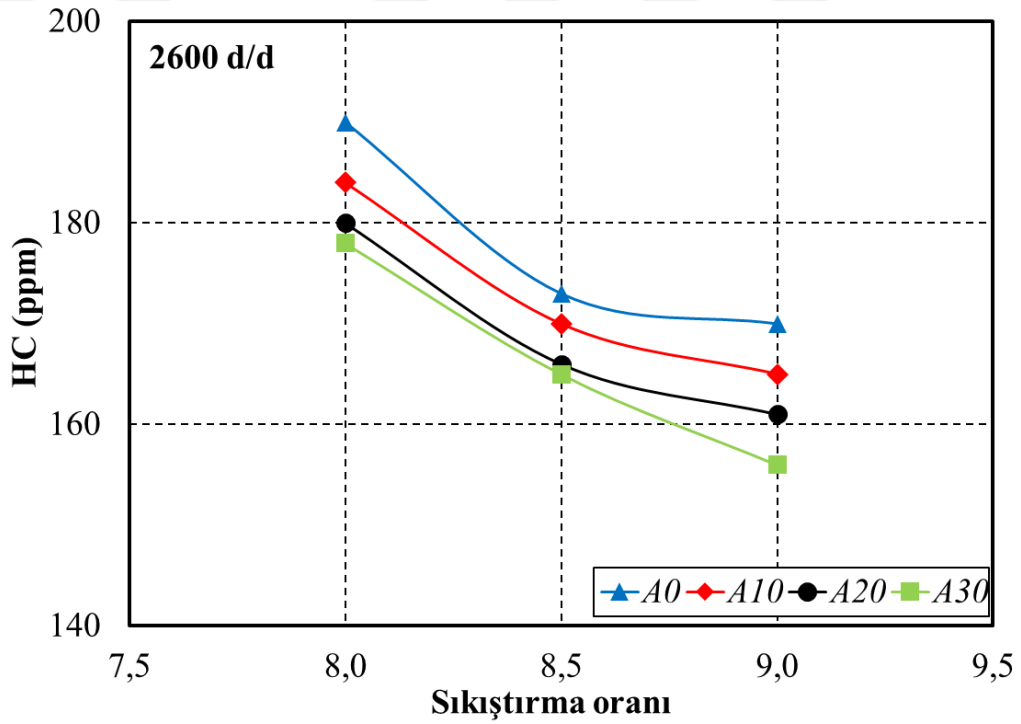


Şekil 6.20. SO değişiminin 3200 d/d'da CO üzerindeki etkisi.

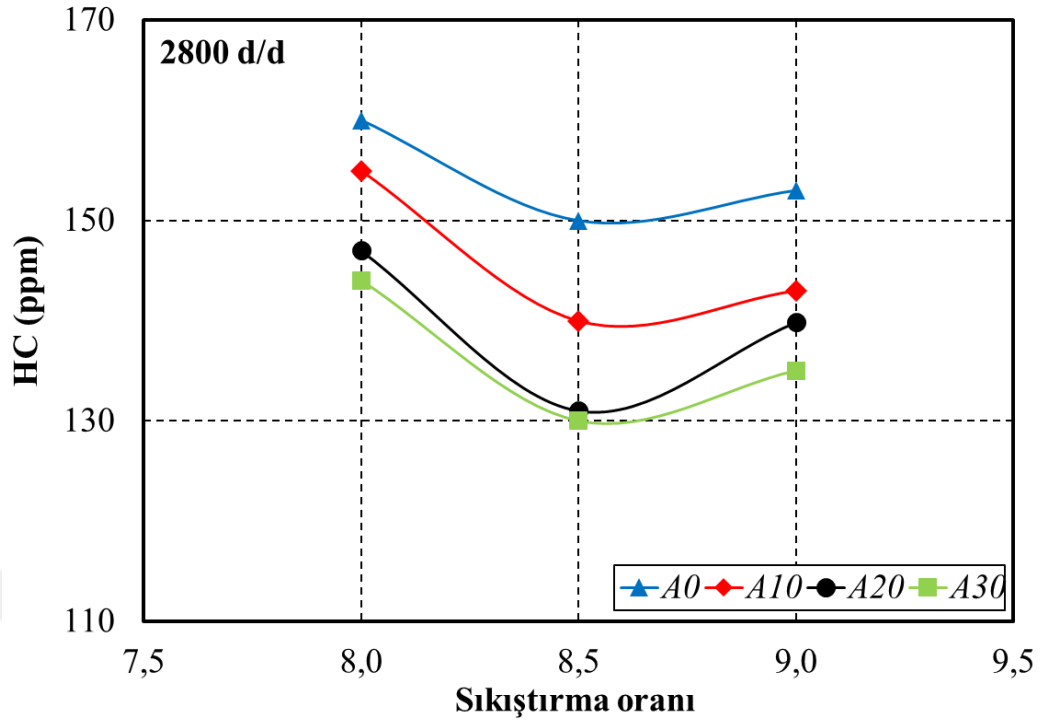
6.1.2.2. Hidrokarbon emisyonu

HC emisyonları herhangi bir sebepten dolayı silindirde meydana gelen eksik yanma nedeniyle oluşmaktadır [131]. Yanma odasında oluşan yakıt-hava karışımının homojen olmaması, soğuk silindir cidarları, düşük sıkıştırma sonu sıcaklığı, yetersiz oksijen ve yanma odasında artan yüzey/hacim oranı gibi faktörler, HC emisyonlarının ortaya çıkmasına neden olur [132,133]. İ-AA karışımları ve benzin ile yapılan çalışmaların farklı devir sayısı ve SO'lardaki HC üzerindeki etkisi Şekil 6.21, Şekil 6.22, Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'te gösterilmektedir. Genel olarak tüm yakıt türlerinde SO arttıkça HC emisyonları düşüş göstermiştir ancak 2600 d/d'dan sonraki devir sayılarında ve 8,5:1 SO'dan sonra bir miktar artışa geçmiştir. Aynı zamanda devir sayısı arttıkça da HC emisyonları azalmıştır. Alkollerin yüksek laminar yanma hızı ve oksijen içeriği HC emisyonlarını azaltmıştır. SO'nun artması silindir içi basınç ve sıcaklığın artması anlamına gelmektedir. SO'nun 8,0:1 olması durumunda silindir içi basınç ve sıcaklık düşük olduğu için eksik yanma meydana gelmekte ve HC emisyonu yüksek çıkmaktadır. SO arttıkça yanma odası yüzey/hacim oranı yükselerek alev bölgesini genişletir [124]. Bundan dolayı 8,5:1 SO oranından sonra HC emisyonu bir

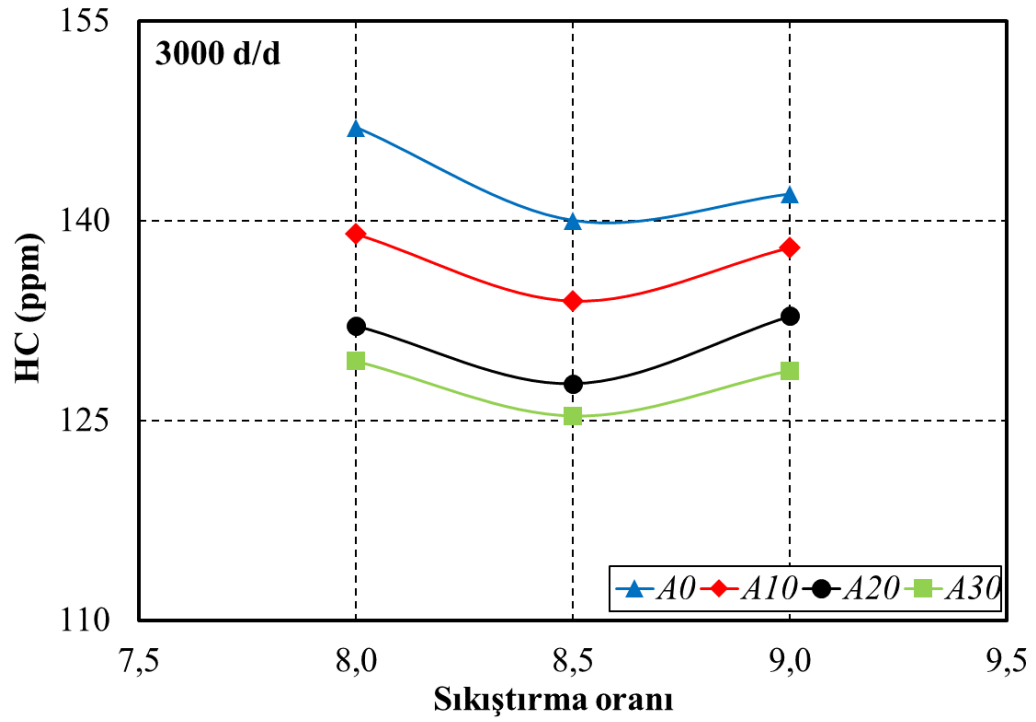
miktar artış göstermiştir. Minimum HC emisyonu Şekil 6.24'te görüldüğü gibi A30 yakıtı ile 3200 d/d'da ve 8,5:1 SO'da 121,62 ppm olarak elde edilirken maksimum HC emisyonu Şekil 6.21'de belli olduğu gibi A0 yakıtı ile 2600 d/d'da ve 8,0:1 SO'da 190 ppm olarak elde edilmiştir. A30 yakıtı ile elde edilen minimum HC emisyonu değeri, aynı SO ve motor hızında A0 yakıtı ile yapılan çalışmaya kıyasla %6,45 oranında düşük çıkmıştır. Genel olarak tüm i-AA karışımlı yakıtlarda en düşük HC emisyonu değerleri motorun orijinal SO'su olan 8,5:1 SO'da elde edilmiştir. HC emisyonunda, tüm motor devirlerinin ortalaması alınarak benzinle yapılan çalışmaya kıyaslama yapılırsa A10, A20 ve A30 yakıtları için sırasıyla ortalama %3,73, %7,20 ve %9,37'lik bir azalma sağlanmıştır.



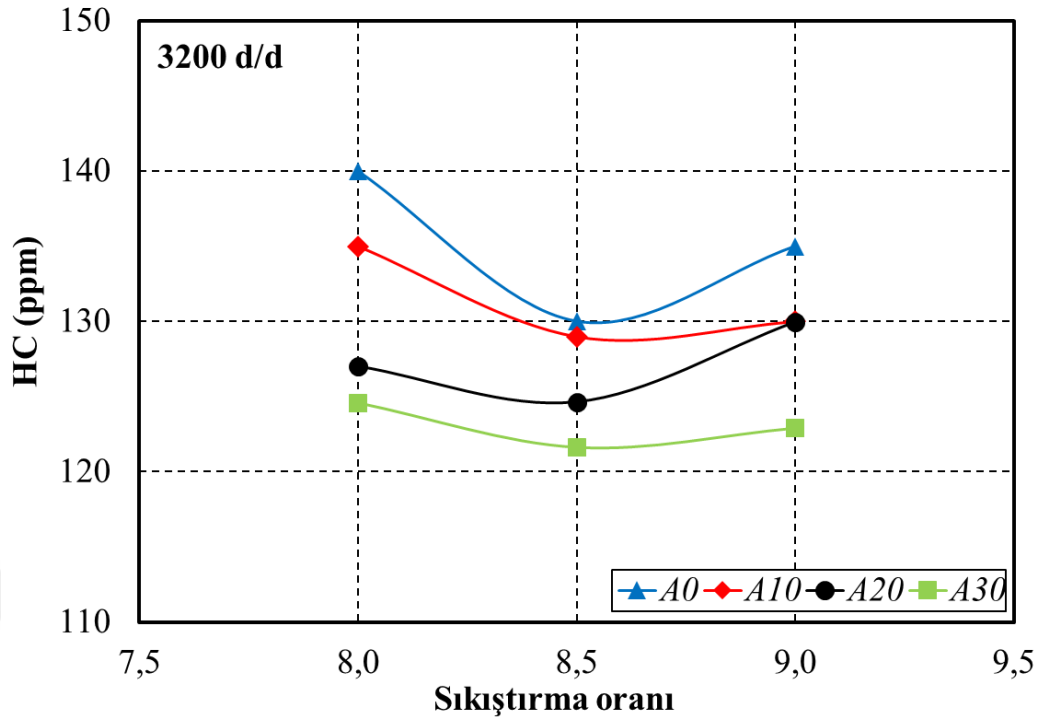
Şekil 6.21. SO değişiminin 2600 d/d'da HC üzerindeki etkisi.



Şekil 6.22. SO değişiminin 2800 d/d'da HC üzerindeki etkisi.



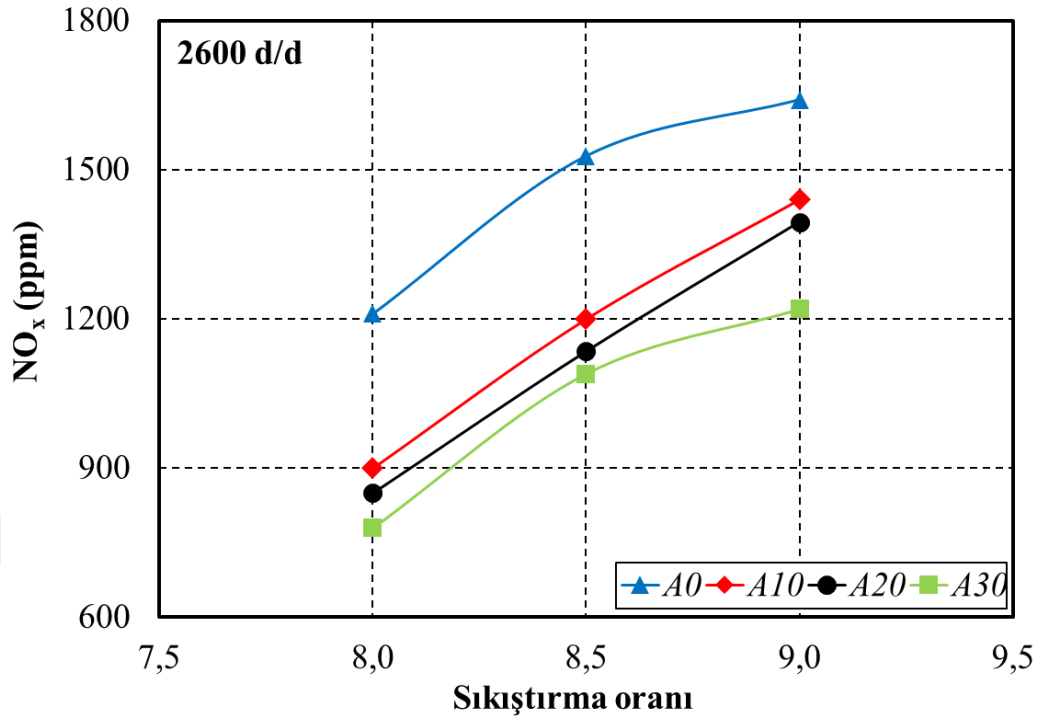
Şekil 6.23. SO değişiminin 3000 d/d'da HC üzerindeki etkisi.



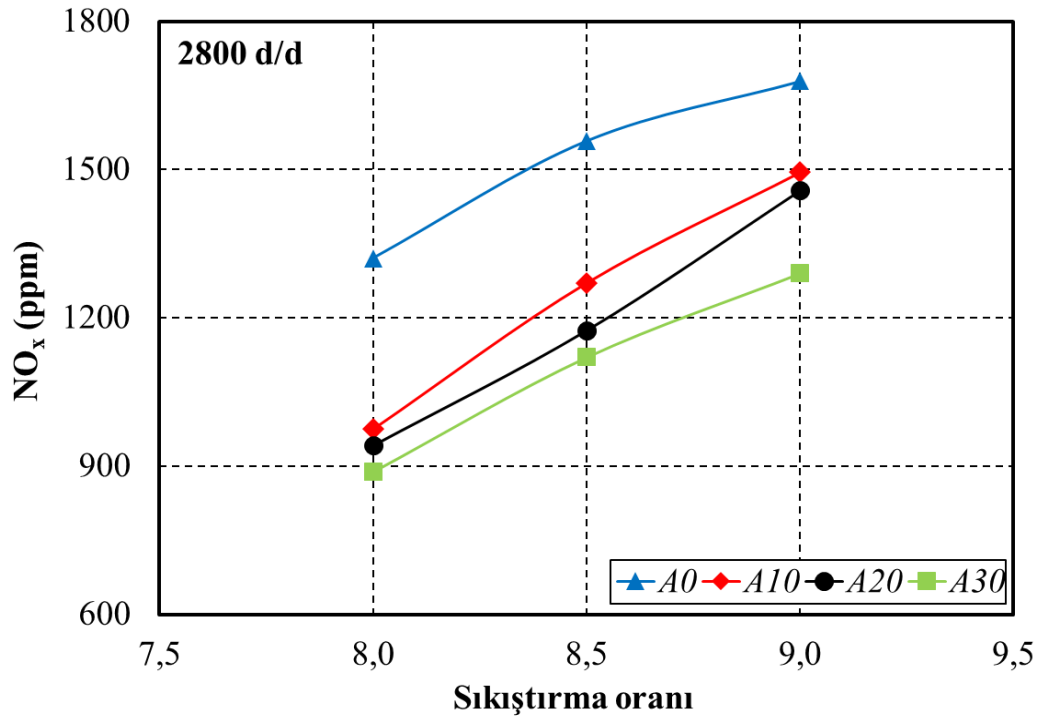
Şekil 6.24. SO değişiminin 3200 d/d'da HC üzerindeki etkisi.

6.1.2.3. Azotoksit

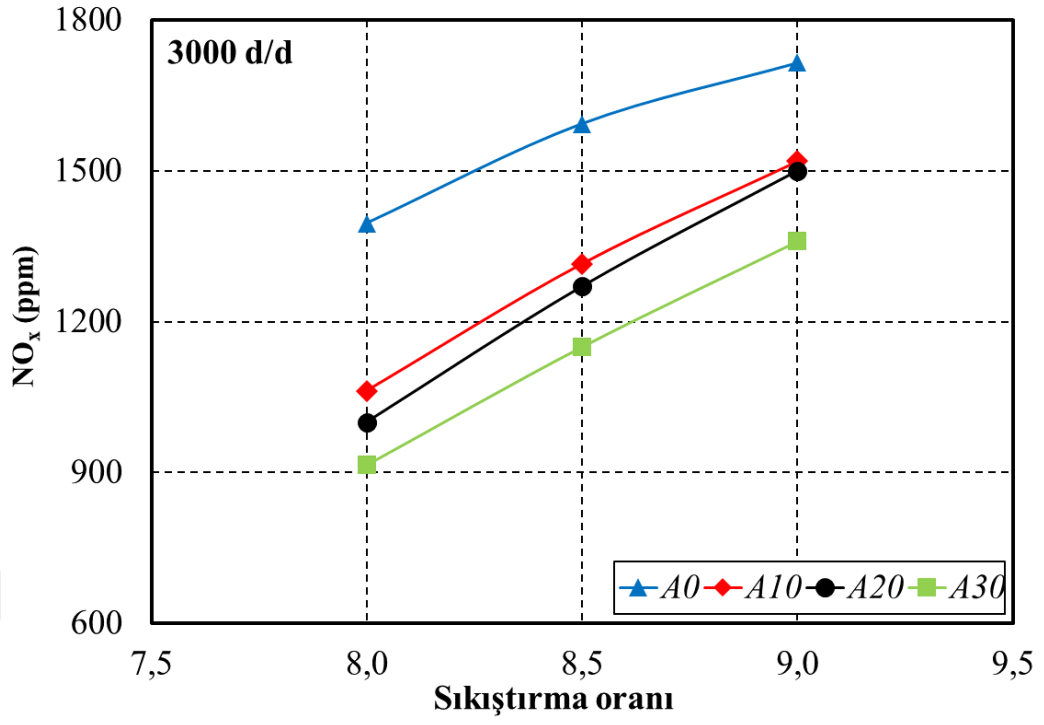
Havanın içeriğinde bulunan azot atomu, silindir içerisindeki sıcaklık 1800 °C'nin üzerine çıkarsa oksijen atomuyla birleşerek NO_x emisyonunu oluşturmaktadır. İ-AA karışımları ve benzin ile yapılan çalışmaların farklı devir sayısı ve SO'lardaki NO_x emisyonu üzerindeki etkisi Şekil 6.25, Şekil 6.26, Şekil 6.27 ve Şekil 6.28'de gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde SO arttıkça tüm yakıt türlerinde NO_x emisyonu artış göstermiştir. SO'nun artmasıyla birlikte silindir içi sıcaklık ve basınç yükseldiği için SO'nun artması NO_x emisyonunu artırmaktadır [62]. İ-AA kullanımı ile ise tüm motor hızlarında ve SO'larda NO_x emisyonunda azalma sağlanmıştır. Alkol yakıtların yüksek buharlaşma ısısına sahip olmaları nedeniyle NO_x emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Minimum NO_x değeri Şekil 6.25'te gösterildiği gibi 8,0:1 SO'da ve 2600 d/d'da A30 yakıtı ile 780 ppm olarak elde edilmiştir. Aynı motor hızında ve SO'da A0 yakıtı ile yapılan çalışmaya kıyasla yaklaşık %35,6 oranında azalma sağlanmıştır. NO_x emisyonunda, tüm motor devirlerinin ortalaması alınarak benzinle yapılan çalışmaya kıyaslama yapılırsa A10, A20 ve A30 yakıtları için sırasıyla ortalama %17,17, %21,16 ve %27,59'luk bir azalma sağlanmıştır.



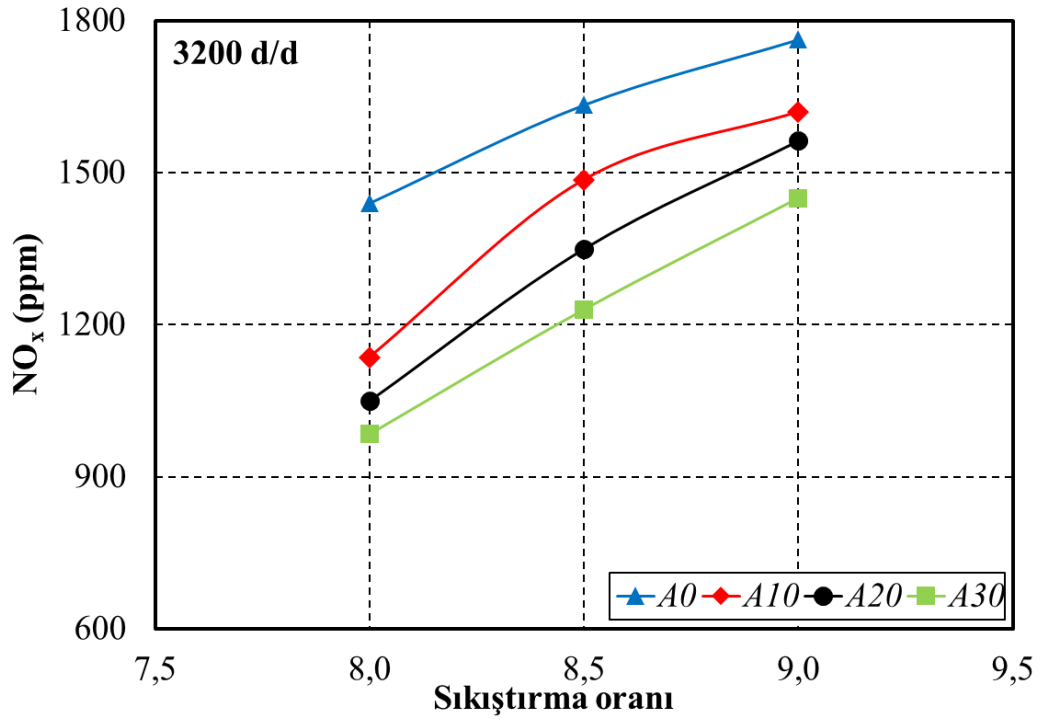
Şekil 6.25. SO değişiminin 2600 d/d'da NO_x üzerindeki etkisi.



Şekil 6.26. SO değişiminin 2800 d/d'da NO_x üzerindeki etkisi.



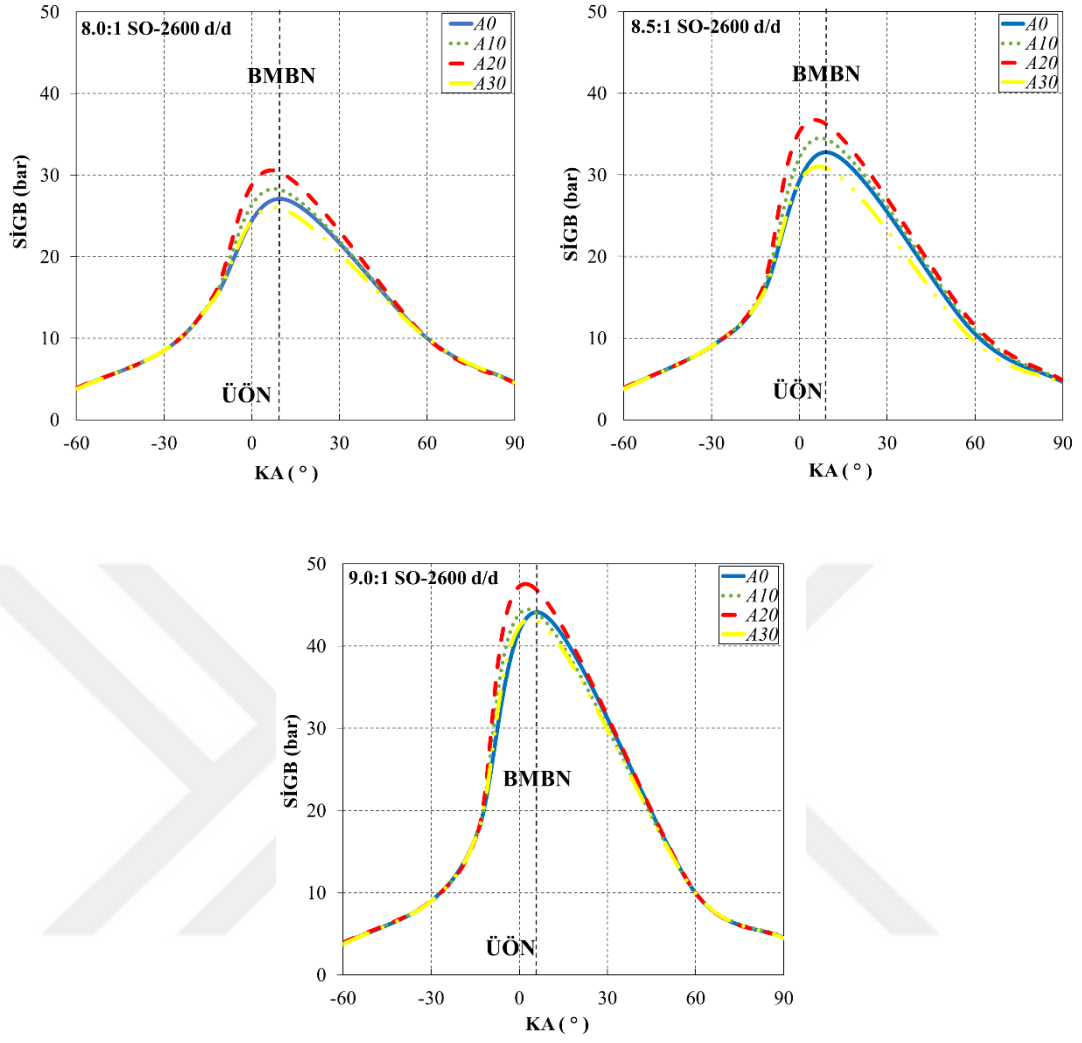
Şekil 6.27. SO değişiminin 3000 d/d'da NO_x üzerindeki etkisi.



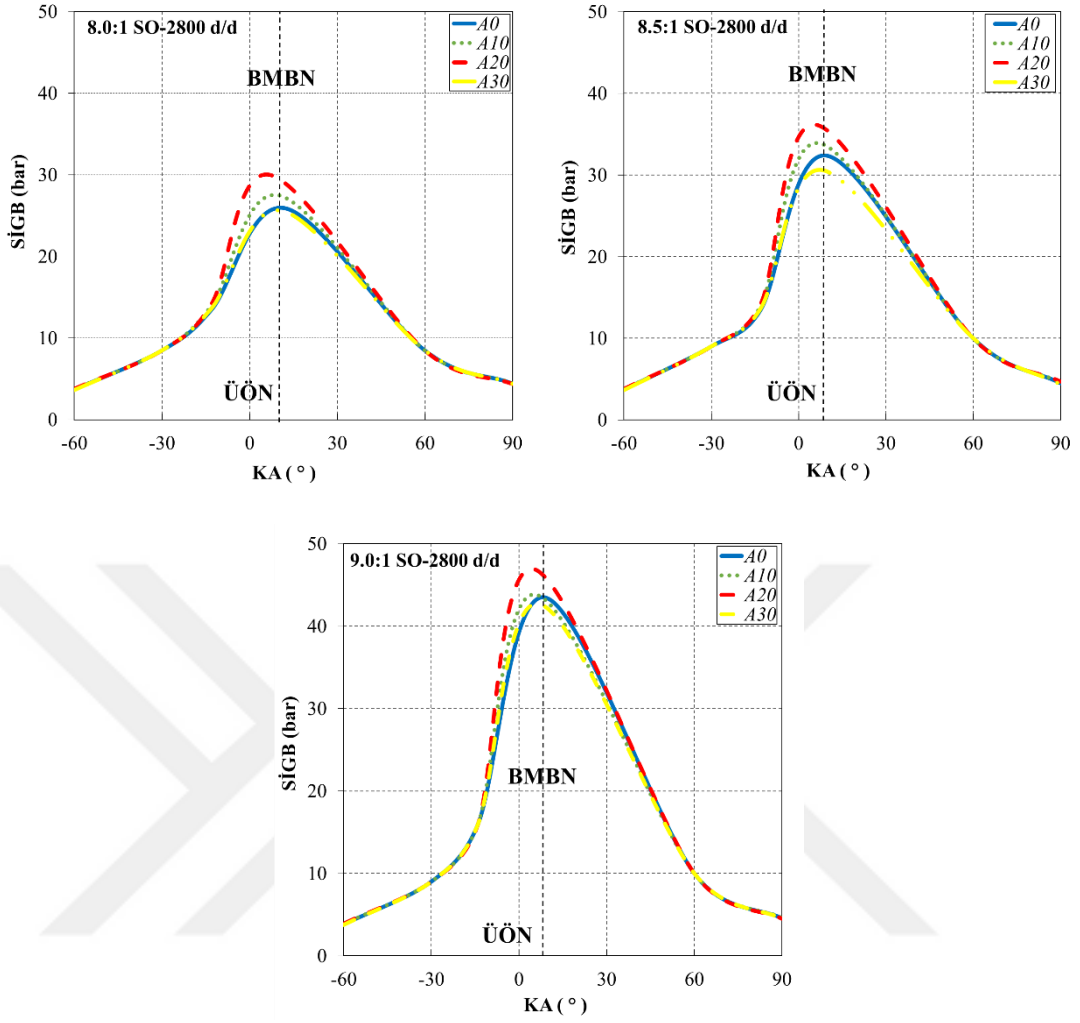
Şekil 6.28. SO değişiminin 3200 d/d'da NO_x üzerindeki etkisi.

6.1.3. Silindir İçi Gaz Basıncı (SİGB)

Silindir içerisinde yakıtın yanmasıyla meydana gelen mekanik yüklemelerin krank açısı (KA) cinsinden dağılımını gösteren eğrilere SİGB eğrileri denilmektedir [134]. Bu kısımda benzin ve benzin-i-AA karışımlarının yanması ile oluşan SİGB değerlerinin KA'ya göre değişimleri farklı motor devirleri ve SO değerleri için ayrı ayrı verilmiştir. İ-AA karışımları ve benzin ile yapılan çalışmaların dört farklı motor hızında ve farklı SO'lardaki SİGB üzerindeki etkisi Şekil 6.29, Şekil 6.30, Şekil 6.31 ve Şekil 6.32'de gösterilmektedir. Genel olarak tüm yakıt türlerinde ve tüm devirlerde, artan SO ile beraber SİGB'nin de arttığı şekillerde açıkça belli olmaktadır. Alkollerin düşük C/H oranına sahip olmasından dolayı benzine kıyasla birim enerji başına ürettiği hacimin daha fazla olması ve artan SO ile beraber silindir cidarlarından ısı kaybının artarken, egzozdan ısı kaybının ise azalmasından dolayı ve bu sayede yararlı işin artması neticesinde SİGB'nin arttığı düşünülmektedir [135]. Ayrıca alkol-benzin karışımlarında volumetrik verimin artması silindire daha fazla dolgu alınmasını sağlamakta bu da SİGB'yi artırmaktadır.

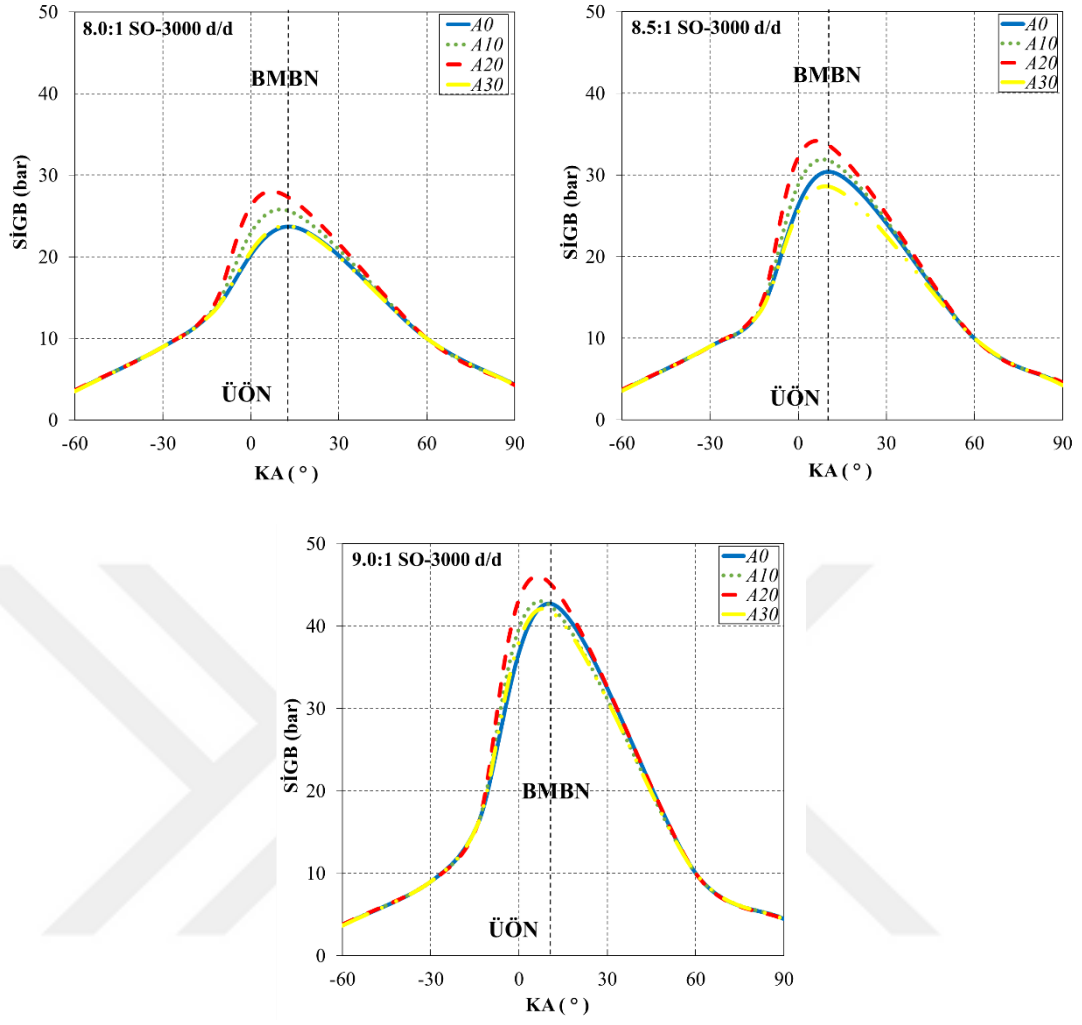


Şekil 6.29. Üç farklı SO'da ve 2600 d/d'da dört farklı yakıt için SİGB değişimleri.

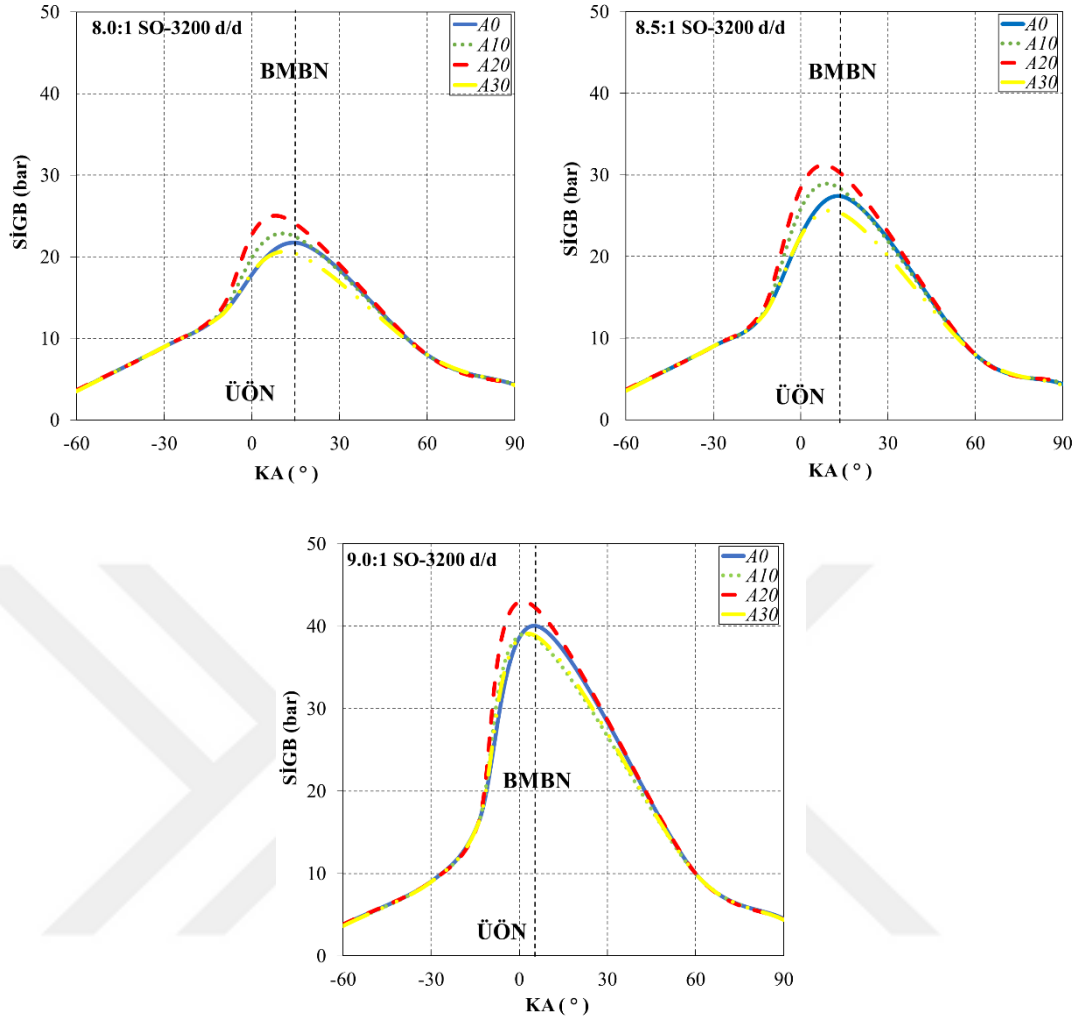


Şekil 6.30. Üç farklı SO'da ve 2800 d/d'da dört farklı yakıt için SİGB değerleri.

Şekil 6.29, Şekil 6.30, Şekil 6.31 ve Şekil 6.32 birbirleri ile kıyaslandığında aynı SO'da motor hızı arttıkça SİGB değerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Bunun sebebinin, motor hızının artması ile yanma için gereken sürenin kısılması olduğu düşünülmektedir. İ-AA'nın, benzine göre daha yüksek laminar alev hızına ve daha yüksek oktan sayısına sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, alkoller motorda kullanıldığında, yanma süresinin kısılmasına neden olurlar [127]. Maksimum SİGB değeri 47,50 bar olarak 9,0:1 SO'da ve 2600 d/d'da A20 yakıtı ile ÜÖN'den 3° sonra elde edilmiştir.



Şekil 6.31. Üç farklı SO'da ve 3000 d/d'da dört farklı yakıt için SIGB değişimleri.

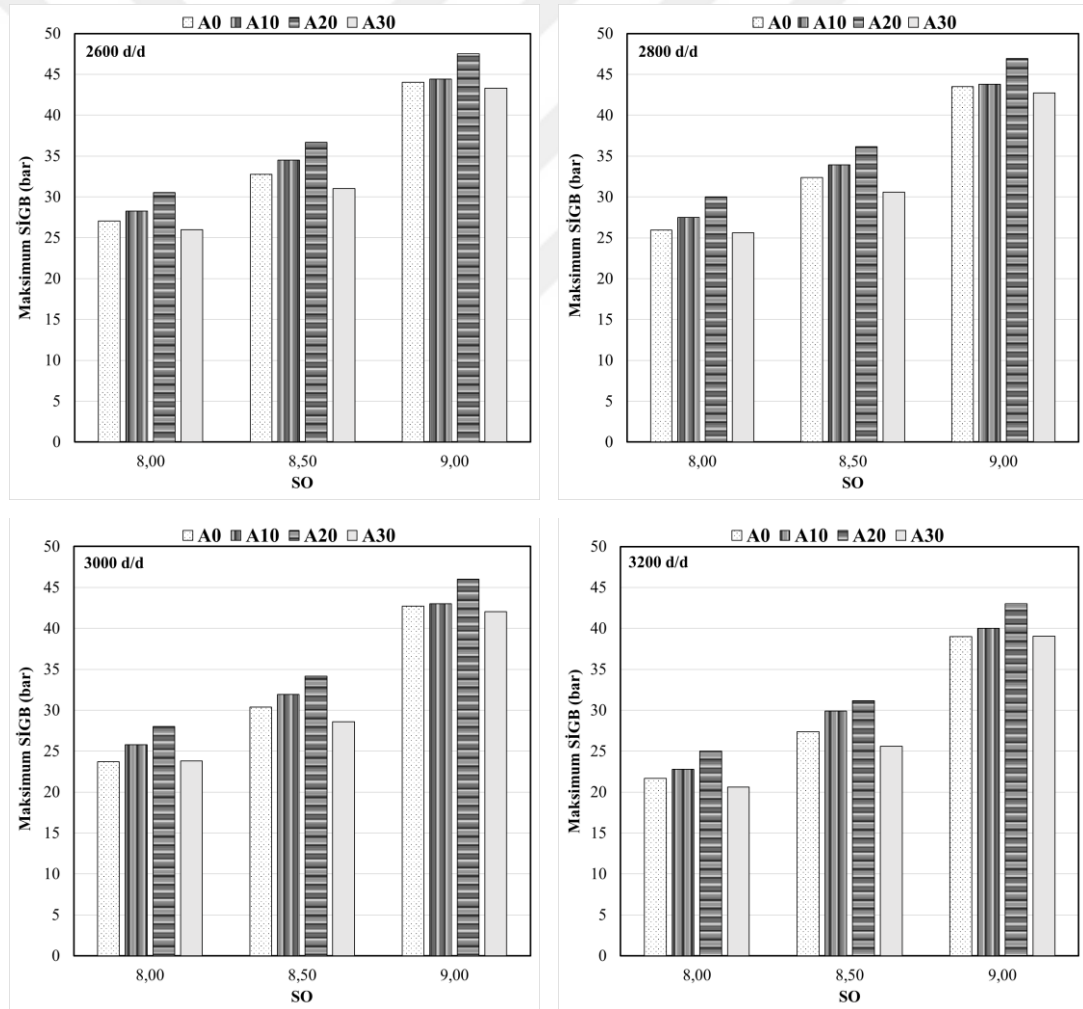


Şekil 6.32. Üç farklı SO'da ve 3200 d/d'da dört farklı yakıt için SİGB değerleri.

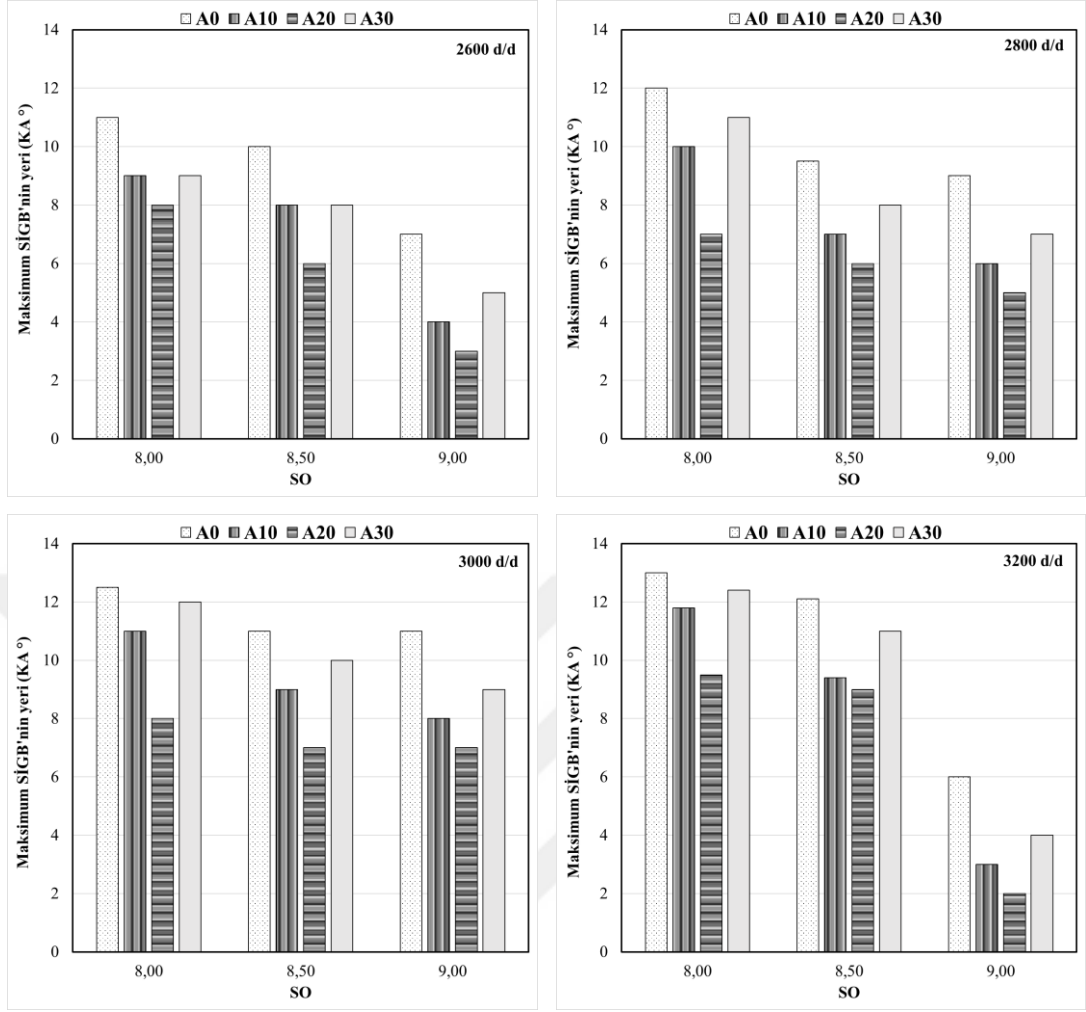
Saf benzin ve i-AA-benzin karışımı yakıtlarla yapılan deneylerden elde edilen maksimum SİGB değerleri ve bu değerlerin oluştuğu KA değerleri SO'ya ve motor devrine bağlı olarak Şekil 6.33 ve Şekil 6.34'da gösterilmektedir. Şekil 6.33 ve Şekil 6.34 incelendiğinde, maksimum SİGB değeri 47,50 bar olarak 9,0:1 SO'da ve 2600 d/d'da A20 yakıtı ile ÜÖN'den 3° sonra elde edilmiştir. Aynı SO ve motor hızında benzinle yapılan çalışmayla kıyaslandığında yaklaşık %7,83 artışı belirlenmiştir. A10 ve A30 yakıtlarına kıyasla ise sırasıyla yaklaşık olarak %7,32 ve %15,87 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir.

2600 d/d'da SO değeri 8,0:1'den 9,0:1'e gelince A0, A10, A20 ve A30 yakıtlarından elde edilen SİGB değeri sırasıyla %62,72, %57,11, %55,53 ve %66,46 oranında artış göstermiştir. Devir sayısının artmasıyla SİGB değerlerindeki artış değişmiş ve A0

yakıtı için bu artış 2800, 3000 ve 3200 d/d’de sırasıyla %67,63, %80,17 ve %79,72 olarak tespit edilmiştir. A10 yakıtı için sırasıyla %59,27, %66,66 ve %75,44 olarak bulunurken, A20 yakıtı için %56,5, %64,28 ve %72 olarak hesaplanmıştır. Son olarak A30 yakıtı için bu artış oranları yine sırasıyla %66,83, %76,69 ve %89,56 olarak bulunmuştur. SO değeri arttıkça tüm yakıt türlerinde ve tüm motor devirlerinde maksimum SİGB değerlerinin oluştuğu KA, ÜÖN’ye yaklaşmıştır. Alkol yakıtların kullanıldığı durumlarda bu yaklaşıma benzinle yapılan çalışmalara göre daha belirgin görülmektedir. Bu durumun adyabatik alev sıcaklığı benzine göre daha düşük olan alkol yakıtların, silindir içerisinde yanma odasından olan ısı kayıplarını azaltarak SİGB’yi artırmasından dolayı meydana geldiği düşünülmektedir.



Şekil 6.33. Üç farklı SO’da ve dört farklı motor devrinde oluşan maksimum SİGB’nin değişimi.



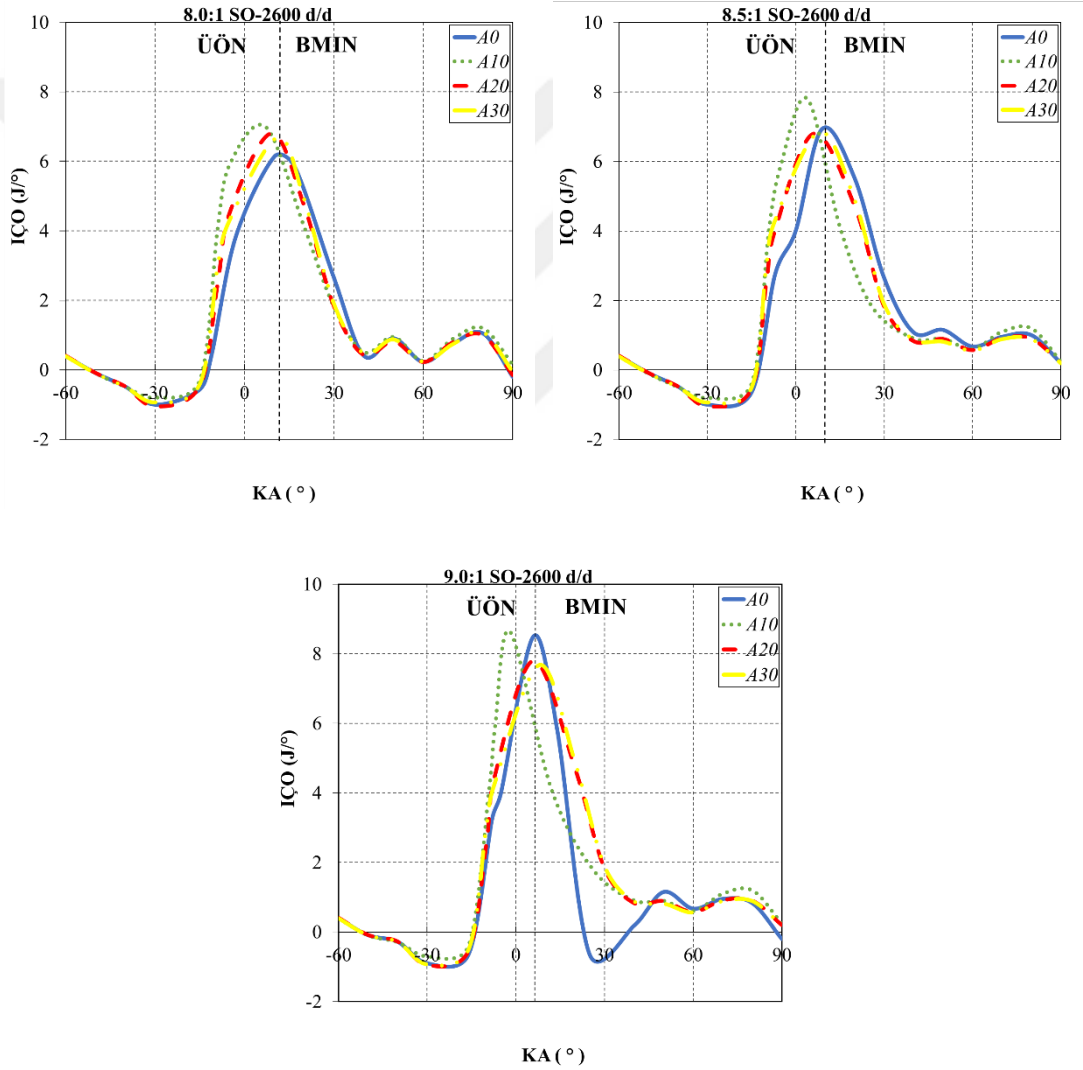
Şekil 6.34. Üç farklı SO’da ve dört farklı motor devrinde oluşan maksimum SİGB’nin olduğu KA°.

6.1.4. Isı Açığa Çıkış Oranı (İÇÖ)

İYM’lerde yanma odası içerisinde çevrimde oluşan ısı değişikliklerinin gösterildiği karakteristiklere İÇÖ denilmektedir. Benzer şartlar altında çalışan değişik motorların performans kıyaslamasının ve çalışma parametrelerinin motorların performansı üzerinde etkilerinin kıyaslanmasında İÇÖ önemli bir kriterdir [136].

Silindir içerisinde bulunan gazın KA cinsinden İÇÖ’sunu gösteren grafikler, yakıtların ve çalışma parametrelerinin motor performansına etkisini gösteren eğrilerdendir. İÇÖ’nun oluşumunda, silindir hacmi, iç basınç, sıcaklık ve yakıtların özellikleri önemli faktörlerdir. Benzin ve benzin-i-AA karışımları ile oluşturulan yakıtlardan elde

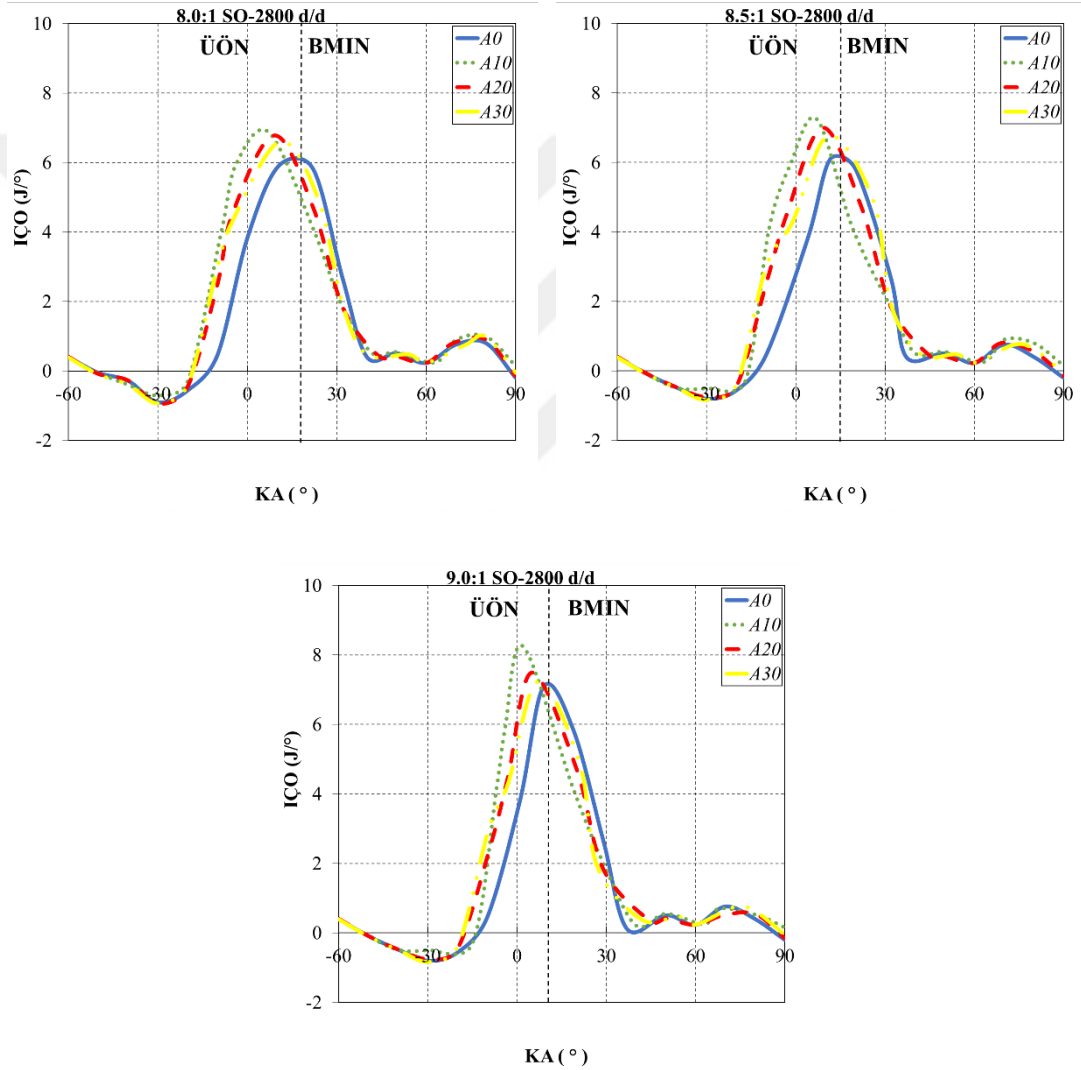
edilen dört farklı motor hızı ve üç farklı SO'daki İÇÖ eğrileri Şekil 6.35, Şekil 6.36, Şekil 6.37 ve Şekil 6.38'de gösterilmektedir. Bütün çalışmalarda, i-AA katkılı yakıtlardan elde edilen maksimum İÇÖ değerlerinin, benzinli çalışma ile elde edilen maksimum ısı noktasından (BMIN) daha önce meydana geldiği belirlenmiştir. İÇÖ'nun negatif değerlere indiği noktalar (-30° KA aralığı), yakıtların buharlaşma esnasında ısı çektiğinin bir göstergesidir. Yakıtların yüksek buharlaşma gizli ısılarına sahip olması, İÇÖ değerlerinin negatif bölgeye inmesine sebep olduğu düşünülmektedir.



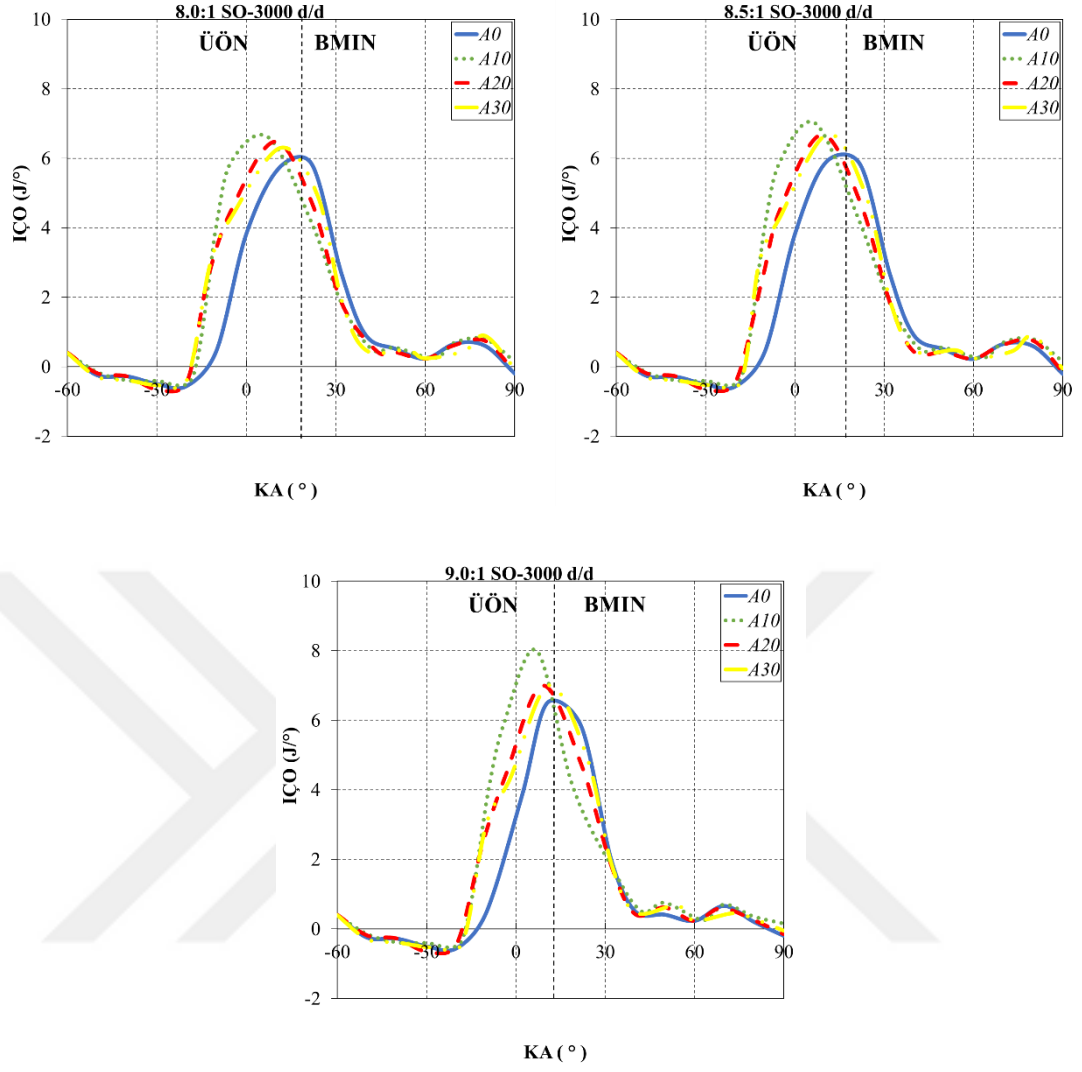
Şekil 6.35. Üç farklı SO'da ve 2600 d/d'da dört farklı yakıt için İÇÖ değişimleri.

İ-AA-benzin karışımları ve benzinle yapılan deneylerden elde edilen İÇÖ'ların maksimum noktaları yanmanın başladığı andaki hacim ve basınçlar farklı olduğu için

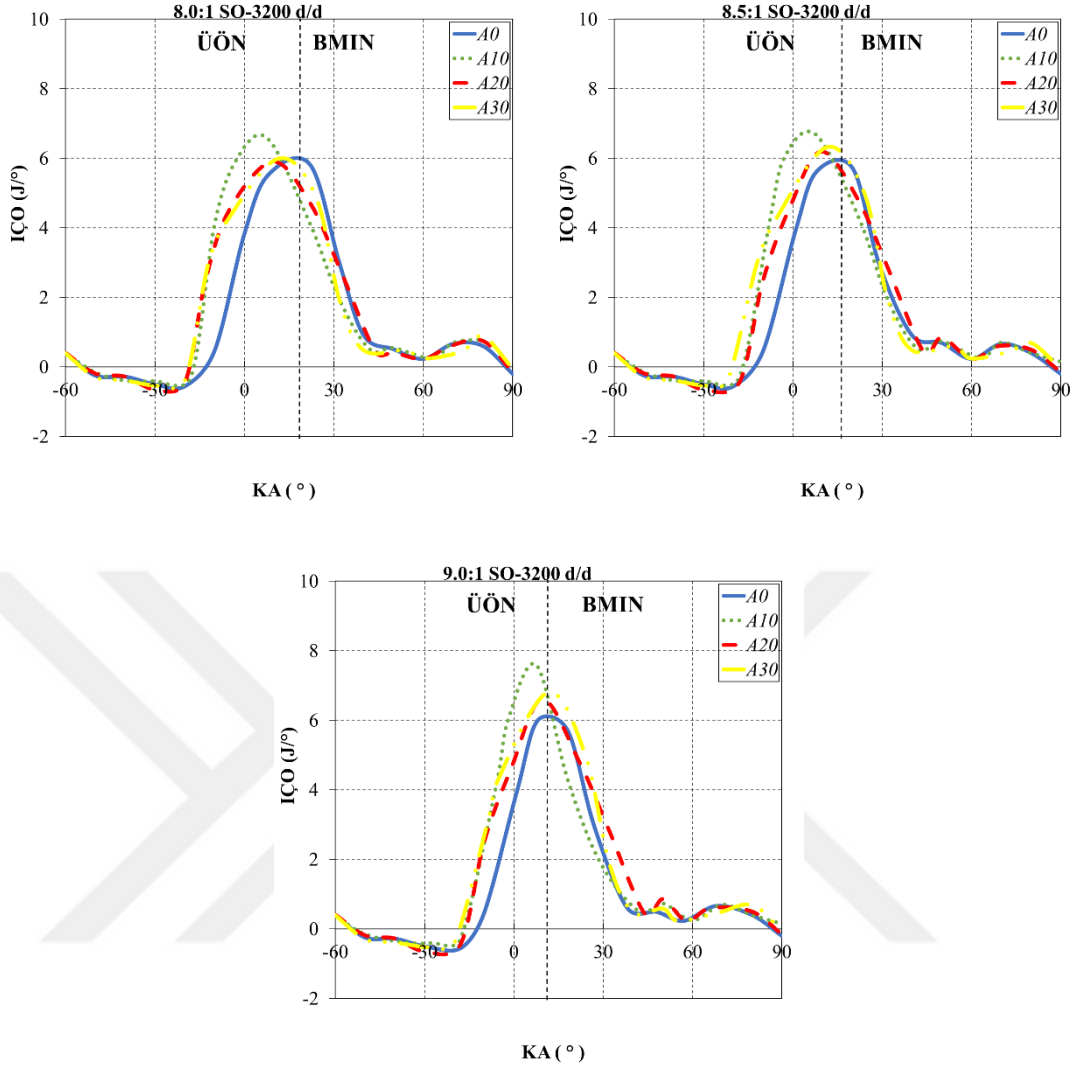
farklı KA’larda oluşmuştur. Bunun sebebi yakıtların farklı yanma hızlarına sahip olmasından dolayı değişkenlik gösteren silindir içi basınçtır. Şekiller incelendiğinde, maksimum İÇÖ değerleri 9,0:1 SO’da ve 2600 d/d’da olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler A0, A10, A20 ve A30 yakıtı için sırasıyla, 8,5 J/KA, 8,64 J/KA, 7,8 J/KA ve 7,68 J/KA olarak bulunmuştur. Alkol yakıtların yanma hızı benzine kıyasla yüksek olduğu için artan SO ile birlikte maksimum İÇÖ değerleri ÜÖN’den önce gerçekleşmiştir.



Şekil 6.36. Üç farklı SO’da ve 2800 d/d’da dört farklı yakıt için İÇÖ değişimleri.



Şekil 6.37. Üç farklı SO'da ve 3000 d/d'da dört farklı yakıt için IÇO değişimleri.



Şekil 6.38. Üç farklı SO’da ve 3200 d/d’da dört farklı yakıt için IÇO değişimleri.

6.2. YSA SONUÇLARI

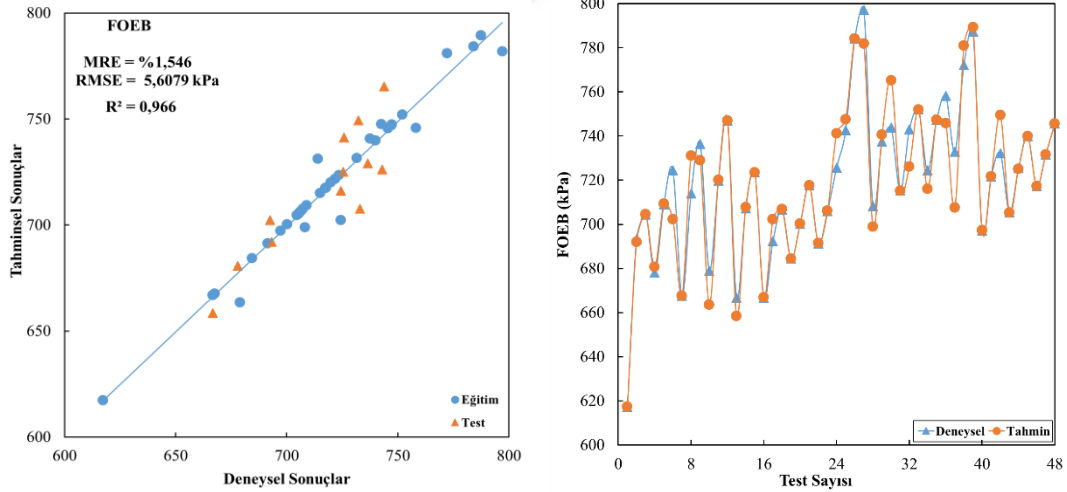
6.2.1. Deneysel ve Tahminsel Sonuçların Kıyaslanması

Bölüm 5.5.4.’te anlatıldığı gibi deneysel veriler kullanılarak oluşturulan YSA’ dan elde edilen tahmin sonuçları ile deneysel sonuçlar kıyaslanmıştır. Giriş parametresi olarak yakıt karışım oranı, motor hızı ve SO seçilirken çıkış parametresi olarak FOEB, FÖYT, FEV, CO, HC ve NO_x seçilmiştir. Kıyaslamalarda yakınsamanın bir göstergesi olan R² değerleri 0,944 ile 0,989 değerleri arasında çıkmıştır ki bu değerler YSA sonuçlarının deneysel sonuçlara son derece yakın çıktığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre deneysel veriler ile YSA uygulamasından elde edilen verilerin iyi bir

uyum gösterdiği ve motor performans parametrelerinin tahmini için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

6.2.1.1. Performans Parametreleri

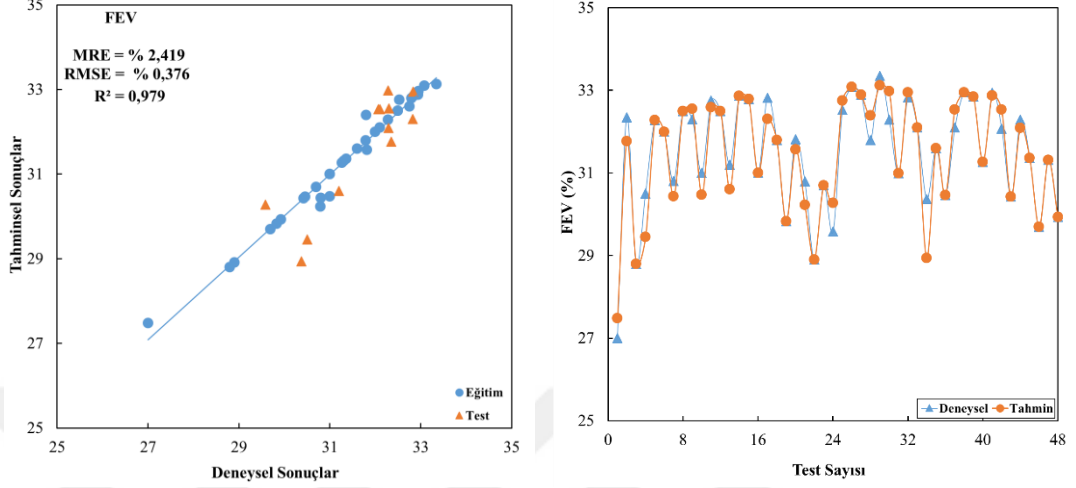
Deneylelerden elde edilen verilerin %75'i YSA'nın eğitimi için, %25'i ise YSA'nın test edilmesi için kullanılmıştır. FOEB için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 6.39'da gösterilmektedir. Şekil 6.39'a bakıldığında FOEB için YSA'dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine çok yakın çıktığı açıkça görülmektedir. Bu yakınlık sayısal bir ifadeye dökülecek olursa, Eş. 5.31 kullanılarak hesaplanan ve yakınsamanın bir ifadesi olan R^2 değeri FOEB için 0,966 olarak bulunmuştur ve bu sonuç deneysel sonuçlarla YSA sonuçlarının son derece yakın çıktığı anlamına gelmektedir. Eş. 5.29 kullanılarak hesaplanan RMSE değeri FOEB için 5,607 kPa olarak elde edilirken Eş. 5.30 kullanılarak hesaplanan MRE değeri %1,546 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.39. FOEB için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

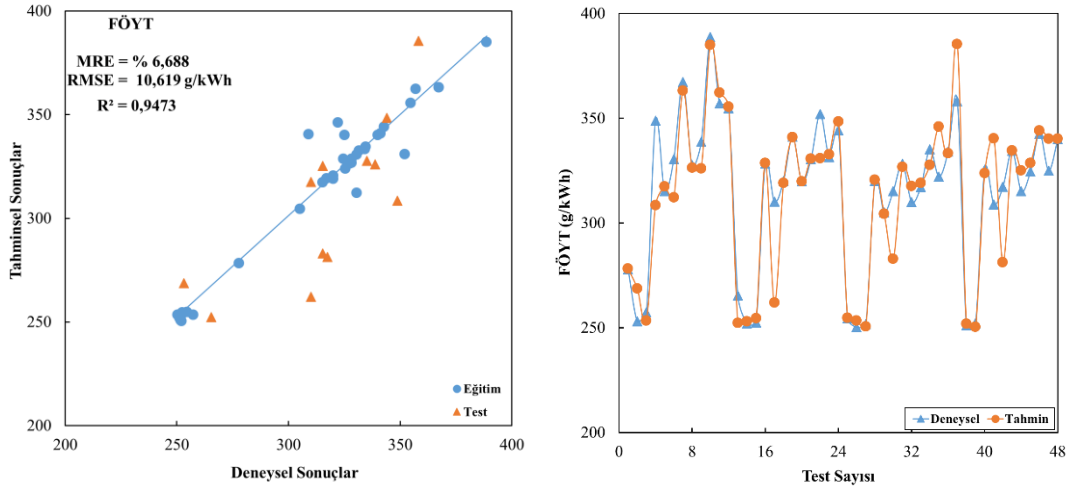
FEV için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 6.40'ta gösterilmektedir. Şekil 6.40'a bakıldığında FEV için YSA'dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu açıkça görülmektedir. R^2 değeri FEV için 0,979 olarak elde edilmiştir ki bu sonuç YSA'dan elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçların birbirine çok yakın olduğunu ifade etmektedir. FEV

için Eş. 5.29 ve Eş. 5.30 kullanılarak hesaplanan RMSE ve MRE değerleri sırasıyla %0,376 ve %2,419 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.40. FEV için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

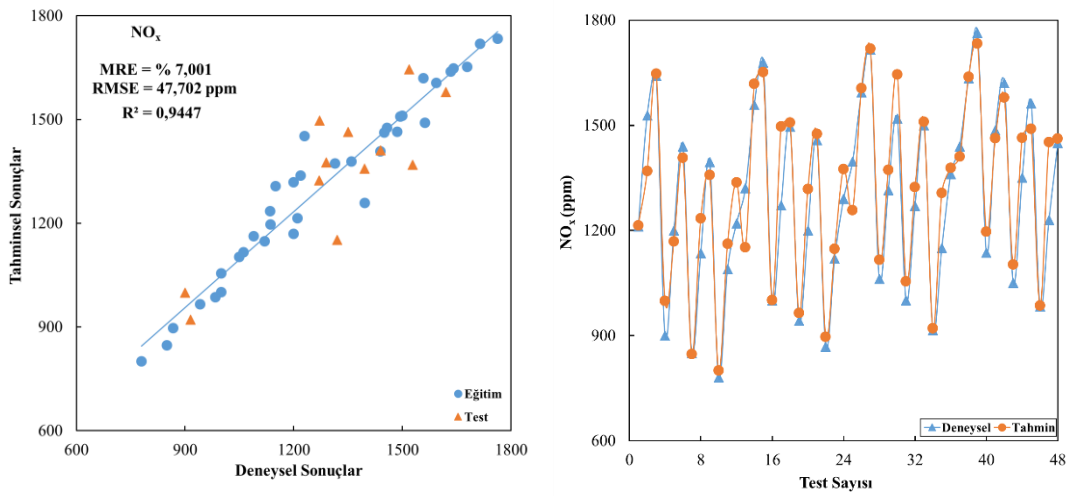
FÖYT için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 6.41’de gösterilmektedir. Şekil 6.41’e bakıldığında FÖYT için YSA’dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine yakın olduğu ancak FOEB ve FEV için elde edilen sonuçlar kadar bir yakınlık olmadığı açıkça görülmektedir. R^2 değeri FÖYT için 0,9473 olarak elde edilmiştir ki bu sonuç YSA’dan elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçların kabul edilebilir düzeyde bir hata ile yakınsadığı söylenebilir. FÖYT için Eş. 5.29 ve Eş. 5.30 kullanılarak hesaplanan RMSE ve MRE değerleri sırasıyla yaklaşık 10,62 g/kWh ve %6,69 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.41. FÖYT için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

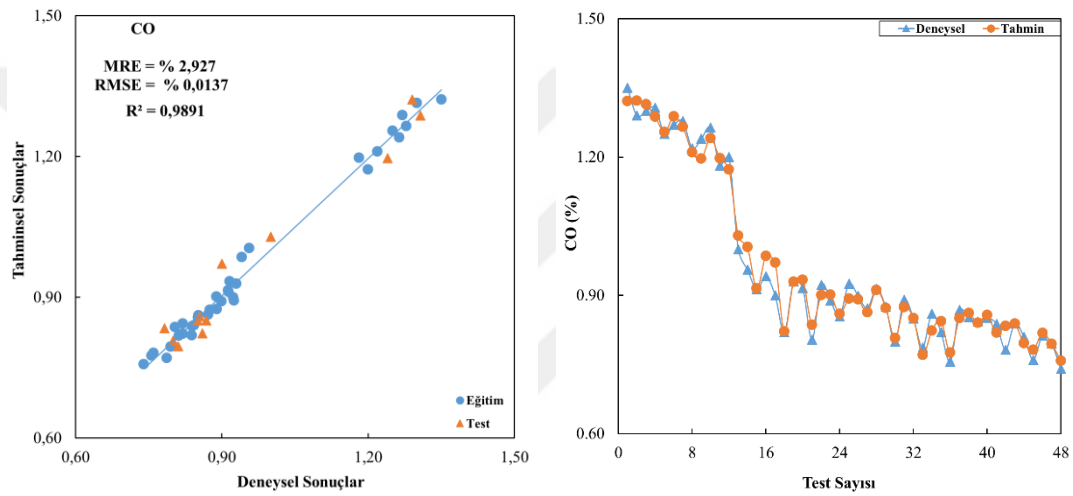
6.2.1.2. Emisyonlar

NO_x için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 6.42’de gösterilmektedir. Şekil 6.42’ye bakıldığında NO_x için YSA’dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği söylenebilir. R^2 değeri NO_x için 0,9447 olarak elde edilmiştir. NO_x için Eş. 5.29 ve Eş. 5.30 kullanılarak hesaplanan RMSE ve MRE değerleri sırasıyla 47,70 ppm ve %7,01 olarak hesaplanmıştır ve sonuçlar kabul edilebilir düzeydedir.



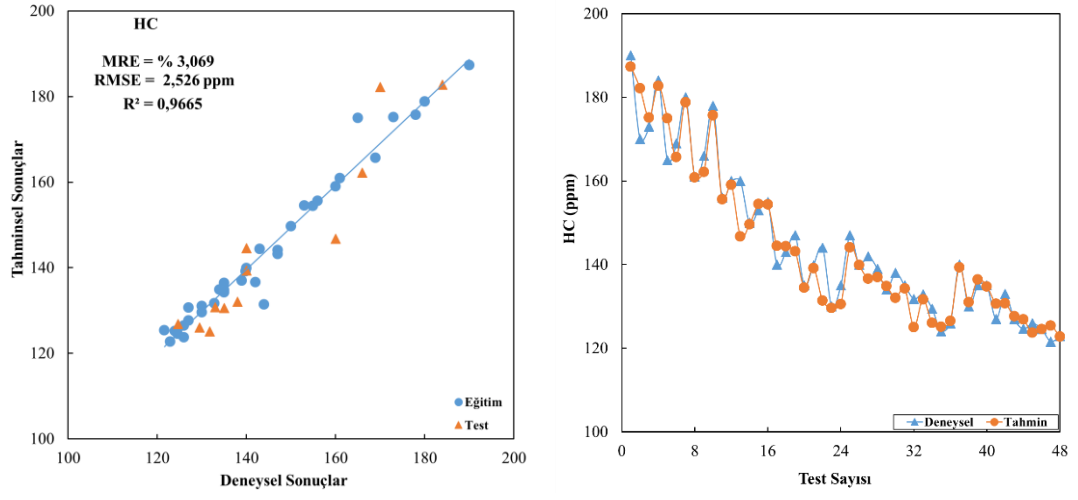
Şekil 6.42. NO_x için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

CO için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 6.43'te gösterilmektedir. Şekil 6.43'e bakıldığında CO için YSA'dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine son derece yakın sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında YSA sonuçları ile deneysel sonuçların birbirine en fazla yakınsadığı sonuçlar CO için yapılan çalışmada elde edilmiştir. R^2 değeri CO için 0,989 olarak elde edilmiştir. CO için Eş. 5.29 ve Eş. 5.30 kullanılarak hesaplanan RMSE ve MRE değerleri sırasıyla yaklaşık %0,014 ve %2,927 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.43. CO için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

HC için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması Şekil 6.44'te gösterilmektedir. Şekil 6.44'e bakıldığında HC için YSA'dan alınan tahminsel sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine çok yakınsadığı açıkça görülmektedir. R^2 değeri HC için 0,9665 olarak bulunmuştur ve bu sonuç deneysel sonuçlarla YSA sonuçlarının son derece yakın çıktığı anlamına gelmektedir. Eş. 5.29 kullanılarak hesaplanan RMSE değeri HC için 2,52 ppm olarak elde edilirken Eş. 5.30 kullanılarak hesaplanan MRE değeri %3,07 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.44. HC için YSA tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada fuzel yağının önemli bir bölümünü teşkil eden i-AA'nın buji ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Bu amaçla dört farklı motor hızında (2600, 2800, 3000 ve 3200 d/d) ve üç farklı SO (8,0:1, 8,5:1 ve 9,0:1)'da saf benzin ve i-AA-benzin karışımları (A10, A20 ve A30) ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen motor performansı, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonu sonuçları irdelenmiştir. Bununla birlikte, deneysel veriler kullanılarak geliştirilen bir YSA uygulamasından elde edilen verilerin deneysel verilerle kıyaslanması ve YSA'nın performansının ve kullanılabilirliğinin değerlendirmesi yapılmıştır.

Elde edilen deneysel verilere göre i-AA-benzin karışımlarının BA motorlarda yapısal bir değişiklik yapılmadan %20 alkol oranına kadar verimli bir şekilde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Maksimum moment değeri 11,826 Nm olarak A20 yakıtı ile 3000 d/d'da ve 9,0:1 SO'da elde edilirken, maksimum güç değeri yine A20 yakıtıyla 3200 d/d'da ve 9,0:1 SO'da 3,89 kW olarak elde edilmiştir. Aynı şartlarda A0 yakıtına kıyasla sırasıyla, yaklaşık 2,03 ve 2,512 oranında artış sağlanmıştır. Testlerde SO'nun 8,0:1'den 9,0:1'a getirilmesiyle FOEB değerleri tüm yakıt türlerinde tüm motor hızlarında artış göstermiştir. Ayrıca alkol oranı arttıkça FOEB değerleri %20 alkol oranına kadar yine artmıştır. Maksimum FOEB değeri 758,21 kPa olarak A20 yakıtı ile 9,0:1 SO ile 3000 d/d'da elde edilmiştir. Aynı SO ve motor hızında A0 yakıtına kıyasla %2,03'lük bir artış sağlanmıştır. SO'nun ve motor devrinin artması ile FEV değerleri de tüm yakıt türlerinde artış göstermiştir. Maksimum FEV değeri A20 yakıtı ile 9,0:1

SO'da ve 2800 d/d' da %30,8 olarak elde edilmiştir. A20 yakıtı ile FEV'deki artış aynı SO ve motor hızında A0 yakıtına kıyasla %2,67 oranında gerçekleşmiştir. A20 yakıtı kullanımında SO'nun 8,0:1'den 9,0:1'a gelmesi ile ortalama %2,76'lık bir artış sağlanmıştır. Alkol kullanımı ile FÖYT değerleri artış göstermiştir. Alkol yakıtlar arasında en düşük FÖYT değeri A0 yakıtı ile 9,0:1 SO'da 2600 d/d'da 268,18 g/kWh olarak elde edilmiştir. A0 yakıtıyla SO'nun 8,0:1'den 9,0:1'a gelmesi ile %2,48 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. A20 yakıtıyla SO'nun 8,0:1'den 9,0:1'a gelmesi ile %8,65 oranında bir azalma gerçekleşmiştir.

Alkol kullanımı ile HC değerleri düşüş göstermiştir. Minimum HC değeri A30 yakıtı ile 121,62 ppm olarak 3200 d/d'da ve 8,5:1 SO'da elde edilmiştir. Aynı SO ve motor hızında A0 yakıtına kıyasla %6,45 oranında azalma sağlanmıştır. CO değerleri de alkol kullanımı ile düşüş göstermiştir. Minimum CO değeri A30 yakıtı ile 9,0:1 SO'da ve 3200 d/d'da %0,74 olarak elde edilmiştir. A0 yakıtına göre %12,22 oranında azalma gerçekleşmiştir. NO_x değerleri SO'nun 8,0:1'den 9,0:1'a gelmesi ile artmış, alkol kullanımı ile ise azalmıştır. Minimum NO_x değeri A30 yakıtıyla 2600 d/d'da 8,0:1 SO'da 780 ppm olarak elde edilmiştir. A0 yakıtına kıyasla %35,6 oranında azalma gerçekleşmiştir.

Genel olarak tüm SO değerlerinde i-AA-benzin karışimli yakıtlarla yapılan deneyler sonucunda elde edilen SİGB değerlerinin benzine kıyasla daha erken artmaya başladığı ve daha yüksek değerlere çıktığı görülmüştür. İ-AA'lı yakıtlar kendi içerisinde kıyaslandığında, tüm SO ve motor devri değerlerinde A20 yakıtı ile elde edilen SİGB değerinin A10'ye göre ortalama %7,32 oranında fazla olduğu sonucu görülmüştür. A20'dan elde edilen SİGB'nin A30'a kıyasla ise yaklaşık %15,87 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte tüm SO değerlerinde i-AA-benzin karışimli yakıtlarla yapılan deneyler sonucunda elde edilen İÇO değerlerinin benzine kıyasla arttığı gözlemlenmiştir ve maksimum İÇO değeri 9,0:1 SO'da ve 2600 d/d'da A10 yakıtının kullanımı ile 8,64 J/KA olarak elde edilmiştir. A10 yakıtıyla aynı SO ve motor devrinde A0 yakıtlı çalışmayla elde edilen değere kıyasla %1,65 değerinde bir artış görülmüştür.

Deneysel verilerle oluşturulan YSA modelinden elde edilen sonuçlara bakıldığında deneysel verilerle iyi bir uyum gösterdiği görülmektedir. Motor performans parametreleri için YSA'dan elde edilen sonuçlardaki MRE değerleri FOEB, FÖYT ve FEV için sırasıyla %1,546, %2,419 ve %6,688 olarak bulunmuştur. Bu oranların birim bazında değerlerini gösteren RMSE ise yine sırasıyla 5,608 kPa, %0,376 ve 10,619 g/kWh olarak hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlara yakınsamanın ölçütlerinden biri olan R² değerleri ise 0,966, 0,979 ve 0,947 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen değerler YSA uygulaması ile bulunan sonuçların hata oranlarının kabul edilebilir düzeyde olduğunu ve motor performans parametrelerinin tahmini için YSA'nın kullanılabilirliğini göstermektedir.

Egzoz emisyonunun tahmin sonuçlarına bakıldığında ise MRE değerleri HC, CO ve NO_x için sırasıyla %3,069, %2,927 ve %7,01 olarak bulunurken, RMSE değerleri 2,526 ppm, %0,014 ve 47,702 ppm olarak tespit edilmiştir. R² değerleri ise 0,9665, %0,989 ve %0,9447 olarak bulunmuştur. Motor performans parametrelerinde olduğu gibi egzoz emisyonları değerlerinin tahmininde de hata oranları kabul edilebilir düzeyde elde edilmiştir. Genel olarak motor performans ve emisyonlarının tahmini için YSA'nın uygulanabilir bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

7.2. ÖNERİLER

Deneysel verilere bakıldığında; SO'nun artması ile genel olarak performans ve emisyonlarda iyileşme sağlanmıştır. Bu yüzden BA motorlarda i-AA kullanımında daha iyi bir verim elde edilebilmesi için SO'nun artırılması gerekmektedir.

Kullanılan yakıt türüne göre ateşleme avansının değiştirilmesiyle motordan daha fazla verim elde edilebilir.

Yapılan deneylerde, alkol yakıtlardan kaynaklanan herhangi bir korozif durum gözlemlenmemiştir. Motor testlerinin aralıklı olarak yapılmasının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı, alkol yakıtların uzun süreli kullanımını konu alan ve korozif etkilerini belirlemeye yönelik deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir.

i-AA'nın oksijen içermesinden dolayı, yakıt sistemlerinde korozyona sebep olma ihtimali çok yüksektir. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldıracak korozyondan korunma yöntemleri uygulanmalı veya ona yönelik malzeme seçimi yapılmalıdır. Ayrıca alkol yakıtlı çalışmalarda görülen soğukta ilk çalışma problemini engelleyecek yöntemler de araştırılmalıdır.

Yüksek SO'larda motor yakıtı olarak i-AA kullanımında, krank-biyel mekanizmasında oluşan mekanik zorlamaların teorik olarak incelenmesi gerekmektedir.

Motor performansı ve egzoz emisyonu açısından hem de tüketicilerin yakıtı harcadığı maliyet bakımından bitkisel esaslı yakıt kullanımı, içerisinde bulunduğumuz pahalı enerji döneminde oldukça önem kazanmıştır. Bu sebepten dolayı tarımsal alanı geniş olan ülkemizde i-AA kullanımına teşvik verilmeli ve motorlarda yakıt olarak kullanımı hakkında gerekli yasal düzenlemeler yapılmalıdır.

YSA gibi yazılım tabanlı programlar otomotiv endüstrisinde daha fazla kullanılmalıdır. Maliyetli ve zaman alıcı deneysel yöntemler yerine YSA gibi programların kullanılması hem daha ucuz hem de daha pratik olacaktır. Alternatif yakıt kullanılan motorlarda, motorun yük durumuna göre yakıt karışımını kendisi ayarlayacak şekilde bir yazılım aracılığıyla YSA uygulaması geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Çolak, A., "Buji Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Etanol Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi.", Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, (2006).
2. Güvenç, A., Aydoğan, Ö., Kapucu, N., and Mehmetoğlu, Ü., "Fuzel Yağından İzooamil Asetat Üretimi", **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt**, 22 (4): 801–808 (2007).
3. Yilmaz, N., Atmanli, A., and Vigil, F. M., "Quaternary blends of diesel, biodiesel, higher alcohols and vegetable oil in a compression ignition engine", **Fuel**, 212: 462–469 (2018).
4. Vinod Babu, V. B. M., Madhu Murthy, M. M. K., and Amba Prasad Rao, G., "Butanol and pentanol: The promising biofuels for CI engines – A review", **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, 78: 1068–1088 (2017).
5. Ferreira, M. C., Meirelles, A. J. A., and Batista, E. A. C., "Study of the fusel oil distillation process", **Industrial And Engineering Chemistry Research**, 52 (6): 2336–2351 (2013).
6. Mehra, R. K., Duan, H., Luo, S., Rao, A., and Ma, F., "Experimental And Artificial Neural Network (ANN) Study Of Hydrogen Enriched Compressed Natural Gas (HCNG) Engine Under Various Ignition Timings And Excess Air Ratios", **Applied Energy**, 228: 736–754 (2018).
7. Çay, Y., Korkmaz, I., Çiçek, A., and Kara, F., "Prediction of engine performance and exhaust emissions for gasoline and methanol using artificial neural network", **Energy**, 50 (1): 177–186 (2013).
8. Yang, Y., Dec, J. E., Dronniou, N., and Simmons, B., "Characteristics of Isopentanol as a Fuel for HCCI Engines", **SAE International Journal Of Fuels And Lubricants**, 3 (2): 725–741 (2010).
9. Tsujimura, T., Pitz, W. J., Yang, Y., and Dec, J. E., "Detailed Kinetic Modeling of HCCI Combustion with Isopentanol", **SAE International Journal Of Fuels And Lubricants**, 4 (2): 257–270 (2011).
10. Dayma, G., Togbé, C., and Dagaut, P., "Experimental and detailed kinetic modeling study of isoamyl alcohol (isopentanol) oxidation in a jet-stirred reactor at elevated pressure", **Energy And Fuels**, 25 (11): 4986–4998 (2011).
11. Tsujimura, T., Pitz, W. J., Gillespie, F., Curran, H. J., Weber, B. W., Zhang,

- Y., and Sung, C. J., "Development of isopentanol reaction mechanism reproducing autoignition character at high and low temperatures", *Energy And Fuels*, 26 (8): 4871–4886 (2012).
12. Welz, O., Zádor, J., Savee, J. D., Ng, M. Y., Meloni, G., Fernandes, R. X., Sheps, L., Simmons, B. A., Lee, T. S., Osborn, D. L., and Taatjes, C. A., "Low-temperature combustion chemistry of biofuels: Pathways in the initial low-temperature (550 K-750 K) oxidation chemistry of isopentanol", *Physical Chemistry Chemical Physics*, 14 (9): 3112–3127 (2012).
 13. Lucassen, A., Warkentin, J., Hansen, N., Park, S., and Sarathy, S. M., "Detailed Analysis of iso- Pentanol Combustion Chemistry in Flames", *8th U. S. National Combustion Meeting*, 19–22 (2013).
 14. Tang, C., Wei, L., Man, X., Zhang, J., Huang, Z., and Law, C. K., "High temperature ignition delay times of C5 primary alcohols", *Combustion And Flame*, 160 (3): 520–529 (2013).
 15. Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Buttsworth, D. R., Yusaf, T. F., and Faizollahnejad, M., "Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network", *Applied Energy*, 86 (5): 630–639 (2009).
 16. Rezaei, J., Shahbakhti, M., Bahri, B., and Aziz, A. A., "Performance prediction of HCCI engines with oxygenated fuels using artificial neural networks", *Applied Energy*, 138: 460–473 (2015).
 17. Herawan, S. G., Talib, K., and Putra, A., "Prediction of heat energy from the naturally aspirated internal combustion engine exhaust gas using artificial neural network", *Procedia Computer Science*, 135: 267–274 (2018).
 18. Soufi, M. D., Ghobadian, B., Najafi, G., Sabzemaleki, M., and Jaliliantabar, F., "Performance and Exhaust Emissions of a SI Two-stroke Engine with Biolubricants Using Artificial Neural Network", *Energy Procedia*, 75: 3–9 (2015).
 19. M. Kiani Deh Kiani, B. Ghobadian, T., Tavakoli, A. M., and Nikbakht, G. N., "Application of artificial neural networks for the prediction of performance and exhaust emissions in SI engine using ethanol- gasoline blends", *Energy*, 35: 65–69 (2010).
 20. Nwifo, O. C., Okwu, M. O., Nwaiwu, C. F., Igbokwe, J. O., Nwafor, O. M. I., and Anyanwu, E. E., "The Application of Artificial Neural Network in Prediction of the Performance of Spark Ignition Engine Running on Ethanol-Petrol Blends", *International Journal Of Engineering And Technologies*, 12: 15–31 (2017).
 21. Liu, Z., Zuo, Q., Wu, G., and Li, Y., "An artificial neural network developed for predicting of performance and emissions of a spark ignition engine fueled

- with butanol–gasoline blends", *Advances In Mechanical Engineering*, 10 (1): 1–11 (2018).
22. Yıldırım, S., "Dünyada ve Türkiye’de petrol", (2003).
 23. Green, D. W. and Perry, R. H., "Perry’s Chemical Engineers’ Handbook, Eighth Edition", *McGraw-Hill*, New York, (2008).
 24. Karaosmanoğlu, F., "Alkollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1990).
 25. Olah, G. A., "Beyond Oil and Gas : The Methanol Economy", *Alternative Energy Sources*, 44: 2636–2639 (2005).
 26. Internet: Department of Energy, U. S., "Alternative Fuels Data Center", https://www.afdc.energy.gov/fuels/emerging_methanol.html .
 27. Bromberg, L. and Cheng, W. K., "Methanol as an alternative transportation fuel in the US: Options for sustainable and/or energy-secure transportation", Cambridge, (2010).
 28. Yanju, W., Shenghua, L., Hongsong, L., Rui, Y., Jie, L., and Ying, W., "Effects of Methanol / Gasoline Blends on a Spark Ignition Engine Performance and Emissions", *Energy And Fuels*, 22 (9): 1254–1259 (2008).
 29. Liu, S., Cuty Clemente, E. R., Hu, T., and Wei, Y., "Study Of Spark İgnition Engine Fueled With Methanol/Gasoline Fuel Blends", *Applied Thermal Engineering*, 27 (11–12): 1904–1910 (2007).
 30. Internet: Tüpraş, "Ürün Spesifikasyonu Kurşunsuz Benzin 95 Oktan", <https://www.tupras.com.tr/> .
 31. Chansauria, P. and Mandloi, R. K., "Effects of Ethanol Blends on Performance of Spark Ignition Engine-A Review", *Materials Today: Proceedings*, 5 (2): 4066–4077 (2018).
 32. Sümer, M., "Buji Ateşlemeli Motorlarda Etanol Kullanımı, Performans Ve Maliyet Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1999).
 33. Pana, C., Negurescu, N., Popa, M. G., Cernat, A., and Soare, D., "Aspects Of The Use Of Ethanol İn Spark İgnition Engine", *JSAE/SAE International Fuels And Lubricants Meeting*, 01: 2010–2016 (2007).
 34. Internet: Department of Energy, U. S., "Biyoyakıt Özellikleri", http://permanent.access.gpo.gov/websites/www.ott.doe.gov/%0Abiofuels/advanced_bioethanol.html .

35. Bayraktar, H., "Experimental And Theoretical Investigation Of Using Gasoline-Ethanol Blends In Spark-Ignition Engines", *Renew. Energy*, 30: 1733–1747 (2005).
36. Najjar, Y. S. H., "Alternative Fuels for Spark Ignition Engines", *The Open Fuels & Energy Science Journal*, 2 (1): 1–9 (2009).
37. Lee, S. Y., Park, J. H., Jang, S. H., Nielsen, L. K., Kim, J., and Jung, K. S., "Fermentative Butanol Production by Clostridia", 101 (2): 209–228 (2008).
38. Internet: MERCK, "Izobutanol Safety Catalog", http://www.merckmillipore.com/TR/tr/product/Isobutanol,MDA_CHEM-100984.
39. Jin, C., Yao, M., Liu, H., Lee, C. F., and Ji, J., "Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 15 (8): 4080–4106 (2011).
40. Shchukarev, A., Rautio, A., Kordas, K., Kumar, N., and Salmi, T., "Continuous liquid-phase valorization of bio-ethanol towards bio-butanol over metal modified alumina", *Renew. Energy*, 74: 369–378 (2015).
41. Durre, P., "Fermentative butanol production: bulk chemical and biofuel.", *The New York Academy Of Sciences*, 362: 353–362 (2008).
42. Gravalos, I., Moshou, D., Gialamas, T., Xyradakis, P., Kateris, D., and Tsiropoulos, Z., "Emissions characteristics of spark ignition engine operating on lower e higher molecular mass alcohol blended gasoline fuels", *Renewable Energy*, 50: 27–32 (2013).
43. Singh, S. B., Dhar, A., and Agarwal, A. K., "Technical feasibility study of butanol e gasoline blends for powering medium-duty transportation spark ignition engine", *Renewable Energy*, 76: 706–716 (2015).
44. Merola, S. S., Tornatore, C., Marchitto, L., Valentino, G., and Corcione, F. E., "Experimental investigations of butanol-gasoline blends effects on the combustion process in a SI engine", *International Journal Of Energy And Environmental Engineering*, (January): (2012).
45. Szwaja, S. and Naber, J. D., "Combustion of n -butanol in a spark-ignition IC engine", *Fuel*, 89 (7): 1573–1582 (2010).
46. Al-Hasan, M., "Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission", *Energy Conversion And Management*, 44 (9): 1547–1561 (2003).
47. Ültanır, M. Ö., "Temiz Enerji Olarak Hidrojen Yakıtı ve Teknolojisi", *Türkiye 7. Enerji Kongresi*, (1997).

48. Vorst, W. and Finegold, D. V., "Automotive Hydrogen Engines And Onboard Storage Methods", *Hydrogen Energy Fundamentals*, (1975).
49. Acaroğlu, M., "Biyokütle Enerjisi Üretimi ve Uygulamaları", Konya, (1998).
50. Acaroğlu, M., "Alternatif Enerji Kaynakları", *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, (2003).
51. Kaya, M., "LPG Sektörü – Taşıtlarda LPG Dönüşüm Sistemleri ve Karşılaşılan Problemler", Yüksek Lisans Tezi, *SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2002).
52. Yılmaz, N., "LPG' li Taşıtlarda Güvenlik Sorunları ve Güvenlik Sisteminin İyileştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2004).
53. S., P. M. and R., "Investigations on a diesel engine fuelled with biodiesel blends and diethyl ether as an additive", *Indian Journal Of Science And Technology*, 5 (2): 166–173 (2009).
54. Uslu, S., "Düşük Güçlü Bir Dizel Motorda Dietil Eter Kullanılmasının Motor Parametrelerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2015).
55. Varışlı, D., "Kinetic Studies For Dimethyl Ether And Diethyl Ether Production", Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2007).
56. Lee, H. P. S. and C. S., "Applicability of dimethyl ether (DME) in a compression ignition engine as an alternative fuel", *Energy Conversion And Management*, 86: 848–863 (2014).
57. Çelik, M. B., "Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1999).
58. Yaman, H., "Benzinli Motorlarda Egzoz Emisyonlarına Etki Eden Faktörlerin Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmez Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, (2004).
59. Balki, M. K., "Metanol Ve Etanolün Buji Ateşlemeli Bir Motora Uygulanmasında Performans Ve Emisyon Parametrelerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2013).
60. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C., "İçten Yanmalı Motorlar", *Birsen Yayınevi*, (1999).
61. Celik, M. B., "Performance improvement and emission reduction in small engine with low efficiency", *Journal Of The Energy Institute*, (2007).

62. Ergeneman, M., Kutlar, A., Mutlu, M., Arslan, H., "Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler", *Birsen Yayınevi*, (1998).
63. Sayın, C., "An experimental investigation of the influence higher octane number than engine requirement on engine performance and emissions.", *Teknoloji Dergisi*, 7 (3): 479–487 (2004).
64. Deniz, T., "Buji İle Ateşlemeli Motorda Sıkıştırma Oranı Değişikliğinin Motor Performansı Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2009).
65. Erduranlı, P., Sekmen, Y., and Çınar, C., "Buji İle Ateşlemeli Değişken Sıkıştırma Oranlı Motorların Egzoz Emisyonları Açısından İncelenmesi", *Selçuk-Teknik Online Dergisi*, 2 (1): (2001).
66. Özer Aydın, Ramazan Köse, N. C., "Benzinli Motorlarda Egzost Emisyonlarını Azaltma Kriterleri", *Dumlupınar Üniversitesi-Fen Bilimleri Dergisi*, 1: (1999).
67. Salman, S., "Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Yanma Hızının Performansa Etkisi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1996).
68. Calam, A., "Fuzel Yağının Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Yakıt Karışımı Olarak Kullanılmasının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2010).
69. Demirkul, M., "Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Benzin, Etanol Ve Fuzel Yağı Kullanılarak Hazırlanan Karışımların Motor Performansı Ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2015).
70. Heywood, J. B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", *McGraw-Hill*, New York, 676-682 (2000).
71. Ali Sürmen, M. İhsan Karamangil, R. A., "Motor Termodinamiği", (2004).
72. Atkins, R. D., "An Introduction to Engine Testing and Development", *SAE International*, (2009).
73. Topgül, T., "Buji Ateşlemeli Motorlarda Etil Alkol-Benzin Karışımı Kullanımında Optimum Çalışma Parametrelerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006).
74. Doğan, O., "Atık Taşıtların Üretilen Piroliz Yağının Dizel Motorda Kullanımının Performans, Emisyon Ve Yanma Karakteristiklerine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen*

Bilimleri Enstitüsü, (2012).

75. Öz, İ.H., Borat, O., Sürmen, A., "Internal Combustion Engines", *Alfa Basım Yayın Dağıtım Ltd.*, İstanbul, Türkiye, (2003).
76. M. R. Connor, and J. C. L., "Engineering of an Escherichia coli strain for the production of 3 methyl-1-butanol", *Appl. Environ. Microb.*, (74): 5769–5775 (2008).
77. Zumbo, P., "Phenol-chloroform Extraction", (2014).
78. Green, M. and Sambrook, J., "Purification of Nucleic Acids: Extraction with Phenol-Chloroform", *The New York Academy Of Sciences*, (2006).
79. Montoya, N. R., Trujillo, C. A., and Gil, I., "Fusel Oil Separation Process", *Alternative Feedstocks For Energy And Chemicals*, (2011).
80. Cardoso, D., "Analysis of the alcohols , esters and carbonyl compounds in fusel oil samples", *Quimica Nova*, 24 (1): 10–12 (2001).
81. Solmaz, H., "Combustion, performance and emission characteristics of fusel oil in a spark ignition engine", *Fuel Processing Technology*, 133: 20–28 (2015).
82. Özer, S., "Pirina Yağından Fusel Yağı İle Biyodizel Üretimi Ve Dizel Motor Performans Ve Emisyonlarına Etkisi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2015).
83. Şimşek, S., "Fusel Yağı Özelliklerinin İyileştirilmesi Ve Buji Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2018).
84. Calam, A., İçingür, Y., Solmaz, H., and Yamık, H., "A Comparison of Engine Performance and the Emission of Fusel Oil and Gasoline Mixtures at Different Ignition Timings", *International Journal Of Green Energy*, 12 (8): 767–772 (2015).
85. İçingür, Y. and Calam, A., "Fusel Yağı Benzin Karışımlarının Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Performans Ve Emisyonlara Etkisi", 27 (1): 143–149 (2012).
86. Erten, H. and Canbaş, A., "Alkol Fermantasyonu Sırasında Oluşan Aroma Maddeleri", *Gıda*, 6 (28): 615–619 (2003).
87. D. R. Berry, J. C. S., "Alcoholic Beverage Fermentations", Fermented Beverage Production, *Springer, Boston, MA*, New York, 25–39 (2003).
88. Jingnan Lu, Christopher J. Brigham, Claudia S. Gai, A. J. S., "Studies on the production of branched-chain alcohols in engineered *Ralstonia eutropha*",

- Bioenergy And Biofuels*, (96): 283–297 (2012).
89. Michael R. Connor, Anthony F. Cann, J. C. L., "3-Methyl-1-butanol production in *Escherichia coli*: random mutagenesis and two-phase fermentation", *Applied Microbial And Cell Physiology*, (86): 1155–1164 (2010).
 90. Sharif, A., "Selective Additives for Improvement of Gasoline Octane Number", *Tikrit Journal Of Engineering Sciences*, 17 (2): 22–35 (2010).
 91. Masum, B. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Rizwanul Fattah, I. M., M Palash, S., and Abedin, M. J., "Effect of ethanol-gasoline blend on NO_x emission in SI engine", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 24: 209–222 (2013).
 92. Salman, M.S., Sümer, M., "Effect of using ethanol and ethanol-gasoline mixture on engine performance in spark ignition engines.", *Journal Of Polytechnic*, 2 (2): 27–35 (1999).
 93. Internet: Shell Türkiye, "Benzin Satış Fiyatı", <http://www.turkiyeshell.com/pompatest/History.aspx> .
 94. Internet: TÜRKŞEKER, "Fuzel Yağı Ücreti", <http://www.turkseker.gov.tr/Fiyatlar.aspx> .
 95. Öztemel, E., "Yapay Sinir Ağları", *Papatya Yayıncılık*, (2012).
 96. Hecht-Nielsen, R., "Neurocomputing", *Addison-Wesley*, New Jersey, (1990).
 97. Marquardt, C. and Zenner, H., "Lifetime Calculation Under Variable Amplitude Loading With The Application Of Artificial Neural Networks", *International Journal Of Fatigue*, 27 (8): 920–927 (2005).
 98. Jain, A. K., Mao, J., and Mohiuddin, K. M., "Artificial Neural Networks: A Tutorial", *Computer*, 29 (3): 31–44 (1996).
 99. Abdalla, J. A. and Hawileh, R., "Modeling And Simulation Of Low-Cycle Fatigue Life Of Steel Reinforcing Bars Using Artificial Neural Network", *Journal Of The Franklin Institute*, 348 (7): 1393–1403 (2011).
 100. Ersoy, E. and Karal, Ö., "Artificial Neural Networks And Human Brain", *Journal Of The Human And Social Science Researches*, 1 (2): (2012).
 101. Kasabov, N. K., "Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering (Computational Intelligence)", *The MIT Press*, (1996).
 102. Darnell, J. E., Harvey, L., Arnold, B., Lawrence, Z., and Matsudaira, P., "Molecular Cell Biology 4th Ed", *W.H.Freeman & Co Ltd*, New York, (1999).
 103. Yazgan, E. and Korürek, M., "Tıp Elektroniği", *İstanbul Teknik Üniversitesi*,

- İstanbul, (1996).
104. Yurtoğlu, H., "Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği", Uzmanlık Tezi, ***Ekonomik Modeller Ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü***, (2005).
 105. Levitan, I. B. and Kaczmarek, L. K., "The Neuron: Cell and Molecular Biology", ***Oxford University Press***, New York, (2015).
 106. Tosun, E., Aydın, K., and Bilgili, M., "Comparison of linear regression and artificial neural network model of a diesel engine fueled with biodiesel-alcohol mixtures", ***Alexandria Engineering Journal***, 55 (4): 3081–3089 (2016).
 107. Dede, G., "Yapay Sinir Ağları İle Konuşma Tanıma", Yüksek Lisans Tezi, ***Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2008).
 108. Sağıroğlu, ř., Beşdok, E., and Erler, M., "Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları", ***Ufuk Yayıncılık***, Kayseri, 32-35, 39, 43 (2003).
 109. Bolat, S., "Yapay Sinir Ağı ile Elektrot ve İzolatör Biçim Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, ***İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, (2003).
 110. Altun, H., Eminoğlu, U., and Tezekici, B. S., "Mlp Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Sürecinin Aktivasyon Fonksiyonu Ve İstatiksel Değişim Gösteren Giriş Verilerine Bağımlılığı", (5): (2017).
 111. Ceylan, G., "Yapay Sinir Ağları ile Kısa Dönem Yük Tahmini", Yüksek Lisans Tezi, ***İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, (2004).
 112. Serhatlıoğlu, S. and Hardalaç, F., "Yapay Zeka Teknikleri ve Radyolojiye Uygulanması", ***Fırat Tıp Dergisi***, 1 (14): 01–06 (2009).
 113. Taşova, O., "Yapay Sinir Ağları İle Yüz Tanıma", ***Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İzmir, (2011).
 114. Saygılı, Y. S., "İstatistiksel Yöntemlerle Yapay Sinir Ağları Uygulamalarının Karşılaştırılması: Milli Savunma Bakanlığı Bütçesinin Öngörülemesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2008).
 115. Shivakumar, Srinivasa Pai, P., and Shrinivasa Rao, B. R., "Artificial Neural Network based prediction of performance and emission characteristics of a variable compression ratio CI engine using WCO as a biodiesel at different injection timings", ***Applied Energy***, 88 (7): 2344–2354 (2011).
 116. Demetđül, M. and Yazıcıoğlu, O., "Geri Yayılım Algoritması Kullanılarak Yapay Sinir Ağı İle Pnömatik Sistemde Arıza Sınıflandırılması", ***Teknoloji***, 2 (9): 101–109 (2006).

117. Sayin, C., Ertunc, H. M., Hosoz, M., Kilicaslan, I., and Canakci, M., "Performance and exhaust emissions of a gasoline engine using artificial neural network", *Applied Thermal Engineering*, 27 (1): 46–54 (2007).
118. Sözen, A. and Erol Arcaklioğlu, "Solar potential in Turkey", *Applied Energy*, 80 (1): 35–45 (2005).
119. Borat, O., Sürmen, A., Balcı, M., "İçten Yanmalı Motorlar", *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Vakfı Yayınları*, Ankara, (1992).
120. Costa, R. C. and Sodr , J. R., "Compression ratio effects on an ethanol/gasoline fuelled engine performance", *Applied Thermal Engineering*, 31 (2–3): 278–283 (2011).
121. Yücel, N. and Karel, A., "Analysis Of Performance And Emission Behavior Of Ricardo Engine For Varying Compression Ratio.", *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 2 (13): 181–190 (1998).
122. Yılmaz, İ. and Taştan, M., "Investigation of hydrogen addition to methanol-gasoline blends in an SI engine", *International Journal Of Hydrogen Energy*, 43 (44): 20252–20261 (2018).
123. Gravalos, I., Moshou, D., Gialamas, T., Xyradakis, P., Kateris, D., T. and Z., "Performance and Emission Characteristics of Spark Ignition Engine Fuelled with Ethanol and Methanol Gasoline Blended Fuels", *Alternative Fuel*, 155–174 (2011).
124. Çelik, M. B. and Balcı, M., "Sabit yük ve hız şartlarında sıkıştırma oranının motor karakteristiklerine etkisi.", *Teknoloji*, 3 (4): 39–45 (2002).
125. Masum, B. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Palash, S. M., and Habibullah, M., "Effect of alcohol-gasoline blends optimization on fuel properties, performance and emissions of a SI engine", *Journal Of Cleaner Production*, 86: 230–237 (2015).
126. Liu, H., Wang, Z., Long, Y., Xiang, S., Wang, J., and Fatouraie, M., "Comparative study on alcohol-gasoline and gasoline-alcohol Dual-Fuel Spark Ignition (DFSI) combustion for engine particle number (PN) reduction", *Fuel*, 159: 250–258 (2015).
127. Balki, M. K., Sayin, C., and Canakci, M., "The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine", *Fuel*, 115: 901–906 (2014).
128. Bayındır, H., Yücesu, H. S., "Etanol-benzin karışımları ve emme manifoldu dolgu sıcaklığının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri.", *6. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, 395–408 (1999).
129. Sugözü, İ., Deniz, T., Mutlu, İ., "The effect of compression ratio on engine

- performance and exhaust emission in a spark ignition engine.", *Electronic Journal Of Vehicle Technologies*, 1 (1): 17–24 (2009).
130. Yousufiddin, S., Venkateswarlu, K., Sastry, G. R. K., "Effects of compression ratio and equivalence ratio on the emission characteristics of a hydrogen-ethanol fuelled spark ignition engine.", *International Journal Of Advanced Science And Technology*, 40: 91–100 (2012).
 131. Mustafa, C., Ozsezen, A. N., Alptekin, E., and Eyidogan, M., "Impact of alcohol e gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine", *Renewable Energy*, 52: 111–117 (2013).
 132. Topgöl, T., Yücesu, H. S., and Okur, M., "The experimental investigation of the effects of operating parameters on exhaust emissions on a spark ignition engine.", *Journal Of Polytechnic*, 8 (1): 43–47 (2005).
 133. Yaman, H. and Çelik, M. B., "Benzinli motorlarda egzoz emisyonlarına etki eden faktörlerin deneysel olarak incelenmesi.", *Teknoloji*, 7 (4): 681–691 (2004).
 134. Özsezen, A. N., Çanakçı, M., and Kılışaslan, İ., "Investigation of combustion efficiency of alcohol-gasoline blends used in a vehicle.", *11th International Combustion Symposium*, 1–5 (2010).
 135. Kamboj, S. K. and Kairimi, M. N., "Effects of compression ratios, fuels, and specific heats of the energy distribution in spark-ignition engine.", *International Journal Of Emerging Technology And Advanced Engineering*, 2 (8): 482–491 (2012).
 136. Ghojel, J. and Honnery, D., "Heat release model for the combustion of diesel oil emulsions in DI diesel engines.", *Applied Thermal Engineering*, 25 (14): 2072–2085 (2005).

EK AÇIKLAMALAR A.

**MOTOR TESTLERİNDEN VE HESAPLAMALARDAN ELDE EDİLEN
SONUÇLAR**

Çizelge Ek A.1. Üç farklı SO'da ve 2600 d/d'da benzin ve i-AA ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.

2600 d/d		Motor momenti (Nm)	Efektif güç (kW)	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Ortalama efektif basınç (kPa)	Efektif verim (%)	HC (ppm)	CO (%)	NO _x (ppm)
Benzin	8,0:1	9,82	2,67	307,81	630,11	27,50	190	1,35	1211
	8,5:1	10,51	2,86	273,07	673,96	29,71	173	1,30	1528
	9,0:1	10,98	2,99	268,18	704,48	29,81	170	1,26	1641
A10	8,0:1	10,31	2,80	338,75	661,20	29,30	184	1,31	900
	8,5:1	10,75	2,92	309,30	689,73	30,00	170	1,27	1200
	9,0:1	11,19	3,04	287,33	717,62	30,15	165	1,24	1440
A20	8,0:1	10,49	2,85	357,25	672,62	29,80	180	1,28	850
	8,5:1	11,02	3,00	327,47	707,05	30,20	166	1,24	1135
	9,0:1	11,31	3,08	311,56	725,70	30,65	161	1,21	1395
A30	8,0:1	10,26	2,79	378,74	658,03	29,50	178	1,26	780
	8,5:1	10,85	2,95	352,03	696,02	30,10	165	1,20	1090
	9,0:1	11,02	3,01	328,83	706,72	30,40	156	1,17	1220

Çizelge Ek A.2. Üç farklı SO'da ve 2800 d/d'da benzin ve i-AA ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.

2800 d/d		Motor moment i (Nm)	Efektif güç (kW)	FÖYT (g/kWh)	FOE B (kPa)	FEV (%)	HC (ppm)	CO (%)	NO _x (ppm)
Benzin	8,0:1	10,57	3,10	295,45	11,29	27,64	160	1,01	1320
	8,5:1	11,23	3,29	281,95	12,01	29,83	150	0,96	1558
	9,0:1	11,28	3,31	292,53	12,05	30	153	0,91	1679
A10	8,0:1	10,82	3,17	328,32	11,56	29,38	155	0,94	975
	8,5:1	11,20	3,28	310,12	11,96	30,21	140	0,90	1271
	9,0:1	11,48	3,36	305,10	12,27	30,50	143	0,82	1495
A20	8,0:1	10,93	3,21	341,21	11,68	29,91	147	0,93	942
	8,5:1	11,41	3,34	319,85	12,19	30,69	131	0,92	1175
	9,0:1	11,65	3,42	314,47	12,45	30,80	140	0,80	1458
A30	8,0:1	10,75	3,15	352,10	11,48	29,83	144	0,92	888
	8,5:1	11,32	3,32	331,56	12,09	30,72	130	0,89	1120
	9,0:1	11,29	3,31	326,10	12,07	30,76	135	0,85	1290

Çizelge Ek A.3. Üç farklı SO'da ve 3000 d/d'da benzin ve i-AA ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.

3000 d/d		Motor moment i (Nm)	Efektif güç (kW)	FÖYT (g/kWh)	FOEB (kPa)	FEV (%)	HC (ppm)	CO (%)	NO _x (ppm)
Benzin	8,0:1	10,81	3,39	284,58	11,55	27,80	147	0,92	1396
	8,5:1	11,50	3,61	280,30	12,28	29,75	140	0,90	1594
	9,0:1	11,59	3,64	291,75	12,38	29,95	142	0,87	1715
A10	8,0:1	11,15	3,50	320,08	11,91	29,40	139	0,91	1062
	8,5:1	11,50	3,61	305,21	12,29	30,12	134	0,87	1315
	9,0:1	11,73	3,68	301,24	12,53	30,35	138	0,80	1519
A20	8,0:1	11,19	3,51	328,35	11,96	30,00	132	0,90	1000
	8,5:1	11,65	3,66	310,02	12,45	30,46	128	0,85	1270
	9,0:1	11,82	3,71	305,05	12,63	30,78	133	0,79	1500
A30	8,0:1	11,04	3,47	335,12	11,81	29,68	129	0,86	915
	8,5:1	11,58	3,64	322,08	12,38	30,27	125	0,82	1150
	9,0:1	11,60	3,64	318,14	12,39	30,68	128	0,76	1360

Çizelge Ek A.4. Üç farklı SO'da ve 3200 d/d'da benzin ve i-AA ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.

3200 d/d		Motor moment i (Nm)	Efektif güç (kW)	FÖYT (g/kWh)	FOE B (kPa)	FEV (%)	HC (ppm)	CO (%)	NO _x (ppm)
Benzin	8,0:1	10,57	3,54	288,00	11,26	28,00	140	0,87	1440
	8,5:1	11,25	3,77	281,30	12,02	29,52	130	0,85	1634
	9,0:1	11,34	3,80	292,13	12,12	29,98	135	0,84	1763
A10	8,0:1	11,00	3,68	325,48	11,75	29,56	135	0,85	1136
	8,5:1	11,25	3,77	308,95	12,02	30,31	129	0,84	1486
	9,0:1	11,54	3,86	304,36	12,33	30,48	130	0,78	1620
A20	8,0:1	11,12	3,73	334,52	11,89	29,96	127	0,84	1050
	8,5:1	11,41	3,82	315,23	12,19	30,35	125	0,81	1350
	9,0:1	11,63	3,89	311,54	12,42	30,75	130	0,76	1563
A30	8,0:1	10,77	3,61	342,73	11,51	29,71	124	0,81	984
	8,5:1	11,31	3,79	325,03	12,08	30,35	121	0,79	1230
	9,0:1	11,42	3,82	319,06	12,20	30,74	123	0,74	1450

ÖZGEÇMİŞ

Samet USLU 1990 yılında Gölcük'te doğdu; ilköğretimi aynı şehirde tamamladı. Liseyi Akşehir Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2013 yılında iyi bir derece ile diplomasını aldı. 2013-2014 yılları arasında 14 ay süre ile Denizli'de özel bir şirkette makine mühendisi olarak çalıştı. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği A.B.D'de yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2014 Eylül ayında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak işe başladı. Halen aynı kurumda çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK
Tel : (542) 589 9577
E-posta : sametuslu@karabuk.edu.tr