

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ALTERNATİF YAKIT KARIŞIMLARI KULLANILAN BİR DİZEL MOTORUNDA
ÇEVİRİMSSEL FARKLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi Samet GÜRGEN

**MAYIS 2016
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ALTERNATİF YAKIT KARIŞIMLARI KULLANILAN BİR DİZEL MOTORUNDA
ÇEVİRİMSSEL FARKLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi Samet GÜRGEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 / 04 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 12 / 05 / 2016

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Samet GÜRGEN Tarafından Hazırlanan**

**ALTERNATİF YAKIT KARIŞIMLARI KULLANILAN BİR DİZEL MOTORUNDA
ÇEVİRİMSSEL FARKLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

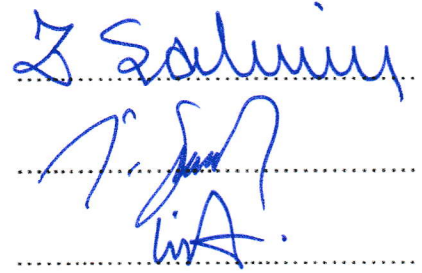
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 26 / 04 / 2016 gün ve 1650 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Zehra ŞAHİN

Üye : Doç. Dr. İsmet SEZER

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Sınırlı fosil kaynaklar ve artan egzoz emisyonları alternatif yakıtların kullanılma ihtiyacını kaçınılmaz hale getirmiştir. Bitkisel kökenli yenilenebilir yakıt olan alkoller ise içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak ön plana çıkmaktadır. Diğer taraftan, çevrimsel farklar motor performansını ve egzoz emisyonlarını etkileyen önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Çevrimsel farklar ile ilgili yapılan çalışmalar ise yanmayı kararlı halde tutacak kontrol stratejilerinin geliştirilmesi için önem arz etmektedir. Kontrol stratejisi geliştirmek için bir motorun tüm çalışma koşullarının bilinmesi gerekmektedir. Yapay sinir ağları (YSA) son yıllarda öne çıkan bir modelleme aracı olarak kabul edilmekte ve yüksek doğrulukta sonuçlar üretmektedir. Sunulan tez çalışmasında etanol-dizel ve bütanol-dizel yakıt karışımı kullanılan bir dizel motorunda çevrimsel farklılık, motor performansı ve egzoz emisyonlarının YSA ile modellenmesi yapılmıştır.

Tez çalışması boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, her konuda maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca deneysel çalışmam boyunca yapmış oldukları yardım ve katkılardan dolayı; Sayın Arş. Gör. Bedir ÜNVER, Sayın Malzeme Müh. Akbar FAKHERNIA, Sayın Öğr. Gör. Abdülvahap ÇAKMAK, Sayın Tek. Şenol DÜBÜŞ'e ve çalışmayı maddi olarak destekleyen K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim. Son olarak desteklerinden ötürü Sayın Arş. Gör. Dursun SARAL'a, K.T.Ü. Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh. Bölüm Başkanlığı'na, Makine Müh. Bölüm Başkanlığı'na ve Sayın Prof. Dr. Atilla BİLGİN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamı, tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyerek beni bugünlere getiren aileme ve bu topraklar için toprağa düşmüş şehitlerimize ithaf ediyorum.

Samet GÜRGEN
Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Alternatif Yakıt Karışımları Kullanılan Bir Dizel Motorunda Çevrimsel Farkların Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ve analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 12/05/2016

Samet GÜRGEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılan Yakıtlar.....	2
1.2.1. Etanol.....	3
1.2.1.1. Etanolün Setan Sayısı	4
1.2.1.2. Etanolün Viskozitesi.....	4
1.2.1.3. Etanolün Isıl Değeri.....	5
1.2.1.4. Etanolün Parlama Noktası	5
1.2.1.5. Etanolün Yüzey Gerilimi.....	5
1.2.1.6. Etanolün Faz Ayrışması.....	6
1.2.2. Bütanol.....	7
1.2.2.1. Bütanolün Setan Sayısı	9
1.2.2.2. Bütanolün Viskozitesi.....	9
1.2.2.3. Bütanolün Isıl Değeri.....	10
1.2.2.4. Bütanolün Parlama Noktası	10
1.2.2.5. Bütanolün Yüzey Gerilimi.....	10
1.2.2.6. Bütanolün Faz Ayrışması	11
1.2.3. Etanol ve n-Bütanolün Karşılaştırılması.....	11
1.3. İçten Yanmalı Motorlarda Çevrimsel Farklar.....	12
1.4. Yapay Sinir Ağları.....	14
1.4.1. Yapay Sinir Ağların Temel Elemanları	15

1.4.1.1.	Girdiler.....	16
1.4.1.2.	Ağırlıklar.....	16
1.4.1.3.	Toplama Fonksiyonu	16
1.4.1.4.	Aktivasyon Fonksiyonu	17
1.4.1.4.1.	Özdeşlik Fonksiyonu	17
1.4.1.4.2.	Basamak Fonksiyonu.....	17
1.4.1.4.3.	Sigmoid Fonksiyonu	18
1.4.1.4.4.	Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu.....	18
1.4.1.5.	Çıktı	19
1.4.2.	YSA'nın Türleri	19
1.4.2.1.	Tipine Göre YSA'lar.....	20
1.4.2.2.	Öğrenme Yöntemine Göre YSA'lar.....	20
1.4.2.3.	Katman Sayısına Göre YSA'lar	21
1.4.3.	Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları.....	21
1.4.3.1.	Perceptron	21
1.4.3.2.	Adaline ve Madaline.....	22
1.4.4.	Tek Katmanlı Ağların Öğrenme Algoritmaları	22
1.4.5.	Tek Katmanlı Ağların Sınırları.....	23
1.4.6.	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları	23
1.4.6.1.	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarının Öğrenme Algoritması	24
1.4.6.2.	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarının Eğitiminde Önemli Noktalar	26
1.4.6.2.1.	Veri Kümesinin Düzenlenmesi.....	26
1.4.6.2.2.	Hata Miktarının Belirlenmesi	27
1.4.6.2.3.	Öğrenme Katsayısı.....	28
1.4.6.2.4.	Momentum Katsayısı.....	29
1.4.7.	Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları.....	29
1.4.7.1.	YSA'nın Avantajları	29
1.4.7.2.	YSA'nın Dezavantajları	30
1.5.	Literatür Araştırması.....	30
1.6.	Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı.....	48
1.6.1.	Tez Çalışmasının Amacı.....	48
1.6.2.	Tez Çalışmasının Kapsamı	48

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	49
2.1.	Motor Deneyleri.....	49
2.2.	Motor Performans Karakteristiklerinin Belirlenmesi	54
2.3.	Egzoz Emisyonlarının Belirlenmesi	56
2.4.	Yapay Sinir Ağları ile Modelleme.....	57
2.5.	Belirsizlik Analizi.....	58
2.5.1.	Efektif Gücün Belirsizlik Analizi	59
2.5.2.	Özgül Yakıt Tüketiminin Belirsizlik Analizi	61
2.5.3.	Efektif Verimin Belirsizlik Analizi	63
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	66
3.1.	Giriş	66
3.2.	Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarının Değerlendirilmesi.....	66
3.2.1.	Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarının Motor Performansları.....	66
3.2.2.	Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarının Egzoz Emisyonları	70
3.2.3.	Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarında Meydana Gelen Çevrimsel Farklar	74
3.2.4.	Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarının YSA ile Modellenmesi.....	82
3.3.	Dizel Yakıtı ve Etanol Karışımlarının Değerlendirilmesi	92
3.3.1.	Dizel Yakıtı ve Etanol Karışımlarının Motor Performansları	92
3.3.2.	Dizel Yakıtı Etanol Karışımlarının Egzoz Emisyonları	94
3.3.3.	Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarında Meydana Gelen Çevrimsel Farklar	96
4.	SONUÇLAR.....	100
5.	ÖNERİLER.....	104
6.	KAYNAKLAR	105
7.	EKLER	109
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ALTERNATİF YAKIT KARIŞIMLARI KULLANILAN BİR DİZEL MOTORUNDA
ÇEVİRİMSSEL FARKLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ

Samet GÜRGEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN

2016, 108 Sayfa, 8 Ek Sayfa

Bu çalışmada saf dizel yakıtı, 5 farklı bütanol-dizel karışımı (%3, 6, 9,12 ve 15) ve 2 farklı etanol-dizel karışımı (%5 ve 10) kullanan bir dizel motorunda çevrimsel farklar yapay sinir ağları ile modellenmiştir. Ayrıca motor performansları ve egzoz emisyonları için iki farklı model daha geliştirilmiştir. Farklı motor devir sayılarında ve tam yük durumunda, çevrimsel farkları, motor performanslarını ve egzoz emisyonlarını değerlendirmek için doğal emişli, tek silindirli, dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. Çevrimsel farkları hesaplamak için ortalama indike basıncın değişim katsayısı kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, alkol (etanol veya bütanol) karışım oranının artmasıyla çevrimsel farkların artma eğilimine girdiğini göstermiştir. Ayrıca yakıt karışımındaki alkol miktarının artmasıyla özgül yakıt tüketimi ve efektif verim artarken, CO ve NO_x emisyonları azalmıştır. Geliştirilen ağda iki farklı değişkenle beraber (Scaled Conjugate Gradient (SCG) ve Levenberg–Marquardt (LM) algoritmaları) geriye yayılım öğrenme algoritması, tek katman ve sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Ağın performansı için ortalama hata kareleri, ortalama mutlak yüzde hata ve determinasyon katsayısı kullanılmıştır. Geliştirilen tüm YSA modellerinin, deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Dizel motorlar, yapay sinir ağları, çevrimsel farklar, motor performansı ve egzoz emisyonları

Master Thesis

SUMMARY

MODELING OF CYCLIC VARIABILITY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK
IN A DIESEL ENGINE FUELED WITH ALTERNATIVE FUEL BLENDS

Samet GÜRGEN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Naval Architecture and Marine Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. İsmail ALTIN
2016, 108 Pages, 8 Pages Appendix

In this study, cyclic variability of a diesel engine using neat diesel fuel, five different butanol-diesel blends (%3, 6, 9, 12 and 15) and two different ethanol-diesel blends (%5 and 10) were modeled by using Artificial Neural Network (ANN). Also two different models were developed for engine performances and exhaust emissions. A naturally aspirated, single-cylinder, four-stroke and direct-injection diesel engine was used to evaluate their cyclic variation, engine performance and exhaust emission at different speeds and full load condition. The coefficient of variation of indicated mean pressure was used to evaluate cycle-to-cycle variation. The results have indicated that cyclic variability exhibits a increasing trend according to an increase in the alcohol blending ratio. In addition, specific fuel consumption and effective efficiency increased as carbon monoxide (CO) and nitrogen oxides (NO_x) emissions decreased with increasing amount of alcohol (ethanol or n-butanol) in the fuel mixture. The back-propagation learning algorithm with two different variants (Scaled Conjugate Gradient (SCG) and Levenberg–Marquardt (LM) algorithms), single layer, and logistic sigmoid transfer function were used in the developed network. Mean square error, mean absolute percentage error and coefficient of determination values were used for performance of the networks. The all developed ANN models have showed a good agreement with the experimental results.

Key Words : Diesel engine, artificial neural network, cyclic variability, engine performance and exhaust emissions

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Alternatif yakıtlar.....	3
Şekil 1.2. Etil alkolün yapısı	3
Şekil 1.3. Dizel-etanol karışımlarının kinematik viskozite değişimi	5
Şekil 1.4. Dizel-etanol karışımlarının yüzey gerilimi değişimi	6
Şekil 1.5. Etanol-dizel karışımında faz ayrışması.....	7
Şekil 1.6. Bütanol izomerlerinin moleküler yapısı	8
Şekil 1.7. Dizel-bütanol karışımlarının kinematik viskozite değişimi.....	9
Şekil 1.8. Dizel-bütanol karışımlarında yüzey gerilmesinin sıcaklığa göre değişimi.....	10
Şekil 1.9. Biyolojik sinir hücresi.....	14
Şekil 1.10. Biyolojik ve yapay sinir ağları.....	15
Şekil 1.11. Basit bir yapay sinir ağı	15
Şekil 1.12. Özdeşlik fonksiyonu	17
Şekil 1.13. Basamak fonksiyonu.....	18
Şekil 1.14. Sigmoid fonksiyonu.....	18
Şekil 1.15. Hiperbolik tanjant fonksiyonu	19
Şekil 1.16. YSA türleri.....	19
Şekil 1.17. Geri beslemeli ağ	20
Şekil 1.18. Basit algılayıcı	21
Şekil 1.19. Madaline ağ yapısı.....	22
Şekil 1.20. Çok katmanlı yapay sinir ağı	24
Şekil 1.21. Ezberleme başlangıcı	26
Şekil 1.22. Ağırlık-hata ilişkisi	27
Şekil 1.23. Öğrenme katsayısının büyük seçilmesi durumu	28
Şekil 1.24. Öğrenme katsayısının küçük seçilmesi durumu	28
Şekil 1.25. Momentum katsayısının hataya etkisi	29
Şekil 1.26. Etanol-dizel yakıtının yanma işlemine ait alev fotoğrafları	32
Şekil 1.27. Etanol karışımının yakıt demeti oluşumu	35
Şekil 2.1. Deney motoru ve dinamometrenin görünüşü	50
Şekil 2.2. Deney düzeneğinde ekranların görünüşü.....	50

Şekil 2.3.	Yakıt tankı ve yakıt ölçme bütretinin görünüşü.....	51
Şekil 2.4.	Motor çevrim analizörü	52
Şekil 2.5.	P-V diyagramı.....	53
Şekil 2.6.	İndikatör diyagramında indike iş	53
Şekil 2.7.	Egzoz gazı analiz cihazı.....	56
Şekil 3.1.	Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi	68
Şekil 3.2.	Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi	69
Şekil 3.3.	Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için NO _x emisyonunun devir sayısına göre değişimi	71
Şekil 3.4.	Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için egzoz gazları sıcaklığının devir sayısına göre değişimi	72
Şekil 3.5.	Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi	73
Şekil 3.6.	Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için çevrimsel farkların devir sayısına göre değişimi	75
Şekil 3.7.	Saf dizel yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri.....	76
Şekil 3.8.	B3 yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri.....	77
Şekil 3.9.	B6 yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri.....	78
Şekil 3.10.	B9 yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri.....	79
Şekil 3.11.	B12 yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri.....	80
Şekil 3.12.	B15 yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri.....	81
Şekil 3.13.	Çevrim farkı için geliştirilen ağıın yapısı	83
Şekil 3.14.	Çevrim farkı için geliştirilen ağıın performans eğrisi	84
Şekil 3.15.	Çevrim farkı için geliştirilen ağıın hata histogramı	84
Şekil 3.16.	Çevrim farkı için geliştirilen ağıa ait regresyon grafikleri	85
Şekil 3.17.	Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağıın yapısı	87
Şekil 3.18.	Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağıın performans eğrisi	87

Şekil 3.19. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağın hata histogramı	88
Şekil 3.20. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağa ait regresyon grafikleri	88
Şekil 3.21. NO _x için geliştirilen ağın yapısı	90
Şekil 3.22. NO _x için geliştirilen ağın performans eğrisi.....	90
Şekil 3.23. NO _x için geliştirilen ağın hata histogramı	91
Şekil 3.24. NO _x için geliştirilen ağa ait regresyon grafikleri.....	91
Şekil 3.25. Dizel yakıtı – etanol karışımları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi	93
Şekil 3.26. Dizel yakıtı – etanol karışımları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi	93
Şekil 3.27. Dizel yakıtı – etanol karışımları için NO _x emisyonunun devir sayısına göre değişimi	95
Şekil 3.28. Dizel yakıtı – etanol karışımları için egzoz gazları sıcaklığının devir sayısına göre değişimi	95
Şekil 3.29. Dizel yakıtı – etanol karışımları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi	96
Şekil 3.30. Dizel yakıtı – etanol karışımları için çevrimsel farkların devir sayısına göre değişimi	97
Şekil 3.31. E5 yakıtı, 2000 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri	98
Şekil 3.32. E10 yakıtı, 2000 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri	99

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Etanol-dizel karışımlarının faz ayrışma süreleri.....	7
Tablo 1.2. Bütanolün dört farklı izomerinin bazı fizikokimyasal özellikleri.....	8
Tablo 1.3. Dizel yakıtı, n-bütanol ve etanolün özellikleri	11
Tablo 1.4. Biyolojik ve yapay sinir hücrelerinin karşılaştırılması.....	14
Tablo 1.5. Toplama fonksiyonları.....	16
Tablo 2.1. Deney motorunun teknik özellikleri	51
Tablo 2.2. Egzoz gazı analiz cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti	57
Tablo 3.1. Çevrim farkı için geliştirilen ağın performans sonuçları.....	83
Tablo 3.2. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağın performans sonuçları	86
Tablo 3.3. NO _x için geliştirilen ağın performans sonuçları	89
Ek Tablo 1. Karışımların yoğunluk ve alt ısı değerleri	109
Ek Tablo 2. Efektif gücün belirsizlik analizi.....	110
Ek Tablo 3. Özgül yakıt tüketiminin belirsizlik analizi	111
Ek Tablo 4. Efektif verimin belirsizlik analizi	112
Ek Tablo 5. Çevrim farkı için geliştirilen ağın performans sonuçları.....	113
Ek Tablo 6. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağın performans sonuçları (LM).....	114
Ek Tablo 7. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağın performans sonuçları (SCG).....	115
Ek Tablo 8. NO _x için geliştirilen ağın performans sonuçları	116

SEMBOLLER DİZİNİ

A_p	: piston yüzey alanı [m^2]
B0	: saf dizel yakıtı
B3	: %3 n-bütanol + %97 dizel yakıtı
B6	: %6 n-bütanol + %94 dizel yakıtı
B9	: %9 n-bütanol + %91 dizel yakıtı
B12	: %12 n-bütanol + %88 dizel yakıtı
B15	: %15 n-bütanol + %85 dizel yakıtı
B18	: %18 n-bütanol + %82 dizel yakıtı
B	: toplam yakıt tüketimi [$kg_{yakıt} / h$]
be	: özgül yakıt tüketimi [kg/kWh]
COV_{pmi}	: ortalama indike basıncın değişim katsayısı
COV_{pmax}	: maksimum basıncın değişim katsayısı
ÇKA	: çok katmanlı algılayıcı
D	: silindir çapı [m]
E5	: %5 etanol + %95 dizel yakıtı
E10	: %10 etanol+ %90 dizel yakıtı
EGR	: egzoz gazı resirkülasyonu
H	: strok uzunluğu [m]
HAD	: hesaplamalı akışkanlar dinamiği
H_u	: alt ısı değer [kJ/kg]
LM	: Levenberg-Marquardt
LNG	: sıvılaştırılmış doğal gaz
LPG	: sıvılaştırılmış petrol gazı
MAPE	: ortalama mutlak yüzde hata
M_d	: döndürme momenti [N.m]
MSE	: ortalama hata kareleri
m_{pilot}	: püskürtülen pilot yakıt miktarı [kg]
$m_{yakıt}$: püskürtülen yakıt miktarı [kg]
n	: devir sayısı [dev/dak]

N_e	: efektif güç [W]
NO_x	: azot oksit [ppm]
o	: ağın ürettiği çıktı
P_{hava}	: hava basıncı [MPa]
P_{me}	: ortalama efektif basınç [bar]
P_{mi}	: ortalama indike basınç [bar]
$\overline{P_{mi}}$: ortalama indike basınçların ortalaması [bar]
$P_{püs}$: enjektör püskürtme basıncı [MPa]
R	: korelasyon katsayısı
R^2	: determinasyon katsayısı
RMS	: karekök ortalama
SCG	: Scaled Conjugate Gradient
SCR	: seçici katalitik indirgeme
t	: istenilen çıktı
ÜÖN	: üst ölü nokta
V_h	: strok hacmi [m ³]
W_i	: indike iş [J]
w	: boyutlu belirsizlik
x_{nem}	: nem düzeltme katsayısı
X	: girdi vektörü
YSA	: yapay sinir ağları
YSH	: yapay sinir hücresi
ε	: sıkıştırma oranı
η	: momentum katsayısı
λ	: öğrenme oranı
θ	: demet açısı [°]
ω	: açısal hız [1/s]
η_e	: efektif verim
ρ_a	: havanın yoğunluğu [kg/m ³]
ρ_f	: yakıtın yoğunluğu [kg/m ³]
σ_{imep}	: indike ortalama efektif basınç değerlerinin standart sapması
Δt	: Δv hacmindeki yakıtın tükenme süresi [s]
Δv	: yakıt ölçme büretindeki yakıt hacmi [m ³]

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İçten yanmalı motorlar, yakıtın kimyasal enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren ısı makineleridir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan içten yanmalı motorlardan biri dizel motorlarıdır. Özellikle özgül yakıt tüketiminin düşük olması dizel motorlarının kullanılmasını daha cazip hale getirmektedir. Fakat dizel motorlar tarafından salınan kirleticilerin, hava kirliliğini arttırıcı yöndeki etkisi giderek artmaktadır. Genel olarak dizel motoru egzoz emisyonları; azot oksitler (NO_x), yanmamış hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksit (CO) ve isten oluşmaktadır. Çevre kirliliğinin artması ve petrol rezervlerinin tükenmesi gibi tehlikeler araştırmacıları yakıt tüketimini düşürmeye ve egzoz emisyonlarını azaltmaya yönlendirmektedir. Bu amaç doğrultusunda yeni teknikler geliştirilmektedir. Bunlar; ortak hatlı veya çoklu püskürtme sistemleri, egzoz gazı resirkülasyonu (EGR), seçici katalitik indirgeme (SCR) ve temiz alternatif yakıtlar kullanmak şeklinde sıralanabilir.

Alternatif yakıtların motor yapısında fazla bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilir olması önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak alkollerin kullanımıyla ilgili çalışmalar ise önemli bir yer tutmaktadır. Bitkisel türevli yenilenebilir bir yakıt olması yanında saf veya karışım halinde kullanılabilmesi, alkollerin içten yanmalı motorlarda yaygın uygulama alanı bulmasını sağlamıştır. Dizel yakıtına göre düşük viskoziteye sahip olan alkoller kolayca püskürtülerek atomize olur ve havayla karışabilir. Düşük stokiometrik hava-yakıt oranı, yüksek oksijen içeriği, yüksek H/C oranı ve düşük sülfür içeriği daha düşük egzoz emisyon değerlerine ulaşılmasını sağlar. Ayrıca, yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle motorun silindir içi sıcaklığını düşürmekte ve hacimsel verimini arttırmaktadır.

Alkollerin içten yanmalı motorlarda kullanılması farklı yöntemler ile uygulanmaktadır. Bu yöntemler; alkolün yakıt içerisine belirli oranda karıştırılması, emme manifolduna püskürtülmesi veya her bir yakıt için ayrı enjeksiyon sistemi kullanılması olarak sıralanabilir. Alkollerin dizel yakıtına belirli bir oranda karıştırılması ise motor yapısında herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmadığı için en pratik yöntemdir.

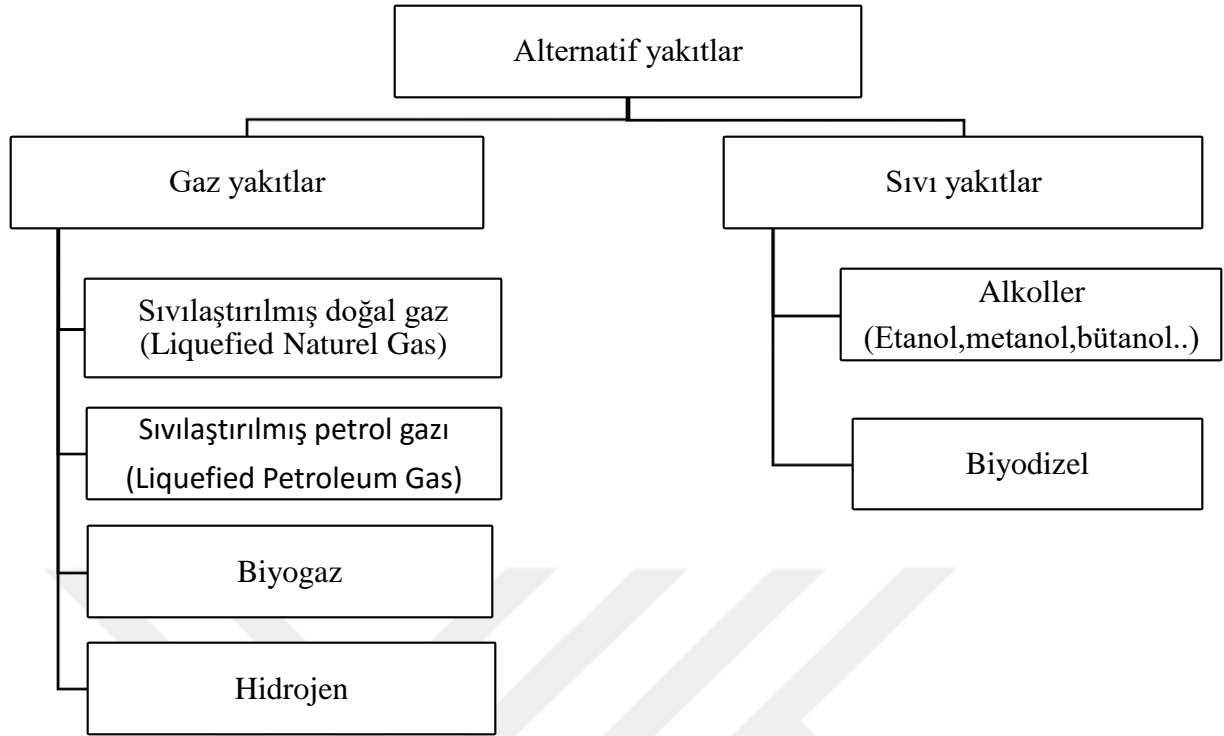
1.2. İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılan Yakıtlar

Yakıldığı zaman enerji veren maddelere yakıt adı verilir. Yakıtlar kökenlerine göre; doğal ve yapay, faz durumlarına göre; katı, sıvı ve gaz olarak üç gruba ayrılır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlar, doğrudan motor performansını ve egzoz emisyonlarını etkileyen önemli bir parametredir.

Herhangi bir yakıtın motorlarda kullanılması için bazı özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Durgun);

- Benzin motorlarında yakıt kolayca buharlaşabilmeli ve hava ile homojen bir karışım oluşturmalıdır. Dizel motorlarında ise basınçlı hava içine püskürtülen yakıtın çok ince parçacıklara ayrılabilmesi ve hava ile etkin bir şekilde karışabilmesi gerekir.
- Motor her ortam koşulunda kolaylıkla ilk harekete geçebilmelidir.
- Yakıtlar, yanma için ayrılan süre içinde kolaylıkla yanabilmelidir.
- Yanma sonunda, yanma odası çeperlerine yapışan karbon ve zift gibi artıklar oluşmamalıdır.
- Yanma ürünleri, yanma odası çeperleri ve supaplar gibi motor elemanlarında korozyona neden olmamalıdır.
- Yakıtın ısı değeri yüksek olmalıdır.
- Kullanılan yakıt bol miktarda ve ucuz şekilde sağlanabilmeli ve kolaylıkla depolanabilmelidir.

Motorun çalışma prensibine uygun ve yeterli ısıyı sağlayabilecek her madde içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilir. Neredeyse motor tarihiyle denk bir şekilde petrol türevli yakıtlar zamanla değişime uğrayarak da olsa kullanılmışlardır (Acaroğlu vd., 2010). Fakat fosil kaynaklı benzin ve dizel yakıtının sınırlı olması ve çevreye yaydıkları zararlı emisyonlar araştırmacıları alternatif yakıtlara yönlendirmiştir. İçten yanmalı motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlar ise sıvı ve gaz olmak üzere Şekil 1.1'de gösterildiği gibi ikiye ayrılabilir.

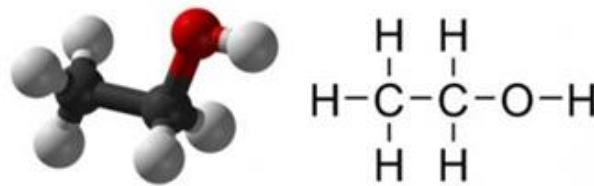


Şekil 1.1. Alternatif yakıtlar

Tez kapsamında yapılan çalışmada yakıt olarak etanol ve bütanolün dizel yakıtına katılmasıyla hazırlanan yakıt karışımları yakıt olarak kullanıldığı için aşağıda bu alkollerle ilgili daha ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir.

1.2.1. Etanol

Etanol veya diğer bir adıyla etil alkol kimyasal formülü C_2H_5OH olan renksiz ve yanıcı bir kimyasal bileşik olup yapısı Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Dimetileter ile izomerdır ve kapalı formülleri aynıdır. Fakat kimyasal özellikleri aynı olmasına rağmen termodinamik davranışları farklıdır (Giakoumis vd., 2013).



Şekil 1.2. Etil alkolün yapısı

Biyokütle türevli yenilenebilir bir yakıt olarak içten yanmalı motorlarda kullanılabilen etanol; mısır, şeker pancarı, şeker kamışı ve arpa gibi bitkisel ürünlerin fermantasyonu sonucu ya da ormansal atıklardan üretilebilir (Giakoumis vd., 2013).

Etanol-dizel karışımlarının fiziksel ve kimyasal karakteristikleri motor için önemli etkiye sahiptir. Karışımın stabilitesi, yoğunluğu, viskozitesi, yüzey gerilimi, özgül ısı, ısı değeri, setan sayısı; enjeksiyon, atomizasyon, tutuşma, motorun ilk çalışması, güç, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerine etkisinin olduğu belirtilmektedir (Gomasta ve Mahla, 2012).

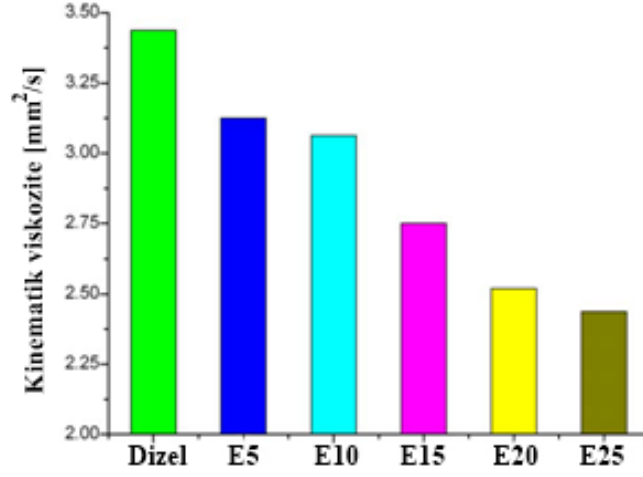
Aşağıda etanolün bazı fiziksel ve kimyasal karakteristikleri hakkında bilgi verilecektir.

1.2.1.1. Etanolün Setan Sayısı

Dizel motorlar için en önemli özelliklerden birisi yakıtın setan sayısı olup motorun ilk harekete geçmesinde, emisyonlarda, maksimum silindir basıncında ve motor gürültüsü üzerinde etkilidir. Yüksek setan sayısı, motorun ilk çalışma kabiliyetini ve motor ömrünü arttırmakla beraber motor gürültüsünü ise azaltmaktadır. Etil alkolün setan sayısı ise oldukça düşüktür. Dolayısıyla dizel-etanol karışımındaki etanol miktarı arttıkça karışımın setan sayısı düşer. Yapılan bir çalışmada dizel-etanol karışımına hacimsel olarak her %10'luk etanol eklenmesinin setan sayısını 7.1 birim düşürdüğü görülmüştür (Li vd., 2005).

1.2.1.2. Etanolün Viskozitesi

Viskozite, yakıtın atomizasyonunu ve yakıt demeti karakteristiklerini etkileyen önemli bir özelliktir. Viskozitenin çok düşük olması enjektör ve pompalarda sızıntılara sebep olur ve bunun sonucunda motor çıkış gücünde düşme görülür. Etanolün viskozitesi dizel yakıtına göre düşüktür ve Şekil 1.3'te görüldüğü gibi dizel-etanol karışımı için etanol miktarı arttıkça karışımın viskozitesi düşmektedir (Li vd., 2005).



Şekil 1.3. Dizel-etanol karışımlarının kinematik viskozite değişimi (Li vd., 2005).

1.2.1.3. Etanolün Isıl Değeri

Bir yakıtın alt ısıl değeri, motor gücünü doğrudan etkileyen en önemli parametredir. Etanol dizel yakıtına göre kütleli olarak yaklaşık %30 daha az enerji içermektedir. Dolayısıyla etanol-dizel karışımında etanol miktarı arttıkça karışımın ısıl değeri azalacak ve buna bağlı olarak aynı gücü üretmek için daha fazla yakıt kullanılması gerekecek dolayısıyla özgül yakıt tüketimi artacaktır.

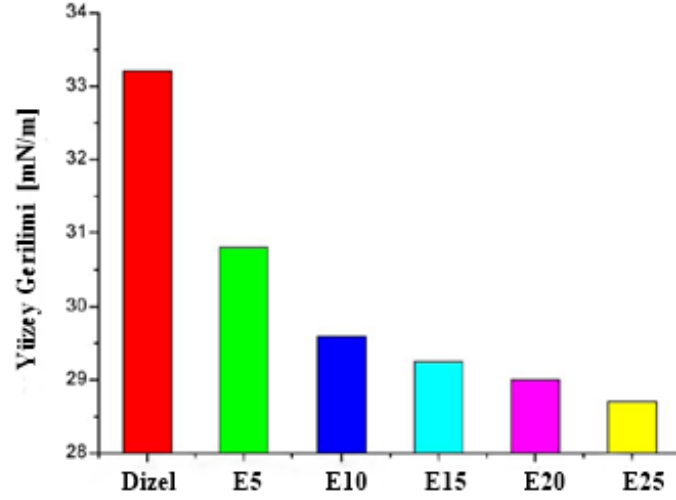
1.2.1.4. Etanolün Parlama Noktası

Parlama noktası bir yakıtın tutuşabilmesi için gerekli en düşük sıcaklıktır. Yanma işlemi 5 saniye boyunca devam etmesi durumunda bu nokta yanma noktası olarak ifade edilir. Bir yakıtın parlama noktası yüksek olduğu zaman taşınması ve depolanması daha güvenli olmaktadır. Etanolün ise parlama noktası dizel yakıtına göre düşüktür. Bu yüzden taşınması ve depolanması sırasında oluşabilecek olumsuzluklara karşı önlem alınmalıdır.

1.2.1.5. Etanolün Yüzey Gerilimi

Yüzey gerilimi, yakıt damlacıklarının atomizasyonunu ve yakıt demeti karakteristiklerini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Dolayısıyla yanma verimi de

yüzey geriliminden etkilenir. Etanolün yüzey gerilimi dizel yakıtına göre daha düşüktür. Şekil 1.4'te çeşitli dizel yakıtı-etanol karışımlarının yüzey gerilimleri görülmektedir.

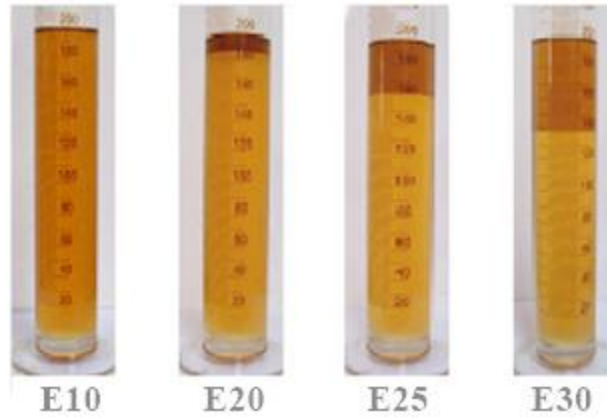


Şekil 1.4. Dizel-etanol karışımlarının yüzey gerilimi değişimi (Li vd., 2005).

1.2.1.6. Etanolün Faz Ayrışması

Etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü sıcaklık ve karışımın su içeriği olmak üzere iki faktöre bağlıdır. Ilık ortam şartlarında kuru etanol, dizel ile kolayca karışabilir. Fakat 10°C altındaki sıcaklıklarda karışım ayrışır. Bundan kaçınmanın temel olarak iki yolu vardır. İlki karışıma emülsiyonlaştırıcı eklemek diğeri ise yardımcı çözücü eklemektir. Emülsiyonlaştırıcı küçük etanol damlacıklarının dizel yakıtının içinde süspansiyon olarak kalmasını sağlarken, çözücü moleküler uyuşma boyunca köprü görevi görür ve homojen bir karışım üretir (Hansen vd., 2005).

Huang vd. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada etanol-dizel yakıtının farklı karışım oranları (E10, E20, E25, E30) için çözünürlüğü incelenmiştir. Faz ayrışması E10 karışımı için 72 saat, E20 karışımı için 24 saat, E25 karışımı için 2 saat ve E30 karışımı için ise 5 dakika sürmüştür.



Şekil 1.5. Etanol-dizel karışımında faz ayrışması (Huang vd., 2009).

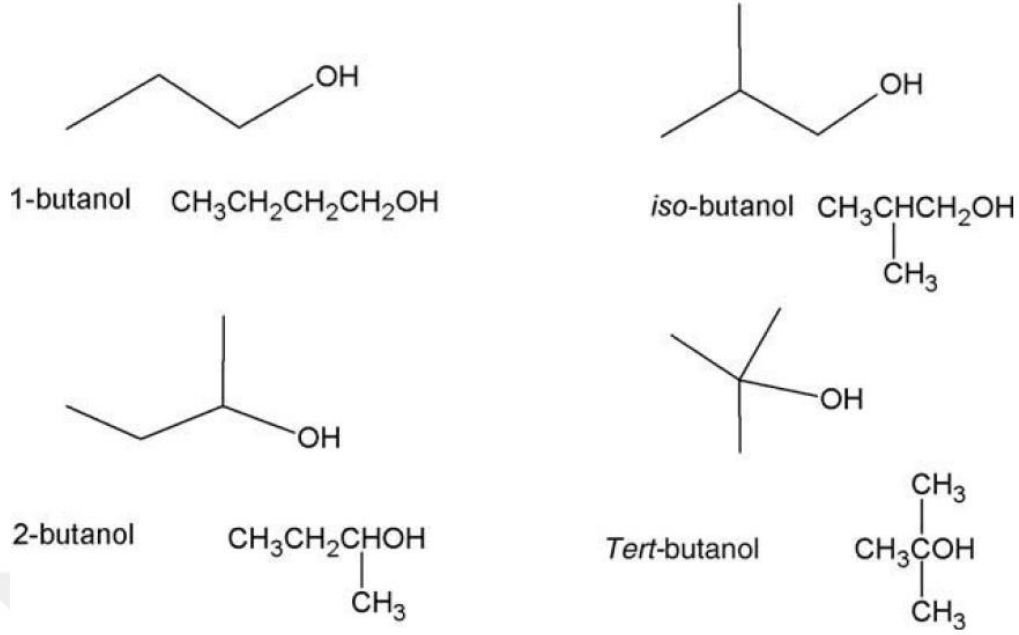
Faz ayrışması sorununu çözebilmek için tüm karışımlara %5 oranında n-bütanol eklenmiştir. Sonuç olarak incelendiğinde faz ayrışması E10 için meydana gelmemiş diğer yakıtlar için de en az iki hafta sürmüştür (Huang vd., 2009).

Tablo 1.1. Etanol-dizel karışımlarının faz ayrışma süreleri

Karışım	E10D90	E20D80	E25D75	E30D70
Faz ayrışma süresi	72 saat	24 saat	2 saat	5 dakika
Karışım	B5E10D85	B5E20D75	B5E25D70	B5E30D65
Faz ayrışma süresi	--	14 gün	14 gün	11 gün

1.2.2. Bütanol

Bütanol ya da diğer bir adıyla butil alkol dört karbonlu bir alkol olup kapalı formülü C_4H_9OH şeklinde ifade edilir. Bütanolün; n-bütanol, 2-bütanol, iso-bütanol ve t-bütanol olmak üzere dört izomeri vardır.



Şekil 1.6. Bütanol izomerlerinin moleküler yapısı

Bu dört izomerin de kimyasal formülleri ve ısı değerleri aynı olmasına karşın moleküler yapıları farklıdır (Kumar vd., 2013).

Tablo 1.2. Bütanolün dört farklı izomerinin bazı fizikokimyasal özellikleri (Jin vd., 2011).

Özellik	1-bütanol	2-bütanol	t-bütanol	iso-bütanol
Yoğunluk (kg/m^3)	809.8	806.3	788.7	801.8
Araştırma oktan sayısı	96	101	105	113
Kaynama noktası ($^{\circ}\text{C}$)	117.7	99.5	82.4	108
Buharlaşma entalpisi (kJ/kg)	582	551	527	566
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	343	406.1	477.8	415.6
Alevlenebilirlik limiti (% hacimsel)	1.4-11.2	1.7-9.8	2.4-8	1.2-10.9
Viskozite (mPa s) (25°C için)	2.554	3.096	----	4.312

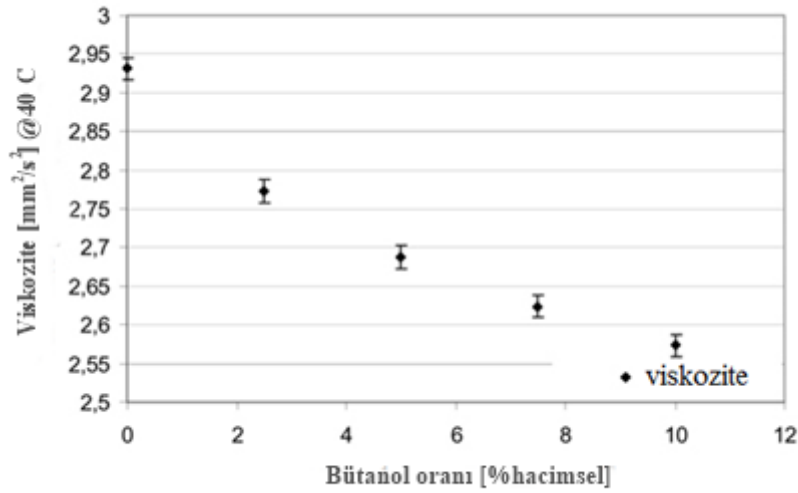
Bütanol; yosun, mısır ve selüloz içeren diğer bitkisel ürünlerin fermantasyonu sonucu üretilir (Şahin ve Aksu, 2015). Dolayısıyla yenilenebilir bir yakıt olarak değerlendirilebilir.

1.2.2.1. Bütanolün Setan Sayısı

Bütanolün setan sayısı dizel yakıtına göre daha düşük olup etanole göre yaklaşık dört kat daha fazladır. Dolayısıyla bütanol dizel motorlar için daha uygundur. Dizel yakıtı-bütanol karışımında bütanol miktarı arttıkça karışımın setan sayısı düşmektedir.

1.2.2.2. Bütanolün Viskozitesi

Viskozite, yakıtın akıcılığı ile ilişkili bir özelliktir. Bütanolün viskozitesi dizel yakıtın viskozitesinden düşüktür ve dizel yakıtıyla karıştırıldığında karışımın viskozitesini düşürür. Yapılan bir çalışmada bütanolün dizel ile çeşitli karışım oranlarının viskozitesi hesaplanarak karışım viskozitesi için $v_{\text{karışım}} = -0.0346X_b + v_{\text{dizel}}$ şeklinde bir bağıntı geliştirilmiştir. Burada $v_{\text{karışım}}$ karışımın viskozitesi, X_b bütanolün hacimsel oranı ve v_{dizel} ise dizel yakıtının viskozitesini göstermektedir (Zoldy vd., 2010).



Şekil 1.7. Dizel-bütanol karışımlarının kinematik viskozite değişimi (Zoldy vd., 2010).

1.2.2.3. Bütanolün Isıl Değeri

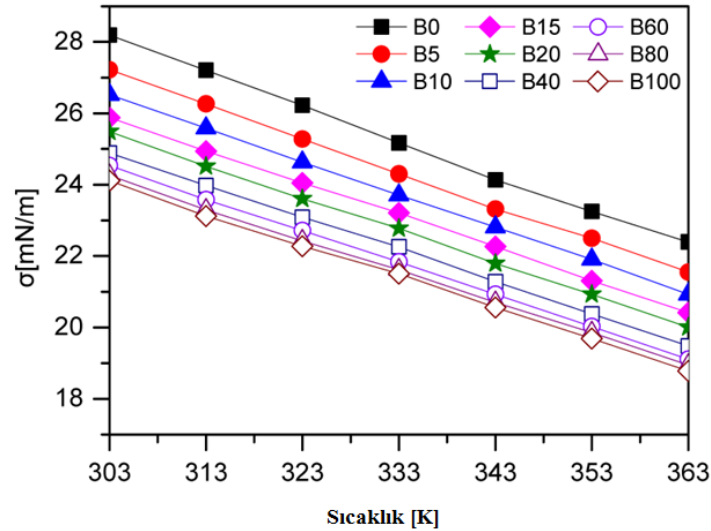
Bütanolün ısı değeri, dizel yakıtına göre düşük fakat etanole göre yüksektir. Dolayısıyla aynı karışım oranına sahip bütanol-dizel karışımının, etanol-dizel karışımına göre özgül yakıt tüketimi daha düşük olur.

1.2.2.4. Bütanolün Parlama Noktası

Bütanolün parlama noktası, dizel yakıtına göre düşük fakat etanole göre ise yaklaşık 3 kat daha yüksektir. Sonuç olarak bütanolün taşınması ve depolanması dizel yakıtına göre daha tehlikeli iken etanole göre ise daha güvenlidir.

1.2.2.5. Bütanolün Yüzey Gerilimi

Bütanolün yüzey gerilimi dizel yakıtına göre daha düşük, etanole göre daha yüksektir. Bunun sonucu olarak karışıma etanol yerine bütanol eklenmesiyle yakıt daha iyi atomize olur ve yanma iyileşir. Ayrıca yüzey gerilimi Şekil 1.8’de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça doğrusal olarak azalmaktadır.



Şekil 1.8. Dizel-bütanol karışımlarında yüzey gerilmesinin sıcaklığa göre değişimi (Deng vd., 2013).

1.2.2.6. Bütanolün Faz Ayrışması

Bütanol ile dizel yakıtı karıştırıldığında herhangi bir faz ayrışması gözlenmemiştir (Doğan, 2011).

1.2.3. Etanol ve n-Bütanolün Karşılaştırılması

Bütanol ve etanolün kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla içten yanmalı motorlarda kullanılmasının etkileri de birbirinden farklı olmaktadır.

Tablo 1.3. Dizel yakıtı, n-bütanol ve etanolün özellikleri (D. C. Rakopoulos vd., 2010; Giakoumis vd., 2013).

Yakıt Özellikleri	Dizel	n-Bütanol	Etanol
Yoğunluk [kg/m^3] (20 °C için)	837	810	788
Setan Sayısı	50	~25	~8
Alt Isıl Değer [MJ/kg]	43	33.1	26.8
Kinematik Viskozite [mm^2/s] (40 °C için)	2.6	2.5	1.2
Kaynama Noktası [°C]	180-360	118	78
Buharlaşma Gizli Isısı [kJ/kg]	250	585	840
Parlama Noktası [°C]	74	35	13
Stokiyometrik hava-yakıt oranı	15	11.2	9
Oksijen İçeriği [% ağırlık]	0	21.6	34.8

Etanol ve bütanolün motorlar için önemli bazı özellikleri aşağıda karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

- Bütanal daha az nem alma özelliğine sahiptir. Bu yüzden hava şartlarından daha az etkilenir.
- Bütanolün parlama noktası daha yüksektir. Dolayısıyla yangın tehlikesi açısından daha güvenlidir.
- Bütanolün ısı değeri etanole göre yaklaşık %25 daha fazladır.
- Bütanolün setan sayısı daha yüksektir. Dolayısıyla dizel motora daha uygundur.
- Bütanol etanole göre daha az korozyif özelliğe sahiptir.

- Genellikle alkollerin viskozitesi karbon zincirinin uzunluğu arttıkça artar. Bu nedenle bütanolün kinematik viskozitesi etanole göre yaklaşık 2,5 kat daha yüksektir.
- Bütanolün fiyatı etanole göre daha yüksektir.

1.3. İçten Yanmalı Motorlarda Çevrimsel Farklar

İçten yanmalı motorlarda belirli bir çalışma koşulunda herhangi bir çevrim diğer bir çevrimle aynı olmamaktadır. İndikatör diyagramları incelendiği zaman her bir çevrimin farklı bir yol izlediği görülmektedir. Bu durum çevrimsel farklar veya çevrimden çevrime farklar olarak bilinir.

Çevrimsel farkların gözlenmesinde basınç ve yanma ile ilgili çeşitli parametreler kullanılmaktadır. Literatürde basınç ile ilgili en çok kullanılan parametreler; maksimum silindir basıncı, maksimum silindir basıncının meydana geldiği krank açısı, maksimum basınç artış hızı, maksimum basınç artış hızının meydana geldiği krank açısı ve ortalama indike basınçtır. Yanma ile ilgili olan parametreler ise maksimum ısı salınım oranı ve maksimum kütleli yanma oranıdır.

Çevrimden çevrime farkları hesaplamak için en çok kullanılan metot yanma parametrelerinin değişim katsayısının (Coefficient of Variation) veya standart sapmanın hesaplanmasıdır. Bunlara ek olarak sürekli dalgacık dönüşümü (Continuous Wavelet Transform), kısa zamanlı fourier dönüşümü (Short Time Fourier Transform), ortalama anlık frekans (Mean Instantaneous Frequency) ve uygun dikgen ayrışımı (Proper Orthogonal Decomposition) gibi teknikler de çevrimden çevrime farkları incelemek için kullanılan yöntemlerdir (Yang vd., 2013).

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada çevrimsel farkların gözlemlenmesinde ortalama indike basınç değeri kullanılmıştır. Çevrimsel farklılıkların hesaplanması için ise varyans katsayısı $COV_{P_{mi}}$ kullanılmıştır. Varyans katsayısı, her çevrim için hesaplanan indike ortalama basınç değerlerinin standart sapmasının ($\sigma_{P_{mi}}$), tüm çevrimler için hesaplanan indike ortalama basınç değerinin ortalamasına ($\overline{P_{mi}}$) oranı olarak tarif edilir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Yang vd., 2013);

$$COV_{P_{mi}} = \frac{\sigma_{P_{mi}}}{\overline{P_{mi}}} \times 100 \quad (1.1)$$

Burada, standart sapma ($\sigma_{P_{mi}}$) ve indike ortalama efektif basınç değerinin ortalaması $\overline{P_{mi}}$ ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_{P_{mi}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{P_{mi}} - P_{mi}(i))^2}{n-1}} \quad (1.2)$$

$$\overline{P_{mi}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{mi}(i) \quad (1.3)$$

Çevrimsel farkların sebepleri üç ana başlık altında toplanabilir. Bunlardan ilki silindir içindeki türbülans ve girdaptan dolayı oluşan gaz hareketleridir. İkinci sebebi ise yakıt, hava ve artık gaz miktarındaki değişimlerdir. Bu parametreler silindir içinde çevrimden çevrime sürekli olarak değişim gösterir. Karışımda meydana gelen bu değişimler doğal olarak çevrimsel farka sebep olur. Çevrimsel farklara sebep olan son etmen ise karışım hazırlanmasıdır. Karışım hazırlanmasındaki farklılıklar ise püskürtme basıncı, püskürtme sırasında silindir içi şartlar ve püskürtme zamanlamasındaki farklılıklardan kaynaklanır (Bittle vd., 2010).

Çevrimsel farklar; motor çalışma şartları, sıkıştırma oranı, hava-yakıt oranı, EGR oranı ve enjeksiyon zamanlaması gibi kontrol girdileriyle değişmektedir. Bununla beraber yakıt türünün de çevrimden çevrime değişimler üzerindeki etkisi büyüktür. Karışım yakıtlarında geleneksel dizel yakıtına göre daha fazla çevrimsel farklılaşma görülmüştür. Düşük sıcaklıkta yanma (Low-Temperature-Combustion), ön karışım dolgulu sıkıştırma ateşleme (Premixed Charge Compression Ignition) ve homojen dolgulu sıkıştırma ateşleme (Homogeneous Charge Compression Ignition) gibi gelişmiş yanma sistemlerinde çevrimsel farklar normal dizel motorlarındaki standart yüksek sıcaklıktaki yanmadan daha fazla meydana gelmektedir. Bu yüzden çevrimsel farkların kontrolü önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır (Yang vd., 2013).

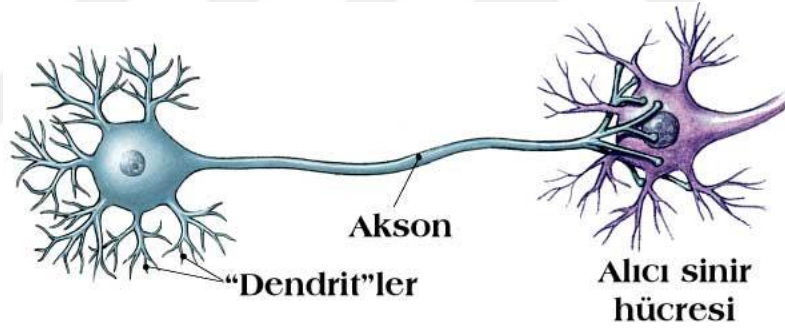
Çevrimsel farkları azaltmanın; daha kararlı bir yanma, daha az tekleme sorunu ve yüksek sürüş konforu gibi birçok faydası vardır. Heywood'a (1988) göre ortalama efektif basınç cinsinden değişim katsayısı ($COV_{P_{mi}}$), %10 değerini aştığı zaman sürüş konforunda problemler ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden çevrimsel farkların azaltılmasında yanma süreci için kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ve kullanılması önem arz etmektedir. Ayrıca

çevrimsel farkların azaltılması yakıt ekonomisi, egzoz emisyonları ve gürültü emisyonları açısından da iyileştirici sonuçlar doğurur (Yang vd., 2013).

1.4. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninden esinlenilerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elamanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır. Bir başka deyişle, biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır (Elmas, 2011).

İnsan beyninde yaklaşık 100 milyar sinir hücresi olduğu düşünülmektedir. Bu milyarlarca hücrenin bir araya gelmesiyle sinir sistemi oluşmaktadır. Dendritler giriş bilgilerini alırken aksonlar ise çıktı bilgilerini diğer sinir hücrelerine taşırlar. Yapay sinir ağları biyolojik hücrelerin bu özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiştir.

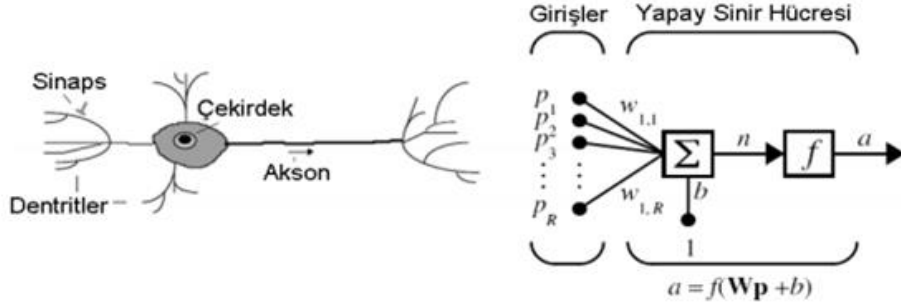


Şekil 1.9. Biyolojik sinir hücresi

Tablo 1.4. Biyolojik ve yapay sinir hücrelerinin karşılaştırılması

Biyolojik Sinir Hücresi	Yapay Sinir Hücresi
Akson	Çıktı
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Çekirdek	Aktivasyon fonksiyonu
Sinaps	Ağırlıklar

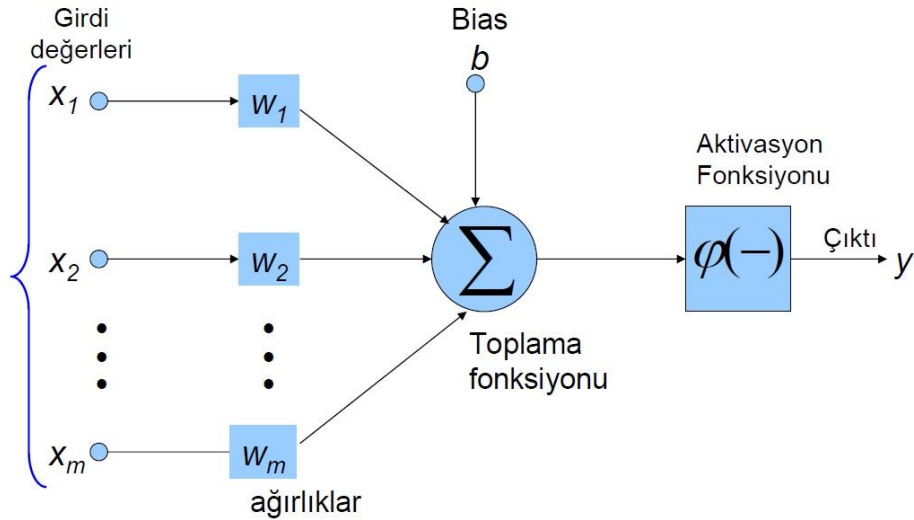
Tablo 1.4'te biyolojik sinir hücresi ile yapay sinir hücresinin birbirine karşılık gelen elemanları gösterilmiştir. Şekil 1.10'da ise biyolojik ve yapay sinir ağları gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Biyolojik ve yapay sinir ağları

1.4.1. Yapay Sinir Ağların Temel Elemanları

Yapay sinir ağları; girdi, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş temel elemandan oluşmaktadır.



Şekil 1.11. Basit bir yapay sinir ağı

1.4.1.1. Girdiler

Çevreden aldığı bilgiyi sinire getirir.

1.4.1.2. Ağırlıklar

Yapay sinir tarafından alınan girdilerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen katsayılardır.

1.4.1.3. Toplama Fonksiyonu

Bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Literatürde toplama fonksiyonu için değişik fonksiyonlar kullanılmıştır. En yaygın olanı ise toplam fonksiyonudur.

Tablo 1.5. Toplama fonksiyonları

Toplam $Net = \sum_{i=1}^n X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve bulunan değerler birbirleriyle toplanarak Net girdi hesaplanır.
Çarpım $Net = \prod_{i=1}^n X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve bulunan değerler birbirleriyle çarpılarak Net girdi hesaplanır.
Maksimum $Net = Max (X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en büyüğü Net girdi olarak kabul edilir.
Minimum $Net = Min (X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en küçüğü Net girdi olarak kabul edilir.

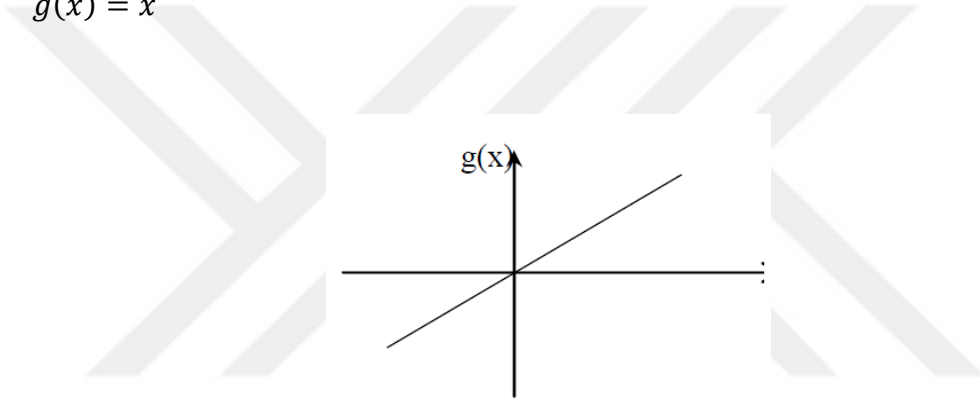
1.4.1.4. Aktivasyon Fonksiyonu

Hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonu için de değişik bağıntılar kullanılmaktadır.

1.4.1.4.1. Özdeşlik Fonksiyonu

Doğrusal problemlerin çözümünde kullanılmakta olup matematiksel gösterimi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$g(x) = x \quad (1.4)$$



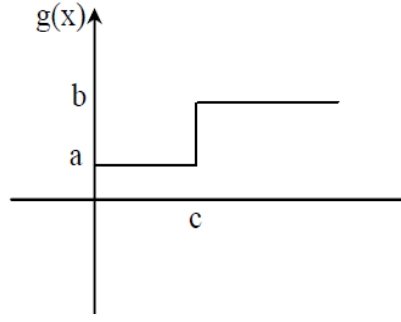
Şekil 1.12. Özdeşlik fonksiyonu

1.4.1.4.2. Basamak Fonksiyonu

Gelen net girdi değerinin belirlenen bir eşik değerinin altında ya da üstünde olmasına göre çıktı verir.

$$g(x) = \begin{cases} a, & x < c \\ b, & x \geq c \end{cases} \quad (1.5)$$

Genellikle $c=0$, $a=0$, $b=1$ ya da $c=0$, $a=-1$, $b=1$ tercih edilir.

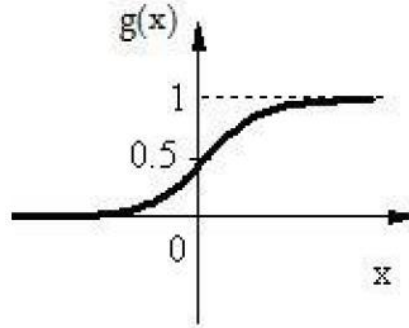


Şekil 1.13. Basamak fonksiyonu

1.4.1.4.3. Sigmoid Fonksiyonu

Özellikle geri yayılım algoritmasıyla kullanılır. Çıktısı $[0,1]$ arasındadır.

$$g(x) = \frac{1}{1 + e^x} \quad (1.6)$$

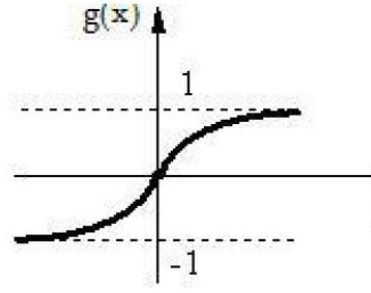


Şekil 1.14. Sigmoid fonksiyonu

1.4.1.4.4. Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu

Çıktısı $[-1,1]$ arasında olan aktivasyon fonksiyonudur.

$$g(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (1.7)$$



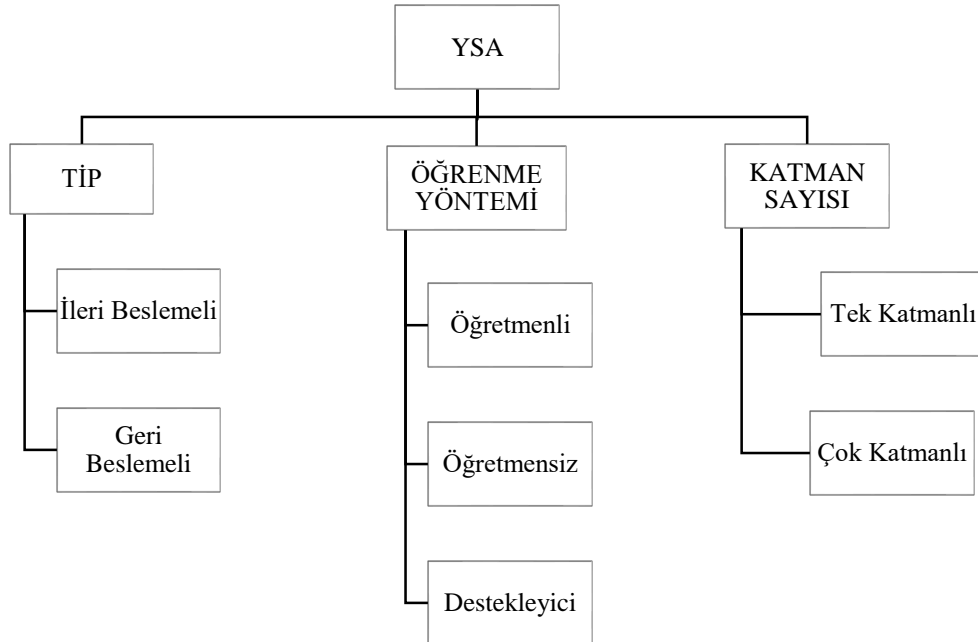
Şekil 1.15. Hiperbolik tanjant fonksiyonu

1.4.1.5. Çıktı

Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı değeri dış dünyaya ya da başka bir hücreye girdi olarak gönderilir.

1.4.2. YSA'nın Türleri

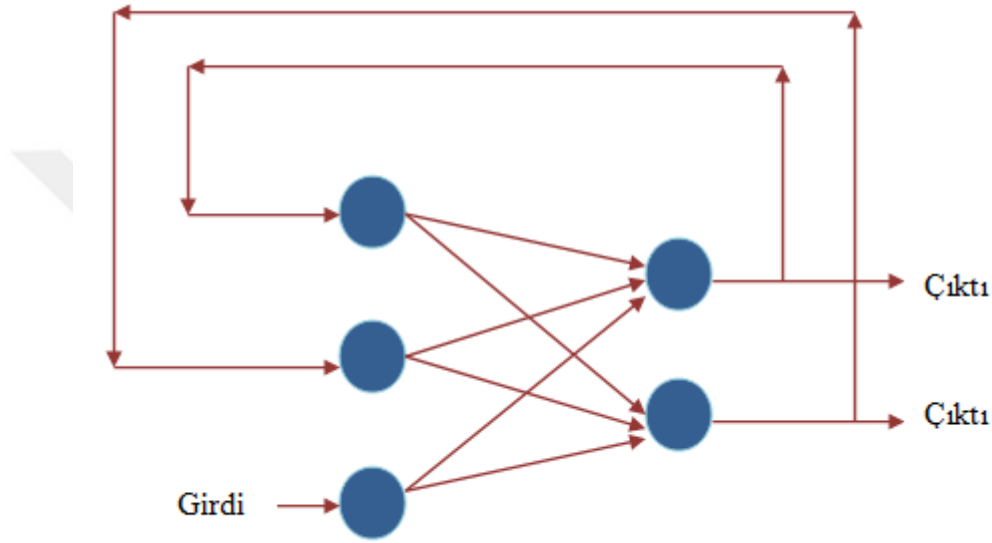
Yapay sinir ağları tipine, öğrenme yöntemine ve katman sayısına göre çeşitlere ayrılır.



Şekil 1.16. YSA türleri

1.4.2.1. Tipine Göre YSA'lar

YSA'lar tipine göre ileri ve geri beslemeli olmak üzere ikiye ayrılır. İleri beslemeli ağlar, verilerin girdi biriminden çıktı birimlerine doğru ileri yönde aktığı ağ yapısıdır. Geri beslemeli ağlar ise veri akışının sadece ileriye doğru değil geriye doğru da olabildiği ağ yapısıdır. Ağ çıktısı aynı zamanda girdi olarak da kullanılabilir.



Şekil 1.17. Geri beslemeli ağ

1.4.2.2. Öğrenme Yöntemine Göre YSA'lar

Öğrenme yöntemine göre YSA'lar öğretmenli öğrenme, öğretmensiz öğrenme ve destekleyici öğrenme olmak üzere üçe ayrılır. Öğretmenli öğrenme, ağ eğitiminde çıktıların istenilen değerlerinin ağa tanıtılabildiği öğrenme metodudur. İstenilen çıktı ile ağın ürettiği çıktı karşılaştırılarak hata hesabı yapılır ve ağırlıklar güncellenir. Çıktıların istenilen değerleri ağa tanıtılamıyorsa bu tip öğrenmeye öğretmensiz öğrenme denir. Sisteme sadece girdiler verilir, örneklerdeki parametreler arasındaki ilişkileri sistemin kendi kendine öğrenmesi beklenir. Son olarak ise destekleyici öğrenmede öğretmen, her girdi seti için olması (üretilmesi) gereken çıktı setini sisteme göstermek yerine, sistemin kendisine gösterilen girdilere karşılık çıktısını üretmesini bekler ve üretilen çıktının doğru veya yanlış olduğunu gösteren bir sinyal üretir. Bu sinyal dikkate alınarak, eğitim süreci devam ettirilir.

1.4.2.3. Katman Sayısına Göre YSA'lar

Tek katmanlı yapay sinir ağları sadece girdi ve çıktı katmanlarından oluşur. En basit tek katmanlı sinir ağı modeli Perceptron'dur. Çok katmanlı yapay sinir ağlarında ise, girdi ve çıktı katmanlarına ilave bir ya da daha fazla gizli katman mevcuttur.

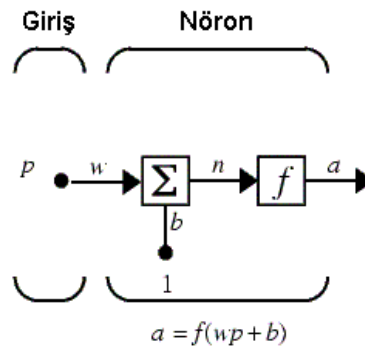
1.4.3. Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları

İlk yapay sinir hücresi (YSH), Waren McCulloch ve Walter Pits tarafından 1943 yılında geliştirilmiştir. Bu geliştirilen ilk YSH, girdilerin ağırlıklı toplamının belli bir eşik değeri ile karşılaştırılması sonucuna göre çıktılar üretmekteydi. Eğer çıktı, eşik değerinden büyükse 1 değilse 0 olarak sınıflandırıldı. Fakat bu YSA da öğrenme yeteneği yoktu ve ağırlıklar kullanıcı tarafından belirlenirdi.

1957 yılında Frank Rosenblatt algılayıcı (Perceptron) adını verdiği sinir ağını geliştirdi. Algılayıcının, ilk YSA'dan farkı, sinir hücresinin eğitimi için bir öğrenme kuralına sahip olmasıydı.

1.4.3.1. Perceptron

Perceptron modeli eğitilebilen tek bir yapay sinir hücresinden oluşmaktadır. Bu modelde ağırlıklandırılmış girdiler aktivasyon fonksiyonuna uygulanır ve +1 ya da -1 şeklinde bir çıktı alınır. Perceptron'un amacı girdileri sınıflandırmaktır.

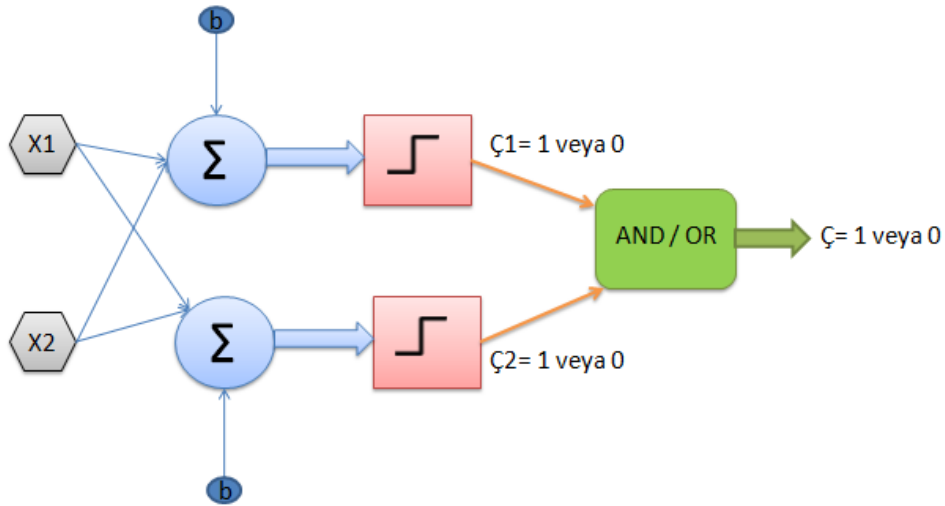


Şekil 1.18. Basit algılayıcı

1.4.3.2. Adaline ve Madaline

Adaptif doğrusal element (Adaptive Linear Element) olarak ifade edilen ADALINE, Widrow ve Hoff tarafından 1960 yılında geliştirilmiştir. Öğrenme algoritması olarak en küçük ortalama kareler (Least Mean Square) yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem Delta öğrenme kuralı olarak da bilinmektedir. Delta öğrenme kuralı, aktivasyon fonksiyonun çıktısı ile istenen çıktı arasındaki fark karelerinin ortalamasını en küçük yapmaya çalışır (Hamzaçebi, 2011).

MADALINE ağları birden fazla ADALINE ünitesinin bir araya gelmesiyle oluşur ve öğrenme kuralı ADALINE öğrenme kuralı ile aynıdır. Buradaki fark en sonda bulunan AND veya OR sonlandırıcısının olmasıdır (Öztemel, 2012).



Şekil 1.19. Madaline ağ yapısı

1.4.4. Tek Katmanlı Ağların Öğrenme Algoritmaları

Yapay sinir ağlarında ağırlık değerlerinin belirlenmesine ağın eğitilmesi denir. Buradaki amaç ağa gösterilen örnekler için en doğru sonucu verecek ağırlık değerlerini bulmaktır. Tek katmanlı algılayıcıları birbirinden ayıran tek şey öğrenme kuralıdır (Öztemel, 2012).

Perceptron'da ağırlık değiştirme işlemi girdilerin öğrenme katsayısı (λ) ile çarpılıp ağırlıklara eklenmesi veya çıkarılması ile gerçekleşir.

$$t-o >0 \text{ ise } W_{yeni}=W_{eski} + \lambda *X_i \quad (1.8a)$$

$$t-o <0 \text{ ise } W_{yeni}=W_{eski} - \lambda *X_i \quad (1.8b)$$

Adaline'da ise ağırlık değiştirme işlemi için hata ifadesi kullanılır. Bu hata değeri ile öğrenme katsayısı ve girdiler çarpılarak ağırlıklara eklenir.

$$W_{yeni}=W_{eski} + \lambda *(t-o)*X_i \quad (1.9)$$

Burada;

t = istenilen çıktı

o = ağın ürettiği çıktı

λ = öğrenme oranı

X= girdi vektörü 'nü temsil etmektedir.

1.4.5. Tek Katmanlı Ağların Sınırları

Basit algılayıcılar aritmetiksel ve mantıksal fonksiyonları çözme amacı ile geliştirilmişlerdir. Ancak doğrusal olayları çözebilmelerine karşın doğrusal olmayan olayları çözememektedir. AND ve OR fonksiyonları doğrusal olarak bölünebilirken XOR fonksiyonu doğrusal olarak bölünememektedir.

1.4.6. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Günlük hayatta karşılaşılan çoğu olay doğrusal bir yapıya sahip değildir. Tek katmanlı YSA modelleri ise yalnız doğrusal olayları çözdüğü için çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA) geliştirilmiştir. Bu model günümüzde mühendislik problemlerinin hemen hemen hepsine çözümler üretecek bir güce sahiptir. Bir ÇKA'nın ayırt edici üç önemli özelliği vardır (Haykin, 1994);

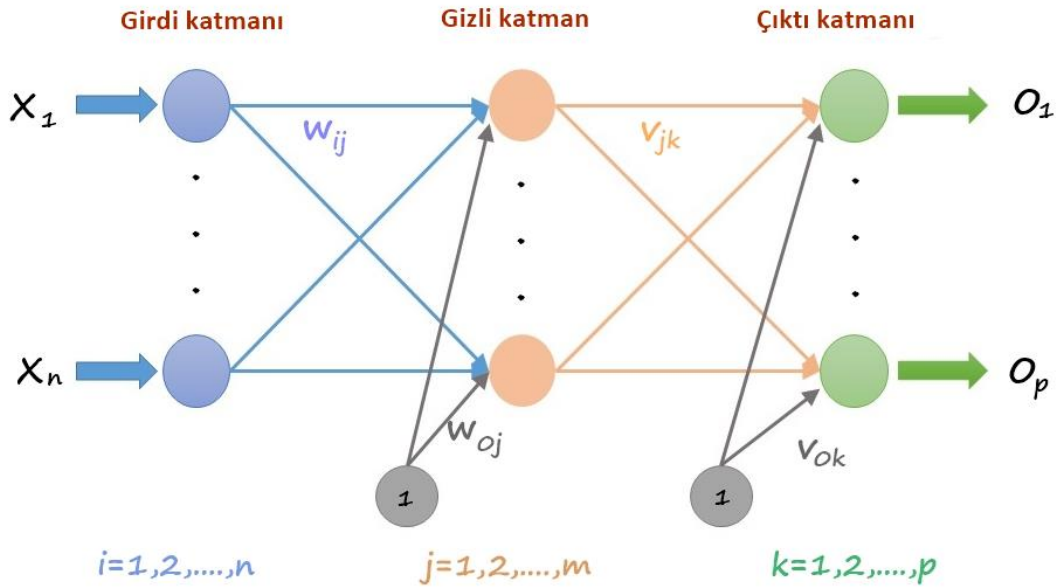
- Ağdaki her bir nöron doğrusal olmama özelliği içerir. Bunu ise genellikle kullanılan sigmoid fonksiyonu ile yapar.
- Gizli nöronlardan oluşan bir ya da daha fazla gizli katmana sahiptir. Bu ise girdi verisindeki karmaşık yapıyı öğrenmede başarılı kılar.

- Ağ bağlantıları sayesinde çok yüksek derecede bilgi işleme becerisi gösterir.

ÇKA'nın gelişimi MADALINE çalışmalarına dayanır. 1960'ların MADALINE'ında adaptif ara katman ve basamak fonksiyonuna sahip çıktı katmanı vardı. Ancak eksik olan bugün geri yayılım algoritması olarak bilinen bir öğrenme algoritmasıydı (Hamzaçebi, 2011).

1.4.6.1. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarının Öğrenme Algoritması

Çok katmanlı ağlar öğretmenli öğrenme stratejisine göre çalışırlar. Yani, bu ağlara eğitim sırasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık gelen çıktılar gösterilir. Öğrenme kuralı ise en küçük kareler yöntemine dayalı Delta Öğrenme Kuralının genelleştirilmiş halidir.



Şekil 1.20. Çok katmanlı yapay sinir ağı

Genelleştirilmiş Delta Kuralı iki aşamadan meydana gelir;

Birinci aşama - İleri doğru hesaplama: Ağın çıktısı hesaplanır.

İkinci aşama - Geriye doğru hesaplama: Ağırlıklar değiştirilir (Öztemel, 2012).

Buradaki iki aşamanın işleyişi aşağıda gösterilmiştir (Hamzaçebi, 2011) ;

Aşama 1 : Başlangıç ağırlıkları rassal olarak atanır. Öğrenme parametreleri ve durdurma kriteri belirlenir.

Aşama 2 : Girdi katmanındaki nöronlar dışarıdan girdi değerlerini alır (x_i ; $i=1,2,\dots,n$) ve gizli katman nöronlarına gönderir.

Aşama 3 : Gizli katman nöronları gelen net girdiyi aktivasyon fonksiyonundan geçirerek kendi çıktısını üretir ve çıktı katmanı nöronlarına gönderir.

$$Z_{j,\text{net girdi}} = w_{0j} + \sum w_{ij} x_i$$

$$Z_j = f(Z_{j,\text{net girdi}})$$

Aşama 4 : Çıktı katmanı nöronları gelen net girdiyi aktivasyon fonksiyonundan geçirerek kendi çıktısını üretir.

$$O_{k,\text{net girdi}} = v_{0k} + \sum v_{jk} Z_j$$

$$O_k = f(O_{k,\text{net girdi}})$$

Aşama 5 : Her bir çıktı nöronu için hata bilgi değeri hesaplanır.

$$\delta_k^{\text{çikti}} = (t_k - O_k) f'(O_{k,\text{net girdi}})$$

Böylece gizli katmanı çıktı katmanına bağlayan bağlantıların ve eşik terimi ağırlıklarındaki değişim miktarı hesaplanır.

$$\Delta v_{jk}^{\text{yeni}} = \eta \delta_k^{\text{çikti}} z_j + \lambda \Delta v_{jk}^{\text{eski}}$$

$$\Delta v_{0k}^{\text{yeni}} = \eta \delta_k^{\text{çikti}} + \lambda \Delta v_{0k}^{\text{eski}}$$

Aşama 6 : Her bir gizli katman nöronu için net hata girdisi hesaplanır

$$\delta_{\text{net}}^{\text{gizli}} = \sum (\delta_k^{\text{çikti}} v_{jk})$$

Net hata girdisi yardımıyla her bir gizli nöron için hata bilgi değeri elde edilir.

$$\delta_j^{\text{gizli}} = \delta_{\text{net}}^{\text{gizli}} f'(Z_{j,\text{net girdi}})$$

Böylece girdi katmanını gizli katmana bağlayan bağlantıların ve eşik teriminin ağırlıklarındaki değişim miktarı hesaplanır.

$$\Delta w_{ij}^{\text{yeni}} = \eta \delta_j^{\text{gizli}} x_i + \lambda \Delta w_{ij}^{\text{eski}}$$

$$\Delta w_{0j}^{\text{yeni}} = \eta \delta_j^{\text{gizli}} + \lambda \Delta w_{0j}^{\text{eski}}$$

Aşama 7 : Her bir çıktı nöronu için ağırlıklar aşağıdaki şekilde değiştirilir.

$$v_{jk}^{\text{yeni}} = v_{jk}^{\text{eski}} + \Delta v_{jk}^{\text{yeni}} \quad ; \quad k=1,2,\dots,p \quad j=0,1,\dots,m$$

Benzer şekilde her bir gizli katman nöronu için ağırlıklar aşağıdaki şekilde değiştirilir.

$$w_{ij}^{\text{yeni}} = w_{ij}^{\text{eski}} + \Delta w_{ij}^{\text{yeni}} \quad ; \quad i=0,1,\dots,n$$

Aşama 8 : Eğitim kümesindeki her bir girdi-çıktı çifti için aşama 2-7 tekrarlanır.

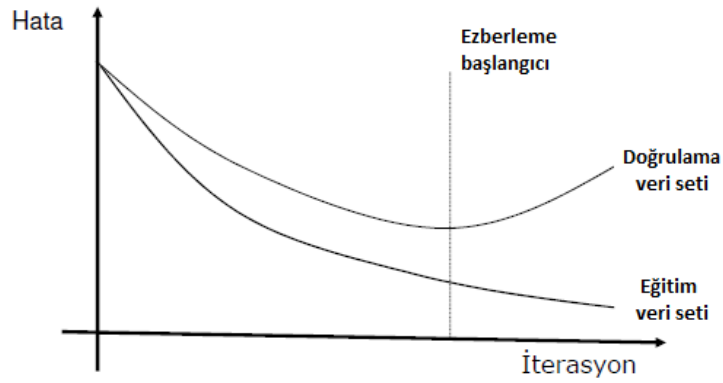
Aşama 9: Durdurma kriterinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Eğer sağlanmadıysa aşama 2'ye geri dönülüp yeni iterasyon yapılır.

1.4.6.2. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarının Eğitiminde Önemli Noktalar

Çok katmanlı yapay sinir ağlarının başarısı eğitimlerine bağlıdır. İyi bir eğitimi de etkileyen birçok parametre vardır. Bunlardan en önemlileri ise veri kümesinin düzenlenmesi, hata miktarının belirlenmesi, öğrenme ve momentum katsayıların seçilmesi şeklinde sıralanabilir.

1.4.6.2.1. Veri Kümesinin Düzenlenmesi

Ağ eğitimine başlamadan önce eldeki veriler eğitim, doğrulama ve test olmak üzere 3'e ayrılır. Veriler bu kısımlara ayrılırken her üç kümeye ayrılan verilerin, bütünün özelliklerine sahip kümeler olmasına dikkat edilmelidir.

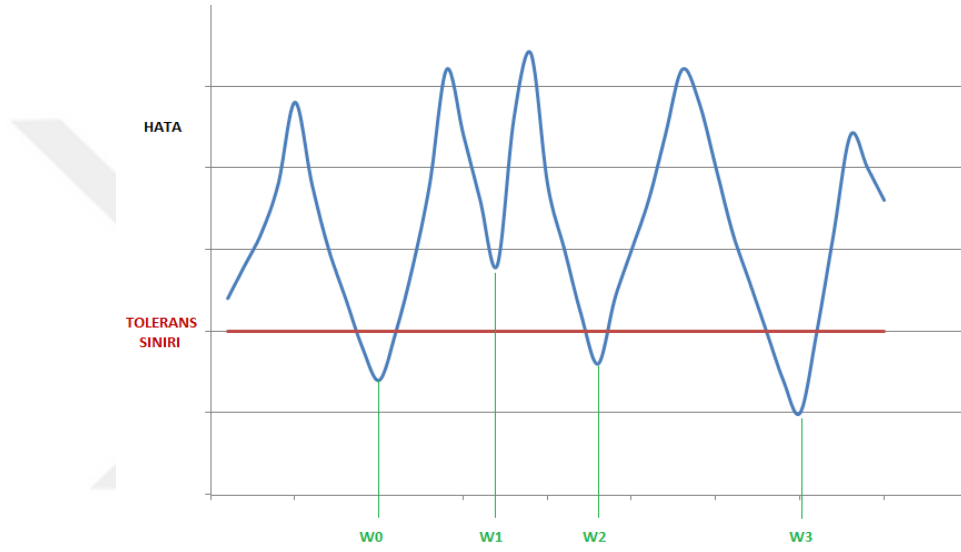


Şekil 1.21. Ezberleme başlangıcı

Doğrulama veri seti sayesinde ağın eğitimi sırasında ağın öğrenmek yerine ezberlemeye gitmesi engellenir. Böylece ağın genelleme yapması sağlanır.

1.4.6.2.2. Hata Miktarının Belirlenmesi

Şekil 1.22'de örnek bir problem için hata-ağırlık ilişkisi gösterilmiştir. Bu problem için en az hatayı w_3 ağırlığı vermektedir. Fakat pratikte bu hata değerine ulaşmak mümkün olmayabilir. Bunun için belirli bir hata değeri (tolerans) kabul edilip o değer altındaki değerler için ağırlık eğitimi tamamlanabilir. Örnekte w_3 global çözüm olmasına karşın w_0 ve w_2 ' de kabul edilebilir ağırlık değerleridir.



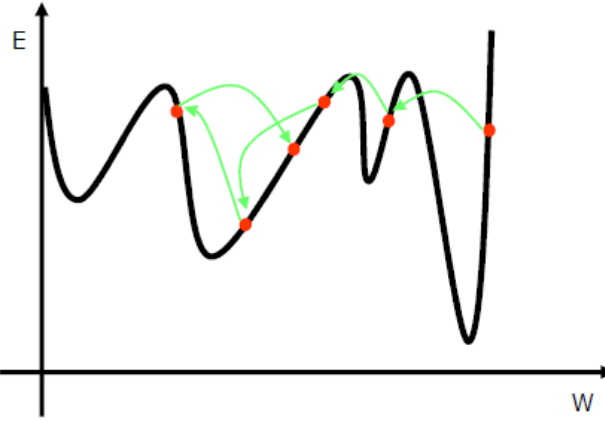
Şekil 1.22. Ağırlık-hata ilişkisi

Bazı durumlarda hata tolerans seviyesinin üstünde, yerel çözümde kalabilir. Bu durumda ağırlık öğrenmesini tamamlayabilmesi için bazı değişiklikler yapmak gerekir. Bunlar (Öztemel, 2012);

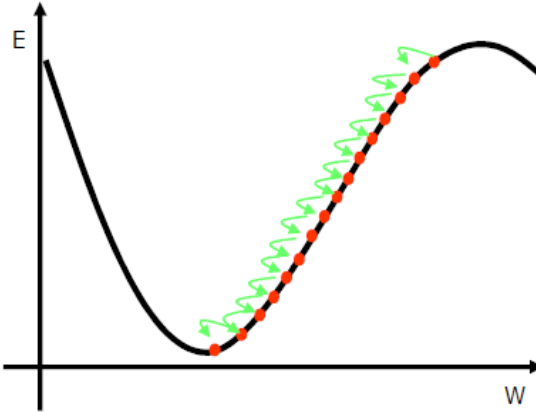
- * Farklı başlangıç ağırlıkları kullanmak
- * Katman sayısını değiştirmek
- * Nöron sayısını değiştirmek
- * Aktivasyon fonksiyonunu değiştirmek
- * Öğrenme katsayısını değiştirmek
- * Momentum katsayısını değiştirmek
- * Veri sayısını arttırmak olarak özetlenebilir.

1.4.6.2.3. Öğrenme Katsayısı

Öğrenme katsayısı ağırlıkların değişim miktarını belirlemektedir. Öğrenme katsayısının çok büyük seçilmesi durumda sistem kararsız bir hal alırken çok küçük seçilmesi durumunda ise öğrenme zamanı fazlasıyla artmaktadır. Tecrübeler genellikle 0.2-0.4 arasındaki değerlerin kullanıldığını göstermektedir.



Şekil 1.23. Öğrenme katsayısının büyük seçilmesi durumu

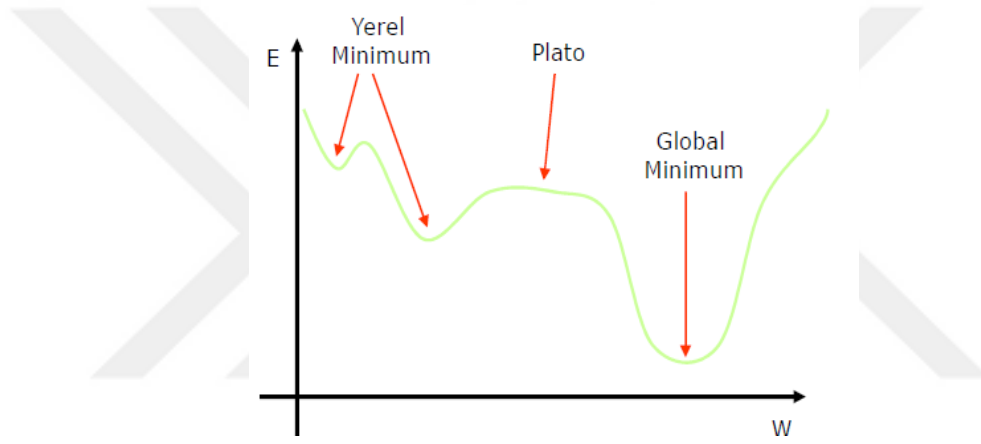


Şekil 1.24. Öğrenme katsayısının küçük seçilmesi durumu

Eğer öğrenme katsayısı gereğinden büyük olursa problem uzayında rastgele gezinme olur. Bunun da ağırlıkları rastgele değiştirmekten farkı olmaz. Eğer öğrenme katsayısı çok küçük olursa bu durumda ise çözüme ulaşmak daha uzun sürer (Takçı, 2010).

1.4.6.2.4. Momentum Katsayısı

Momentum katsayısı, bir önceki iterasyondaki değişimin bir bölümünün yeni değişim miktarına eklenmesi olarak ifade edilir. Bu katsayı ile yerel çözümlere takılan ağların sıçrama ile kurtulması amaçlanmıştır. Yani ağın daha hızlı toparlamasına yardım eden bir faktördür. Bu katsayı 0 değerinde ağırlık değişimde geçmiş değişimin dikkate alınmadığı, 1 değerinde ise ağırlık değişiminin daha fazla geçmiş değişime bağlı olduğu durumu anlamına gelmektedir. Tecrübeler genellikle 0.6-0.8 arasındaki değerlerin kullanıldığını göstermektedir.



Şekil 1.25. Momentum katsayısının hataya etkisi

Momentum katsayısı, yerel çözümlere ve platolara takılmayı önler. Bu değer çok küçük seçilmesi yerel çözümlerden kurtulmayı zorlaştırır. Değerin çok büyük seçilmesi ise tek bir çözüme ulaşmada sorunlara neden olabilir (Takçı, 2010).

1.4.7. Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları

1.4.7.1. YSA'nın Avantajları

- Matematiksel modele ihtiyaç duymazlar.
- Öğrenme kabiliyeti vardır.
- Daha önce görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilir.

- Doğrusal olmayan çok boyutlu, gürültülü ve eksik bilgili durumlarda başarılıdır.
- Bir problem için ağ modelleneyeceği zaman herhangi bir bilgiye ihtiyaç duyulmaz sadece örnek gereklidir. Örnek bulmaksa bilgi bulmaktan kolaydır.
- YSA'nın uygulanması oldukça pratik ve ekonomiktir.
- YSA, aynı olay için yeni ve farklı bilgiler oluşturduğunda da yeniden rahatlıkla eğitilebilir ve ortama uyum sağlayabilir.

1.4.7.2. YSA'nın Dezavantajları

- YSA ile bir uygulama geliştirilirken model seçiminde ve ağların topolojisini belirlerken belli bir kural yoktur. Doğru seçimlerin yapılması tamamen kullanıcının tecrübesine bağlıdır.
- Kara kutu olarak nitelendirilir. YSA, regresyon modellerinde olduğu gibi girdilerin çıktılar üzerindeki etkisini söyleyemez.
- Genel minimumu bulamama riski vardır. Ancak genel minimuma yakın yerel minimumlarda oldukça iyi sonuçlar verebilir.
- Tam olarak genelleştirme yapabilmesi için çok sayıda örneğe ihtiyaç vardır.
- Problemin ağa gösterimi çok önemli bir etkidir. YSA sadece sayısal bilgilerle çalışır ve problemin sayısal değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Bu da kullanıcının becerisine bağlıdır.

1.5. Literatür Araştırması

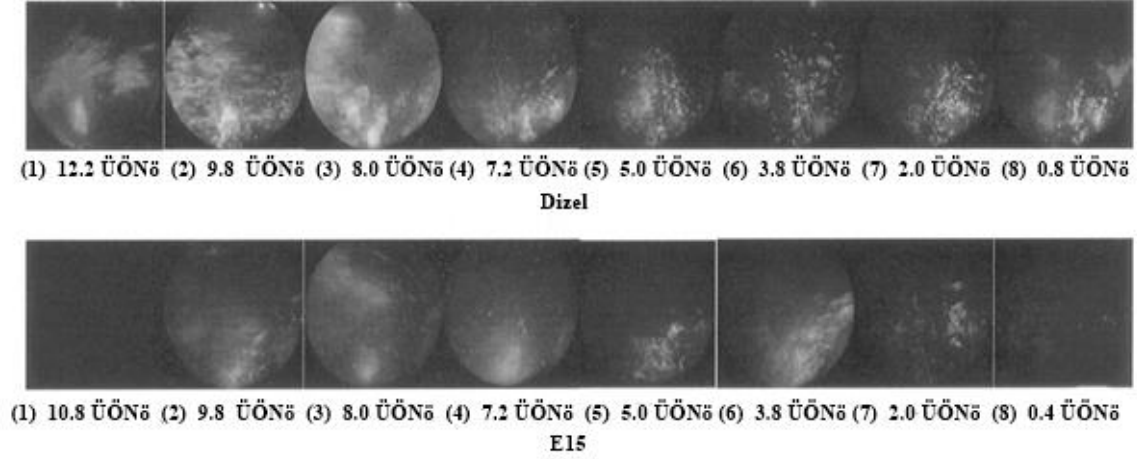
Dizel motorlarının benzin motorlarına göre efektif verimleri ve döndürme momentleri yüksektir. Ayrıca benzin motorlarına göre daha az oranda CO ve HC emisyonlarına sahiptir. Bu nedenlerden dolayı günümüzde tarımda, taşımacılıkta ve sanayinin birçok kolunda tercih edilmektedir. Fakat bununla birlikte NO_x ve partikül madde emisyonları ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Dizel motorlarında zararlı egzoz emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Alternatif yakıt kullanımı uygulama kolaylığı nedeniyle çokça tercih edilmektedir. Alkollerin bitkisel türevli yenilenebilir bir yakıt olması onları cazip hale getirmektedir. Ayrıca yapısındaki yüksek oksijen oranı egzoz emisyonlarını azaltıcı yönde katkı sağlamaktadır.

Buji ateşlemeli içten yanmalı motorlarda çevrimden çevrime farkların olduğu açıkça bilinmektedir. Yanma işleminde çevrimsel farklara genel olarak silindir içindeki karışımın hareketi, hava-yakıt oranındaki değişim ve artık gazların miktarı sebep olmaktadır. Buji ateşlemeli motorların aksine dizel motorlarında yanma işlemi daha karardır. Fakat detaylı bir inceleme yapıldığında saf dizel ve karışım yakıtlarının kullanılması neticesinde çevrimsel farklar gözlenebilmektedir. Tez kapsamında yapılacak deneylerde etanol ve bütanolün dizel motorlarda kullanılması durumunda oluşacak çevrimsel farklar incelenecek ve yapay sinir ağları ile modelleme yapılacaktır. Bu bağlamda aşağıda kronolojik sıra ile dizel motorlarda alkollerin kullanılması, dizel motorlarda çevrimsel farklılık ve içten yanmalı motorlarda yapay sinir ağları uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında kısa bir literatür özeti verilecektir.

Bilgin vd. (2002) etanol-dizel yakıtı karışımlarının motor performansları üzerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler için tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı ve değiştirilebilir sıkıştırma oranlı bir dizel motoru kullanılmıştır. Çalışmada dört farklı karışım (DE0, DE2, DE4, DE6) durumu incelenmiş ve 900 ile 1600 devir arasında, üç farklı sıkıştırma durumunda (19, 21, 23) deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda tüm sıkıştırma oranları için DE4 karışımı hem moment hem de motor gücü açısından en iyi sonuçları vermiştir. Yine aynı karışım oranı için efektif verim artmış ve özgül yakıt tüketimi azalmıştır. Sonuç olarak DE4 (%4 etanol-%96dizel) karışımı en uygun karışım oranı olarak tespit edilmiştir. $\epsilon=21$ durumunda güç ve momentte %1.5'lik bir artış, efektif verimde %3.5'lik bir artış ve özgül yakıt tüketiminde ise %2.5'lik bir azalma elde edilmiştir. Yazar tarafından etanolün ısıl değerinin dizele göre az olmasına karşın performansın artması, yanmanın iyileşmesiyle açıklanmıştır.

Xingcai vd. (2004) bir dizel motorunda etanol kullanılmasının motor performansı ve yanma karakteristiğine olan etkisini incelemişlerdir. Çeşitli etanol-dizel yakıtı karışımları (E5, E10, E15 ve E20) kullanılan çalışmada deneyler için tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. İki farklı devir sayısı (1760 ve 2200) ve farklı yükler altında yapılan deneylerde devir sayısı, moment, yakıt tüketimi, egzoz sıcaklığı, yağ sıcaklığı, CO, NO_x, HC ve is ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Ayrıca yanma karakteristiğinin daha iyi anlaşılabilmesi için motor video sistemi kullanılarak yanma işlemi kaydedilmiştir. Sonuçlar incelendiği zaman özgül yakıt tüketiminin, karışımdaki etanol miktarının artmasıyla düşen ısıl değer yüzünden arttığı görülmüştür. Efektif verim de saf dizel yakıtına göre etanol kullanılmasıyla artmıştır. Bunun sebebi olarak ise etanoldaki oksijen içeriği sayesinde

yakılabilen yakıt miktarının arttığı ve düşük alev sıcaklığı nedeniyle de ısı kayıplarının azaldığı yorumu yapılmıştır. Egzoz emisyonlarına bakıldığı zaman is, CO ve NO_x emisyonları azalırken buna karşın hidrokarbon emisyonları artmıştır. Yapılan çalışmada son olarak saf dizel yakıtı ve %15'lik etanol-dizel yakıtı karışımına ait yanma fotoğrafları paylaşılmıştır.



Şekil 1.26. Etanol-dizel yakıtının yanma işlemine ait alev fotoğrafları

Şekil 1.26'daki alev fotoğraflarından da net bir şekilde görüldüğü gibi etanol karışımı kullanıldığında tutuşma gecikmesi artmaktadır. Saf dizel için alev ÜÖN'den 12.2 derece önce her yöne dağılmış haldeyken %15'lik etanol karışımında ÜÖN'den 9.8 derece öncesine kadar yanma hala başlamamıştır. Yanma sürelerine bakıldığı zaman ise etanol karışımı için yanma süresinin azaldığı görülmektedir. Etanol karışımında alev ÜÖN'ye gelmeden 9.8-3.8 derece arasında görünürken saf dizel yakıtında 11.8-2.2 derece arasında görülmektedir. Yanma süresinin azalmasıyla ilgili bir diğer açıklama ise tutuşma gecikmesinin azalmasıyla birlikte ön yanma fazının uzamasıdır. Diğer muhtemel sebep ise mikro patlamalardan kaynaklı iyi bir karışım oluşmasıdır. Ayrıca son olarak yanma fotoğrafları incelendiğinde, alev parlaklığının etanol karışımı için daha az olduğu açıkça görülebilir. Bu durum ise is emisyonlarının etanol karışımı için daha az olduğunun göstergesidir.

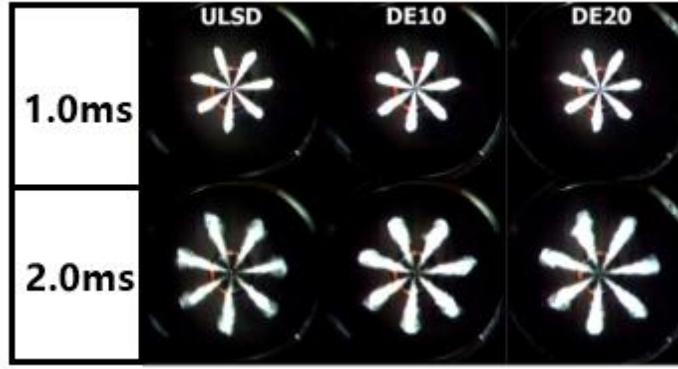
Rakopoulos vd. (2008) dizel-etanol karışımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler için Mercedes-Benz firmasına ait 6 silindirli, turboşarjlı, dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. Karışım oranı olarak %5 ve %10 seçilmiştir. Fakat bu karışımlara faz

ayırışmasını önlemek ve homojen karışım elde etmek için %1.5 oranında sürfektan madde eklenmiştir. Yani E10, %10 etanol, %88.5 dizel ve %1.5 sürfektan maddeden oluşmaktadır. Deneyle iki farklı devir sayısı (1200 d/d ve 1500 d/d) ve üç farklı yük durumu ($P_{me} = 3.56, 7.04$ ve 10.52 bar) için yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda her iki devir sayısı ve tüm yük durumları için is emisyonları, karışım oranının artmasına bağlı olarak azalmıştır. Karışım yakıt kullanılmasıyla NOx emisyonları ya aynı kalmış ya da az miktarda azalmıştır. Yani sonuç olarak bir artma meydana gelmemiştir. CO emisyonlarında da saf dizel yakıtına göre bir azalma meydana gelmiştir. Bununla beraber etanol-dizel karışımı kullanılması HC emisyonlarının artmasına sebep olmuştur. Çalışma motor performansları açısından değerlendirildiğinde ise saf dizele göre etanol-dizel karışımı kullanılmasıyla özgül yakıt tüketiminde bir artma meydana gelmiştir. Bu sonuç aslında beklenen sonuçtur. Çünkü etanolün ısı değeri dizel yakıtına göre daha düşüktür. Efektif verim de karışım oranına bağlı olarak az miktarda artmıştır.

Etanol ile ilgili bir diğer çalışma da Huang vd. (2009) tarafından yapılmıştır. Çalışmada etanol-dizel karışımının motor performansı ve emisyonları üzerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. İlk olarak etanol-dizel yakıtının farklı karışım oranları (E10, E20, E25, E30) için çözünürlüğü incelenmiştir. E10 karışımı için 72 saat, E20 karışımı için 24 saat, E25 karışımı için 2 saat ve E30 karışımı için ise 5 dakika sonra faz ayrışması meydana geldiği gözlenmiştir. Faz ayrışması sorununu çözebilmek için tüm karışımlara %5 oranında n-bütanol eklenmiştir. Sonuç olarak incelendiğinde ise faz ayrışması E10 için meydana gelmemiş diğer yakıtlar için de en az iki hafta sürmüştür. Deneyle için kullanılan etanol %99.7 oranında saflığa sahiptir. Deneyle iki farklı devir sayısı ve çeşitli yük durumlarında gerçekleştirilmiş ve deneyle için tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. Etanolün ısı değeri saf dizel yakıtına göre düşük olduğu için her iki devir sayısında karışım oranının artmasına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi artmıştır. Efektif verim ise karışım yakıtı kullanıldığında 4.5 kW yük değerine kadar azalmış, 6 kW ve üzeri yük durumunda ise artmıştır. Düşük yük durumunda CO emisyonları karışım yakıtı kullanılmasıyla artmış fakat yüksek yük durumlarında ise daha fazla tam yanma gerçekleştiğinden neredeyse %50 oranında azalmıştır. HC emisyonları 1500 dev/dak için karışım yakıtı kullanıldığında artmış fakat 2000 dev/dak ve yüksek yük durumunda karışım yakıtı saf dizele göre daha az HC emisyonuna sebep olmuştur. NOx emisyonları düşük devirde karışım yakıtı kullanılmasıyla azalmıştır. Fakat yüksek devirde düzgün bir eğilim görülmemiştir. Yük durumuna göre artma ve azalmalar meydana

gelmiştir. Son olarak karışım yakıt kullanılmasıyla her iki devirde de is miktarında azalma meydana gelmiştir. Azalma miktarı yük arttıkça daha da artmış ve %80'lerin üzerine çıkmıştır.

Park vd. (2011) etanol-dizel yakıtı karışımlarının yanma ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler dört silindirli, dört zamanlı, ortak hatlı yakıt püskürtme sistemine sahip bir dizel motorunda yapılmıştır. Bu çalışmada egzoz emisyonlarının yanı sıra demet ucu nüfuzu (spray tip penetration) ve demet açısı gibi yakıt demeti karakteristikleri de incelenmiştir. Deneylerde saf dizel yakıtı ve 2 farklı etanol karışımı; DE10 (%10 etanol) ve DE20 kullanılmış ve faz ayrışmasını engellemek için ise %10 oranında biyodizel eklenmiştir. Deneyler 1500 dev/dak hızı ve farklı püskürtme zamanlarında gerçekleştirilmiştir. Yakıt demeti karakteristikleri tespiti için ise yüksek hızlı kamera kullanılmıştır. Egzoz emisyonları açısından sonuçlar incelendiğinde karışımda etanol oranı arttıkça NO_x emisyonları azalmış CO ve HC emisyonları ise artmıştır. Yakıt demeti karakteristikleri incelendiğinde sabit püskürtme basıncı ve miktarı ile sabit hava şartlarında, dizel yakıtının demet ucu nüfuzu etanol-dizel yakıtı karışımlarına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Etanol karışımlarında demet ucu nüfuzun daha az olmasının sebebi düşük yoğunlukları yüzünden damlacık momentumlarının daha az olmasıdır. Ayrıca demet ucu nüfuzu ortamdaki gazın aerodinamik direncinden de etkilenmektedir. Karışıma etanol eklenmesiyle düşen kinematik viskozite daha küçük damlacıkların oluşmasını sağlar. Küçük damlacıkların toplam yüzey alanı artar ve her bir damlacığın momentumu düşer. Bu durum ise demet ucu nüfuzunun azalması yönünde etki yapar. Ayrıca dizel yakıtı ve etanol karışımlarına ait yakıt demeti fotoğrafları incelendiğinde demet oluşumu ve demet açısı görülmektedir. Karışımdaki etanol oranı arttıkça demet açısı artma eğilimi göstermiştir. Demet açısı ortamdaki hava yoğunluğu ile doğru, yakıt yoğunluğu ile ters ($\theta \sim (\rho_a/\rho_f)^{0.26}$) orantılıdır.



Şekil 1.27. Etanol karışımının yakıt demeti oluşumu ($P_{püs}=70$ MPa, $P_{hava}=3$ MPa, $m_{yakıt}=10$ mg)

Rakopoulos vd. (2010) bütanol-dizel karışımları üzerinde çalışmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada egzoz emisyonlarını ve motor performansını incelemişlerdir. Deneyler için tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, su soğutmalı ve yüksek devir sayılı bir dizel motoru kullanmışlardır. %99.9 saflıkta olan n-bütanolün üç farklı karışım durumu (%8, %16 ve %24) ve saf dizel kullanılan deneylerde sabit 2000 dev/dak ve üç farklı yük durumunda ($P_{me}=1.4$ bar, 2.57 bar ve 5.37 bar) incelemeler yapılmıştır. Yapılan deneylerde her bir yük durumu için karışım oranı arttıkça is miktarı azalmıştır. Yük miktarı arttıkça is emisyonundaki azalma oranı daha fazla olmuştur. Aynı şekilde NOx emisyonları da her bir yük durumunda karışım oranı arttıkça azalmıştır. Düşük ısıl değer ve yüksek buharlaşma ısısı yanma sonu sıcaklığını düşürürken düşük setan sayısı (tutuşma gecikmesi fazla olur ve ön yanma fazı sıcaklığı artar) yanma sonu sıcaklığını arttırır. Fakat burada düşük ısıl değer ve yüksek buharlaşma ısısı daha etkin rol oynayarak yanma sonu sıcaklığını düşürmüştür. CO emisyonları da karışım oranına bağlı olarak azalmıştır. Fakat HC emisyonlarında karışım oranı arttıkça bir artma meydana gelmiştir. Bütanolün ısıl değeri dizel yakıtına göre daha düşük olduğu için karışım oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminde artma meydana gelmiştir. Fakat karışım oranı arttıkça termik verimde az miktarda bir artış gözlenmiştir. Bütanol oranı arttıkça ön yanma modu uzamakta ve ayrıca düşük setan sayısı sabit hacimde yanmayı arttırmaktadır. Böylece termik verim de artmış olmaktadır. Son olarak da bütanolün düşük ısıl değeri ve yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle egzoz gazları sıcaklığının düştüğü tespit edilmiştir.

Rakopoulos vd. (2010) Atina'daki otobüslerde kullanılan dizel motorunda n-bütanol-dizel karışımlarını kullanarak performans ve emisyon incelemesi yapmışlardır. Kullanılan

motor Mercedes-Benz firmasına ait dört zamanlı, altı silindirli, su soğutmalı ve turboşarjlı bir dizel motordur. Deneyler için %99.9 saflıkta n-bütanol kullanılarak %8 ve %16 hacimsel oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada iki farklı devir sayısı (1200 ve 1500 dev/dak) ve üç farklı yük durumu ($P_{me}=3.56, 7.04, 10.52$ bar) incelenmiştir. Bütanol kullanılmasıyla is emisyonları saf dizele göre azalmıştır ve bütanol miktarı arttıkça azalma miktarı da artmıştır. Motor aynı havayı emdiği için bütanoldeki oksijen içeriği sayesinde yerel zengin karışım bölgeleri oluşmasına karşın genel olarak daha etkin bir şekilde fakir bir çalışma göstermiştir. Bu durum ise is emisyonların azalmasında etkili olmuştur. NOx emisyonları da bütanol eklenmesiyle daha az seviyelere inmiştir. Bu sonucun ortaya çıkmasında bütanolün düşük ısı değeri ve yüksek buharlaşma ısısı etkili olmuştur. CO emisyonları ise bütanol eklenmesiyle ya aynı kalmış ya da azalmıştır. CO emisyonları is emisyonları ile aynı davranışları sergilemektedir. Emisyonlar açısından tek olumsuz sonuç HC emisyonlarıdır. Bütanol eklenmesiyle HC emisyonları artma eğilimine girmiştir. Bütanolün ısı değeri dizel yakıtına göre daha düşük olduğu için karışıma bütanol eklenmesiyle özgül yakıt tüketimi artmıştır. Efektif verim ise saf dizele göre biraz artmıştır. Özgül yakıt tüketimindeki artma, ısı değeri azalmadan daha düşüktür. Düşük setan sayısı yüzünden bütanol karışımında ön yanma fazı daha yüksektir. Bu da sabit hacimde yanmaya ve ayrıca düşük ortalama silindir sıcaklığı sonucunda daha az ısı kayıplarına sebep olmaktadır.

Doğan (2011) yaptığı çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, doğal emişli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda n-bütanol-dizel yakıtı karışımının motor performansı ve egzoz emisyonu üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler referans noktası belirtmesi için saf dizel ve dört farklı karışım oranı (%5, %10, %15 ve %20) kullanılarak motorda her hangi bir değişiklik yapılmadan sabit 2600 dev/dak'da ve dört farklı yükleme durumunda (13.1 Nm, 9.8 Nm, 6.6 Nm ve 3.3 Nm) yapılmıştır. Deneylerde kullanılan n-bütanolün saflık derecesi %99.5 tir. Yapılan çalışma sonucunda karışım oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminde biraz artma görülmüştür. Çünkü bütanolün ısı değeri daha azdır ve aynı gücü elde etmek için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat özgül yakıt tüketiminin artmasına karşın efektif verim artmıştır. Bu sonuç yazar tarafından şöyle yorumlanmıştır; yakıtın oksijen içeriği yanmayı iyileştirmekte ve efektif verimin artmasına yardımcı olmaktadır. Diğer bir faktör ise setan sayısının azalmasıdır. Düşük setan sayısı, tutuşma gecikmesi süresinin ve ön yanma modunun uzamasına sebep olmaktadır. Ayrıca yüksek laminer alev hızı da verimin artmasına sebep olmaktadır. Dizel yakıtının alev hızı 33

cm/s iken bütanolün alev hızı ise 45 cm/s ' dir. Karışım oranı arttıkça egzoz gazı sıcaklığı azalmıştır. Yakıttaki oksijen oranı arttıkça ısıl değer düşmekte fakat yanma sıcaklığı artmaktadır. Bütanolde oksijen miktarı fazla olmasına karşın buharlaşma gizli ısısı daha etkin rol oynamaktadır ve yanma sıcaklığını düşürmektedir. Tüm yük durumlarında karışım oranı arttıkça NOx emisyonları azalmıştır. Düşük setan sayısı uzun tutuşma gecikmesine sebep olmakta ve ön karışımli yanma modunun yanma sıcaklığını arttırmaktadır. Fakat bütanol düşük ısıl değer ve yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle daha düşük alev sıcaklığına sahiptir. Sonuç olarak daha düşük egzoz sıcaklığı oluşmaktadır. HC emisyonları bütanol oranının artmasıyla artmıştır. Tutuşma gecikmesinin uzun olması yakıtın buharlaşması için daha fazla zamana sahip olması anlamına gelmektedir. Yüksek buharlaşma ısısı daha yavaş buharlaşmaya sebep olmaktadır. Tüm bunlar birlikte düşünüldüğünde HC emisyonları artacaktır. Bütanolün yüksek oksijen içeriği sayesinde karışım oranı arttıkça CO emisyonları azalmakta ve tam yanma durumu iyileşmektedir. Ayrıca düşük karbon ve yüksek oksijen oranı sayesinde karışımdaki bütanol oranı arttıkça daha az is emisyonu oluşmaktadır.

Chen vd. (2012) n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için emisyon ve performans çalışması yapmıştır. Yapılan deneysel çalışma için dört silindri, turboşarjlı ve yüksek basınçlı ortak hatlı püskürtme sistemli bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneysel iki farklı devir sayısı (1600 ve 2600 dev/dak) ve iki farklı yük durumu (0.154 ve 0.766 MPa) incelenmiş ve soğutma suyu 80°C'ye ulaşana kadar beklenmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı bir durum hariç genellikle bütanol eklenmesiyle azalmıştır. Düşük ısıl değeri yüzünden özgül yakıt tüketimi artmıştır. Düşük yük durumunda verim düşmüş fakat yüksek yük durumları için verimde artma meydana gelmiştir. CO emisyonları düşük yük durumlarında artarken yüksek yük durumlarında ise azalmıştır. CO₂ emisyonlarında ise çok az miktarda artma veya azalmalar görülmüştür. HC emisyonları ise n-bütanol eklenmesiyle açık bir şekilde artmıştır. HC emisyonları yakıtın tam yanmaması sonucu oluşur. Dizel motorlarda HC emisyonlarının iki ana sebebi vardır. Bunlar çok iyi yakıt-hava karışımı oluşmasıyla fakir yanma sınırının aşılması veya kötü yakıt-hava karışımının oluşmasıyla yakıtın tutuşamayacağı zenginliğe ulaşmasıdır. Dizel yakıtına n-bütanol eklenmesi, atomizasyon üzerinde büyük etkisi olan viskoziteyi düşürür. Düşük viskozite ise yakıt damlacıklarının boyutunun daha düşük olmasına sebep olur. Ayrıca bütanolün uçuculuğu dizel yakıtına göre daha fazla olduğu için püskürtülen yakıtın içinde mikro patlamalar meydana gelebilir. Hem viskozitenin düşmesi hem de mikro patlamaların meydana gelmesi birlikte düşünüldüğünde yakıt-hava karışımı iyileşir. Sonuç olarak aşırı fakir bir karışım meydana gelir ve HC emisyonları artmış olur.

NO_x emisyonları yüksek devir ve yük durumu hariç n-bütanol eklenmesiyle azalmıştır. Ayrıca is emisyonları da azalmıştır. Bunun başlıca sebepleri n-bütanol daha iyi bir hava-yakıt karışımı sağlaması ve karışımın kükürt oranını düşürmesi olarak gösterilebilir. Ayrıca oksijenli yakıtlar daha az is emisyonuna sebep olmaktadır.

Şahin ve Aksu (2015) düşük karışım oranlı n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışma için dört zamanlı, dört silindri, ortak hat püskürtme sistemli ve turboşarjlı bir dizel motoru kullanılmıştır. %99.9 saflığa sahip n-bütanol, dizel yakıtına %2, %4 ve %6 oranlarında karıştırılmıştır. Deneyler altı farklı yüklemeye (145, 135, 125, 115, 105 ve 85 Nm) ve üç farklı devir sayısında (2000, 3000 ve 4000 dev/dak) yapılmıştır. Deneylere başlanmadan önce yaklaşık olarak 30 dakika beklenerek motorun kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Dizel yakıtına n-bütanol eklenmesi maksimum ısı salınımında önemli bir değişiklik doğurmamıştır. B2 karışımının maksimum ısı salınım oranı saf dizele göre biraz daha fazla çıkmıştır. Aynı durum B4 karışımı için de geçerlidir fakat B2'ye göre ise daha azdır. Karışıma n-bütanol eklenmesi ortalama silindir sıcaklığını düşürmüştür. B2 karışımı kullanıldığında tüm yük durumları ve devir sayıları için özgül yakıt tüketimi az miktarda azalmıştır. B4 karışımında 2000 ve 3000 dev/dak'da azalma, 4000 dev/dak'da ise artma görülmüştür. Son olarak B6 karışımında ise tüm durumlar için artma meydana gelmiştir. Efektif verim açısından değerlendirildiğinde B2 karışımı kullanıldığı durumlarda az miktarda bir artma meydana gelmiştir. B4 karışımında 2000 ve 3000 dev/dak için verim yaklaşık olarak saf dizel ile aynı iken 4000 dev/dak'da ise azalma görülmüştür. B6 karışımında tüm durumlar için azalma eğilimi görülmüştür. Ayrıca yapılan çalışma için yakıt maliyet analizi yapılmıştır. Türkiye için bütanolün fiyatı dizel yakıtına göre 6 kat daha fazla olduğu için karışım oranı arttıkça maliyette artmaktadır. Çalışma egzoz emisyonları açısından değerlendirildiğinde ise B2 karışımı kullanıldığında tüm durumlar için NO_x emisyonlarında azalma meydana gelirken diğer karışımlar için artma görülmüştür. Bütanolün yüksek buharlaşma ısısı ve düşük ısı değeri NO_x emisyonlarını azaltıcı rol oynarken oksijen içeriği ise NO_x emisyonlarını arttırıcı bir etkiye sahiptir. Bütanol eklenmesiyle hava fazlalık katsayısı artmaktadır. Bu iki etki arasından hangisi daha baskın ise NO_x emisyonu ona göre değişim gösterir. İS emisyonları tüm durumlar için saf dizele göre daha az meydana gelmiştir. Dizel motorunda n-bütanol kullanılması saf dizele göre motorun daha fakir karışımla çalışmasını sağlamakta ve dolayısıyla bütanolün oksijen içeriği yardımıyla yanma desteklenmiş olmaktadır. HC emisyonları, n-bütanolün kullanılmasıyla

yüksek yüklerde artmış orta yüklerde ise azalmıştır. Dizel yakıtına n-bütanol eklenmesi, karışımının viskozitesini düşürür ve sonuç olarak püskürtülen yakıtın demet oluşumunu ve atomizasyonunu etkiler. Düşük viskozite yakıt damlacıklarının boyutunun düşük olmasına yol açar. CO₂ emisyonları da bütanolün eklenmesiyle artmıştır. Oksijen içeriğine sahip bütanol tam yanmaya yardımcı olur ve CO₂ emisyonları artmış olur.

Selim (2005) yaptığı çalışmada çift yakıtlı motorda çevrimsel farkları deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler tek silindirli, değişken sıkıştırma oranlı ve ön yanma odalı bir dizel motorunda yapılmıştır. İlk olarak saf dizel yakıtı referans noktası için kullanılmış daha sonra dizel+LPG ve dizel+metan kullanılmıştır. Burada dizel yakıtı pilot yakıt olarak LPG ve metan ise ana yakıt olarak kullanılmıştır. Çeşitli parametreler değiştirilerek bunların çevrimsel farka etkisi incelenmiştir. Bu parametreler motor yükü, sıkıştırma oranı, pilot dizel püskürtme zamanı, pilot yakıt kütle oranı ve motorun devir sayısıdır. En fazla çevrimsel fark LPG kullanıldığında en az ise saf dizel yakıtı kullanıldığında meydana gelmiştir. Her bir yakıt için çevrimsel farklar genellikle yük arttıkça artmıştır. Tam yük durumunda sıkıştırma oranı arttıkça çevrimsel farkta artmıştır. Pilot yakıt püskürtme zamanı ÜÖN'den 30 derece önce olduğu zaman en az çevrimsel fark elde edilmiş diğer değerler de ise çevrimsel farklar artmıştır. Püskürtülen pilot yakıt miktarı da çevrimsel farklara etki etmiştir. Yaklaşık %30'luk oranda ($m_{pilot}/(m_{pilot}+m_{LPG})$) en az çevrimsel fark elde edilmiş diğer oranlarda ise artmıştır.

Rakopoulos vd. (2008) etanol-dizel yakıtı karışımlarının, yanmadaki çevrimsel farklara etkisini stokastik analiz yöntemi ile incelemiştir. Deneyler için dört zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı, direkt püskürtmeli ve yüksek hızlı bir dizel motoru kullanılmış ve yakıt olarak ise üç farklı etanol karışımı (E5, E10 ve E15) seçilmiştir. Deneyler sabit 2000 dev/dak'da ve dört farklı yük durumunda gerçekleştirilmiştir. Çevrimsel farkları tespit etmek için basınç parametreleri (maksimum basınç, ortalama indike basınç), dinamik enjeksiyon zamanlaması ve tutuşma gecikmesi kullanılmıştır. Analiz için ise 480 ardışık çevrim kaydedilip stokastik analiz yöntemleri kullanılmış ve standart sapma, değişim katsayısı, olasılık yoğunluk fonksiyonu, oto korelasyon, güç spektrumu ve çapraz korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı yakıtta etanol eklenmesiyle düşen setan sayısının çevrimsel farklılıkları artırarak motor performansını ve egzoz emisyon karakteristiklerine olumsuz etki yapıp yapmadığını araştırmaktır. Sonuçlara bakıldığında zaman değişim katsayısı (COV_{Pmi}) değeri etanol karışımında daha fazla çıkmıştır. Fakat düşük setan sayısına sahip etanol karışımlarının çevrimsel farkları artırıp emisyon ve performansı kötüleştirdiği

düşüncesine yapılan çalışmada ulaşılamamıştır. Çevrim basıncındaki değişimler ile püskürtme sistemi veya yakıt türü arasındaki sebep sonuç ilişkisi bulunamamıştır.

Bittle vd. (2010) yaptıkları çalışmada dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri arasındaki farkların çevrimsel farka etkisini incelemiş ve yanmadaki çevrimsel farkların kaynakları hakkında bilgi vermiştir. Çevrimsel farkların birinci sebebini silindir içindeki türbülans ve girdaptan dolayı oluşan gaz hareketleri olarak belirtmiştir. İkinci sebebini ise yakıt, hava ve artık gaz miktarındaki değişimler olduğunu belirtmiştir. Çünkü bu değişimler silindir içinde çevrimden çevrime sürekli değişmektedir ve homojen olmayan bu karışımdaki değişimler doğal olarak çevrimsel farka sebep olmaktadır. Son olarak ise karışımın hazırlanmasına dikkat çekilmiştir. Karışımın hazırlanmasındaki farklılıklar ise püskürtme basıncı, püskürtme sırasında silindir içi şartlar ve püskürtme zamanlamasından kaynaklanmaktadır.

Tang vd. (2011) çalışmalarında yanma işlemindeki çevrimsel farkları; ortalama efektif basınç, maksimum basınç, maksimum basınç artma oranı ve maksimum ısı salınım oranı cinsinden incelenmişlerdir. Deneyler için sıkıştırma oranı 19 olan su soğutmalı ve doğrudan püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmış ve kullanılan bu motorda hiç bir değişiklik yapılmamıştır. Çevrimsel farkı hesaplamak için peş peşe çevrimler kaydedilip kullanılmıştır. Deneyler sabit motor devrinde tam ve yarım yük durumlarında yapılmıştır. Yakıt olarak biyodizelin dört farklı karışım durumu (B0, B20, B50 ve B100) incelenmiştir. Çevrimsel farklar ortalama indike basınç cinsinden incelendiğinde aynı biyodizel karışım oranı için tam yükte, yarım yük durumuna göre yaklaşık %50 daha az çevrimsel fark meydana geldiği belirlenmiştir. Maksimum basınç cinsinden yaptıkları incelemede ise karışım oranı arttıkça çevrimsel farkın azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Maksimum basınç artma oranı cinsinden incelendiğinde ise çevrimsel farkların % 10'un üzerine çıktığı ayrıca tam yük durumu için karışım oranı arttıkça çevrimsel farkların azalma eğilimine girdiği görülmüştür. Yarım yük durumunda ise tam yük durumuna göre daha fazla çevrimsel fark meydana gelmiş ve değişim miktarında dalgalanmalar görülmüştür. Son olarak ise çevrimsel farkları maksimum ısı salınımı cinsinden incelemişlerdir. Tam yük durumunda daha az çevrimsel farklar meydana gelmiş ve karışım oranı arttıkça çevrimsel farklar da azalmıştır.

Ceviz vd. (2011) çalışmalarında fındık yağından elde edilmiş biyodizelin %20, % 40, %60, %80 ve %100 oranında kullanılmasıyla elde edilmiş karışım yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Ayrıca her bir durum için ortalama indike basınç ve maksimum basınç cinsinden çevrimsel farkları hesaplamışlardır. Deneyler

için iki silindirli, dört zamanlı, doğal emişli ve direkt püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. Yaptıkları çalışmada biyodizel kullanıldığında saf dizel yakıtına göre performans değerleri düşmüştür. Kullanılan karışım oranı arttıkça efektif verim daha da azalmış ve özgül yakıt tüketimi artmıştır. Fakat B20 karışımı kullanıldığında ise saf dizel yakıtına göre efektif verim artmış ve özgül yakıt tüketimi azalmıştır. Karışım oranının artması viskoziteyi arttırdığı için yanma işleminde etkin rol oynayarak verimi düşürdüğü yorumu yapılmıştır. Bu sonuçlara göre en iyi karışım oranının %20 biyodizel ve % 80 dizel yakıtı olduğu tespit edilmiştir. Saf dizel için COV_{pmi} değeri % 5.51 ve COV_{pmax} değeri % 2.22 olarak bulunmuştur. Karışım oranı arttıkça bütün motor devirleri için çevrimsel farklarda azalma meydana gelmiştir. Yine B20 karışımı için durum biraz farklı çıkmıştır. Diğer karışımların aksine B20 karışımı kullanıldığı zaman çevrimsel farklarda artma meydana gelmiştir. Efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, ortalama indike basınç ve maksimum basınç değişim katsayısı arasında iyi bir ilişki ortaya çıkmıştır. Motorun efektif verimi ve çevrimsel farkların (COV_{pmi} ve COV_{pmax}) yüksek olduğu durumda özgül yakıt tüketiminin fazla olduğu belirlenmiştir.

Bekal ve Babu (2011) yaptıkları çalışmada dört farklı püskürtme zamanı (ÜÖN'den 21.5, 23, 24.5 ve 27.5° önce) ve üç farklı püskürtme basıncı (190, 220 ve 250 bar) için çevrimsel farkları incelemişlerdir. Yakıt olarak hint kayın ağacı ve ayçiçeğinden elde edilen metil ester-dizel yakıtı karışımları (B2, B5, B10, B20, B40, B60 ve B80) kullanılmış ve deneyler tek silindirli, dört zamanlı ve su soğutmalı bir dizel motorunda yapılmıştır. Deneyler de hem tam yük hem de yarım yük durumu incelenmiştir. Çevrimsel farkların hesabı için maksimum silindir basıncı kullanılarak değişim katsayısı hesaplanmıştır. Sonuçlara bakıldığı zaman püskürtme zamanı olarak en az çevrimsel fark ÜÖN'den 23 ve 24.5° önce olduğu zaman görülmüştür. Püskürtme basıncının 220 bar olduğu durumda ise çevrimsel fark maksimum olmuştur. Ayrıca kısmi yüklerde çevrimsel fark tam yük durumuna göre daha fazla çıkmıştır. Çalışmadan çıkan diğer bir önemli sonuç ise; çoğu durum için çevrimsel farkın yüksek olduğu şartlarda özgül enerji tüketiminin de yüksek olmasıdır.

Santoso vd. (2012) yaptıkları çalışmada çift yakıtlı bir motorun yanma işlemindeki çevrimsel farkları incelemişlerdir. Deneylerde saf dizel ve hidrojen-dizel karışımları kullanılmıştır. Çalışma 2000 dev/dak'lık sabit devir sayısında, farklı yükleme durumlarında (5, 10, 15, 20 ve 25 Nm) ve farklı hidrojen debilerinde (21.4, 28.5, 36.2, 42.8, 49.6 L/dak) yapılmıştır. Deneylerin yapılabilmesi için tek silindirli, hava soğutmalı ve direkt püskürtmeli

bir dizel motoru hidrojen yakıtının kullanılması için uygun hale dönüştürülmüştür. Hidrojen 150 barlık bir tankta depolanmıştır. Daha sonra bir basınç düzenleyici yardımıyla basıncı 1.5 bara düşürülmüş ve emme manifoldunda bir karıştırıcı yardımıyla kullanıma hazır hale getirilmiştir. Çevrimsel farkların hesaplanabilmesi için peş peşe 160 yanma çevriminin basınç değerleri kaydedilmiştir. Çevrimden çevrime farklar için ortalama indike basınç ve maksimum basınç parametreleri kullanılmıştır. Saf dizel yakıtı için 160 çevrim sonucu maksimum silindir basıncı ortalaması 71.10 bar iken çift yakıt kullanıldığı zaman 55.94 bara düşmüştür. Düşük yükte çalışma koşullarının aksine yüksek yük durumunda basınç dalgalanmalarında gözle görülebilir bir değişiklik olmamıştır. Sonuç olarak çevrimsel farklar hidrojen oranı arttıkça artmaktadır. Dizel yakıtı miktarı azaldıkça kendi kendine tutuşma eğilimi azalmaktadır ve bu da motorun kararlı çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan çalışmadan çıkan önemli bir sonuç da yük miktarı arttıkça çevrim farkının azalmış olmasıdır.

Yang vd. (2013) yanma süresince meydana gelen düzensizlikleri yalnızca enjeksiyon sistemi açısından değerlendirmiş ve istatistiksel korelasyon analizi, temel bileşenler analizi ve faktör analizini kullanmışlardır. Yapılan deneysel çalışma için Caterpillar firmasına ait altı silindirli ortak hatlı püskürtme sistemine sahip bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneyle için sekiz farklı çalışma durumu seçilmiştir. Bunlar 800 dev/dak'da 50 Nm yük, 900 dev/dak'da 300 Nm yük, 1100 dev/dak'da 150 Nm yük, 1100 dev/dak'da 500 Nm yük, 1400 dev/dak'da 600 Nm yük, 1550 dev/dak'da 150 Nm yük, 1550 dev/dak'da 400 Nm yük ve 1750 dev/dak'da 400 Nm yüküdür. Çalışmada 1000 çevrim için silindir basıncı, yakıt hattı basıncı, yakıt pompasının valf akımı, enjeksiyon akımı, enjeksiyon iğne kalma miktarı ve yakıt basıncı veri olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda düşük yük durumundaki yanmalarda çevrimsel farklar daha fazla ortaya çıktığı görülmüştür. Sekiz farklı durum arasından en fazla çevrimsel fark 1000 dev/dak'da 150 Nm'lik yükleme durumunda meydana gelmiştir. Bu durumun olası sebebi ise düşük yükleme durumunda yanma odasına daha az yakıt gönderilmesi ve böylece yüksek yükleme durumuna göre püskürtme sistemindeki değişimlerden kaynaklı düzensizliklerin daha fazla meydana gelmesidir. Temel bileşenler analizi ise çevrimsel farkın en fazla olduğu durum için yapıldığında yanmadaki değişimlere iki ana bileşenin etkilediği görülmüştür. Yanmada, birinci ve ikinci yanma fazı büyük değişimlere sebep olur. Ayrıca çapraz korelasyon analizine göre yakıt hattı basıncı, yakıt basıncı ve iğne kalma miktarının birbiriyle ilişki içinde olduğu ortaya çıkmıştır.

Mei vd. (2014) dimetilkarbonat-dizel yakıtı karışımı kullandıkları çalışmalarında çevrimsel farkları araştırmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli, su soğutmalı ve ortak hatlı püskürtme sistemine sahip bir dizel motoru kullanmıştır. Değişim katsayısı hem ortalama indike basınç hem de maksimum basınç cinsinden hesaplanmıştır. Sonuç olarak dizel yakıtına %10 oranında dimetilkarbonat eklenmesiyle hazırlanan karışım için çevrimsel farklar dizel yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Tutuşmadaki kompleks olayların tekrarlanabilirliği ve alev yayılması kötüleşmiş bu da çevrimsel farkların artmasına sebep olmuştur. Aynı durum maksimum basınç cinsinden hesaplanan sonuçlarda da çıkmıştır. Çalışmada ayrıca EGR'nin çevrimsel farklara etkisi de incelenmiş ve EGR oranı arttıkça hem saf dizel hem de karışım yakıt durumunda çevrimsel farklar artmıştır. EGR oranının artmasıyla birim karışım hacmine düşen yakıt ve oksijen seviyesi azalmaktadır. Fazla miktarda artık egzoz gazı yanma odasında kötü bir atmosfer oluşturur ve alev ilerleme hızını düşürür. Bu durum ise yanma işlemindeki kararsızlıkları artırır.

Ali vd. (2015) dizel motoru kullandıkları çalışmalarında yakıt karışımlarının çevrimsel farklılıklara etkisini incelemiştir. Yakıt olarak %30'luk biyodizel (B30) ve bu biyodizele %2, %4, %6 ve %8 oranında bütanol eklenmesiyle hazırlanan karışımlar kullanılmıştır. Deneyler için Mitsubishi firmasına ait dört zamanlı, doğal emişli ve su soğutmalı bir dizel motoru kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ortalama indike basıncın değişim katsayısı (COV_{pmi}) B30 karışımı için en düşük çıkmış ve bu karışıma bütanol eklenmesiyle artma eğilimine geçmiştir. Karışımdaki bütanol oranı arttıkça COV_{pmi} değeri daha da artmıştır.

Parlak vd. (2006) dört zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı ve ön yanma odalı bir dizel motoru kullandıkları çalışmada özgül yakıt tüketimi ve egzoz sıcaklığının tahmini için bir yapay sinir ağı modeli kurmuşlardır. Girdi olarak motorun devir sayısı, ortalama efektif basıncı ve enjeksiyon zamanı; çıktı olarak ise özgül yakıt tüketimi ve egzoz sıcaklığı kullanılmıştır. Motor deneyleri değişik yüklerde ve 1000, 1400, 1800 ve 2200 dev/dak sabit hızlarında yapılmış, yakıt olarak ise saf dizel yakıtı kullanılmıştır. Tek gizli katmandan oluşan modelde sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen toplam 80 tane veriden 60 tanesi eğitim 20 tanesi ise test aşamasında kullanılmıştır. Yapılan modellemede en uygun ağ yapısının 7 gizli nöron kullanıldığı zaman ortaya çıktığı görülmüştür. Sonuçlar incelendiği zaman deneysel veriler ile modelden elde edilen sonuçlar arasında çok iyi uyum olduğu gözlenmiştir.

Janakiraman vd (2006) bir dizel motorunda silindir içi parametrelerini kullanarak NO_x ve HC emisyonlarının tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada için ayçiçeği yağı, ayçiçeği metil esteri ve dizel yakıtı kullanılarak 11 farklı karışım hazırlanmış ve beş farklı yükleme durumu (0-25-50-75-100 %) için HC ve NO_x emisyon ölçümleri yapılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu seçilen çalışmada geriye yayılım öğrenme algoritması kullanılmıştır. Elde edilen veriler eğitim ve test olmak üzere ikiye ayrılmış ve HC ile NO_x için ayrı ayrı iki model kurulmuştur. Tek gizli katmandan oluşan ve iki farklı optimizasyon algoritması denenilen modellerden en uygun olan ağ yapısı, ortalama hata kareleri hesaplanarak bulunmuştur.

Çanakçı vd. (2006) motor performansı ve egzoz emisyonlarının tahmini için bir yapay sinir ağı modeli oluşturmuşlardır. Yakıt olarak biyodizel ve karışımları kullanılan çalışmada deneyler dört zamanlı, dört silindirli ve turboşarjlı bir dizel motorunda yapılmıştır. Tek bir gizli katmandan oluşan ağda sigmoid transfer fonksiyonu ve iki farklı öğrenme algoritması (LM ve SCG) kullanılmıştır. Girdi olarak; moleküler ağırlık, net yanma ısısı, özgül ağırlık, kinematik viskozite, C/H oranı, setan sayısı kullanılırken çıktı olarak özgül yakıt tüketimi, egzoz sıcaklığı ve egzoz emisyonları (O_2 , CO, CO_2 , HC, NO_x) kullanılmıştır. En iyi algoritma yakıt olarak %20 oranında hazırlanmış soya yağı karışımının kullanıldığı SCG algoritmasıyla eğitilmiş ve 7 gizli nörona sahip model ile elde edilmiştir. Performans ölçütleri olarak determinasyon katsayısı (R^2), ortalama yüzde hata (MAPE) ve karekök ortalama (RMS) kullanılmıştır. Ortalama yüzde hata değerleri %1.2'den az ve R^2 değerleri 1'e yakın bulunmuştur. Sonuç olarak karmaşık ve zaman alıcı deneyler yerine bu model kullanılarak egzoz emisyonları ve motor performans parametreleri gerçeğe yakın olarak tahmin edilebilmektedir.

Ghobadian vd. (2009) yaptıkları çalışmada bir lokantadan alınan atık bitkisel yağdan elde edilmiş biyodizeli kullanarak performans ve egzoz emisyon değerlerinin tahmini için yapay sinir ağı modeli oluşturmuşlardır. Deneysel çalışmalar iki silindirli, dört zamanlı ve hava soğutmalı bir dizel motorunda 7 farklı devir sayısında (1200, 1600, 2000, 2400, 2800, 3200 ve 3600 dev/dak) yapılmıştır. Yakıt olarak ise saf dizel yakıtı ve biyodizel karışımları (B10, B20, B30, B40 ve B50) kullanılmıştır. Kurulacak model için girdi parametreleri devir sayısı ve karışım oranı iken çıktı parametreleri moment ve özgül yakıt tüketimi ile HC ve CO emisyonlarıdır. Model için kullanılan 42 veriden %80'i (34 veri) eğitim için kullanılırken %20'si (8) ise test için ayrılmıştır. Farklı sayıda gizli katman, gizli nöron ve öğrenme algoritması kullanılarak en uygun ağ yapısı belirlenmiştir. Performans kriteri olarak R

(korelasyon katsayısı) ve MSE (ortalama hata kareleri) değerleri hesaplanmış ve sonuç olarak R değeri 1'e çok yakın ve ortalama hata kareleri ise 0.0004 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar ise yapay sinir ağlarının etkin bir tahmin yöntemi olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Çanakcı vd (2009) atık kızartma yağı kullanılarak motor performansı ve egzoz emisyonlarının tahmini için yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Deneyler su soğutmalı, dört zamanlı, dört silindri, doğal emişli bir dizel motorunda sabit yük durumunda ve farklı devir sayılarında yapılmıştır. Yakıt olarak saf dizel yakıtı, saf biyodizel ve karışımlar (B50, B20 ve B5) kullanılmıştır. Bu çalışmada 5 farklı sinir ağı geliştirmiştir. Birinci ağda yakıt özellikleri (alt ısı değer, yoğunluk, kinematik viskozite ve setan sayısı), devir sayısı ve çevre şartları (bağıl nem, sıcaklık ve basınç) girdi parametresi; hava debisi, yakıt debisi ve maksimum püskürtme basıncı ise çıktı parametresi olarak seçilmiştir. İkinci ağda girdi parametreleri yakıt özellikleri, devir sayısı, debiler ve püskürtme basıncı iken çıktı parametreleri egzoz emisyonları (CO, CO₂, HC, NO_x ve is), motor yükü, maksimum silindir gaz basıncı ve efektif verimdir. Birinci ağda püskürtme basıncının hata değeri için iyi bir sonuç elde edilemediğinden ikinci ağ için hata değerini arttırmıştır. Bu yüzden iki farklı ağ daha kurulmuştur. Birinci modeldeki çıktı parametresinden püskürtme basıncının çıkarılmasıyla yeni bir üçüncü ağ, ikinci modeldeki girdi parametresinden püskürtme basıncının çıkarılmasıyla ise yeni bir dördüncü ağ kurulmuştur. Son olarak ise beşinci bir model kurulmuştur. Bu modeldeki girdi parametreleri birinci modeldeki girdi parametrelerinden oluşurken çıktı parametreleri ise birinci ve ikinci modeldeki çıktı parametrelerinden oluşmaktadır. Bu çalışmalarda öğrenme algoritması olarak geriye yayılım algoritması kullanılmış ve modeller tek bir gizli katmandan oluşmuştur. SCG ve LM optimizasyon algoritmaları kullanılıp ve transfer fonksiyonu için ise sigmoid fonksiyonu seçilmiştir. Performans ölçütleri olarak determinasyon katsayısı (R²), ortalama yüzde hata (MAPE) ve karekök ortalama (RMS) kullanılmıştır. R² değerleri 0.99 olarak bulunurken ortalama yüzde hata değerleri emisyonlar hariç düşük çıkmıştır

Oğuz vd. (2010) biyoyakıtların motor performansına etkisini yapay sinir ağları ile modellemişlerdir. Dizel yakıtını, biyodizeli ve biyoetanölü çeşitli oranlarda (D, B100, B20, E5B20, E10B20 ve E15B20) karıştırarak yaptıkları çalışmada 4 silindri, direkt püskürtmeli ve su soğutmalı bir dizel motoru kullanmışlardır. Girdi parametresi olarak devir sayısı ve karışım oranı kullanılırken çıktı parametresi olarak motor gücü, moment, yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen toplam 96 veri

setinin 71 tanesi eğitim, 25 tanesi ise test için kullanılmıştır. Tek gizli katmandan oluşan modelde aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant-sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en uygun ağ yapısının 28 gizli nöronda elde edildiği görülmüştür. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda elde edilen modelle tahmin edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

Shanmugam vd. (2011) bir dizel motorunda karışım yakıt kullanarak motor performansı ve egzoz emisyonları için yapay sinir ağı modeli kurmuşlardır. Tek silindirli, dört zamanlı ve doğal emişli bir dizel motorunda biyoetanol, biyodizel ve dizel karışımları çeşitli oranlarda karıştırılarak deneysel veriler elde edilmiştir. Deneyler sabit hızda ve farklı yükler altında gerçekleştirilmiştir. Kurulan yapay sinir ağından girdiler motor yükü ve karışım oranı iken çıktılar ise efektif verim ve egzoz emisyonları (CO, HC, CO₂, NO_x ve is) olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilerden %70'i eğitim için kullanılırken %30'luk kısmı ise test için kullanılmıştır. Tek gizli katmandan oluşan ağ yapısında aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve farklı sayıda gizli nöron denenerek en uygun model belirlenmiştir. Performans ölçütleri olarak determinasyon katsayısı (R²) ve karekök ortalama (RMS) kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde çok düşük karekök ortalama ile 0.975-0.999 arasında değişen R² değerleri elde edilmiştir ve bu sonuçlar detaylı deneyler yerine sınırlı veriler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağıyla, dizel motorlarda performans ve egzoz emisyonlarının tahmininin yapılabileceğini göstermiştir.

Çay vd. (2012) yapay sinir ağlarını kullanarak motor performanslarının tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Yakıt olarak metanol kullandıkları çalışmada deneyler dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı Ford-Escort otomobil motoru kullanılarak yapılmıştır. Modelin kurulabilmesi için farklı devir ve yükler için toplam 55 deney yapılmış olup bunlardan 44 (%80) tanesi eğitim, 11 (%20) tanesi ise test için kullanılmıştır. Geriye yayılım algoritması kullanılan model için hem SCG hem de LM optimizasyon algoritmalarıyla 13 farklı gizli (3-15) nöron karşılaştırılmış ve en uygun olan model seçilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu seçilmiş ve tüm veriler 0.1 ile 0.9 arasında normalize edilmiştir. Girdi parametreleri; devir sayısı, moment, yakıt debisi, emme manifoldu ortalama sıcaklığı ve soğutma suyu giriş sıcaklığı iken çıktı parametreleri özgül yakıt tüketimi, efektif güç, ortalama efektif basınç ve egzoz gazı sıcaklığıdır. Bu çalışmada her bir çıktı parametresi için ayrı ayrı model geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller için determinasyon katsayısı (R²), ortalama yüzde hata (MAPE) ve karekök ortalama (RMS) performans ölçütleri kullanılmıştır. Sonuçlara bakıldığında R² değerleri eğitim ve test verileri için 1'e çok yakın,

RMS değerleri 0.015'den dk ve ortalama yüzde hata ise %3.8'den az olduğu görülmüştür. Bu değerler ise kabul edilebilir sınırlar arasında olup bu modellerin motor performansı ve egzoz sıcaklıklarının tahmini için kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

Taghavifar vd. (2014) yaptıkları çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile elde edilen veriler ile silindir içi parametrelerin belirli EGR oranları için NO_x ve is emisyonlarına etkisini yapay sinir ağlarını kullanarak modellemilerdir. Çalışma üç farklı devir sayısı (2000, 3000 ve 4000 dev/dak) ve üç farklı EGR (0.2, 0.3, 0.4) oranı için yapılmıştır. Girdi parametreleri olarak ısı salınım oranı, ekivalans oranı, sıcaklık, EGR, türbülans kinetik enerji seçilmiştir. ıktı parametreleri ise NO_x ve is miktarıdır. Modellemede kullanılacak ağda iki gizli katman ve her bir katman için 1'den 20'ye kadar nöron kullanılmıştır. Ayrıca dört farklı öğrenme algoritması seçilmiştir. Performans değerlendirilmesi yapılırken ortalama hata kareleri ve determinasyon katsayısı kriter olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak, elde edilen modeller arasından en uygun ağ yapısı LM ğrenme algoritmasıyla eğitilmiş iki gizli katmandan oluşan ve birinci gizli katmanda 19 nöron ve ikinci gizli katmanda 17 nöron olan model seçilmiştir.

Meng vd. (2014) yaptıkları çalışmada 313 K sıcaklığında literatürden toplanan 105 farklı biyodizel örneğini kullanarak biyodizellerin kinematik viskozitesinin tahmini için bir model gelitirmilerdir. Akıa karşı direnç olarak ifade edilen viskozite yakıt enjeksiyonu ile doğrudan ilgili olduğu için önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Girdi parametresi olarak biyodizellere ait 19 yağ asidi metil esterinin kütlesel oranları seçilmiştir. Tek gizli katmandan oluşan ağ yapısında aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant fonksiyonu seçilmiştir. 105 farklı biyodizele ait mevcut veriler  parçaya bölünmüştür. Bunlardan %70'i eğitim (73 örnek), % 15'i doğrulama (16 örnek) ve %15'i test (16 örnek) için kullanılmıştır. ğrenme algoritması olarak LM ğrenme algoritması seçilmiştir. Eğitim aşamasının daha verimli olması için tüm girdi ve çıktı parametreleri [-1, 1] arasında normalize edilmiştir. 1'den 6'ya kadar gizli nöron denenmiş ve sonuç olarak 3 gizli nöron için en iyi performans elde edilmiştir. Kinematik viskozite için daha önceden geliştirilen ve ampirik ifadeye dayanan Knothe–Steidley ve Ramirez-Verduzco metotlarıyla YSA değerlerinin ortalama hata kareleri ve R² değerleri karılatırılmı ve sonuç olarak YSA modeli en gerçekçi model olarak bulunmuştur.

1.6. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

1.6.1. Tez Çalışmasının Amacı

Literatür taramasından da görüldüğü gibi dizel motorlarında çevrimsel farklarla ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Mevcut çalışmalarda ise daha çok çift yakıtlı motorlar üzerinde durulmuştur. Karışım yakıtı ile gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki çalışmalarda ise sadece çevrimsel farklar incelenmiş fakat çevrimsel farkların modellenmesi yapılmamış ve egzoz emisyonları üzerine etkisi incelenmemiştir. Bu tez çalışmasının amacı alkollerin dizel motorlarda kullanılmasıyla ortaya çıkan çevrimsel farkları yapay sinir ağlarını kullanarak modellemek ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini incelemektir.

1.6.2. Tez Çalışmasının Kapsamı

Yapılan çalışmada çeşitli karışım oranlarında hem n-bütanol hem de etanol için farklı devir sayılarında egzoz emisyon ve motor performans değerleri deneysel olarak belirlenmiştir. Daha sonra her bir deney seti için çevrimsel farklılık hesaplanmıştır. Çevrimsel farkın hesaplanmasında indike ortalama efektif basınç parametresi kullanılmıştır. Çalışmanın son bölümde yapay sinir ağları kullanılarak tüm çalışma şartları için sonuçlar üretebilecek 3 model elde edilmiştir. Birinci modelde çevrimsel farkları, ikinci modelde motor performansı ve egzoz emisyonlarını ve son olarak geliştirilen üçüncü modelde ise çevrimsel farkların NO_x üzerindeki etkisini tahmin eden bir model elde edilmiştir.

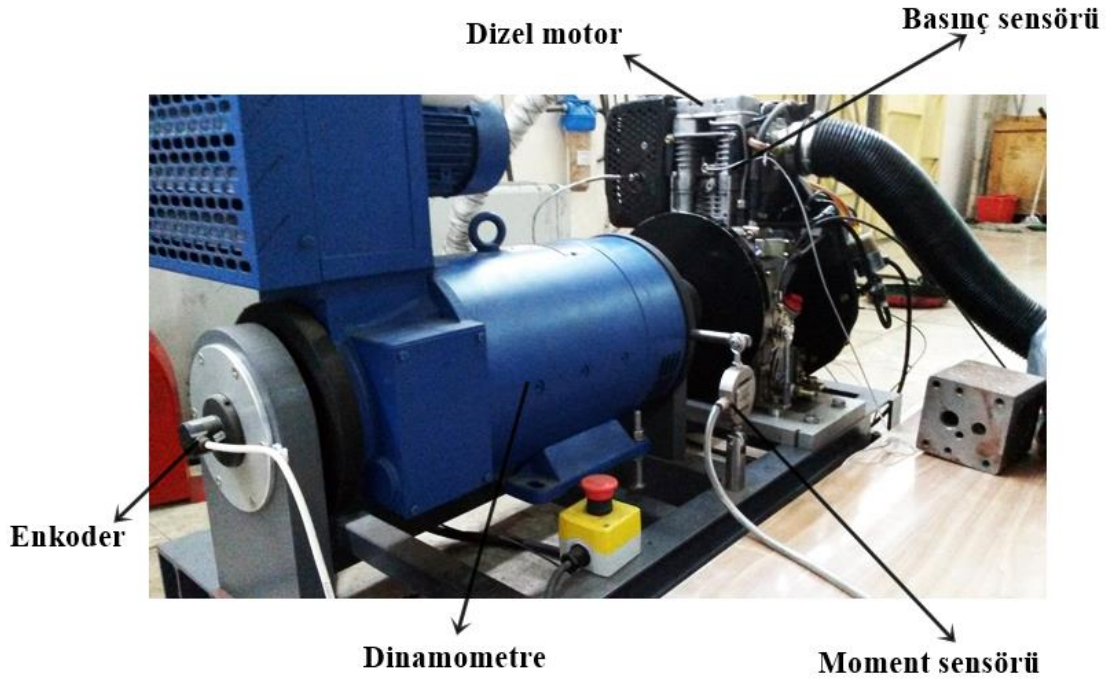
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Motor Deneyleri

Deneyisel çalışmalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, motor deneyleri için kullanılacak olan dizel yakıtı - n bütanol karışımları hacimsel olarak % 3, 6, 9, 12, 15 ve dizel yakıtı-etanol karışım yakıtları ise hacimsel olarak % 5 ile 10 oranında, alkol içerecek şekilde hazırlanmıştır. Dizel yakıtı ve karışım yakıtlarının yoğunlukları, setan sayısı, ısıl değer, viskoziteleri ve parlama noktaları Prof. Dr. Saadettin Güner Yakıt Uygulama ve Araştırma Merkezinde belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise saf dizel yakıtı ve hazırlanan karışım yakıtları kullanılarak motor deneyleri yapılmıştır. Bütanol kullanılan deneylerde, her bir karışım oranı için tam gazda 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600 ve 2800 dev/dak hızlarında efektif güç, döndürme momenti, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları ölçülmüştür. Fakat etanol deneylerinde bazı teknik problemler nedeniyle yalnızca tam gazda 1000 ve 2000 dev/dak hızında ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerin doğruluğunu artırmak için her bir ölçüm 5 kez tekrarlanıp ortalaması alınmıştır. Dizel yakıtı – n bütanol karışımlarında çevrimsel farkların hesaplanabilmesi için her bir çalışma koşulunda ortalama indike basınç değerinin olduğu 100 adet çevrim kaydedilmiştir. Dizel yakıtı – etanol karışımlarında ise 35 adet çevrim kaydedilmiştir.

Motor deneyleri TD 300 rejeneratif motor test düzeneğinde yapılmıştır. Söz konusu test düzeneği dört zamanlı ve tek silindirli bir dizel motoru, motorun yüklenmesinde kullanılan elektrikli dinamometre, egzoz gazı kalorimetresi, motor çevirim analizörü, hava tankı, yakıt tankı, yakıt ölçüm büreti, termokupllar (ısıl çift) ve verilerin okunduğu ekranlardan oluşmaktadır. Deney düzeneğine ait fotoğraflar Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Deney motoru ve dinamometrenin görünüşü



Şekil 2.2 Deney düzeneğinde ekranların görünüşü



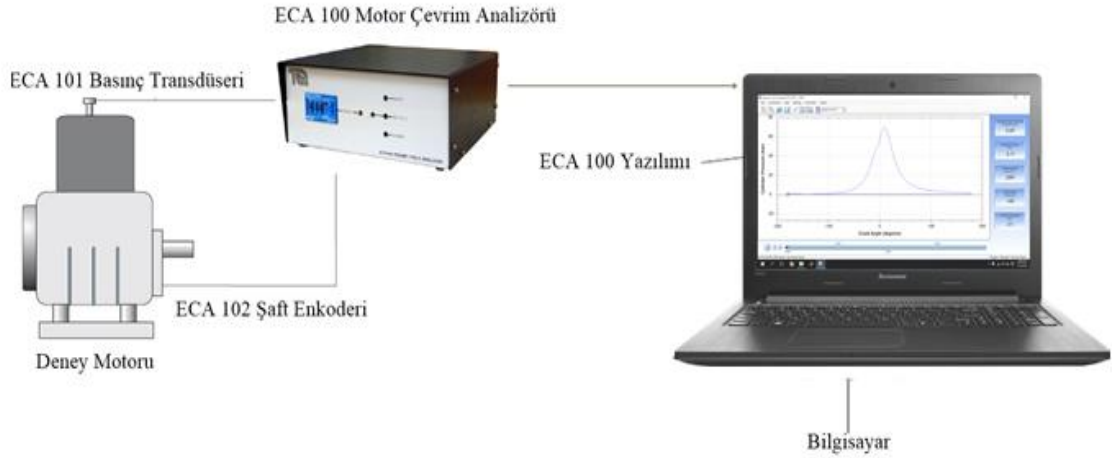
Şekil 2.3. Yakıt tankı ve yakıt ölçme büretinin görünüşü

Deneylerde kullanılan motor HATZ marka model, dört zamanlı, hava soğutmalı ve tek silindirli bir dizel motordur. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Deney motorunun teknik özellikleri

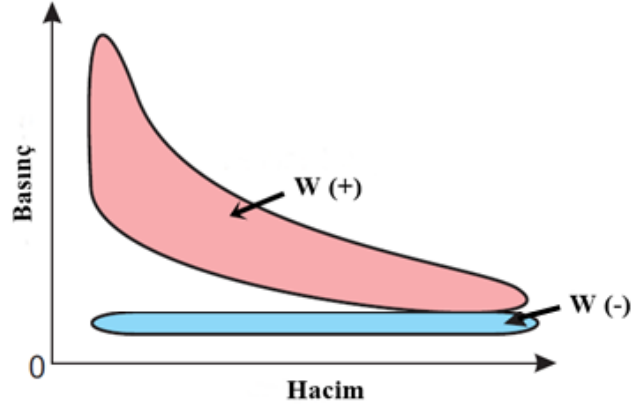
Mutlak maksimum güç	7.3 kW (9.9 hp); 3600dev/dak
Sürekli nominal güç	6.5 kW (8.8 hp); 3600 dev/dak
Silindir çapı	88 mm
Strok	76 mm
Krank yarıçapı	38 mm
Biyel kolu uzunluğu	124 mm
Motor hacmi	462 cm ³ (0.462 L)
Sıkıştırma oranı	20.5:1
Yağ kapasitesi	1.5 L

Çevrimsel farkın hesaplanabilmesi için gerekli olan indike ortalama efektif basınç değerleri ECA 100 Çevrim Analizörü ve buna bağlı ECA 101 Basınç Transdüseri ile ECA 102 Şaft Enkoderi tarafından ölçülmüştür. ECA 100 yazılımı ile P-V ve P- θ diyagramları detaylı olarak görülebilmektedir. Motor çevrim analizörünün bağlantısı Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Motor çevrim analizörü

Şekil 2.5'de W(+) işi, sıkıştırma ve genişleme sırasında yapılan pozitif iş; W(-) işi ise emme ve egzoz zamanlarında harcanan negatif iş olarak tanımlanır. Negatif iş aynı zamanda pompalama kaybı olarak da isimlendirilir. Dört zamanlı motorlarda emme ve egzoz stroklarında belirli bir kayıp iş alanı mevcut olmasına karşın iki zamanlı motorlarda bu strokun olmaması nedeniyle böyle bir kayıp iş alanı yoktur (Sürmen vd., 2004).

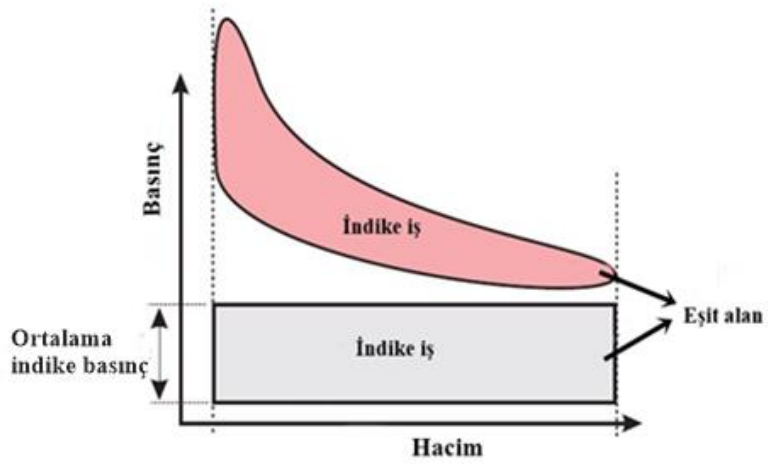


Şekil 2.5 P-V diyagramı

Çevrimden elde edilen indike iş $W(+)$ olarak ifade edilir.

$$W_i = W(+)$$
(2.1)

Ortalama indike basınç, pistonu genişleme boyunca sabit olarak etki ettiği varsayılan ve indike işe eşit işi veren basınç değeridir.



Şekil 2.6. İndikatör diyagramında indike iş

$$W_i = V_h * P_{mi} \quad (2.2)$$

Burada V_h silindirin strok hacmidir piston alanı (A_p) ile strok uzunluğunun (H) çarpımına eşittir.

$$V_h = A_p * H = \frac{\pi D^2}{4} * H \quad [m^3] \quad (2.3)$$

Ortalama indike basınç ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$P_{mi} = \frac{W_i}{V_h} \quad (2.4)$$

Ortalama indike basınç değeri bir motorun, silindir hacmi başına verdiği yararlı işi gösterir. Mühendisler açısından önemli bir göstergedir. Çünkü her zaman amaç belirli bir motor hacminden olabildiğince fazla iş elde etmektir.

2.2 Motor Performans Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Deney düzeneğine bağlı elektrikli dinamometre ile motorun ilk hareketi ve yüklenmesi sağlanmaktadır. Motorun yük durumu değiştirilerek devir sayısı istenilen değere getirilebilmektedir. Deney düzeneğindeki hız ve moment modülü, dinamometrenin yan tarafında bulunan bir yük hücresi ve dinamometre şaftının üzerinde bulunan bir enkoderden gelen sinyalleri değerlendirerek motorun devir sayısı ile motor momentini ölçer ve motorun efektif gücünü hesaplar. Ölçülen ve hesaplanan büyüklükler güç ekranından okunabildiği gibi çok yönlü veri toplama sisteminin (Versatile Data Acquisition System) sahip olduğu yazılım ile bilgisayar ortamına da aktarılabilir.

Ölçülen moment ve hız değerleri kullanılarak motorun efektif gücü hesaplanabilir;

$$N_{e,1} = M_d * \omega \quad [W] \quad (2.5)$$

$$\omega = \frac{\pi * n}{30} \quad \left[\frac{1}{s} \right] \quad (2.6)$$

Motor deneyinin yapıldığı dış ortam koşulları ve havanın nemi motor performansını etkileyebilir. Farklı koşullarda yapılan motor deneylerinin sonuçlarının birbiriyle sağlıklı biçimde karşılaştırılabilmesi için standart koşullara dönüştürülmeleri ve nem açısından düzeltilmeleri gerekir (Durgun, 1995).

Standart atmosfer koşulları: $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $1,013 \cdot 10^5\text{ Pa}$

Deney yapılırken koşullar: P_0 [MPa] ; T_0 [K]

olduğuna göre, deney sonunda belirlenen $N_{e,1}$ efektif gücü aşağıdaki bağıntı kullanılarak standart koşullara düzeltilbilir (Durgun, 1995).

$$N_{e,2} = N_{e,1} * \frac{0.1013}{P_0} * \frac{T_0}{293} \quad (2.7)$$

Ayrıca deney yapılırken bağıl nem w_b ve kuru termometre sıcaklığı t_k veya; kuru ve yaş termometre sıcaklıkları t_k ve t_y şeklinde ölçülmüşse, Durgun (1995) tarafından verilen eğri kullanılarak x_{nem} nem düzeltme katsayısı belirlenebilir. Böylece standart koşullara dönüştürülmüş ve nem düzeltilmesi uygulanmış efektif güç aşağıdaki gibi olur.

$$N_e = N_{e,2} * x_{nem} \quad (2.8)$$

Özgül yakıt tüketiminin hesaplanabilmesi için yakıt ölçüm büreti ve kronometre kullanılmıştır. Δv [cm^3] yakıt, Δt [s] zamanında tüketildiğinde toplam yakıt tüketimi;

$$B = \frac{\Delta v * 10^{-3} * 3600}{\Delta t} \rho_{yakıt} \quad \left[\frac{\text{kg}_{yakıt}}{\text{h}} \right] \quad (2.9)$$

şeklinde hesaplanır ve buradan özgül yakıt tüketimi ise aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$be = \frac{B}{N_e} \left[\frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right] \quad (2.10)$$

Motor performans parametrelerinde efektif verim ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\eta_e = \frac{3600}{Hu * be} \quad (2.11)$$

Burada H_u kullanılan karışımın alt ısı değeri ve her bir karışımın yoğunluğu ile alt ısı değeri aşağıdaki gibi hesaplanmış olup kullanılan karışımlara ait değerler Ek Tablo 1'de verilmiştir.

$$\rho_{karışım} = \sum_{i=1}^n (x_i * \rho_i) / 100 \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (2.12)$$

$$H_{u_{karışım}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i * \rho_i * H_{u_i})}{\sum_{i=1}^n (x_i * \rho_i)} \quad \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (2.13)$$

2.3. Egzoz Emisyonlarının Belirlenmesi

Egzoz emisyonları BİLSA MOD 2210 egzoz gazı analiz cihazı ile ölçülmüştür. Her bir ölçüm için 10 dakika boyunca 5 değer okunmuş ve ortalaması hesaplanarak son değer elde edilmiştir. Egzoz gazı analiz cihazı Şekil 2.7'de, cihaza ait ölçüm aralığı ve hassasiyet değerleri ise Tablo 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Egzoz gazı analiz cihazı

Tablo 2.2. Egzoz gazı analiz cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti

Parametre	Ölçme sınırı	Hassasiyet
CO ₂	0-20 [%]	% 0.001
HC	0-10000 [ppm]	1 ppm
NO _x	0-5000 [ppm]	1 ppm
K is faktörü	0-9.99	0.01

2.4. Yapay Sinir Ağları ile Modelleme

Mühendisler yaptıkları bir çalışma için tüm çalışma koşullarını bilmek isterler. Bunun için ise iki yol vardır. Birincisi, tüm çalışma şartlarını kapsayan kapsamlı deneysel çalışmalar yapmaktır. Fakat bu yöntem maliyet ve zaman açısından verimli bir yöntem değildir. İkincisi ise her bir çalışma şartı için doğru sonuçlar üreten bir model geliştirmektir. Motor araştırmalarında, lineer olmayan bir yapı ve değişken sayısının çokluğu gibi nedenlerden dolayı bir matematiksel model geliştirmek karmaşık ve zor hale gelmektedir. Yapay sinir ağları ise geleneksel yöntemlerin başarısız olduğu durumlarda mühendislik problemlerin çözümünde kullanılan iyi bir yöntemdir. İyi eğitilmiş bir YSA, bir tahmin modeli olarak kullanılabilir. Deneysel veriler kullanılarak ağın eğitimi yapılır. Ayrıca yeni veriler elde edildiği zaman ağın tekrar öğrenme yeteneği sayesinde model performansı geliştirilebilir. YSA'yı geleneksel yöntemlerden ayıran en önemli özelliklerden biri modellemede veriler arasındaki ilişkiye önceden bilmesine ihtiyaç duymamasıdır. YSA'nın diğer bir özelliği ise geleneksel simülasyon programları ve matematiksel modellere göre daha hızlı sonuçlar vermesidir.

Modelleme işlemi MATLAB programında ".m file" kodu oluşturularak yapılmıştır. İleri beslemeli ağ yapısına sahip ve tek bir gizli katmandan oluşan modellerde öğrenme algoritması olarak ise geriye yayılım öğrenme algoritması kullanılmıştır. Ayrıca optimizasyon algoritması olarak Levenberg-Marquardt (LM) ve Scaled Conjugate Gradient (SCG) seçilmiştir. Her bir model için iki farklı optimizasyon algoritması ve 15 farklı (1:15) gizli nöron sayısı karşılaştırılarak en uygun ağ belirlenmeye çalışılmıştır. Öğrenme katsayısı ve momentum katsayısı 0.5, maksimum iterasyon sayısı 1500, doğrulama kontrol sayısı 500 ve hata değeri 1×10^{-5} olarak seçilmiştir.

Elde edilen modellerin performansı ölçmek için hata karelerinin ortalaması (MSE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve determinasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (t_i - g_i)^2 \quad (2.14)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{g_i - t_i}{g_i} \right| * 100 \quad (2.15)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})^2} \quad (2.16)$$

n = veri sayısı

g_i = gerçek değer

\bar{g} = gerçek değerlerin ortalaması

t_i = modelin ürettiği tahmin değeri

2.5. Belirsizlik Analizi

Bilimsel çalışmalarda geline her aşamada elde edilen verilerin geçerliliği bilinmelidir. Ne kadar dikkat edilirse edilsin bir sistem üzerinde yapılan deneysel ölçümler her zaman kesin ve tam değildir. Bu belirsizliğin rakamsal olarak ifade edilmesi gerekir. Hata, ölçümlerden kaynaklanan belirsizliklerin oluşturduğu bir sonuç olarak tanımlanabilir. Bu hatalar; rastgele hatalar, dikkatsizlikler veya sistematik hatalar olabilir. Belirsizlik ise değişik nedenlerle ortaya çıkan etkilerin, ölçümdeki sonuçta belirlenmesidir. Bu da sistemdeki elemanların seçiminde ve etkin bir sistemin oluşturulmasında en etkili faktördür (Ulukoş, 2010).

Belirsizlik, sistematik belirsizlikler ve değişken belirsizlikler olmak üzere iki grupta toplanabilir. Sistematik belirsizlikler, genellikle ölçüm yapılan alettaki hatalar veya ölçüm tekniğinin yanlış uygulanması olarak ifade edilir. Değişken belirsizlikler ise ölçümün yapıldığı deney ortamındaki tahmin edilemeyen değişken durumların deneyin performansını etkilemesinden kaynaklanır. Değişken belirsizlikler deneyde ölçüm sonuçlarının yaklaşık olmasını zorlaştırır. Sistematik belirsizlikler ise ölçüm doğruluğunu azaltır (Ulukoş, 2010).

Tez kapsamında yapılan çalışmada Kline ve McClintock (1953) tarafından önerilen yöntem kullanılarak belirsizlik analizi yapılmıştır. Bu yöntemde ölçülen veya hesaplanan büyüklük R ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olsun. Bu durumda,

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (2.17)$$

yazılabilir. Her bir bağımsız değişkene ait belirsizlik $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ise R büyüklüğünün belirsizliği w_R aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir (Kline ve McClintock, 1953);

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.18)$$

Aşağıda saf dizel yakıtı için sırasıyla efektif güç, özgül yakıt tüketimi ve efektif verimin belirsizlik analizi yalnızca 2000 dev/dak durumu için gösterilmiş olup diğer durumlar Ek Tablo 2-4'de verilmiştir.

2.5.1. Efektif Gücün Belirsizlik Analizi

$$N_e = M_d * \frac{\pi * n}{30} * \frac{0.1013}{P_0} * \frac{T_0}{293} * x_{nem} \quad (2.19)$$

şeklinde düzeltme yapılarak hesaplanan efektif güç için belirsizlik analizi;

$$N_e = N_e(M_d, n, P_0, T_0)$$

$$R = N_e$$

$$x_1 = M_d$$

$$x_2 = n$$

$$x_3 = P_0$$

$$x_4 = T_0$$

$$w_1 = w_{M_d}$$

$$w_2 = w_n$$

$$w_3 = w_{P_0}$$

$$w_4 = w_{T_0}$$

Bu terimler (2.18) ifadesinde yerine yazılırsa;

$$w_{N_e} = \left[\left(\frac{\partial N_e}{\partial M_d} w_{M_d} \right)^2 + \left(\frac{\partial N_e}{\partial n} w_n \right)^2 + \left(\frac{\partial N_e}{\partial P_0} w_{P_0} \right)^2 + \left(\frac{\partial N_e}{\partial T_0} w_{T_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

şeklinde ifade elde edilmiş olur. Bu ifadedeki kısmi türevler ise;

$$\frac{\partial N_e}{\partial M_d} = \frac{\pi * n}{30} * \frac{0.1013}{P_0} * \frac{T_0}{293} * x_{nem}$$

$$\frac{\partial N_e}{\partial n} = M_d * \frac{\pi}{30} * \frac{0.1013}{P_0} * \frac{T_0}{293} * x_{nem}$$

$$\frac{\partial N_e}{\partial P_0} = -M_d * \frac{\pi * n}{30} * \frac{0.1013}{P_0^2} * \frac{T_0}{293} * x_{nem}$$

$$\frac{\partial N_e}{\partial T_0} = M_d * \frac{\pi * n}{30} * \frac{0.1013}{P_0} * \frac{1}{293} * x_{nem}$$

şeklinde yazılarak denklemde yerine konulursa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$w_{N_e} = \left[\left(\frac{\pi * n}{30} * \frac{0.1013}{P_0} * \frac{T_0}{293} * x_{nem} * w_{M_d} \right)^2 + \left(M_d * \frac{\pi}{30} * \frac{0.1013}{P_0} * \frac{T_0}{293} * x_{nem} * w_n \right)^2 + \left(-M_d * \frac{\pi * n}{30} * \frac{0.1013}{P_0^2} * \frac{T_0}{293} * x_{nem} * w_{P_0} \right)^2 + \left(M_d * \frac{\pi * n}{30} * \frac{0.1013}{P_0} * \frac{1}{293} * x_{nem} * w_{T_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.21)$$

Bu ifadenin her iki tarafı Ne'ye bölünerek işlem açısından kolaylaştırılabilir.

$$\frac{w_{N_e}}{N_e} = \left[\left(\frac{w_{M_d}}{M_d} \right)^2 + \left(\frac{w_n}{n} \right)^2 + \left(\frac{-w_{P_0}}{P_0} \right)^2 + \left(\frac{w_{T_0}}{T_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.22)$$

Örnek olarak saf dizel yakıtında 2000 dev/dak için belirsizlik analizi yapılırsa;

$$N_e = 4724.678 \text{ W}$$

$$M_d = 22.765 \text{ Nm}$$

$$n = 2000 \text{ d/dk}$$

$$P_0 = 1013 \text{ mbar}$$

$$T_0 = 15.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$w_{M_d} = 0.1 \text{ Nm}$$

$$w_n = 1 \text{ d/dk}$$

$$w_{P_0} = 1 \text{ mbar}$$

$$w_{T_0} = 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Bu değerler (2.17) denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\frac{w_{N_e}}{N_e} = 0.007750857 * 100 = \%0.775$$

$$w_{N_e} = 36.62031 \text{ [W]}$$

olarak bulunur.

2.5.2. Özgül Yakıt Tüketiminin Belirsizlik Analizi

Toplam yakıt tüketimini veren (2.9) denklemini (2.10) denkleminde yerine koyarsak özgül yakıt tüketimi için aşağıdaki ifade elde edilir.

$$b_e = \frac{\Delta v * 10^{-3} * 3600}{\Delta t} * \rho_{yakıt} * \frac{1}{N_e} \left[\frac{kg}{kWh} \right] \quad (2.23)$$

$$b_e = b_e(\Delta t, \rho_{yakıt}, N_e)$$

$$R = b_e$$

$$x_1 = \Delta t$$

$$x_2 = \rho_{yakıt}$$

$$x_3 = N_e$$

$$w_1 = w_{\Delta t}$$

$$w_2 = w_{\rho_{yakıt}}$$

$$w_3 = w_{N_e}$$

Bu terimler (2.18) ifadesinde yerine yazılırsa;

$$w_{b_e} = \left[\left(\frac{\partial b_e}{\partial \Delta t} w_{\Delta t} \right)^2 + \left(\frac{\partial b_e}{\partial \rho_{yakıt}} w_{\rho_{yakıt}} \right)^2 + \left(\frac{\partial b_e}{\partial N_e} w_{N_e} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.24)$$

şeklinde ifade elde edilmiş olur. Bu ifadedeki kısmi türevler ise;

$$\frac{\partial b_e}{\partial \Delta t} = - \frac{\Delta v * 10^{-3} * 3600}{\Delta t^2} * \rho_{yakıt} * \frac{1}{N_e}$$

$$\frac{\partial b_e}{\partial \rho_{yakıt}} = \frac{\Delta v * 10^{-3} * 3600}{\Delta t} * \frac{1}{N_e}$$

$$\frac{\partial b_e}{\partial N_e} = - \frac{\Delta v * 10^{-3} * 3600}{\Delta t} * \rho_{yakıt} * \frac{1}{N_e^2}$$

şeklinde yazılarak denklemde yerine konulursa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$w_{b_e} = \left[\left(- \frac{\Delta v * 10^{-3} * 3600}{\Delta t^2} * \rho_{yakıt} * \frac{1}{N_e} * w_{\Delta t} \right)^2 + \left(\frac{\Delta v * 10^{-3} * 3600}{\Delta t} * \frac{1}{N_e} * w_{\rho_{yakıt}} \right)^2 + \left(- \frac{\Delta v * 10^{-3} * 3600}{\Delta t} * \rho_{yakıt} * \frac{1}{N_e^2} * w_{N_e} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.25)$$

Bu ifadenin her iki tarafı b_e 'ye bölünerek işlem açısından kolaylaştırılabilir.

$$\frac{w_{b_e}}{b_e} = \left[\left(-\frac{w_{\Delta t}}{\Delta t} \right)^2 + \left(\frac{w_{\rho_{yakıt}}}{\rho_{yakıt}} \right)^2 + \left(-\frac{w_{N_e}}{N_e} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.26)$$

Örnek olarak saf dizel yakıtında 2000 dev/dak için belirsizlik analizi yapılırsa;

$$b_e = 0.22572 \left[\frac{kg}{kWh} \right]$$

$$\Delta t = 22.536 [s]$$

$$\rho_{yakıt} = 834.5 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$N_e = 4724.678 [W]$$

$$w_{\Delta t} = 0.1 [s]$$

$$w_{\rho_{yakıt}} = 1 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$w_{N_e} = 36.62031 [W]$$

Bu değerler (2.21) denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\frac{w_{b_e}}{b_e} = 0.009011 * 100 = \%0.9011$$

$$w_{b_e} = 0.002034 \left[\frac{kg}{kWh} \right]$$

olarak bulunur.

2.5.3. Efektif Verimin Belirsizlik Analizi

Efektif verim ifadesi denklem 2.11'de gösterildiği gibi aşağıda verilmiştir.

$$\eta_e = \frac{3600}{Hu * b_e}$$

$$\eta_e = \eta_e(Hu, b_e)$$

$$R = \eta_e$$

$$x_1 = Hu$$

$$x_2 = be$$

$$w_1 = w_{Hu}$$

$$w_2 = w_{be}$$

Bu terimler (2.13) ifadesinde yerine yazılırsa;

$$w_{\eta_e} = \left[\left(\frac{\partial \eta_e}{\partial Hu} w_{Hu} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_e}{\partial be} w_{be} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.27)$$

şeklinde ifade elde edilmiş olur. Bu ifadedeki kısmi türevler ise;

$$\frac{\partial \eta_e}{\partial Hu} = -\frac{3600}{Hu^2 * be}$$

$$\frac{\partial \eta_e}{\partial be} = -\frac{3600}{Hu * be^2}$$

şeklinde yazılarak denklemde yerine konulursa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$w_{\eta_e} = \left[\left(-\frac{3600}{Hu^2 * be} * w_{Hu} \right)^2 + \left(-\frac{3600}{Hu * be^2} * w_{be} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.28)$$

Bu ifadenin her iki tarafı η_e 'ye bölünerek işlem açısından kolaylaştırılabilir.

$$\frac{w_{\eta_e}}{\eta_e} = \left[\left(-\frac{w_{Hu}}{Hu} \right)^2 + \left(-\frac{w_{be}}{be} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.29)$$

Örnek olarak saf dizel yakıtında 2000 d/dk için belirsizlik analizi yapılırsa;

$$\eta_e = 0.374389$$

$$Hu = 42600 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$be = 0.22572 \left[\frac{kg}{kWh} \right]$$

$$w_{Hu} = 100 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$w_{be} = 0.002034 \left[\frac{kg}{kWh} \right]$$

Bu değerler (2.24) denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\frac{w_{\eta_e}}{\eta_e} = 0.009312 * 100 = \%0.9312$$

$$w_{\eta_e} = 0.003486$$

olarak bulunur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Giriş

Bu bölümde deneylerden elde edilen sonuçlar irdelenerek verilmiştir. Tez kapsamında yapılan deneylerde karışım için hem n-bütanol hem de etanol kullanıldığı için sonuçlar ayrı bölümler halinde incelenmiştir. İlk olarak dizel yakıtı ve n-bütanol karışımlarının motor performansları, egzoz emisyonları ve çevrimsel farklılıkları incelenmiş bir sonraki bölümde elde edilen veriler kullanılarak yapay sinir ağlarıyla modellemeler yapılmıştır. Son bölümde ise dizel yakıtı ve etanol karışımları için aynı parametreler incelenmiştir.

3.2. Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde dizel yakıtı ve n-bütanol karışımları kullanılarak tam gazda 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600 ve 2800 dev/dak hızlarında yapılan deneyler sonucunda efektif güç, döndürme momenti, yakıt tüketimi, egzoz emisyonları ve çevrimsel farklar incelenmiştir.

3.2.1. Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarının Motor Performansları

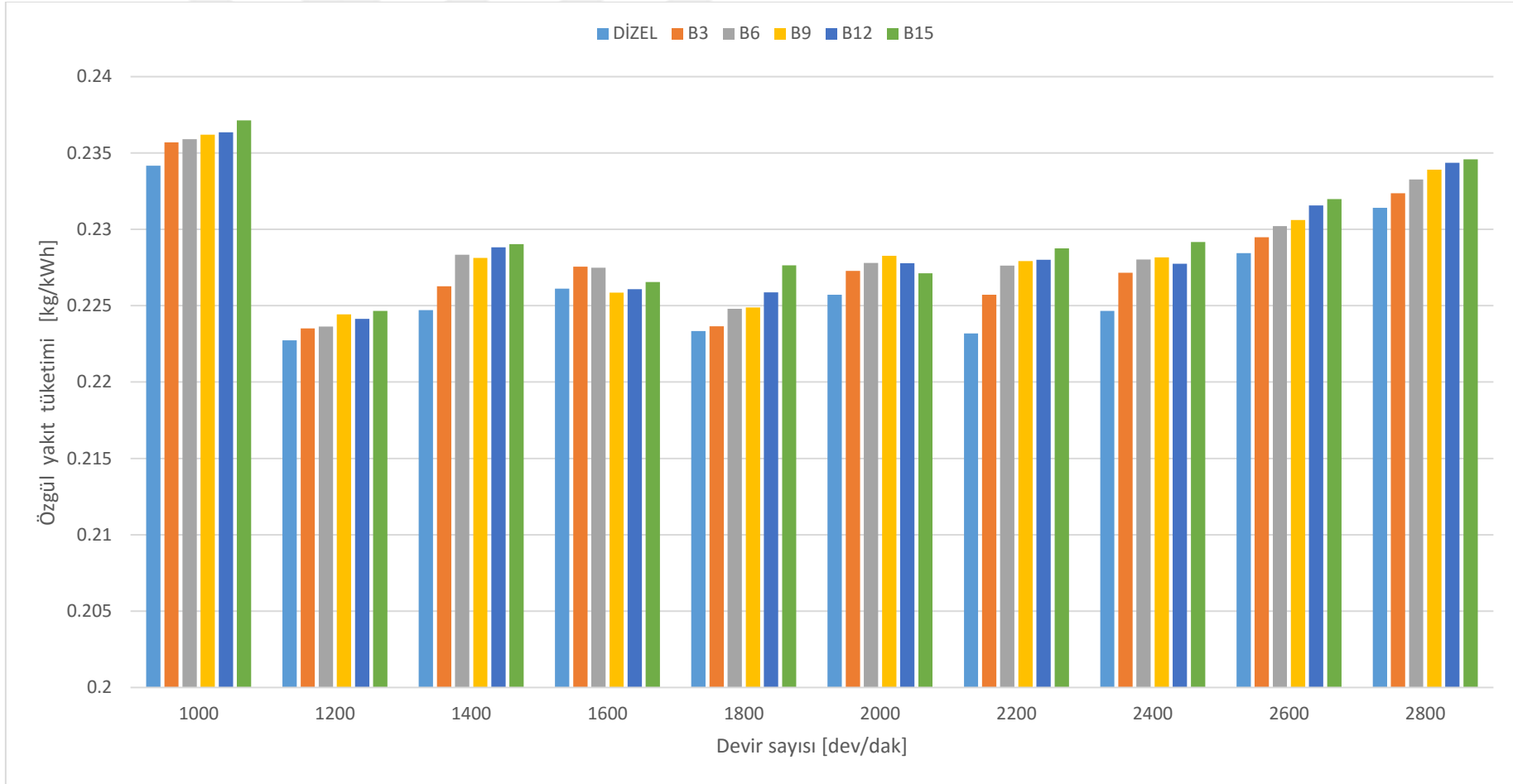
Motor performans karakteristikleri olarak özgül yakıt tüketimi ve efektif verim parametreleri incelenmiştir. Şekil 3.1’de dizel yakıtı – n bütanol karışımlarına ait farklı devirlerde özgül yakıt tüketimleri gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi dizel yakıtına bütanol eklenmesiyle özgül yakıt tüketiminde artma meydana gelmiştir. Karışımdaki bütanolün hacimsel oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi de buna bağlı olarak artma eğilimine girmiştir. Bu sonuç ilk bölümde verilen literatüre uygun bir sonuçtur. Bütanolün ısı değeri dizel yakıtın ısı değerinden düşüktür ve motor aynı gücü elde etmek için daha fazla yakıt harcamak zorundadır.

Bir diğer performans parametresi olan efektif verim ise Şekil 3.2’ de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi karışıma bütanol eklenmesiyle efektif verimde artma meydana gelmiştir.

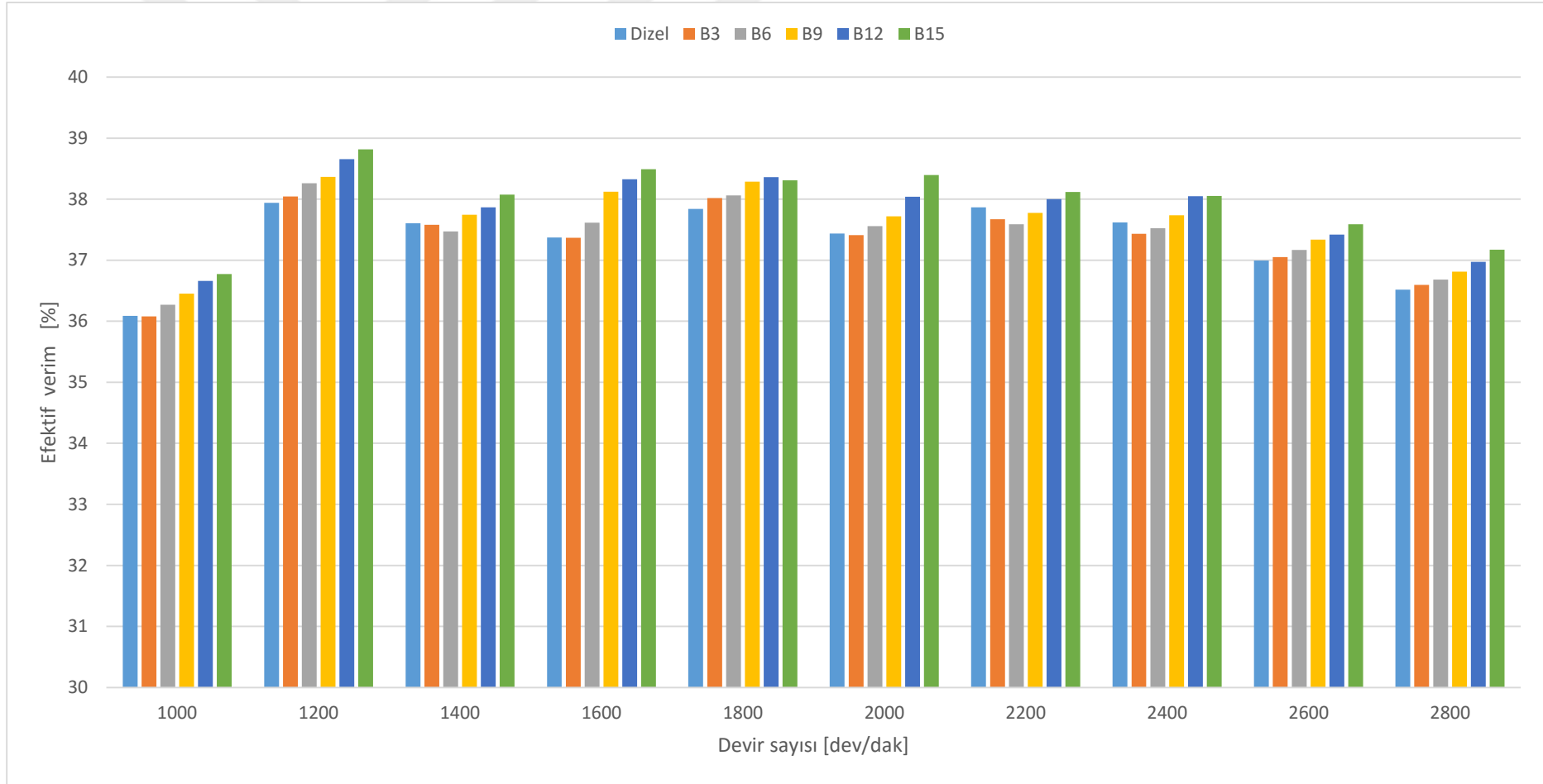
Karışımındaki bütanol oranının artmasıyla efektif verimdeki artma eğilimi süreklilik arz etmiştir. Özgül yakıt tüketiminin artmasına karşın efektif verimin artması da yine literatür özetindeki çalışmalara uygun bir sonuçtur. Bu durumun ortaya çıkmasında birkaç faktör rol oynamaktadır. İlk olarak bütanolün içindeki oksijen bu durumda etkilidir. Çünkü yakıttaki oksijen içeriği yanmayı iyileştirir. Diğer bir faktör ise bütanolün, dizel yakıtına göre daha düşük setan sayısına sahip olmasıdır. Düşük setan sayısı, tutuşma gecikmesinin uzamasına sebep olmakta ve bütanolün dizel yakıtına göre daha yüksek laminer alev hızına sahip olmasıyla da ön yanma fazı uzamaktadır. Yani sabit hacimde yanma artmış olur. Ayrıca karışıma bütanol eklenmesiyle silindir içi sıcaklıklar azalır. Bu durumda ise ısı kayıpları azalır ve verimi arttırıcı yönde etki yapar. Bilindiği gibi efektif verim ifadesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\eta_e = \frac{3600}{Hu * be}$$

Efektif verimin artması için denklemdaki payda değerinin azalması gerekmektedir. Özgül yakıt tüketiminde artma, alt ısı değerinde ise azalma olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla son olarak şu yorum yapılabilir; özgül yakıt tüketimindeki artma miktarı, ısı değerindeki azalmadan miktarından daha düşüktür.



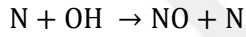
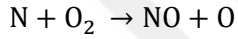
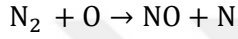
Şekil 3.1. Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi



Şekil 3.2. Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi

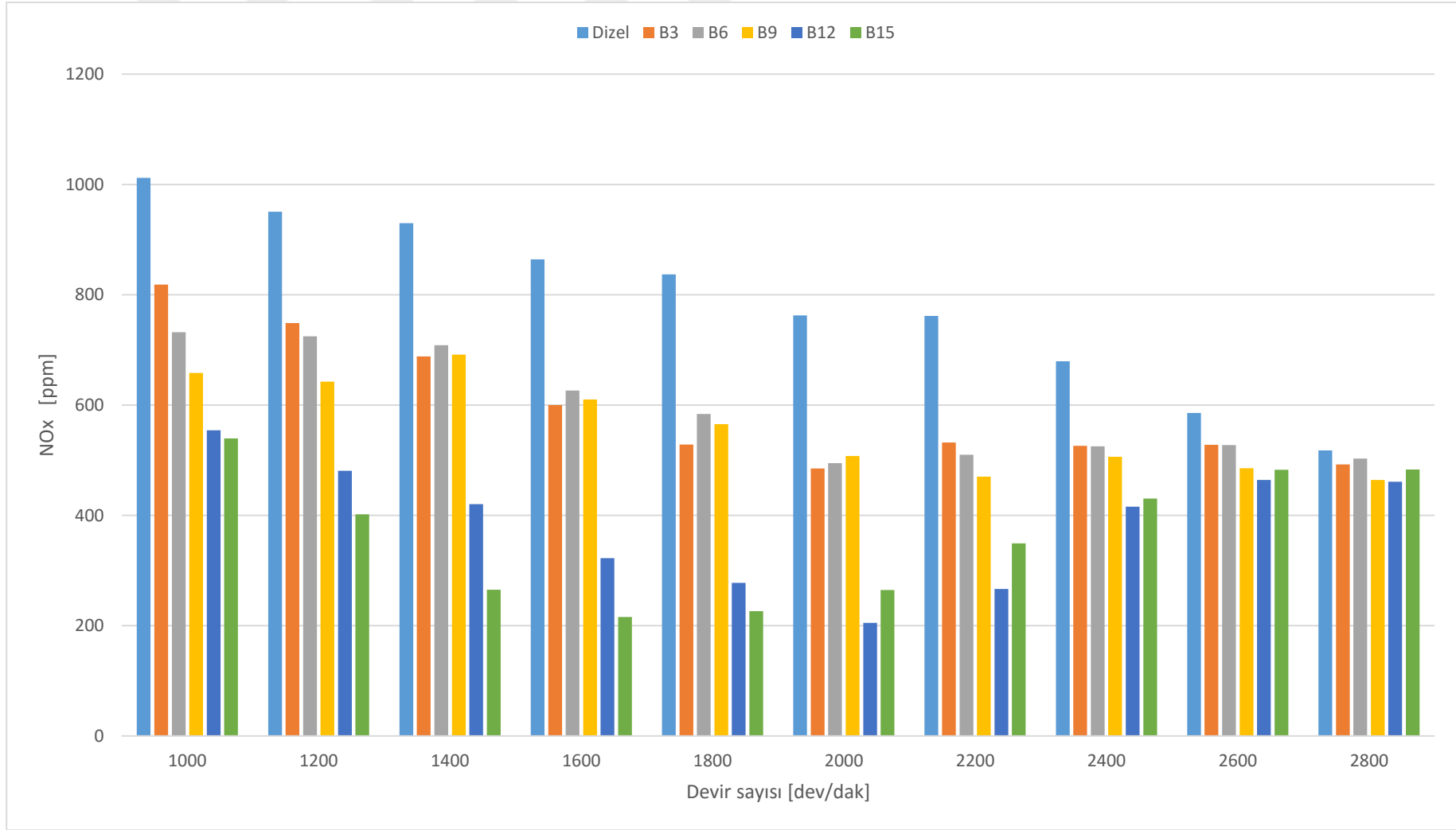
3.2.2. Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarının Egzoz Emisyonları

Bu bölümde dizel yakıtı – n bütanol karışımlarına ait NO_x ve CO emisyonları incelenmiştir. Şekil 3.3'te dizel yakıtı – n bütanol karışımlarına ait NO_x, Şekil 3.5'te ise CO emisyonlarının değişimleri farklı devir sayılarına göre verilmiştir. NO_x oluşumu büyük oranda silindir içi sıcaklığa, oksijen konsantrasyonuna ve yeterli reaksiyon zamanına bağlıdır. Yüksek sıcaklıklarda, yanma odasında bir dizi parçalanma reaksiyonu meydana gelir. Zeldovich mekanizmasına göre NO_x oluşumuna sebep olan 3 temel reaksiyon aşağıda gösterilmiştir.

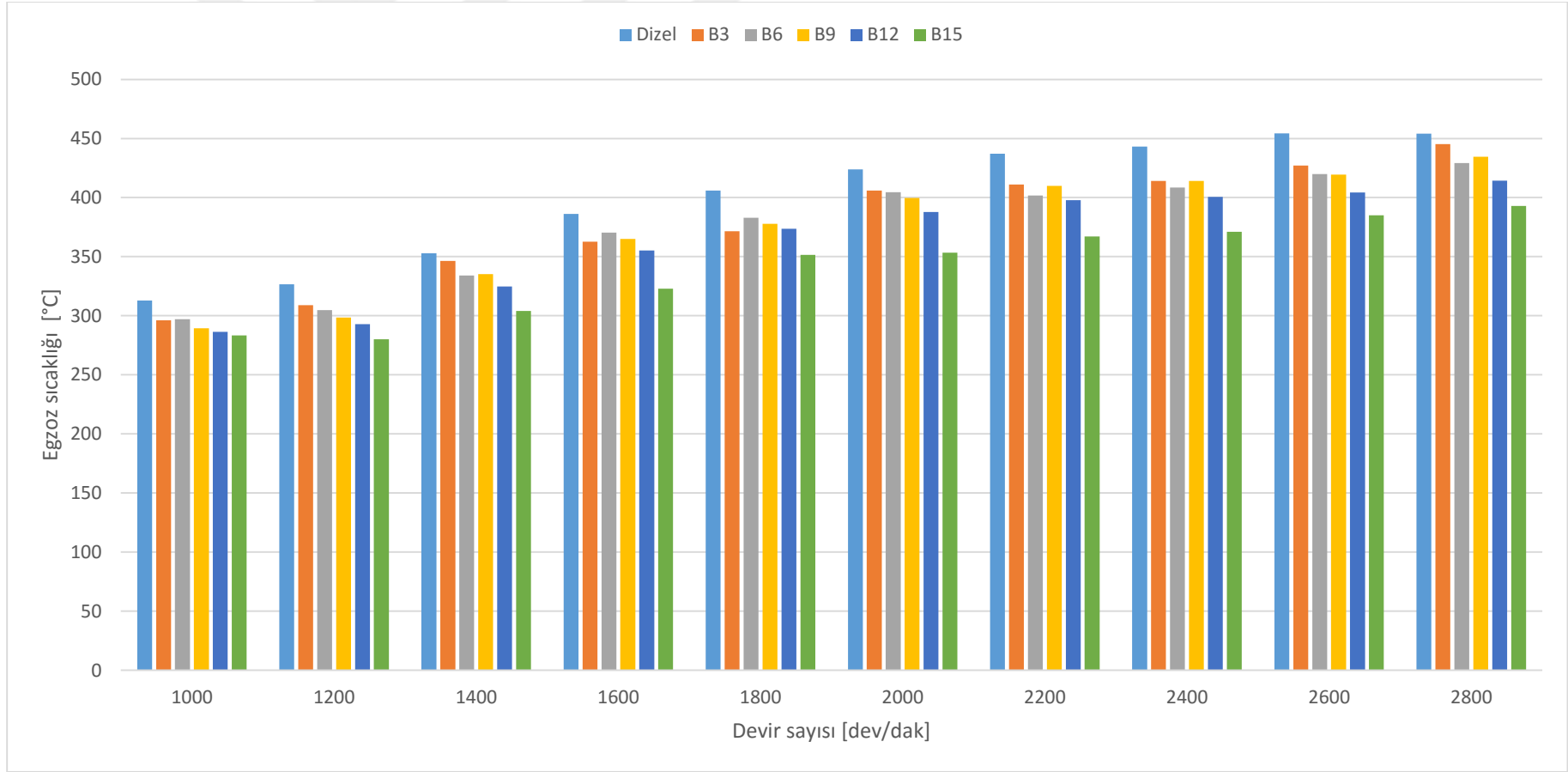


Yapılan çalışma sonucunda dizel yakıtına bütanol eklenmesiyle NO_x emisyonları azalmıştır ve bu azalma karışımdaki bütanolün oranı arttıkça devam etmiştir. NO_x emisyonları üzerindeki en önemli parametre yanma sıcaklığıdır. Düşük ısı değer ve yüksek buharlaşma ısısı, yanma sonu sıcaklığını düşürürken; düşük setan sayısı (tutuşma gecikmesi fazla olur ve ön yanma fazı sıcaklığı artar) yanma sonu sıcaklığını arttırır. Fakat burada düşük ısı değer ve yüksek buharlaşma ısısı daha etkin rol oynayarak yanma sonu sıcaklığını düşürmüştür ve dolayısıyla daha az miktarda NO_x meydana gelmiştir. Şekil 3.4'te kullanılan karışımlara ait her bir devir sayısında oluşan egzoz gazı sıcaklıkları gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi dizel yakıtına bütanol eklenmesiyle egzoz gazı sıcaklıkları düşmüştür.

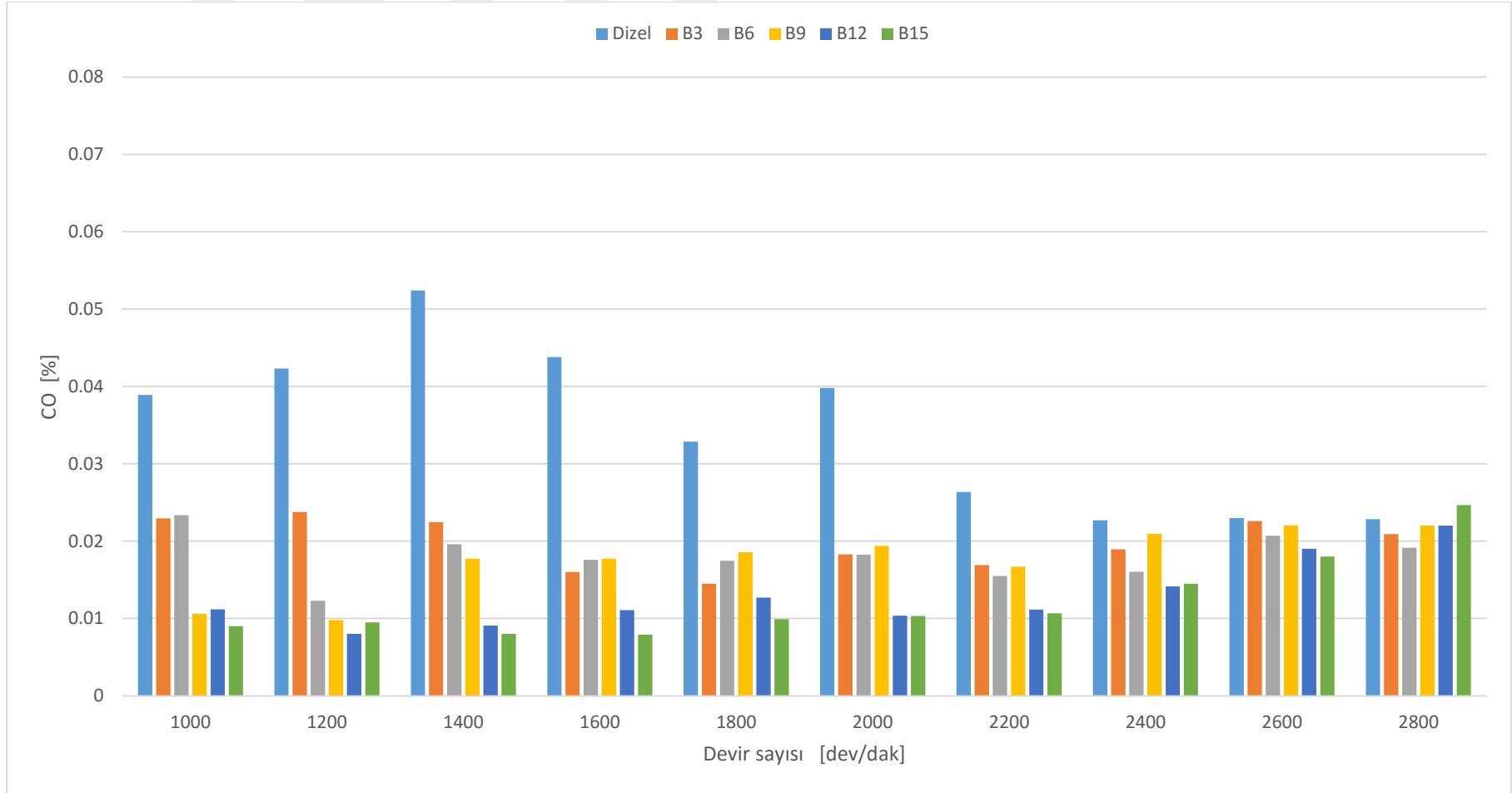
Şekil 3.5'te görüldüğü gibi CO emisyonları da bütanol kullanılmasıyla azalmıştır. Bütanol oranına bağlı olarak azalma eğilimi devam etmiştir. CO emisyonlarındaki düşüşte en büyük etmen, bütanolün içinde bulunan oksijen bileşenidir ve bu sayede tam yanma daha çok meydana gelir. Dolayısıyla CO emisyonları azalmış olur.



Şekil 3.3. Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için NO_x emisyonunun devir sayısına göre değişimi



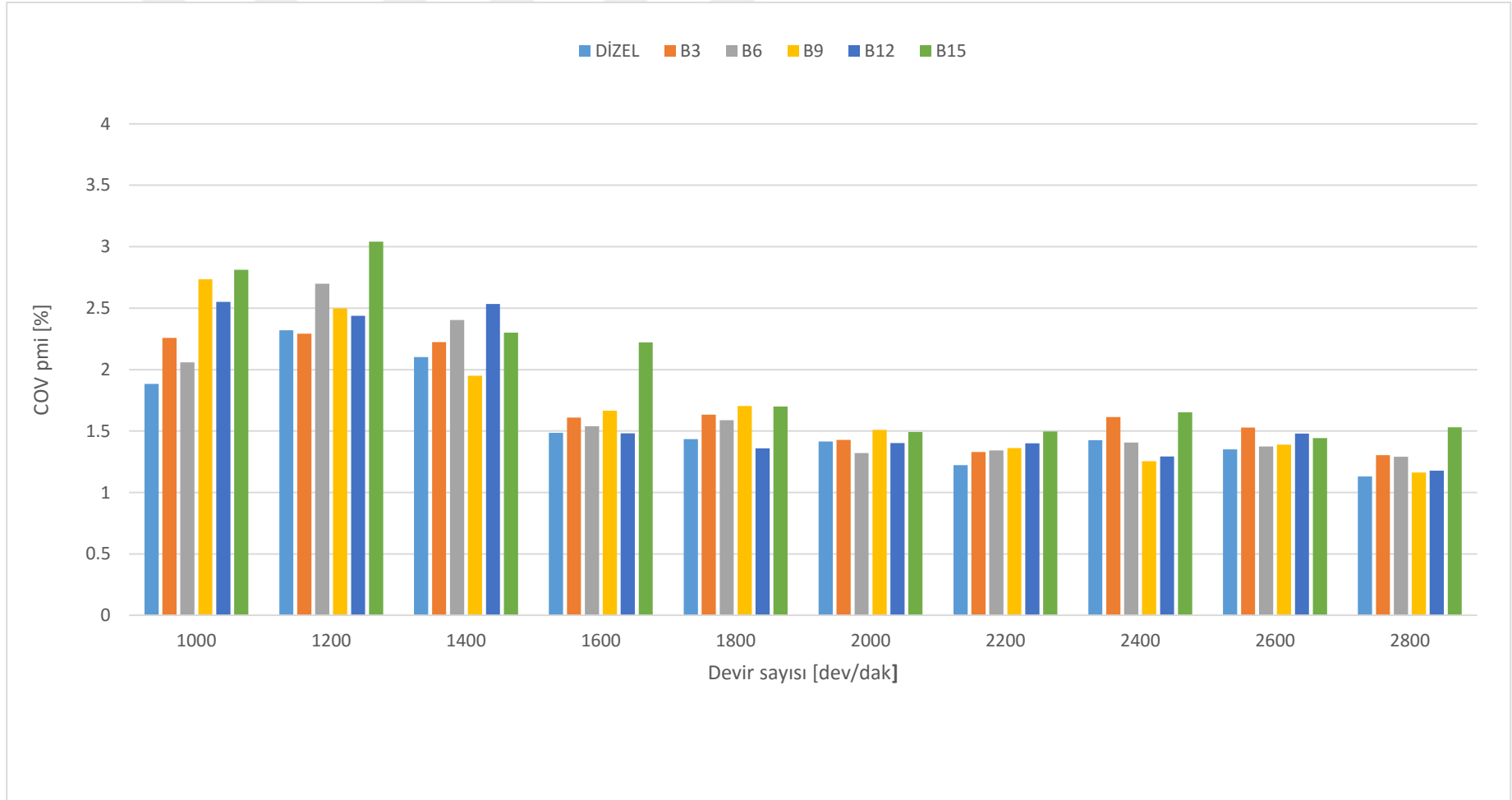
Şekil 3.4. Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için egzoz gazları sıcaklığının devir sayısına göre değişimi



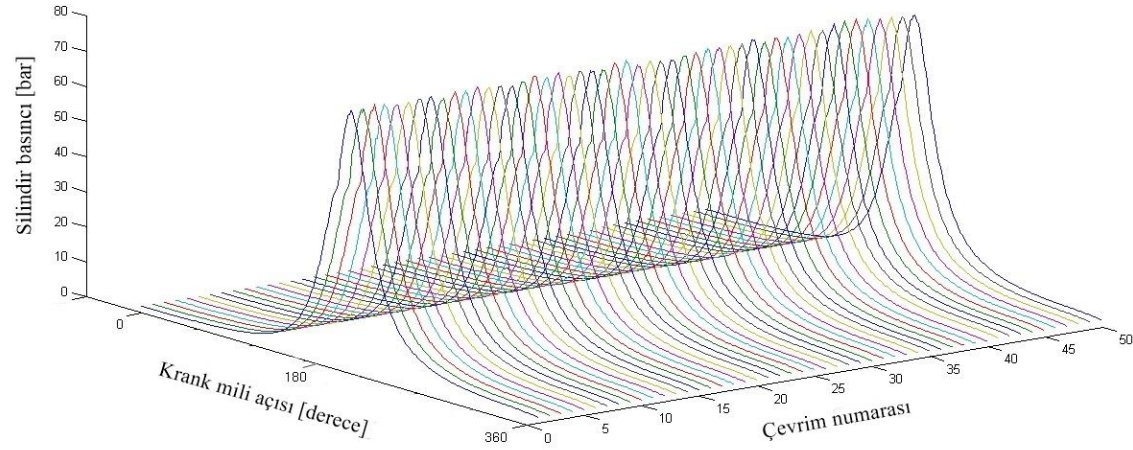
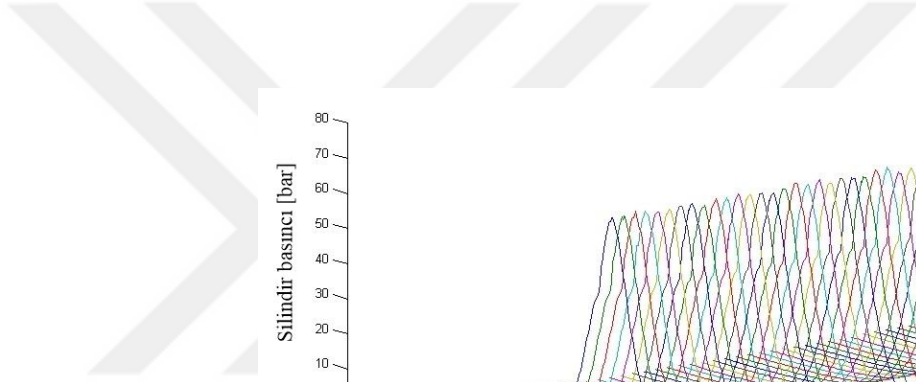
Şekil 3.5. Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi

3.2.3. Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarında Meydana Gelen Çevrimsel Farklar

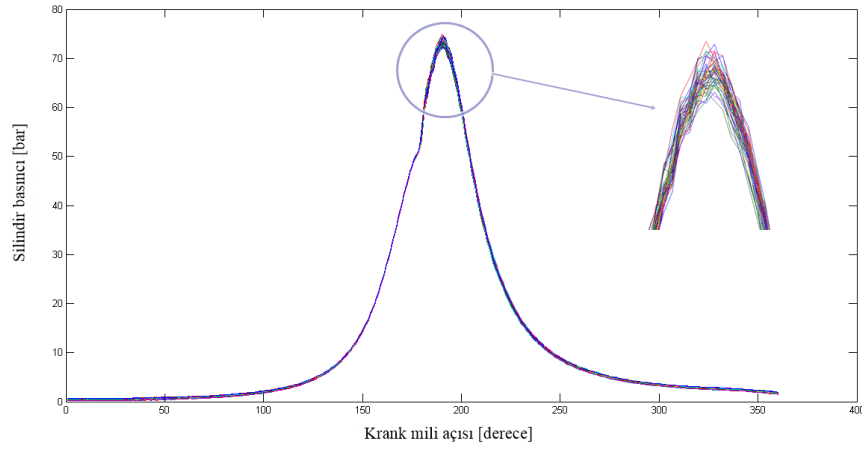
Bu bölümde dizel yakıtı – n bütanol karışımlarına ait çevrimsel farklar verilmiştir. Çevrimsel farkların hesaplanabilmesi için indike ortalama basınç değerleri kullanılarak COV_{pmi} değerleri hesaplanmıştır. ECA 100 Çevrim Analizörü ile her bir karışım için tüm çalışma koşullarında (tam gaz ve 10 farklı devir sayısı) 100 adet çevrim kaydedilmiştir. Çalışmada saf dizel yakıtı ve karışımların oluşturduğu toplam 5 farklı yakıt olduğu için toplamda 5000 çevrim incelenmiştir. Şekil 3.6'da bu karışımların 10 farklı devir sayısında oluşan çevrimsel farkları gösterilmiştir. Çevrimsel farklar genel olarak bakıldığında dizel yakıtına bütanol eklenmesiyle artma eğilimine girmiştir. Ayrıca her bir yakıt kendi içinde değerlendirildiğinde ise çevrimsel farklar devir sayısının artmasıyla azalmaya başlamıştır. Çevrim farkının birinci sebebi silindir içindeki türbülans ve girdaptan dolayı oluşan gaz hareketleridir. Düşük devir sayılarında türbülans daha az meydana gelmekte ve yüksek çevrimsel farklara sebep olmaktadır. Fakat yüksek devir sayılarına çıkıldığı zaman, ortalama piston hızı ve türbülans şiddeti artarak daha iyi bir karışım oluşturmakta ve böylece çevrimsel farklar azalmaktadır. Şekil 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12'de ise sırasıyla saf dizel, B3, B6, B9, B12 ve B15 yakıtlarına ait 3 boyutlu ve 2 boyutlu basınç grafikleri ile çevrimlerdeki ortalama indike basınç değerlerinin değişimleri sadece 2200 dev/dak durumu için gösterilmiştir. Hesaplamalarda her bir durum için 100 adet çevrim kullanılmasına karşın verilen şekillerde 50 adet çevrim gösterilerek basınç dalgalanmalarının daha detaylı görülmesi sağlanmıştır.



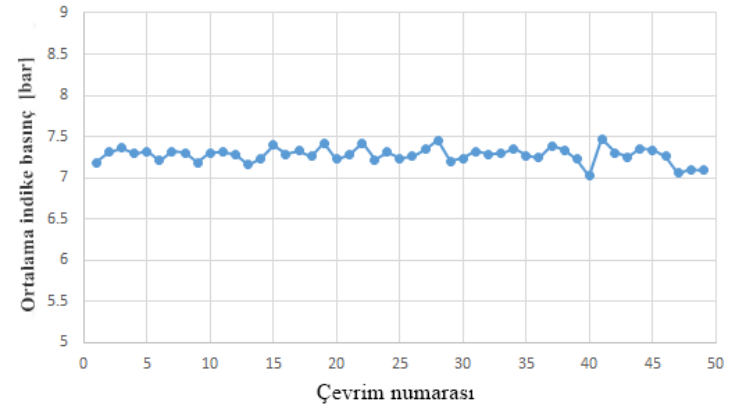
Şekil 3.6. Dizel yakıtı – n bütanol karışımları için çevrimsel farkların devir sayısına göre değişimi



(a)

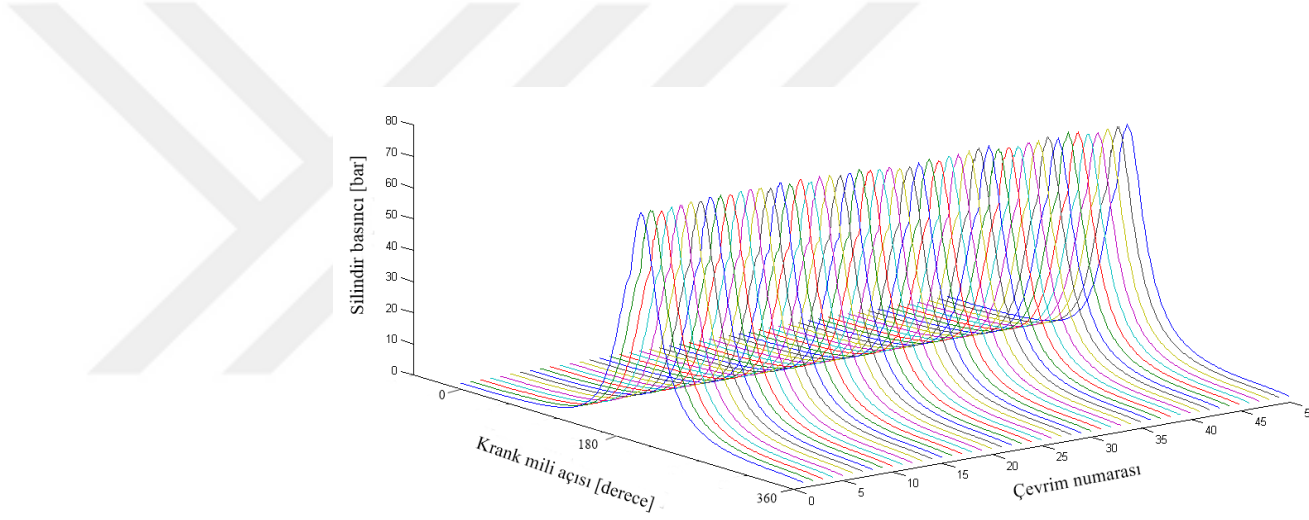


(b)

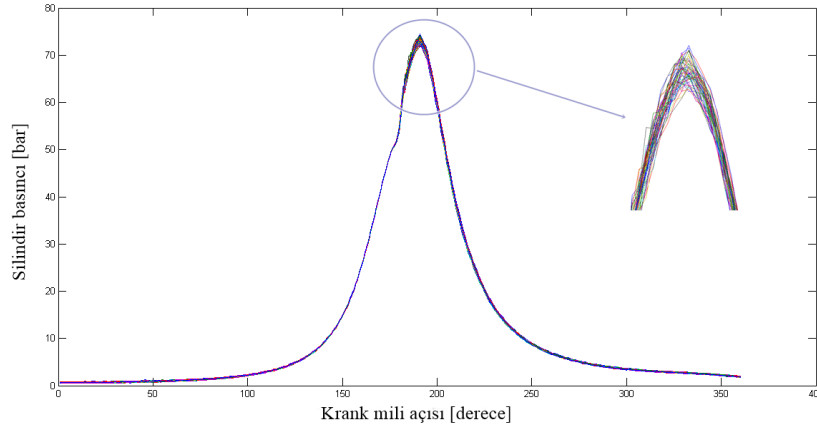


(c)

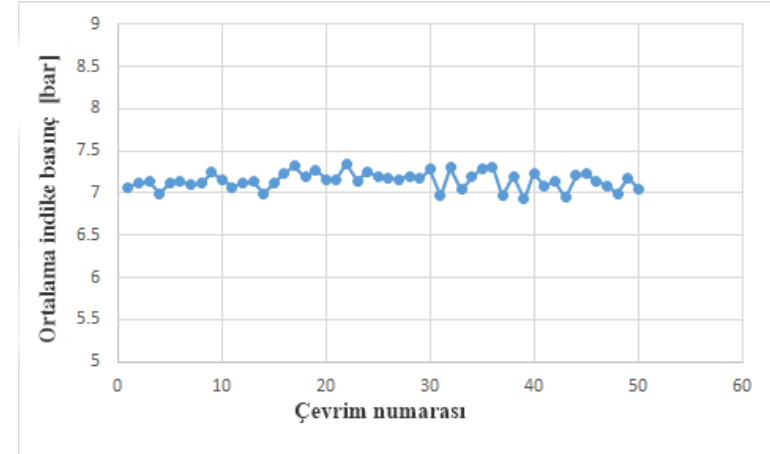
Şekil 3.7. Saf dizel, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri



(a)

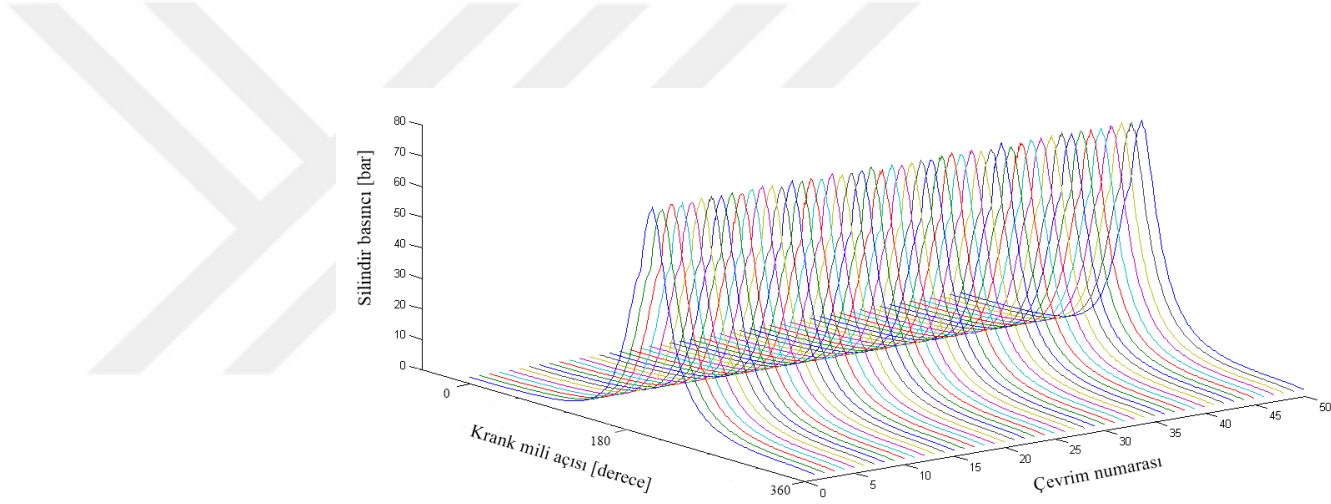


(b)

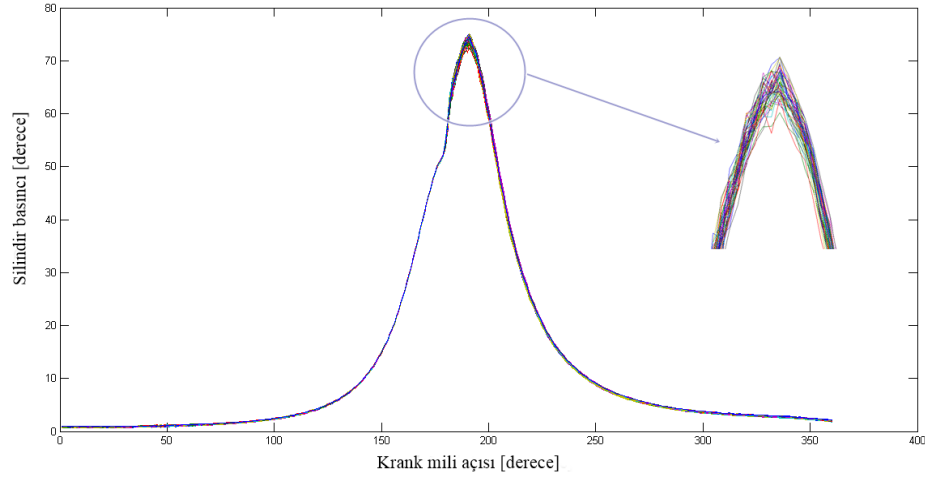


(c)

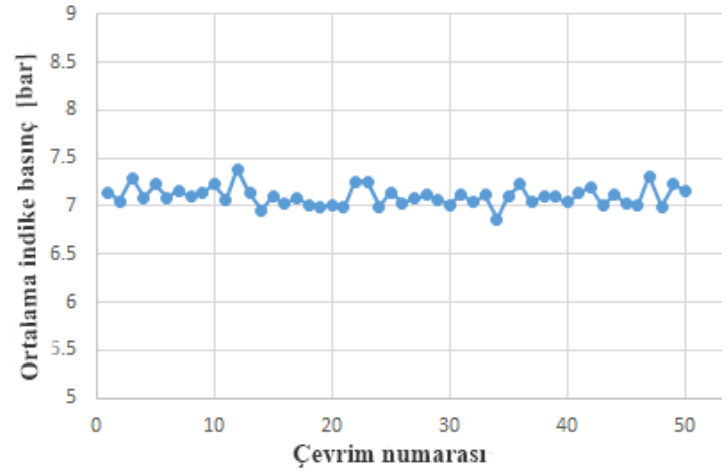
Şekil 3.8. B3 yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri



(a)

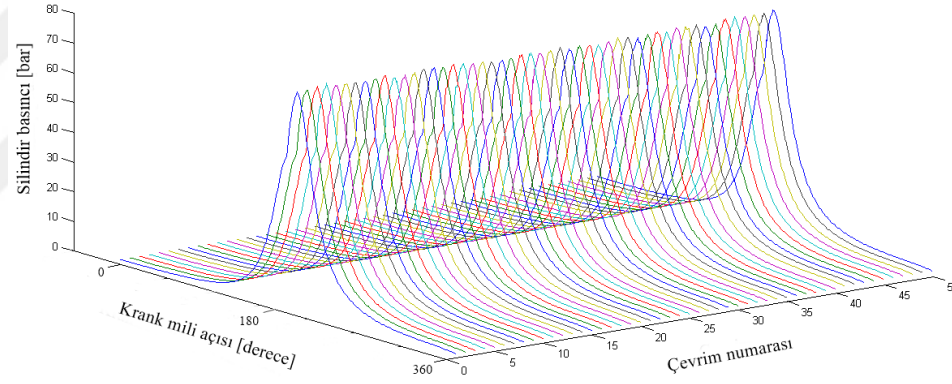


(b)

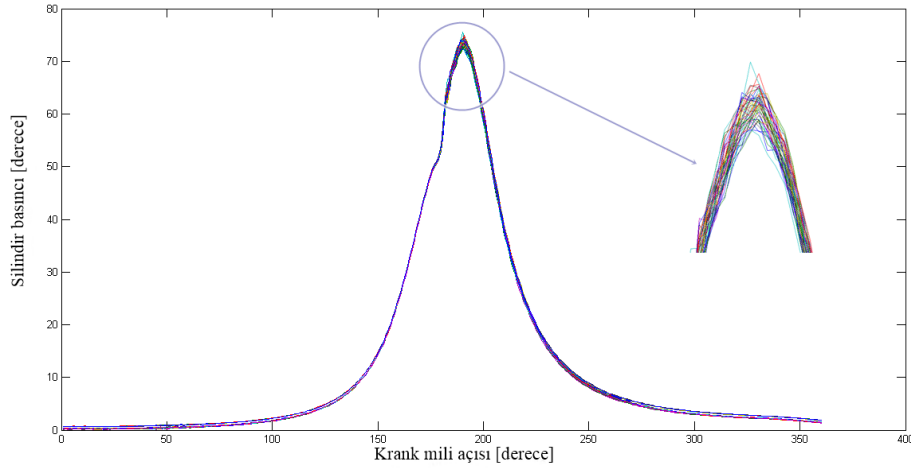


(c)

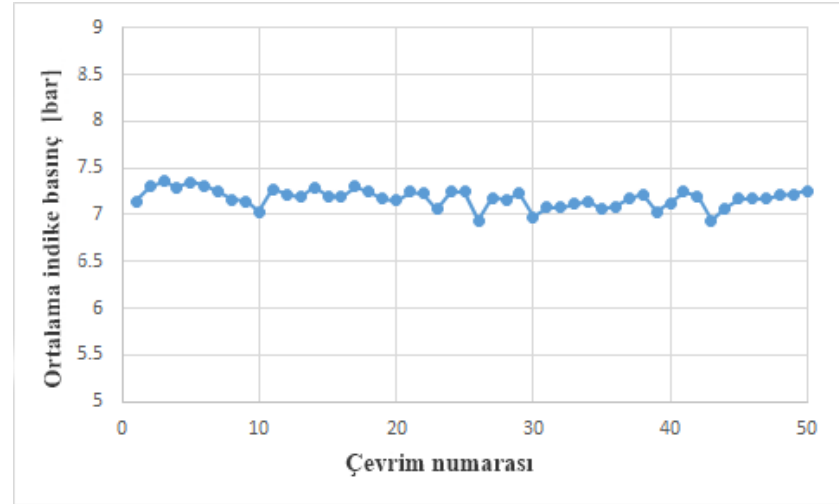
Şekil 3.9. B6 yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri



(a)

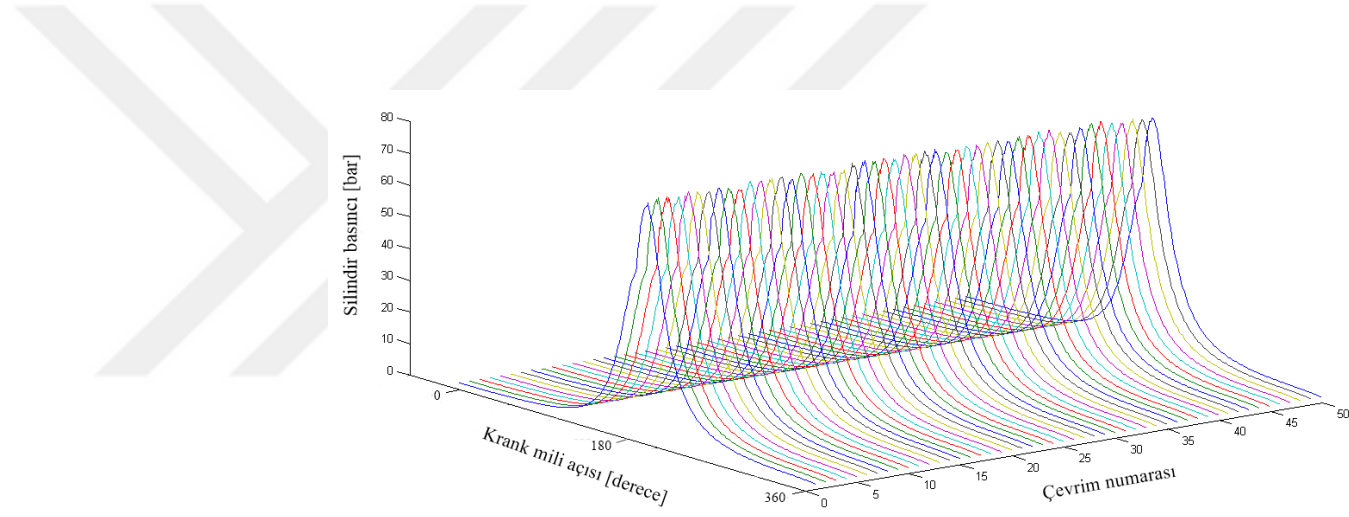


(b)

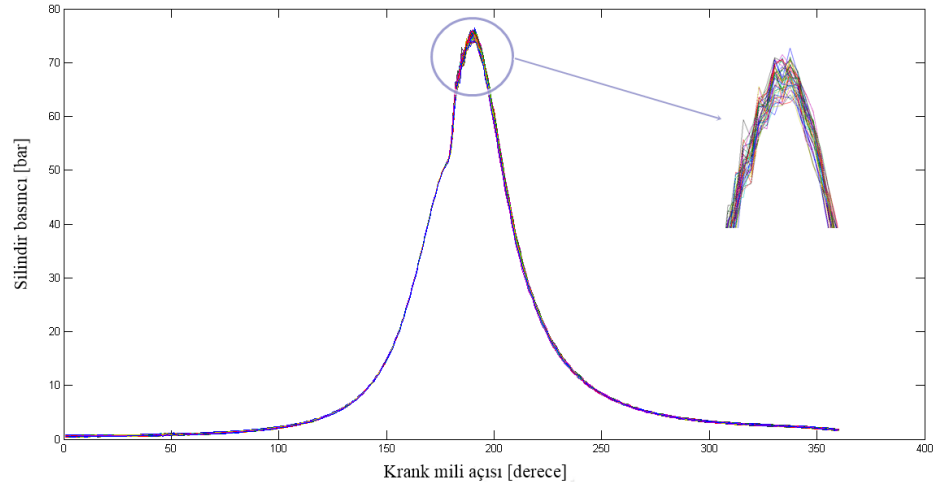


(c)

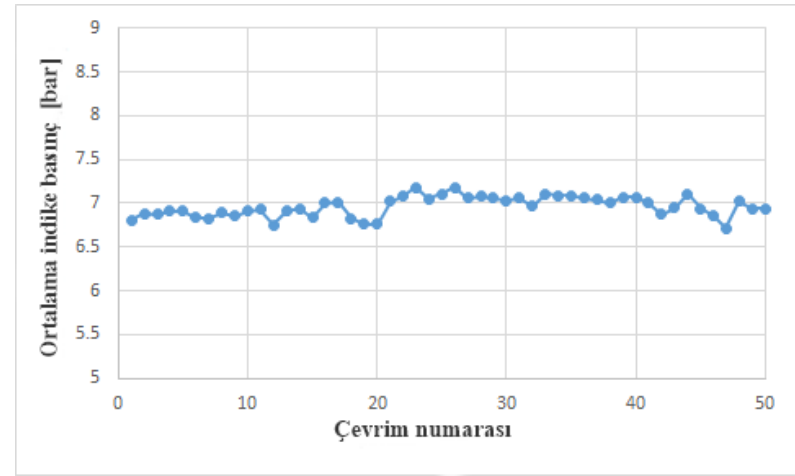
Şekil 3.10. B9 yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri



(a)

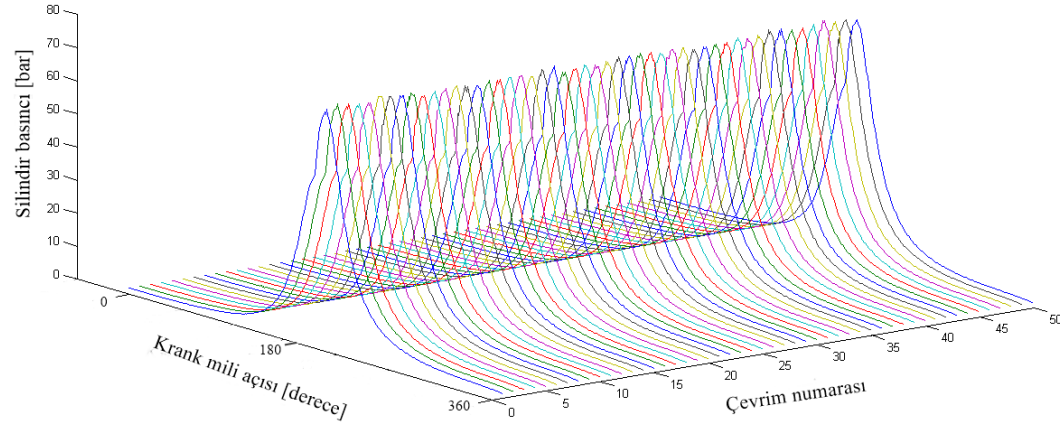


(b)

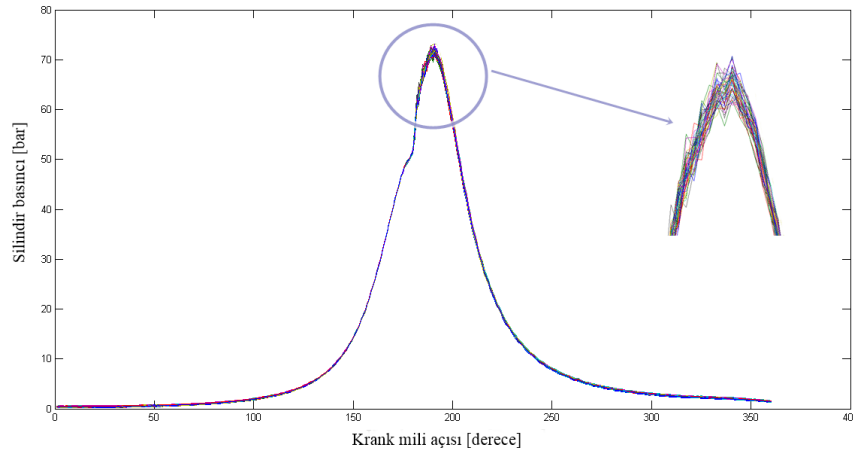


(c)

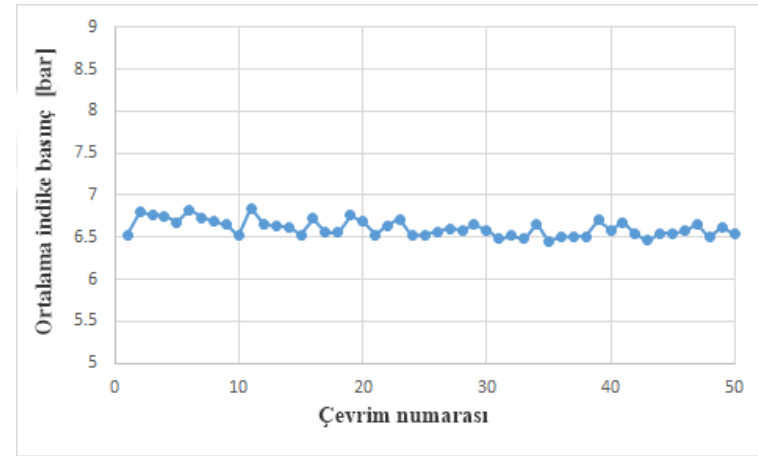
Şekil 3.11. B12 yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.12. B15 yakıtı, 2200 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri

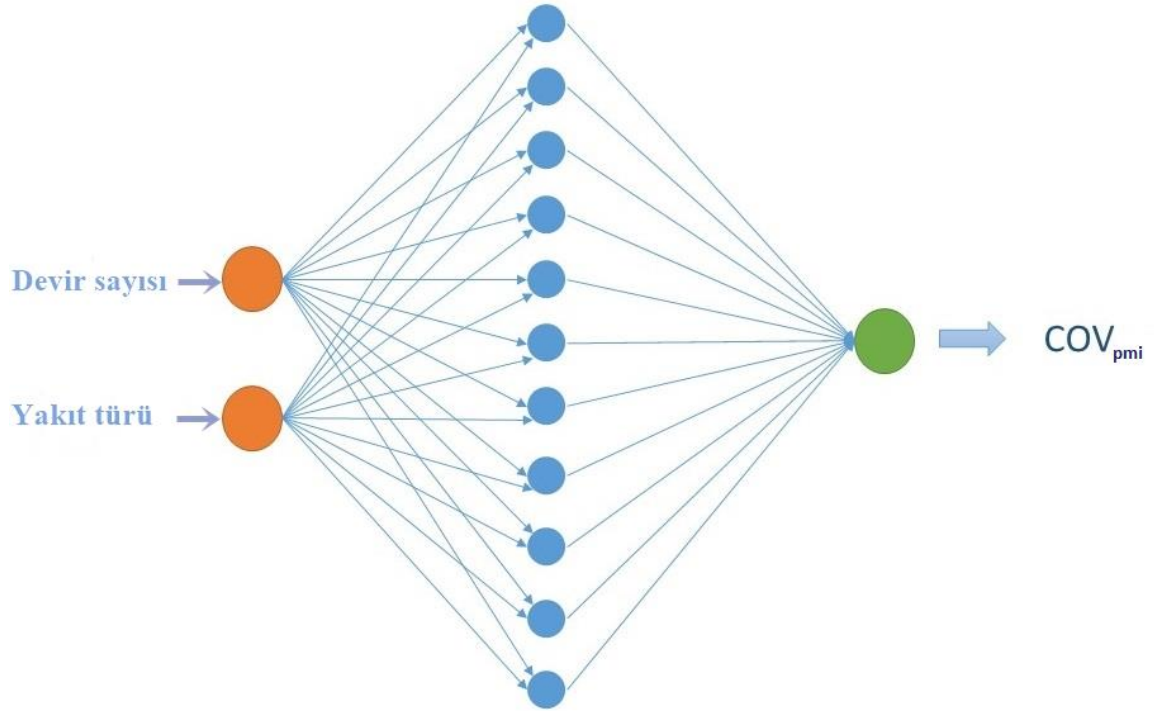
3.2.4. Dizel Yakıtı ve n-Bütanol Karışımlarının Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi

Bu bölümde deneysel çalışmalar sonucunda ölçülen ve hesaplanan veriler kullanılarak yapay sinir ağı modelleri kurulmuştur. İlk olarak herhangi bir yakıt türü ve devir sayısında çevrimsel farkın bulunması için bir model geliştirilmiştir. Girdi parametresi olarak; devir sayısı ve yakıt türü çıktı parametresi olarak ise çevrimsel farkın göstergesi olan COV_{pmi} seçilmiştir. 6 farklı yakıt türü ve 10 farklı devir sayısından oluşan toplam 60 adet veri seti kullanılmıştır. Veri seti düzenlenirken mevcut verilerin 45'i eğitim, 5'i doğrulama ve kalan 10 tanesi ise test için kullanılmıştır.

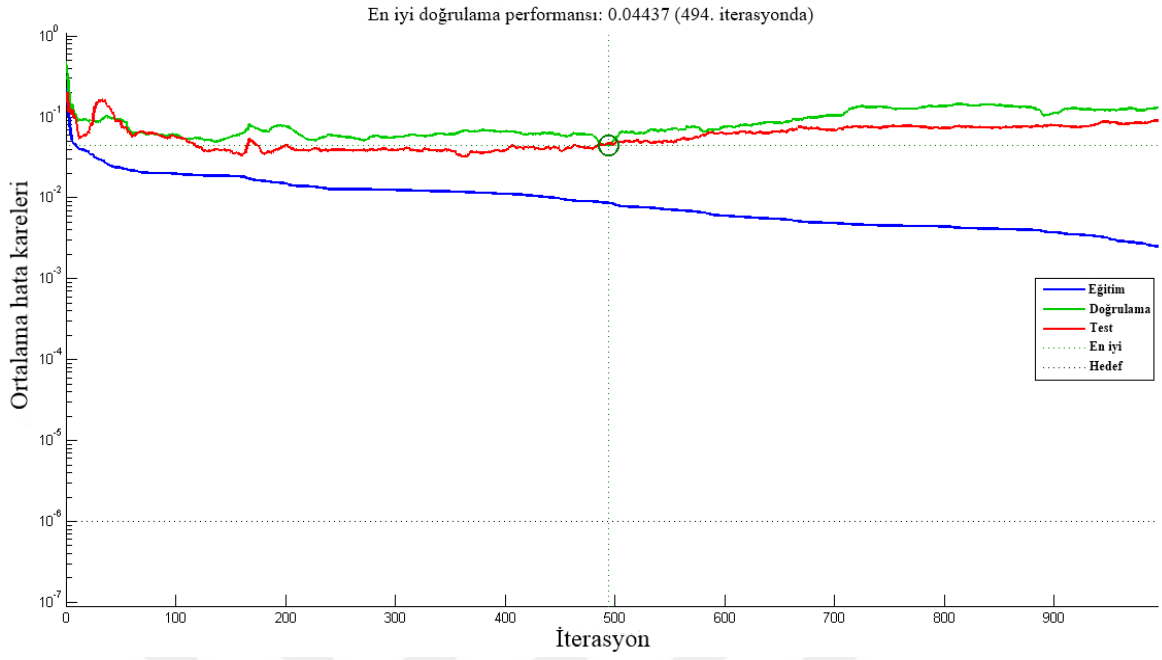
İleri beslemeli ağ yapısına sahip ve tek bir gizli katmandan oluşan modelde öğrenme algoritması olarak geriye yayılım öğrenme algoritması kullanılmıştır. Ayrıca optimizasyon algoritması olarak Levenberg-Marquardt (LM) ve Scaled Conjugate Gradient (SCG) seçilmiştir. Her bir model için iki farklı optimizasyon algoritması ve 15 farklı (1:15) gizli nöron sayısı karşılaştırılarak en uygun ağ yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Öğrenme ve momentum katsayısı 0.5, maksimum iterasyon sayısı 1500, doğrulama kontrol sayısı 500 ve hata değeri 1×10^{-5} olarak seçilmiştir. Elde edilen modellerin performansını ölçmek için MSE, MAPE ve R^2 hesaplanmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar Ek Tablo 5'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre geliştirilen bu ilk model için en uygun ağ yapısı, optimizasyon algoritmasının SCG olduğu ve 11 gizli nöronlu ağ olduğu tespit edilmiştir. Bu modele ait performans bilgileri Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Seçilen modelde en büyük ortalama mutlak yüzde hata test verilerinde %8.7, en büyük hata kareleri ortalamaları yine test verilerinde 0.04044 ve determinasyon katsayısı ise üç veri seti için de 1'e yakın çıkmıştır. Bu sonuçlar kabul edilebilir sınırlar içinde olup, gerçek verilerle model verilerinin uyum içinde olduğunu göstermektedir. Şekil 3.13'te nihai olarak seçilen ağın yapısı, Şekil 3.14'te ağın eğitim süresince meydana gelen performans eğrisi, Şekil 3.15'te hata histogramı ve son olarak Şekil 3.16'da ise modele ait regresyon grafikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Çevrim farkı için geliştirilen ağın performans sonuçları

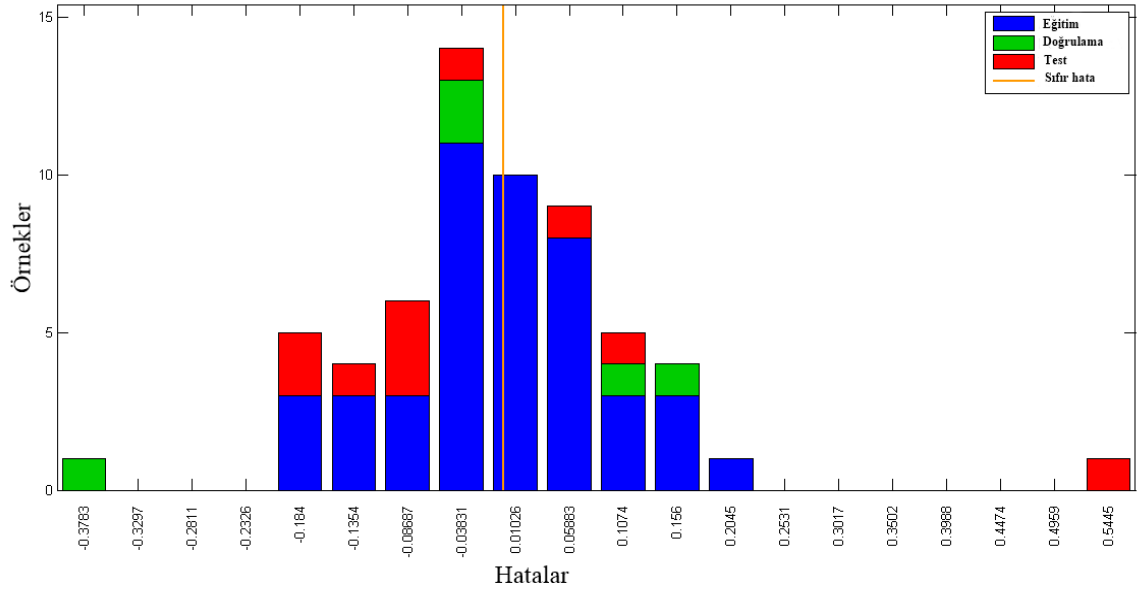
G N	MAPE			R ²			MSE		
	Eğitim	Doğrulama	Test	Eğitim	Doğrulama	Test	Eğitim	Doğrulama	Test
11	3.9592	7.70547	8.7095	0.9677	0.860077	0.737	0.0078	0.040444	0.0426



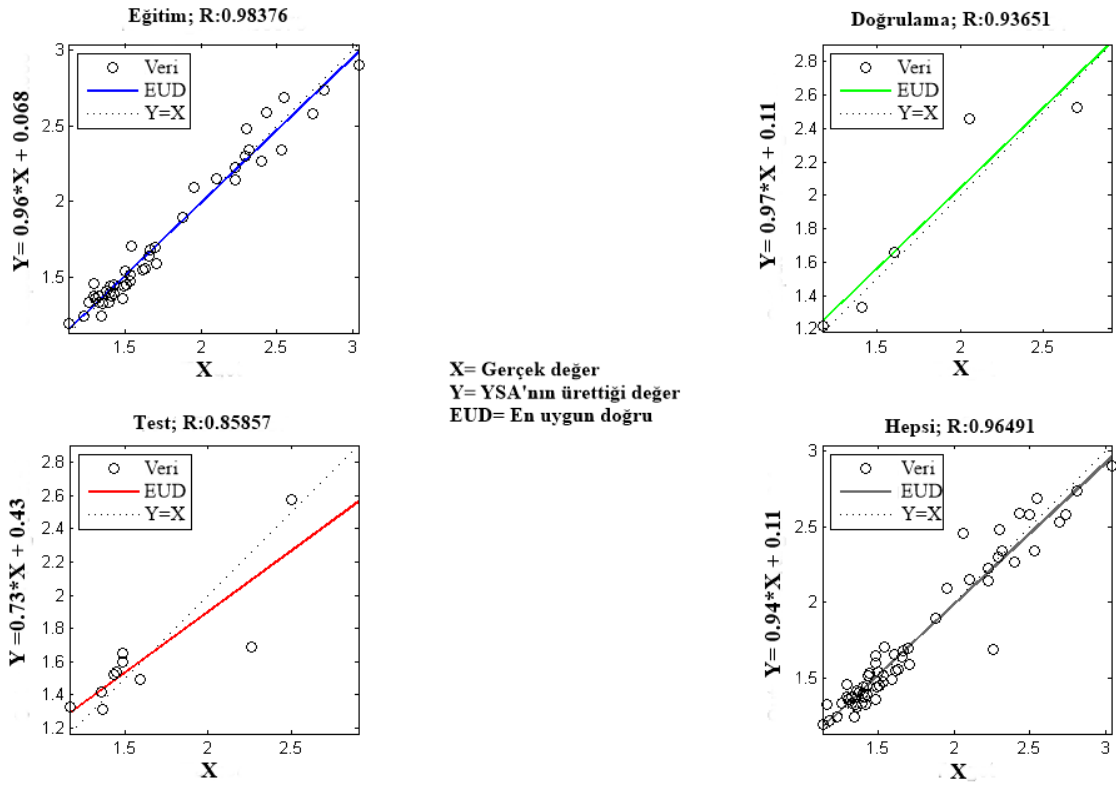
Şekil 3.13. Çevrim farkı için geliştirilen ağı yapısı



Şekil 3.14. Çevrim farkı için geliştirilen ağın performans eğrisi



Şekil 3.15. Çevrim farkı için geliştirilen ağın hata histogramı



Şekil 3.16. Çevrim farkı için geliştirilen ağa ait regresyon grafikleri

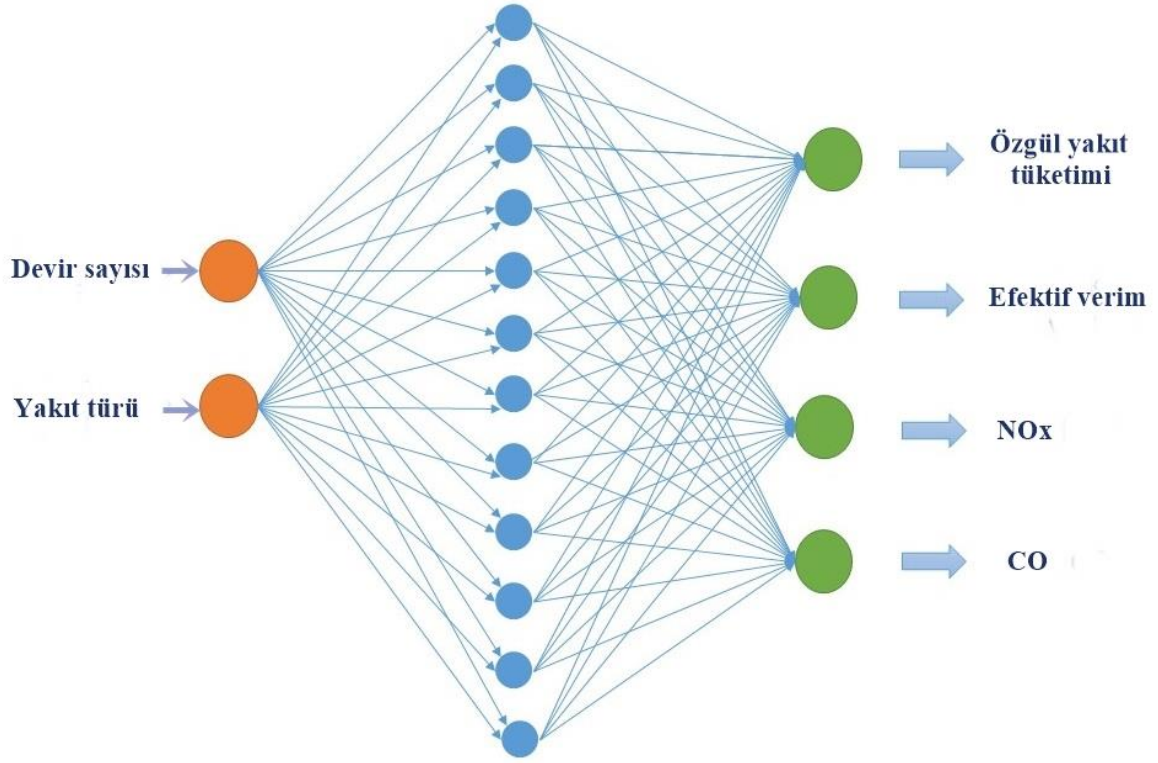
İkinci olarak herhangi bir yakıt türü ve devir sayısında motor performansı ve egzoz emisyonlarının bulunması için bir model geliştirilmiştir. Girdi parametresi olarak; devir sayısı ve yakıt türü çıktı parametresi olarak ise özgül yakıt tüketimi, efektif verim, NOx ve CO emisyonları seçilmiştir. Bir önceki modelde olduğu gibi bu model için de 6 farklı yakıt türü ve 10 farklı devir sayısından oluşan toplam 60 adet veri seti kullanılmıştır. Veri seti düzenlenirken mevcut verilerin 45'i eğitim, 5'i doğrulama ve kalan 10 tanesi ise test için kullanılmıştır.

Bu modelde de bir önceki model topolojisi değiştirilmeden kullanılmıştır. Elde edilen modellerin performansı ölçmek için MAPE değerleri hesaplanmıştır. Bu modelde 4 adet çıktı parametresi olduğu için her bir parametre için 3 ve toplamda 12 MAPE değeri hesaplanmış ve ağırlıklı ortalaması bulunarak en uygun ağ bulunmaya çalışılmıştır. Elde edilen her bir modele ait tüm MAPE değeri sonuçları Ek Tablo 6 ve 7'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre bu model için en uygun ağ yapısı, optimizasyon algoritmasının LM olduğu ve 12 gizli nöronlu ağ olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen ikinci modele ait performans bilgileri Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Seçilen modelde en büyük ortalama mutlak yüzde hata

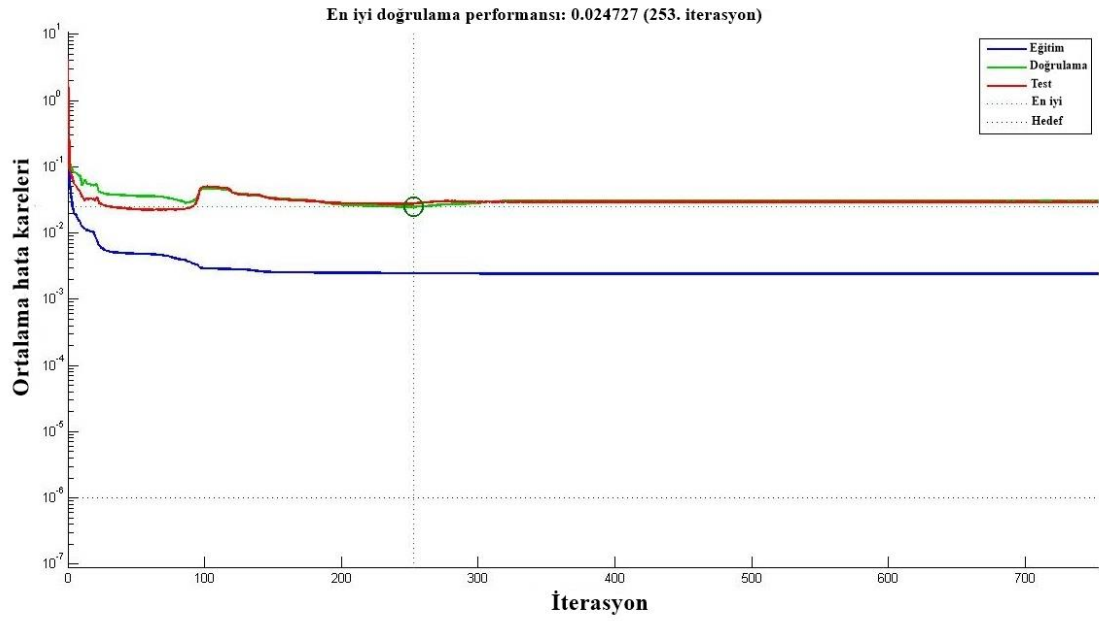
CO'de doğrulama veri seti için %14.7 çıkmıştır. Özgül yakıt tüketimi ve efektif verim için ise oldukça iyi sonuçlar çıkmıştır. Son olarak NOx için ise maksimum hata %3.95 ile doğrulama veri seti için meydana gelmiştir. Bu sonuçlar kabul edilebilir sınırlar içinde olup, gerçek verilerle model verilerinin uyum içinde olduğu bu modelde de görülmektedir. Şekil 3.17'de nihai olarak seçilen ağıın yapısı, Şekil 3.18'de ağıın eğitim süresince meydana gelen performans eğrisi, Şekil 3.19'da hata histogramı ve son olarak Şekil 3.20'de ise modele ait regresyon grafikleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağıın performans sonuçları

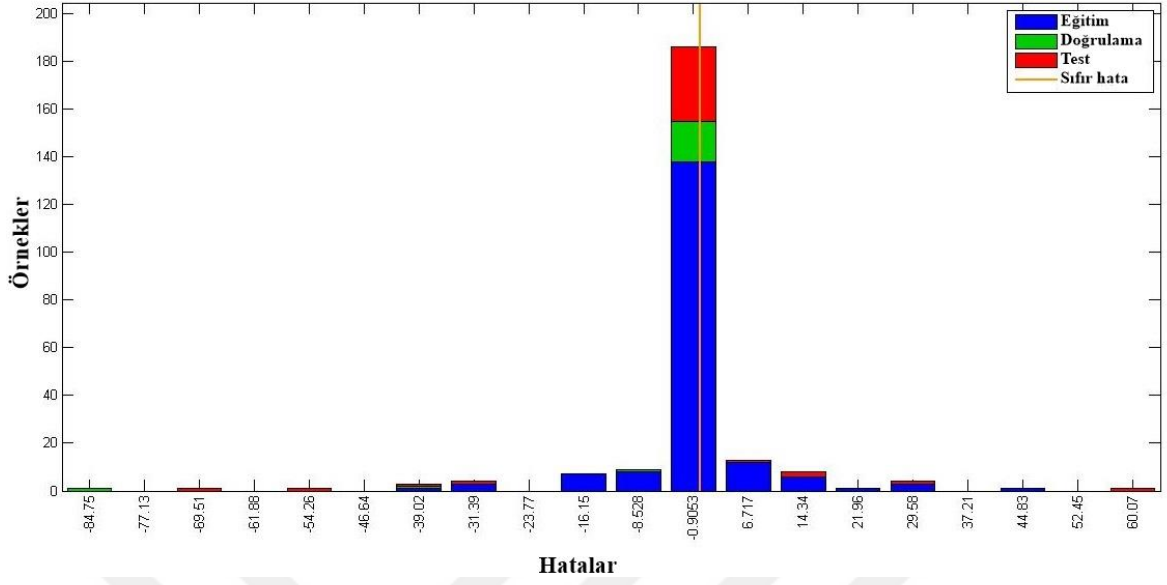
	Eğitim	Doğrulama	Test
Özgül yakıt tüketimi	0.122879204	0.400965509	0.4088419
Efektif verim	0.117786361	0.344805651	0.0024871
NOx	2.951975401	3.958667282	0.0001546
CO	7.101239492	14.70759265	4.3817785



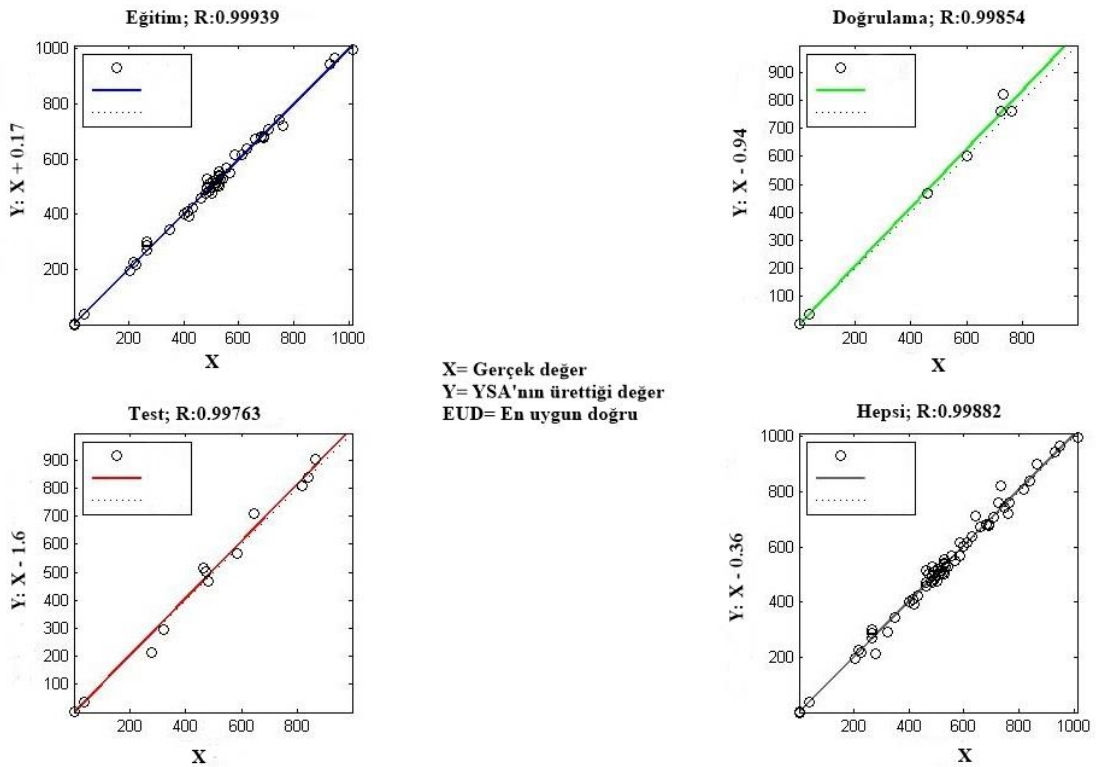
Şekil 3.17. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağı yapısı



Şekil 3.18. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağı performans eğrisi



Şekil 3.19. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağın hata histogramı



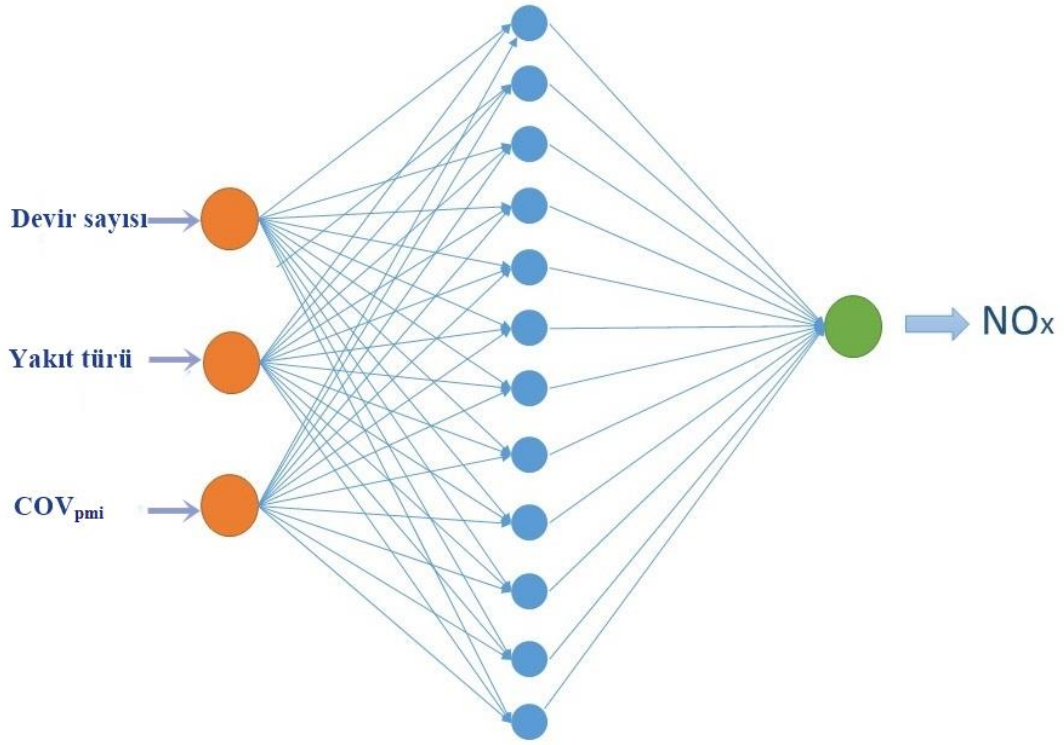
Şekil 3.20. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağına ait regresyon grafikleri

Son olarak kurulan model ise çevrimsel farkların NO_x emisyonu üzerindeki etkisini görebilmek için kurulmuştur. Daha önce değinildiği gibi herhangi bir çalışma durumunda çevrimsel farkların artmasının, egzoz emisyonlarını arttırdığı bilinmektedir. İşte bunu görebilmek için geliştirilen bu modelde girdi parametresi olarak; devir sayısı, yakıt türü ve çevrimsel farkın göstergesi olan COV_{pmi}; çıktı parametresi olarak ise NO_x emisyonu seçilmiştir. Diğer modellerde olduğu gibi bu model için de 6 farklı yakıt türü ve 10 farklı devir sayısından oluşan toplam 60 adet veri seti kullanılmıştır. Veri seti düzenlenirken mevcut verilerin 45'i eğitim, 5'i doğrulama ve kalan 10 tanesi ise test için kullanılmıştır.

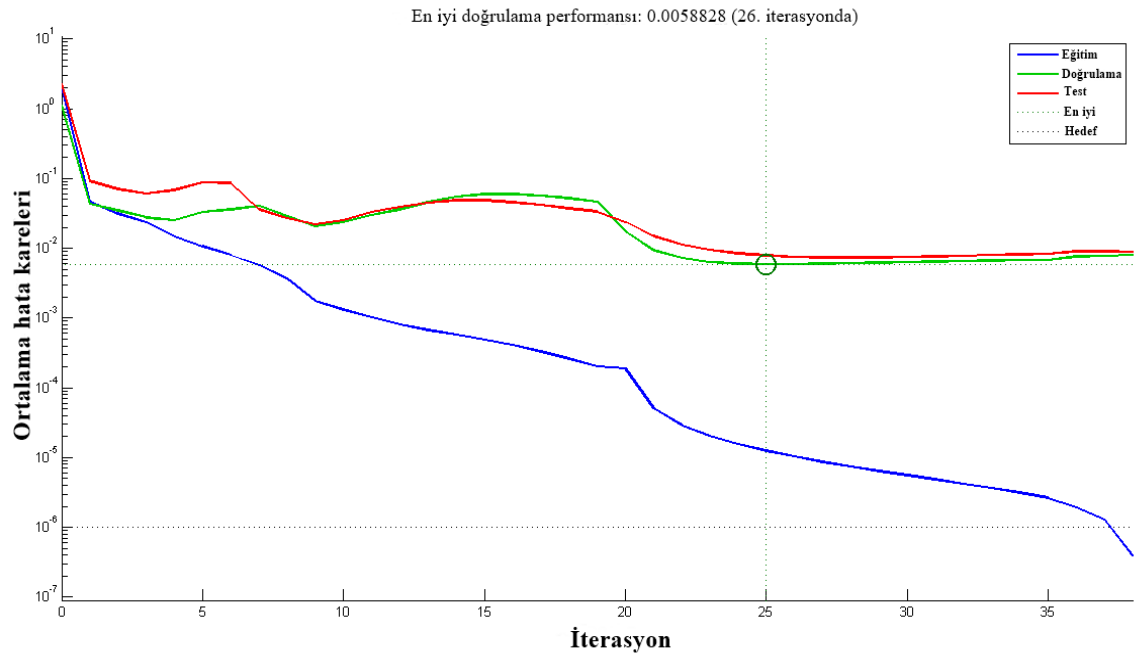
Bu modelde de bir önceki model topolojisi değiştirilmeden kullanılmıştır. Elde edilen modellerin performansı ölçmek için MSE, MAPE ve R² hesaplanmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar Ek Tablo 8'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre bu model için en uygun ağ yapısı, optimizasyon algoritmasının LM olduğu ve 12 gizli nöronlu ağ olduğu tespit edilmiştir. Bu modele ait performans bilgileri Tablo 3.3'de gösterilmiştir. Seçilen modelde en büyük ortalama mutlak yüzde hata test verilerinde %5.3, normalize edilmemiş en büyük hata kareleri ortalamaları yine test verilerinde 1272 ve determinasyon katsayısı ise 3 veri seti için 1'e yakın çıkmıştır. Bu sonuçlar kabul edilebilir sınırlar içinde olup, gerçek verilerle model verileri uyum içindedir. Şekil 3.21'de nihai olarak seçilen ağın yapısı, Şekil 3.22'te ağın eğitim süresince meydana gelen performans eğrisi, Şekil 3.23'te hata histogramı ve son olarak Şekil 3.24'te ise modele ait regresyon grafikleri verilmiştir.

Tablo 3.3. NO_x için geliştirilen ağın performans sonuçları

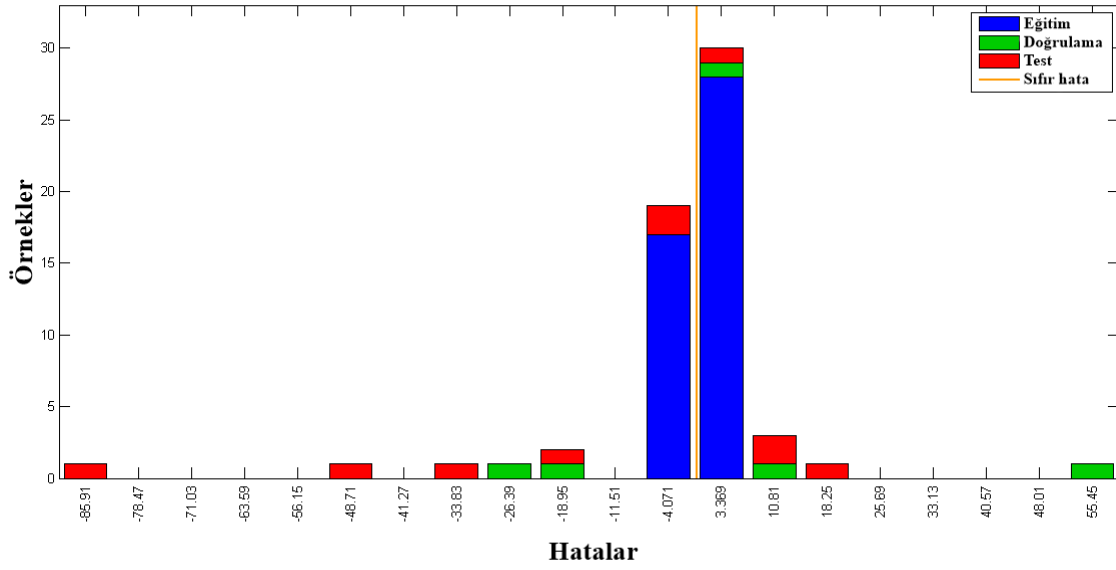
GN	MAPE			R ²			MSE		
	Eğitim	Doğrulama	Test	Eğitim	Doğrulama	Test	Eğitim	Doğrulama	Test
12	0.1970	4.117801	5.3034	0.9999	0.923981	0.9682	2.036	957.3146	1272



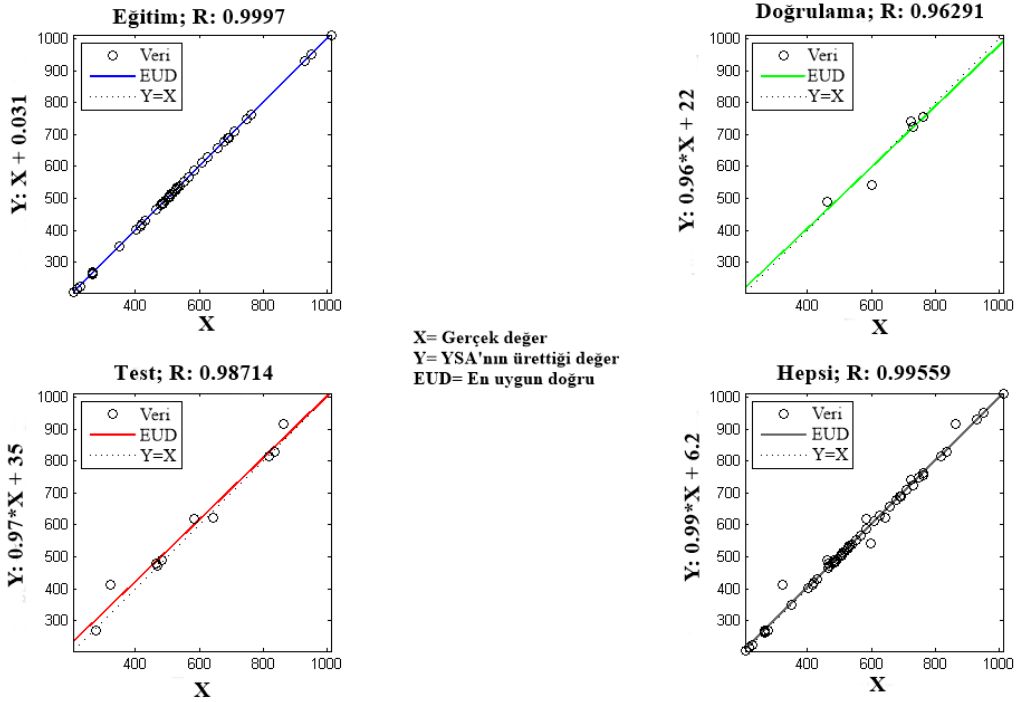
Şekil 3.21. NO_x için geliştirilen ağıın yapısı



Şekil 3.22. NO_x için geliştirilen ağıın performans eğrisi



Şekil 3.23. NO_x için geliştirilen ağın hata histogramı



Şekil 3.24. NO_x için geliştirilen ağa ait regresyon grafikleri

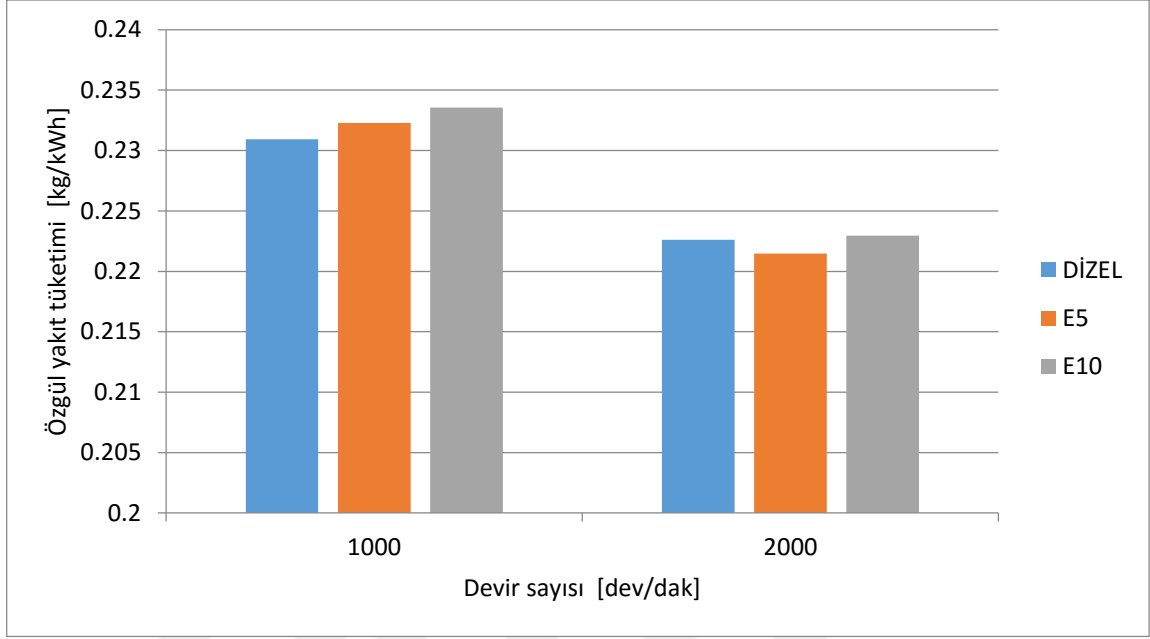
3.3. Dizel Yakıtı ve Etanol Karışımlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde dizel yakıtı ve etanol karışımları kullanılarak yalnızca E5 ve E10 karışımları için tam gazda 1000 ve 2000 dev/dak hızlarında yapılan deneyler sonucunda efektif güç, döndürme momenti, yakıt tüketimi, egzoz emisyonları ve çevrimsel farklar incelenmiştir.

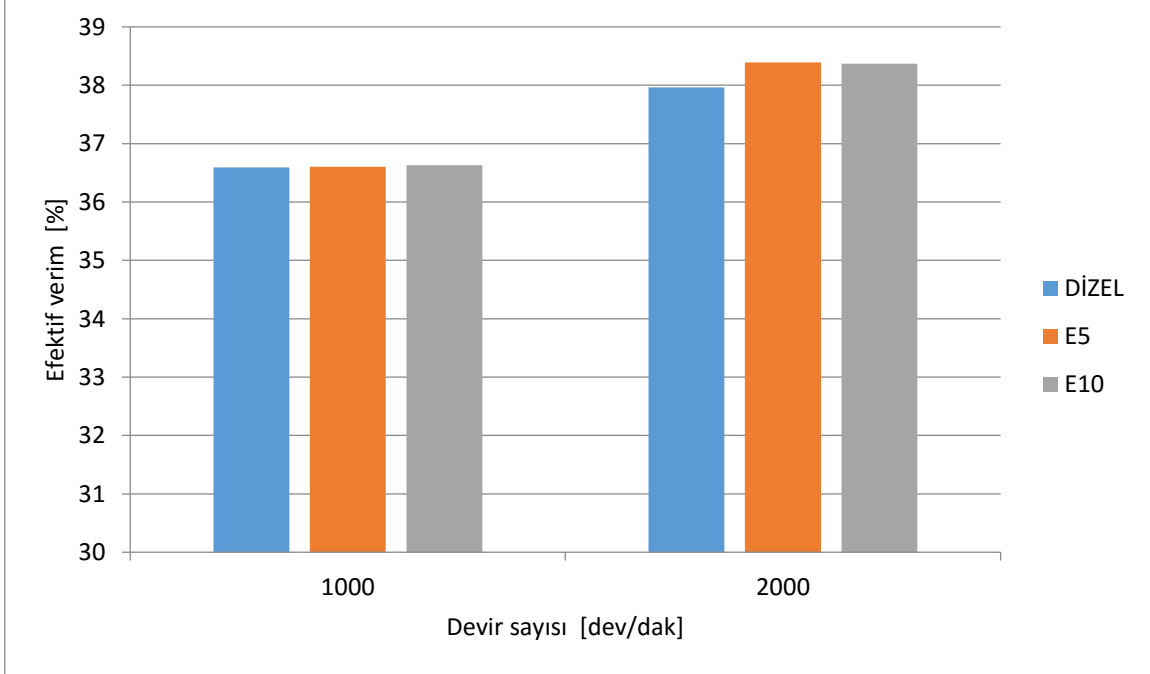
3.3.1. Dizel Yakıtı ve Etanol Karışımlarının Motor Performansları

Motor performans karakteristikleri olarak özgül yakıt tüketimi ve efektif verim parametreleri incelenmiştir. Şekil 3.25’de dizel yakıtı – etanol karışımlarının 2 farklı devirde özgül yakıt tüketimleri gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi dizel yakıtına etanol eklenmesiyle özgül yakıt tüketiminde artma meydana gelmiştir. Yalnızca 2000 dev/dak durumunda E5 için bir azalma görülmüştür. Karışımdaki etanolün hacimsel olarak değeri arttıkça özgül yakıt tüketimi de buna bağlı olarak artma eğilimine girmiştir. Bu sonuç literatüre de uygun bir sonuçtur. Bütanolün olduğu gibi etanolün de ısıl değeri dizel yakıtın ısıl değerinden düşüktür ve motordan aynı gücü elde etmek için daha fazla yakıt harcanması gerekmektedir.

Bir diğer performans parametresi olan efektif verim ise Şekil 3.26’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi karışıma etanol eklenmesiyle efektif verimde artma meydana gelmiş ve karışımdaki etanol oranının artmasıyla efektif verimdeki artma eğilimi sürmüştür. Etanolün oksijen içeriği sayesinde yanma verimi artmıştır. Ayrıca etanolün düşük alev sıcaklığı sayesinde silindir içindeki ısı kayıpları azalmıştır. Sonuç olarak tüm bunlar efektif verimi arttırmıştır. Ayrıca diğer bir faktör ise etanolün düşük setan sayısıdır. Düşük setan sayısı ön yanma fazını arttırmakta dolayısıyla daha fazla sabit hacimde yanma olmakta ve efektif verim artmaktadır.



Şekil 3.25. Dizel yakıtı – etanol karışımları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi



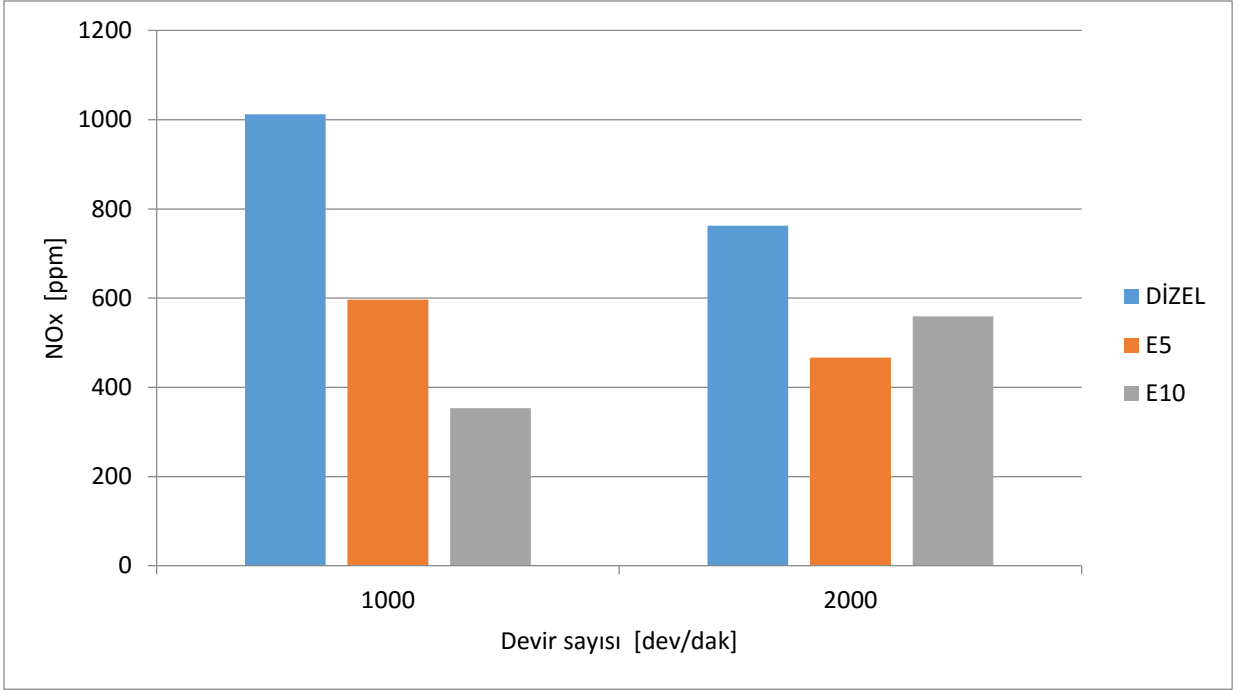
Şekil 3.26. Dizel yakıtı – etanol karışımları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi

3.3.2. Dizel Yakıtı Etanol Karışımlarının Egzoz Emisyonları

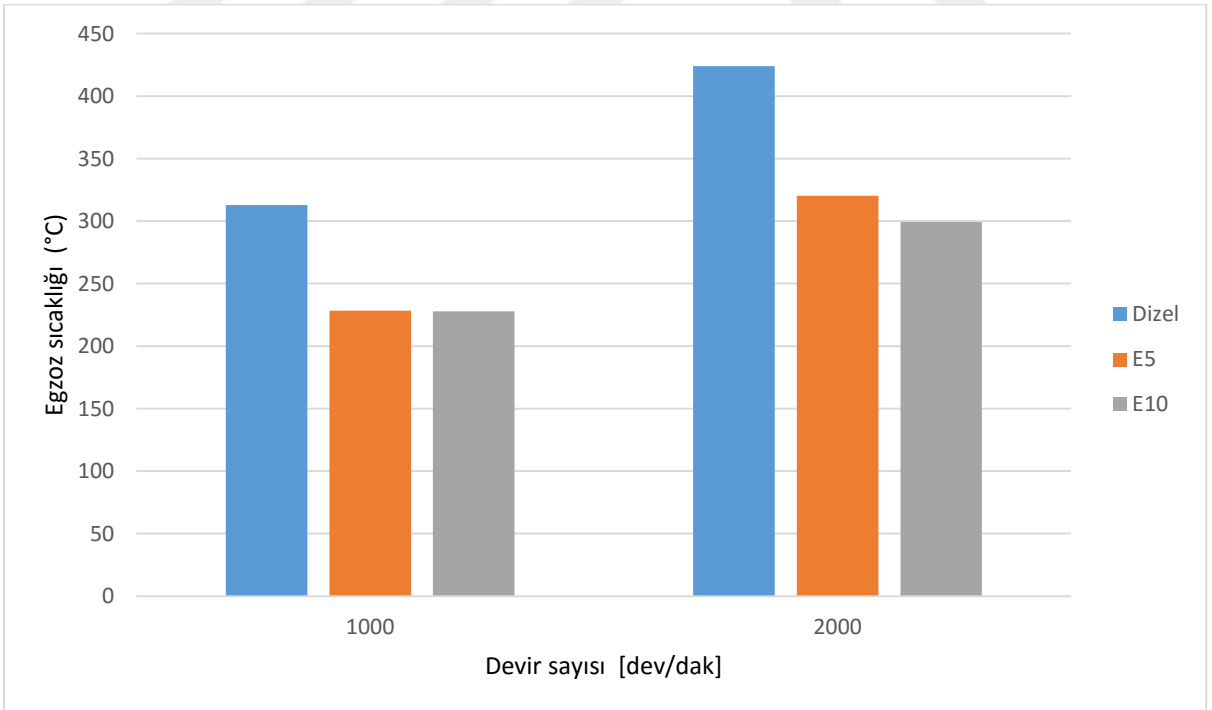
Bu bölümde dizel yakıtı – etanol karışımlarına ait NO_x ve CO emisyonları incelenmiştir. Şekil 3.27’de dizel yakıtı – etanol karışımlarına ait NO_x , Şekil 3.28’de kullanılan karışımlara ait her bir devir sayısında oluşan egzoz gazı sıcaklıkları, Şekil 3.29’da ise CO emisyonlarının değişimleri farklı devir sayılarına göre verilmiştir. NO_x oluşumu büyük oranda silindir içi sıcaklığa, oksijen konsantrasyonuna ve yeterli reaksiyon zamanına bağlıdır. Yüksek sıcaklıklarda, yanma odasında bir dizi parçalanma reaksiyonu meydana gelmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda dizel yakıtına etanol eklenmesiyle NO_x emisyonları azalmıştır ve bu azalma karışımdaki etanol oranını artışı ile devam etmiştir. NO_x emisyonları üzerindeki en önemli parametre yanma sıcaklığıdır. Düşük ısı değer ve yüksek buharlaşma ısısı, yanma sonu sıcaklığını düşürürken; düşük setan sayısı (tutuşma gecikmesi fazla olur ve ön yanma fazı sıcaklığı artar) yanma sonu sıcaklığını artırır. Alkoller dizel yakıtına göre yüksek buharlaşma ısısına sahiptir. Büyük miktarda ısı, sıvı karışımın buharlaşması için harcanacağından gaz sıcaklıklarını arttıracak ısı miktarı azalır. Ayrıca alkoller düşük C:H oranı sayesinde daha az adyabatik alev sıcaklığına sahiptir. Burada düşük ısı değer ve yüksek buharlaşma ısısı daha etkin rol oynayarak yanma sonu sıcaklığını düşürmüştür ve dolayısıyla daha az miktarda NO_x meydana gelmiştir. Şekil 3.28’de kullanılan karışımlara ait her bir devir sayısında oluşan egzoz gazı sıcaklıkları gösterilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi dizel yakıtına butanol eklenmesiyle egzoz gazı sıcaklıkları düşmüştür.

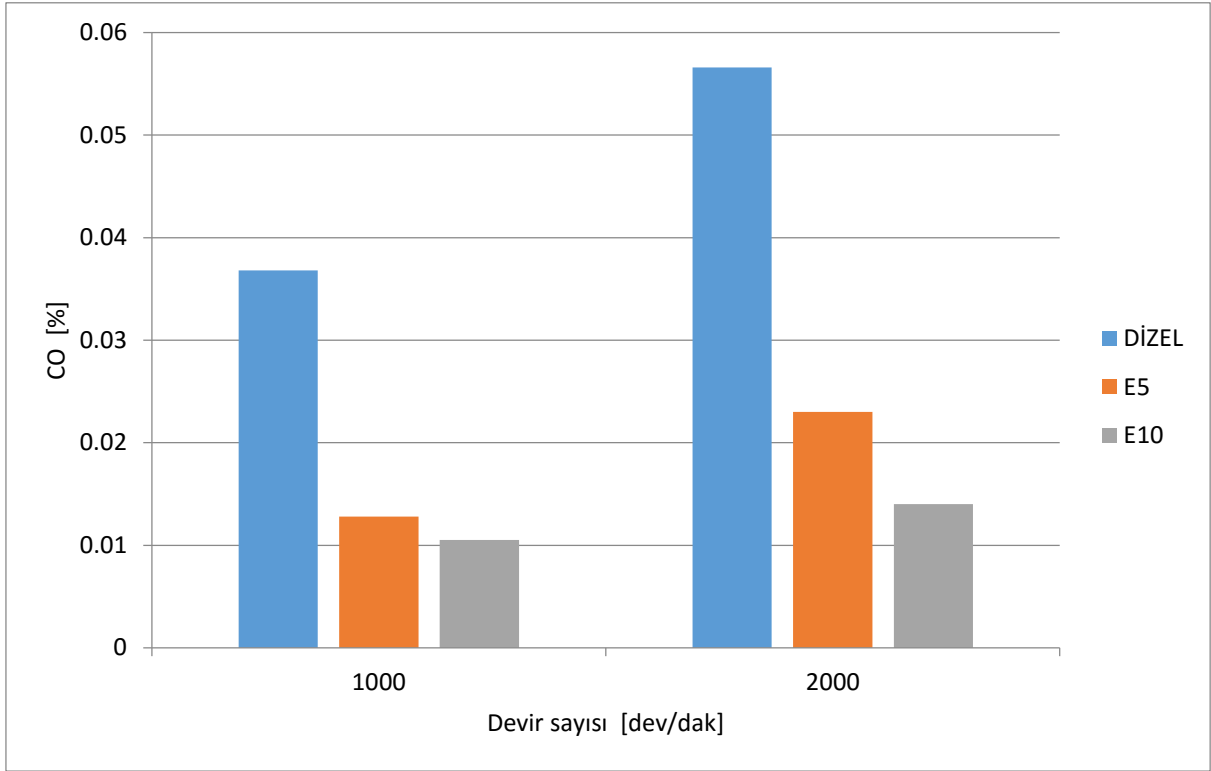
Şekil 3.29’da görüldüğü gibi CO emisyonları da etanol kullanılmasıyla azalmıştır. Etanol oranına bağlı olarak azalma eğilimi devam etmiştir. CO emisyonlarındaki en büyük etmen etanolün içinde bulunan oksijen bileşenidir ve bu sayede tam yanma daha çok meydana gelir ve dolayısıyla CO emisyonları azalmış olur.



Şekil 3.27. Dizel yakıtı – etanol karışımları için NO_x emisyonunun devir sayısına göre değişimi



Şekil 3.28. Dizel yakıtı – etanol karışımları için egzoz gazları sıcaklığının devir sayısına göre değişimi

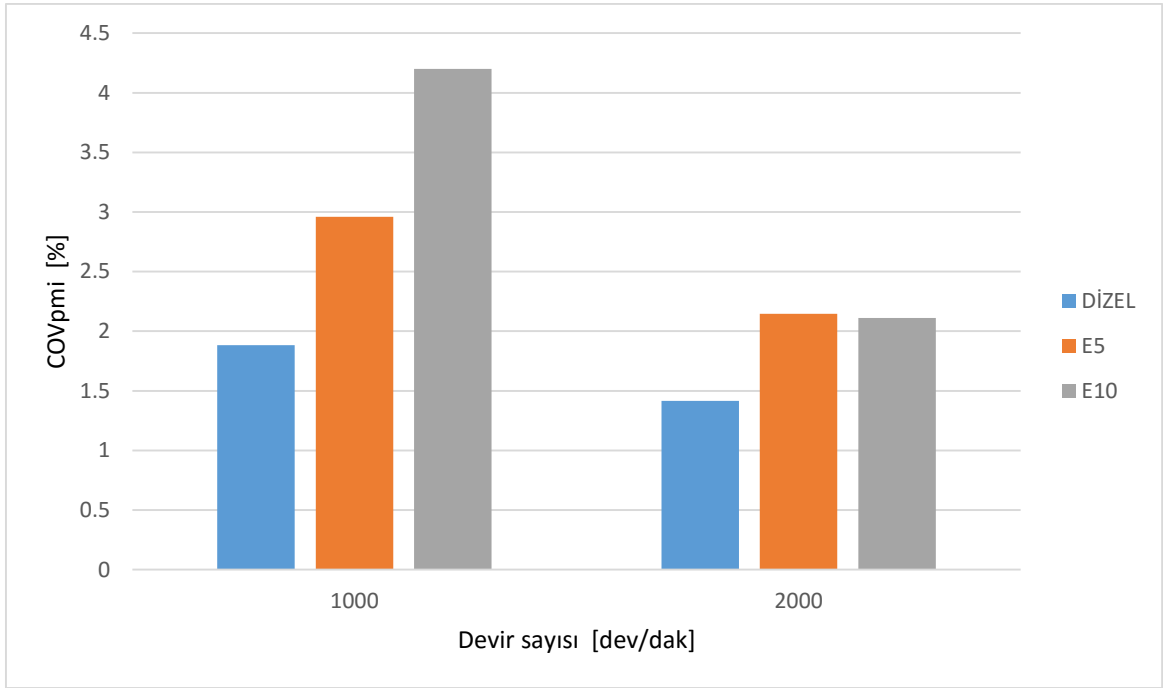


Şekil 3.29. Dizel yakıtı – etanol karışımları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi

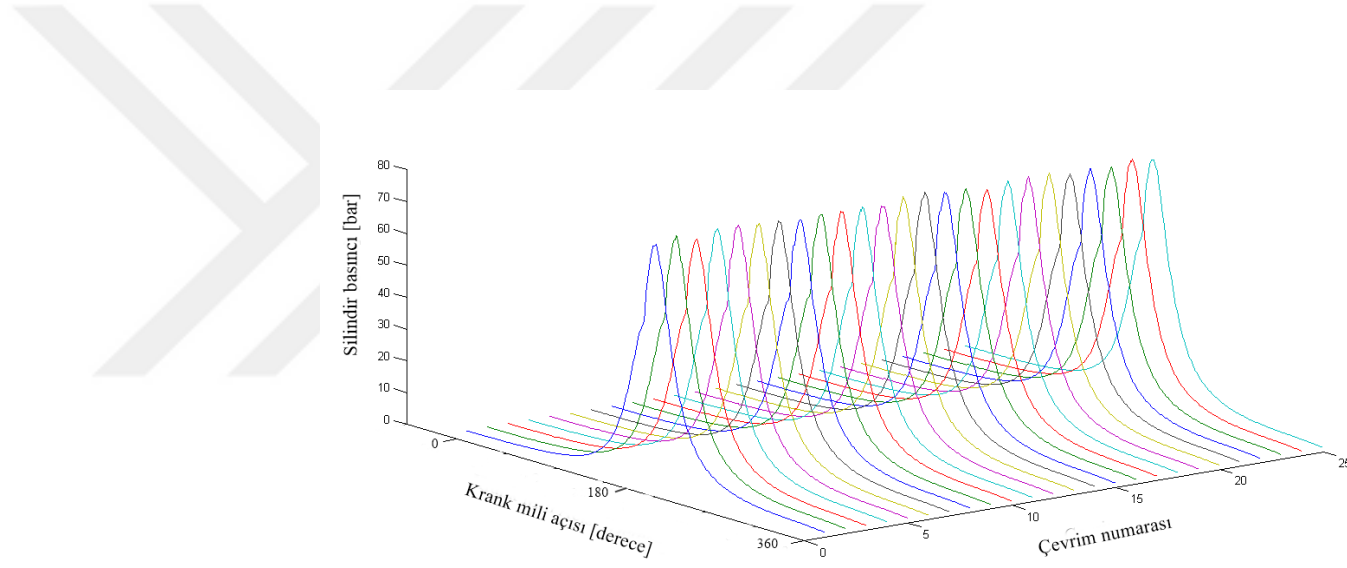
3.3.3. Dizel Yakıtı ve Etanol Karışımlarında Meydana Gelen Çevrimsel Farklar

Bu bölümde dizel yakıtı – etanol karışımlarına ait çevrimsel farklar verilmiştir. Çevrimsel farkların hesaplanabilmesi için indike ortalama basınç değerleri kullanılarak COV_{pmi} değerleri hesaplanmıştır. ECA 100 Çevrim Analizörü ile her bir karışım için tam gaz ve 2 farklı devir sayısında (1000 ve 2000 dev/dak) 35 adet çevrim kaydedilmiştir. Çalışmada saf dizel yakıtı ve karışımların oluşturduğu toplam 3 farklı yakıt olduğu için toplamda 210 çevrim incelenmiştir. Şekil 3.30’da bu karışımların 2 farklı devir sayısında oluşan çevrimsel farklar gösterilmiştir. Çevrimsel farklar genel olarak bakıldığında dizel yakıtına etanol eklenmesiyle artma eğilimine girmiştir. Ayrıca her bir yakıt kendi içinde değerlendirildiğinde çevrimsel farklar devir sayısının artmasıyla azalmaya başlamıştır. Çevrim farkının birinci sebebi silindir içindeki türbülans ve girdaptan dolayı oluşan gaz hareketleridir. Düşük devir sayılarında türbülans şiddeti daha az meydana gelmekte ve

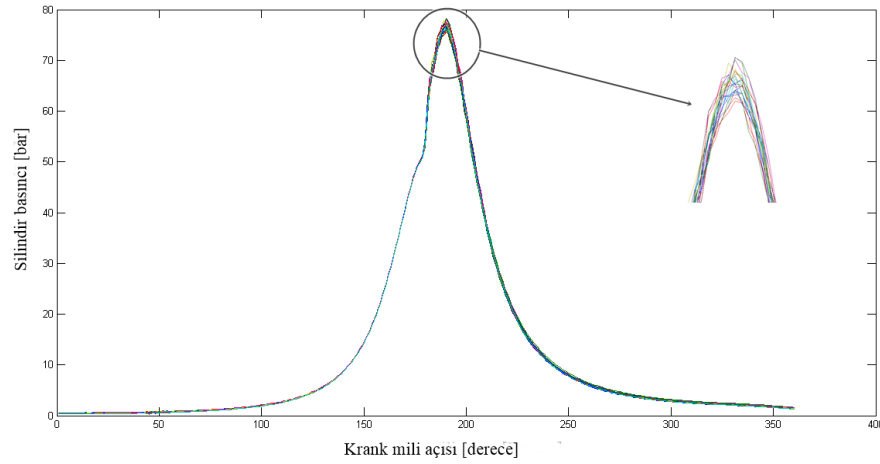
yüksek çevrimsel farklara sebep olmaktadır. Fakat yüksek devir sayılarına çıkıldığı zaman, ortalama piston hızı ve türbülans şiddeti artarak daha iyi bir karışım oluşturmakta ve böylece çevrimsel farklar da azalmaktadır. Şekil 3.31 ve 3.32 sırasıyla E5 ve E10 yakıtlarına ait 3 boyutlu ve 2 boyutlu basınç grafikleri ile çevrimlerdeki ortalama indike basınç değerlerinin değişimleri yalnızca 2000 dev/dak durumu için gösterilmiştir. Hesaplamalarda her bir durum için 35 adet çevrim kullanılmasına karşın verilen şekillerde 25 adet çevrim gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Dizel yakıtı – etanol karışımları için çevrimsel farkların devir sayısına göre değişimi



(a)

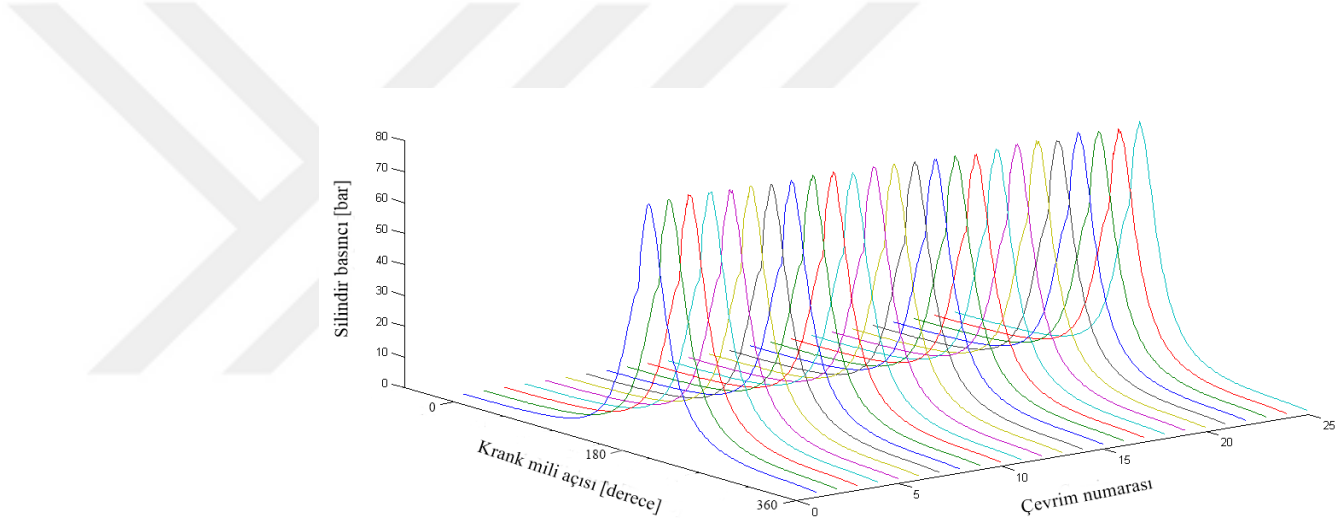


(b)

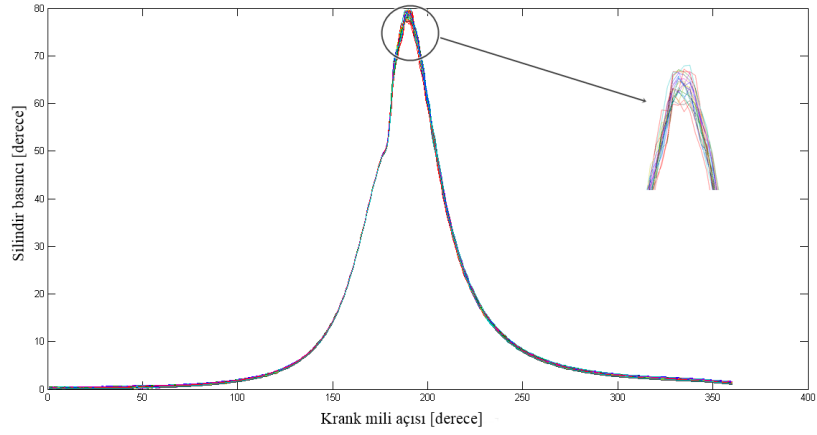


(c)

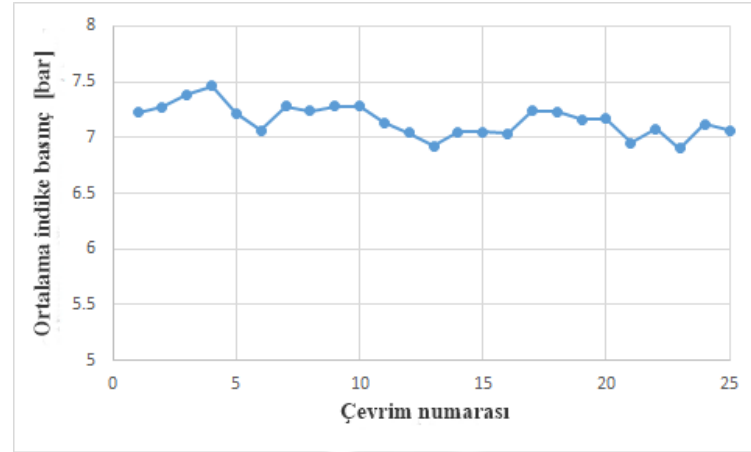
Şekil 3.31. E5 yakıtı, 2000 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.32. E10 yakıtı, 2000 dev/dak (a) üç boyutlu basınç grafiği, (b) iki boyutlu basınç grafiği (c) ortalama indike basınç değişimleri

4. SONUÇLAR

Sunulan tez çalışmasında dizel motorunda karışım yakıtlarının kullanılmasıyla oluşan motor performansları, egzoz emisyonları ve çevrimsel farklar incelenmiş ve elde edilen veriler, yapay sinir ağları ile modellenmiştir. İlk olarak n-bütanolün 5 farklı karışım (%3, 6, 9, 12 ve 15) durumu ve 10 farklı devir sayısında (1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600 ve 2800 dev/dak) ve tam gaz konumunda motor deneyleri yapılmıştır. Motor performanslarını değerlendirmek için özgül yakıt tüketimi ve efektif verim hesaplanmış, egzoz emisyonlarını değerlendirmek için ise NO_x ve CO emisyonları ölçülmüştür. Ayrıca çevrimsel farkların göstergesi olan COV_{pmi} 'in hesaplanabilmesi için her bir çalışma durumunda 100 adet indikatör diyagramı kaydedilmiştir. Elde edilen veriler sistematik olarak derlendikten sonra 3 farklı yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Birinci modelde herhangi bir karışım durumu ve devir sayısında, çevrimsel farkları tahmin eden bir yapay sinir ağı geliştirilmiştir. İkinci modelde ise herhangi bir karışım durumu ve devir sayısında, motor performanslarını (özgül yakıt tüketimi ve efektif verim) ve egzoz emisyonlarını (NO_x ve CO) veren bir yapay sinir ağı geliştirilmiştir. Son olarak çevrimsel farkların, egzoz emisyonları üzerindeki etkisini görebilmek için herhangi bir karışım durumu, devir sayısı ve çevrimsel farklılıkta oluşacak NO_x miktarını veren bir model geliştirilmiştir. Daha sonra dizel yakıtı - etanol karışımı deneyleri yapılmıştır. Burada yapılan motor deneyleri bazı teknik arızalar nedeniyle yalnızca 2 farklı karışım (%5 ve 10) ve 2 farklı devir sayısında (1000 ve 2000 dev/dak) tam gazda gerçekleştirilmiştir. Bütanol karışımlarında olduğu gibi motor performanslarını değerlendirmek için özgül yakıt tüketimi ve efektif verim hesaplanmış, egzoz emisyonlarını değerlendirmek için ise NO_x ve CO emisyonları ölçülmüştür. Ayrıca çevrimsel farkların göstergesi olan COV_{pmi} 'in hesaplanabilmesi için her bir çalışma durumunda 35 adet indikatör diyagramı kaydedilmiştir.

Aşağıda öncelikle dizel yakıtı – n bütanol karışımlarının sonuçları daha sonra dizel yakıtı – etanol karışımlarının sonuçları verilmiştir.

1. Dizel yakıtı – n bütanol karışımlarında yapılan deneysel çalışma sonucunda dizel yakıtına n-bütanol eklenmesiyle tüm devirler için özgül yakıt tüketimi artmıştır. Karışım oranının artmasıyla özgül yakıt tüketimindeki artma devam etmiştir.

2. Efektif verim tüm devir sayılarında dizel yakıtına n-bütanol eklenmesiyle artma eğilimine girmiş ve n-bütanol oranının artmasıyla bu eğilim devam etmiştir.
3. NO_x emisyonları, dizel yakıtına- n bütanol eklenmesiyle azalmıştır. Düşük devirlerde azalma miktarı daha belirgin iken yüksek devirlerde daha az oranda gerçekleşmiştir.
4. Egzoz sıcaklıkları, dizel yakıtına n-bütanol eklenmesiyle azalma eğilimine girmiştir. Karışımdaki n-bütanol oranının artmasına bağlı olarak azalma daha etkin bir şekilde görülmüştür.
5. CO emisyonları dizel yakıtına n-bütanol eklenmesiyle azalma eğilimine girmiştir. Buradaki azalma karışımdaki n-bütanol oranına bağlı olarak düzgün bir eğilim göstermemiş ve bazı karışım oranlarında biraz artma olduğu görülmüştür. Genel olarak CO emisyonlarının azalışı, düşük devirlerde daha etkin bir şekilde görülmüştür.
6. Çevrimsel farklar her bir yakıt için bakıldığında düşük devirlerde daha fazla meydana gelmiş ve devir sayısı arttıkça çevrimsel farklar azalma eğilimine girmiştir. Karışım yakıtları kıyaslandığı zaman ise dizel yakıtına n-bütanol eklenmesiyle çevrimsel farklılık birkaç istisna hariç genel olarak artma eğilimine girmiştir. En yüksek çevrimsel fark B15 karışımı ve 1200 dev/dak hızında %3.04, en düşük ise saf dizel yakıtında 2800 dev/dak hızında %1.13 olarak bulunmuştur.
7. Herhangi bir karışım durumu ve devir sayısında, çevrimsel farkların tespiti için geliştirilen birinci modelde en uygun ağ yapısına; optimizasyon algoritmasının SCG olduğu ve 11 gizli nörona sahip ağda ulaşılmıştır. Kurulan ağın performansını belirlemek için kullanılan MAPE değerleri; eğitim için %3.9592, doğrulama için %7.7054 ve son olarak test için ise %8.7095 olarak çıkmıştır. Regresyon grafiklerinden de görüleceği gibi tüm verilerin dikkate alındığı durumda R değeri 0.96 çıkmıştır. Son olarak R^2 değerleri de tüm veri setleri için 1'e yakın çıkmış ve bu sonuçlar elde edilen bu modelin çevrimsel farkların tahmini için yeterli olduğunu göstermiştir.
8. Herhangi bir karışım durumu ve devir sayısında, motor performanslarının (özellik yakıt tüketimi ve efektif verim) ve egzoz emisyonlarının (NO_x ve CO) tespiti için geliştirilen ikinci modelde en uygun ağ yapısına; optimizasyon algoritmasının LM olduğu ve 12 gizli nörona sahip ağda ulaşılmıştır. Kurulan ağın performansını

belirlemek için kullanılan MAPE değerleri; özgül yakıt tüketiminde eğitim %0.1228, doğrulama %0.40, test ise %0.408, efektif verim için eğitim %0.1177, doğrulama %0.34, test ise %0.002, NO_x için eğitim %2.9519, doğrulama %3.9586, test ise %0.0001 son olarak CO için eğitim %7.1, doğrulama % 14.7, test ise %4.38 olarak çıkmıştır. Regresyon grafikleri incelendiğinde tüm verilerin dikkate alındığı durumda R değeri 0.99 çıkmıştır ve bu sonuçlar elde edilen bu modelin tahmin için yeterli bir model olduğunu göstermiştir.

9. Çevrimsel farkların, egzoz emisyonları üzerindeki etkisini görebilmek için geliştirilen son modelde en uygun ağ yapısına, optimizasyon algoritmasının LM olduğu ve 12 gizli nörona sahip ağda ulaşılmıştır. Kurulan ağın performansını belirlemek için kullanılan MAPE değerleri; eğitim için %0.197, doğrulama için %4.11 ve son olarak test için ise %5.30 olarak çıkmıştır. Regresyon grafiklerinden de görüleceği gibi tüm verilerin dikkate alındığı durumda, R değeri 0.99 çıkmıştır. Son olarak R² değerleri de tüm veri setleri için 1'e yakın çıkmış ve bu sonuçlar elde edilen bu modelin çevrimsel farkların, NO_x üzerindeki etkisini görebilmek için yeterli bir model olduğunu göstermiştir.
10. Dizel yakıtına etanol eklenmesiyle özgül yakıt tüketimi 1000 dev/dak durumunda artma eğilimine girmiş ve karışım oranına bağlı olarak artma eğilimi devam etmiştir. 2000 dev/dak için özgül yakıt tüketimi E5 karışımı için biraz azalmış fakat E10 karışımı için ise artmıştır.
11. Efektif verim de dizel yakıtına etanol eklenmesiyle 1000 dev/dak durumunda karışım oranına bağlı olarak düzgün bir şekilde artma eğilimi göstermiştir. 2000 dev/dak durumunda da aynı durum gözlenmiştir.
12. NO_x emisyonları 1000 dev/dak durumunda karışıma etanol eklenmesiyle düzgün bir azalma eğilimine girmiştir. 2000 dev/dak azalma devam etmiştir. Fakat E10 karışımı E5'e göre biraz daha az artarak saf dizel yakıtı ile E5 arasında kalmıştır.
13. Egzoz gazlarının sıcaklıkları her iki devirde de karışıma etanol eklenmesiyle azalmaya başlamıştır.
14. CO emisyonları da her iki devir sayısı için azalma eğilimine girmiştir. Azalma oranı özellikle 2000 dev/dak durumunda çok net olarak görülmüştür.
15. Çevrimsel farklar dizel yakıtına etanol eklenmesiyle her iki devir durumunda da artmıştır. En yüksek değer 2000 dev/dak hızında E10 karışımı için %4.2 olarak bulunmuştur. Burada özellikle 1000 dev/dak incelendiği zaman saf dizel yakıtına

göre çevrimsel farkın göstergesi olan COV_{pmi} değeri E5 için yaklaşık %50, E10 için ise yaklaşık %100 oranında artmıştır. Buradan da görüldüğü gibi dizel yakıtında etanol kullanılması bütanole göre daha fazla bir çevrimsel farklılık doğurmuştur.



5. ÖNERİLER

1. Sunulan çalışmada dizel yakıtı-alkol karışımları kullanılarak motor performansı, egzoz emisyonları ve çevrimsel farklar incelenmiştir. Bütanol için 5 farklı karışım ve 10 farklı devir sayısı kullanılmıştır. Fakat etanol için bazı teknik nedenlerden dolayı 2 farklı karışım ve 2 farklı devir sayısında deneyler yapılmıştır. Etanol için de çeşitli deney setlerinde çalışılarak çalışma zenginleştirilebilir. Böylece YSA ile modelleme için yeterli veri elde edilmiş olup ve etanol- dizel yakıtı karışımları da yapay sinir ağları ile modellenilebilir.
2. Alkollerin yanı sıra dizel motorlarda biyodizel kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sebepten biyodizelin saf veya karışım olarak kullanılmasıyla meydana gelecek çevrimsel farklar incelenebilir.
3. Çevrimsel farkların hesaplanması için bu çalışmada ortalama indike basıncın değişim katsayısı (COV_{pmi}) kullanılmıştır. Buna ek olarak sürekli dalgacık dönüşümü gibi diğer teknikler kullanılarak da çevrimsel farklar incelenebilir.
4. Çevrimsel farklar; sıkıştırma oranı, hava-yakıt oranı, EGR oranı ve enjeksiyon zamanlaması gibi kontrol girdileriyle değişmektedir. Mevcut deney düzeneğinde bu parametreleri değiştirme imkânı bulunmadığı için yalnızca tam gazda farklı devir sayılarında deneysel çalışma yapılmıştır. Bu parametrelerin değiştirilmesi ile yapılacak olan bir çalışmada çevrimsel farklar, her bir yakıt karışımında ayrı ayrı değerlendirilip çevrimsel farkların minimum olduğu parametreler elde edilebilir. Daha sonra yapay sinir ağları ile bir model geliştirilip tüm çalışma şartları genelleştirilebilir. Böylece yanmayı kararlı tutan kontrol mekanizması için bir model elde edilmiş olur.

6. KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., Ünalđı, M. ve Aydoğan, H., 2010. Yakıtlar ve Yanma, Nobel.
- Ali, O. M., Mamat, R., Abdullah, N. R. ve Abdullah, A. A. 2015. Characteristic of Blended Fuel Properties and Engine Cycle-to-Cycle Variations with Butanol Additive, International Conference on Mathematics, Engineering and Industrial Applications.
- Bekal, S ve Babu, T. A., 2011. An Analysis of Cycle-by-Cycle Fluctuation in Combustion Parameter in CI Engine Operation for Various Bio-fuels, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 33,19, 1792-1801.
- Bilgin, A., Durgun, O. ve Sahin, Z., 2002. The Effects of Diesel-Ethanol Blends on Diesel Engine Performance, Energy Sources, 24,5, 431-440.
- Bittle, J., Knight, B. ve Jacobs, T., 2010. Biodiesel Effects on Cycle-to-Cycle Variability of Combustion Characteristics in a Common-Rail Medium-Duty Diesel Engine, SAE, 2010-01-0867.
- Canakci, M., Erdil, A. ve Arcaklıoğlu, E., 2006. Performance and Exhaust Emissions of a Biodiesel Engine, Applied Energy, 83,6, 594-605.
- Canakci, M., Ozsezen, A. N., Arcaklıoğlu, E. ve Erdil, A., 2009. Prediction of Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fueled with Biodiesel Produced From Waste Frying Palm Oil, Expert Systems with Applications, 36,5, 9268-9280.
- Ceviz, M., Koncuk, F., Küçük, Ö., Gören, A. ve Yüksel, F., 2011. Analysis of Combustion Stability and Its Relation to Performance Characteristics in a Compression Ignition Engine Fueled with Diesel-biodiesel Blends, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 33,10, 990-1003.
- Chen, G., Yu, W., Li, Q. ve Huang, Z., 2012. Effects of n-Butanol Addition on the Performance and Emissions of a Turbocharged Common-Rail Diesel Engine, SAE, 0148-7191.
- Çay, Y., Çiçek, A., Kara, F. ve Sağıroğlu, S., 2012. Prediction of engine performance for an alternative fuel using artificial neural network, Applied Thermal Engineering, 37,217-225.
- Deng, P., Huang, R., Ma, Y.J. ve Dai, H., 2013. Prediction Models Developed for Surface Tension of Alcohol+ Diesel Blend Fuels, SAE, 2013-01-2598.
- Doğan, O., 2011. The influence of n-Butanol/Diesel Fuel Blends Utilization on a Small Diesel Engine Performance and Emissions, Fuel, 90,7, 2467-2472

- Durgun, O., Yakıtlar ve Yanma Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon- (Basılmamış).
- Durgun, O., 1995. Motorlarda Deneysel Yöntemler Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Elmas, Ç., 2011. Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Ghobadian, B., Rahimi, H., Nikbakht, A. M., Najafi, G. ve Yusaf, T. F., 2009. Diesel Engine Performance and Exhaust Emission Analysis using Waste Cooking Biodiesel Fuel with an Artificial Neural Network, Renewable Energy, 34,4, 976-982.
- Giakoumis, E. G., Rakopoulos, C. D., Dimaratos, A. M. ve Rakopoulos, D. C., 2013. Exhaust Emissions with Ethanol or n-Butanol Diesel Fuel Blends During Transient Operation: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 17,170-190.
- Gomasta, S. ve Mahla, S. K., 2012. An Experimental Investigation of Ethanol Blended Diesel Fuel on Engine Performance and Emission of a Diesel Engine, International Journal on Emerging Technologies 2021, 74-79.
- Hamzaçebi, C., 2011. Yapay Sinir Ağları, Ekin Yayınevi, Bursa.
- Hansen, A. C., Zhang, Q. ve Lyne, P. W., 2005. Ethanol-Diesel Fuel Blends - A Review, Bioresource Technology, 96,3, 277-285.
- Haykin, S., 1994. Neural Network: A Comprehensive Foundation, Macmillan College, New York.
- Huang, J., Wang, Y., Li, S., Roskilly, A. P., Yu, H. ve Li, H., 2009. Experimental Investigation on the Performance and Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Ethanol–Diesel Blends, Applied Thermal Engineering, 29,11-12, 2484-2490.
- Janakiraman, V. M., Suryanarayanan, S., Saravanan, S. ve Rao, G. L. N., 2006. Analysis of the Effect of In-cylinder Parameters on NO_x and HC Emissions of a CI Engine Using Artificial Neural Networks, SAE, 2006-01-3313.
- Jin, C., Yao, M., Liu, H., Lee, C.-f. F. ve Ji, J., 2011. Progress in the Production and Application of n-Butanol as a Biofuel, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15,8, 4080-4106.
- Kline, S. J. ve McClintock, F., 1953. Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, Mechanical engineering, 75,1, 3-8.
- Kumar, S., Cho, J. H., Park, J. ve Moon, I., 2013. Advances in Diesel–Alcohol Blends and Their Effects on Tthe Performance and Emissions of Diesel Engines, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22,46-72.

- Li, D. G., Zhen, H., Xingcai, L., Wu-gao, Z. ve Jian-guang, Y., 2005. Physico-Chemical Properties of Ethanol–Diesel Blend Fuel and its Effect on Performance and Emissions of Diesel Engines, Renewable Energy, 30,6, 967-976.
- Mei, D., Wu, H., Ren, H., Hielscher, K. ve Baar, R., 2014. Combustion Cycle-by-Cycle Variations in a Common Rail Direct Injection Engine Fueled with Dimethyl Carbonate–Diesel Blend, Journal of Energy Engineering, 142, 04014059.
- Meng, X., Jia, M. ve Wang, T., 2014. Neural Network Prediction of Biodiesel Kinematic Viscosity at 313K, Fuel, 121,133-140.
- Oğuz, H., Sarıtas, I. ve Baydan, H. E., 2010. Prediction of Diesel Engine Performance using Biofuels with Artificial Neural Network, Expert Systems with Applications, 37,9, 6579-6586.
- Öztemel, E., 2012. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Park, S. H., Youn, I. M. ve Lee, C. S., 2011. Influence of Ethanol Blends on the Combustion Performance and Exhaust Emission Characteristics of a Four-Cylinder Diesel Engine at Various Engine Loads and Injection Timings, Fuel, 90,2, 748-755.
- Parlak, A., Islamoglu, Y., Yasar, H. ve Egrisogut, A., 2006. Application of Artificial Neural Network to Predict Specific Fuel Consumption and Exhaust Temperature for a Diesel Engine, Applied Thermal Engineering, 26,8-9, 824-828.
- Rakopoulos, D., Rakopoulos, C., Giakoumis, E., Papagiannakis, R. ve Kyritsis, D., 2008. Experimental-Stochastic Investigation of the Combustion Cyclic Variability In HSDI Diesel Engine using Ethanol–Diesel Fuel Blends, Fuel, 87,8, 1478-1491.
- Rakopoulos, D., Rakopoulos, C., Hountalas, D., Kakaras, E., Giakoumis, E. ve Papagiannakis, R., 2010. Investigation of the Performance and Emissions of Bus Engine Operating on Butanol/Diesel Fuel Blends, Fuel, 89,10, 2781-2790.
- Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E. G., Dimaratos, A. M. ve Kyritsis, D. C., 2010. Effects of Butanol–Diesel Fuel Blends on the Performance and Emissions of a High-Speed DI Diesel Engine, Energy Conversion and Management, 51,10, 1989-1997.
- Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., Kakaras, E. C. ve Giakoumis, E. G., 2008. Effects of Ethanol–Diesel Fuel Blends on the Performance and Exhaust Emissions of Heavy Duty DI Diesel Engine, Energy Conversion and Management, 49,11, 3155-3162.
- Santoso, W. B., Bakar, R. A., Ariyono, S. ve Cholis, N., 2012. Study of Cyclic Variability in Diesel-Hydrogen Dual Fuel Engine Combustion, International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering, 12,4.

- Selim, M. Y., 2005. Effect of Engine Parameters and Gaseous Fuel Type on the Cyclic Variability of Dual Fuel Engines, Fuel, 84,7, 961-971.
- Shanmugam, P., Sivakumar, V., Murugesan, A. ve Ilangkumaran, M., 2011. Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Using Hybrid Fuel with an Artificial Neural Network, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 33,15, 1440-1450.
- Sürmen, A., Karamangil, M. İ. ve Arslan, R., 2004. Motor Termodinamiği, Aktüel Yayınları.
- Şahin, Z ve Aksu, O. N., 2015. Experimental Investigation of the Effects of Using Low Ratio n-Butanol/Diesel Fuel Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions In a Turbocharged DI Diesel Engine, Renewable Energy, 77,279-290.
- Taghavifar, H., Taghavifar, H., Mardani, A. ve Mohebbi, A., 2014. Modeling the Impact of in-Cylinder Combustion Parameters of DI Engines on Soot and NOx Emissions at Rated EGR Levels Using ANN Approach, Energy Conversion and Management, 87,1 9.
- Takçı, H., 2010. Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları Ders Notu, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli-(Basılmamış).
- Tang, D., Ge, J., Duan, R. ve Zhang, Y., 2011. Investigation on the Combustion Cyclic Variability in a Non-Road Diesel Engine Fuelled with Diesel/Bio-Diesel Blends. Paper presented at the Electric Information and Control Engineering (ICEICE).
- Ulukuş, S. Y., 2010. Belirsizlik Analizi ve Bazı Uygulamalar, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Xingcai, L., Zhen, H., Wugao, Z. ve Degang, L., 2004. The Influence of Ethanol Additives on the Performance and Combustion Characteristics of Diesel Engines, Combustion Science and Technology, 176,8, 1309-1329.
- Yang, Z., Steffen, T. ve Stobart, R., 2013. Disturbance Sources in the Diesel Engine Combustion Process, SAE, 0148-7191.
- Zoldy, M., Hollo, A. ve Thernesz, A., 2010. Butanol as a Diesel Extender Option for Internal Combustion Engines, SAE, 01-0481.

7. EKLER

Ek Tablo 1. Karışımların yoğunluk ve alt ısı değerleri

	Yoğunluk (kg/m ³)	Alt Isıl Değer (kJ/kg)
B0	834.5	42600
B3	833.873	42337.64721
B6	833.246	42074.8996
B9	832.619	41811.75626
B12	831.992	41548.21631
B15	831.365	41284.27884
E5	832.025	41884.03924
E10	829.55	41163.80628

Ek Tablo 2. Efektif gücün belirsizlik analizi

% Belirsizlik	Dizel	B3	B6	B9	B12	B15	E5	E10
1000	0.80189	0.79016	0.82872	0.81789	0.76586	0.83053	0.92486	0.94292
1200	0.79423	0.78662	0.82565	0.81151	0.74386	0.8106	---	---
1400	0.79301	0.77389	0.81438	0.79531	0.73013	0.80334	---	---
1600	0.78385	0.77009	0.81085	0.78455	0.7188	0.8004	---	---
1800	0.77835	0.76792	0.80916	0.7849	0.71455	0.7975	---	---
2000	0.77509	0.76111	0.802	0.78114	0.71693	0.7906	0.89857	0.92074
2200	0.77399	0.76447	0.8063	0.78177	0.71895	0.78936	---	---
2400	0.77553	0.77022	0.81139	0.78728	0.72335	0.79665	---	---
2600	0.78253	0.77453	0.81689	0.7992	0.74054	0.80299	---	---
2800	0.79301	0.77824	0.82581	0.80297	0.74794	0.81629	---	---

Ek Tablo 3. Özgül yakıt tüketiminin belirsizlik analizi

% Belirsizlik	Dizel	B3	B6	B9	B12	B15	E5	E10
1000	0.83802	0.8257	0.86289	0.85042	0.799	0.86038	0.95397	0.99118
1200	0.8403	0.83036	0.86762	0.85222	0.78858	0.85042	---	---
1400	0.85304	0.83571	0.8742	0.85434	0.7938	0.85774	---	---
1600	0.86469	0.8499	0.88688	0.8626	0.80218	0.86801	---	---
1800	0.87908	0.86387	0.90121	0.87908	0.81876	0.88206	---	---
2000	0.90112	0.88536	0.92139	0.90013	0.84123	0.89612	1.00244	1.02619
2200	0.92079	0.90534	0.94204	0.92086	0.86341	0.91627	---	---
2400	0.94582	0.92867	0.96351	0.94262	0.88583	0.93752	---	---
2600	0.97295	0.95393	0.98734	0.96612	0.91283	0.9616	---	---
2800	0.99765	0.98103	1.01175	0.99246	0.93905	0.9856	---	---

Ek Tablo 4. Efektif verimin belirsizlik analizi

% Belirsizlik	Dizel	B3	B6	B9	B12	B15	E5	E10
1000	0.83802	0.8257	0.86289	0.85042	0.799	0.86038	0.98278	1.01927
1200	0.8403	0.83036	0.86762	0.85222	0.78858	0.85042	---	---
1400	0.85304	0.83571	0.8742	0.85434	0.7938	0.85774	---	---
1600	0.86469	0.8499	0.88688	0.8626	0.80218	0.86801	---	---
1800	0.87908	0.86387	0.90121	0.87908	0.81876	0.88206	---	---
2000	0.90112	0.88536	0.92139	0.90013	0.84123	0.89612	1.02989	1.05335
2200	0.92079	0.90534	0.94204	0.92086	0.86341	0.91627	---	---
2400	0.94582	0.92867	0.96351	0.94262	0.88583	0.93752	---	---
2600	0.97295	0.95393	0.98734	0.96612	0.91283	0.9616	---	---
2800	0.99765	0.98103	1.01175	0.99246	0.93905	0.9856	---	---

Ek Tablo 5. Çevrim farkı için geliştirilen ağın performans sonuçları

LM	MAPE			R ²			MSE		
	GN	Train	Validation	Test	Train	Validation	Test	Train	Validation
1	9.545325	12.0592	13.60994	0.766542	0.728627	0.608874	0.056952	0.078441	0.063466
2	7.136975	11.69221	9.727013	0.907796	0.777679	0.784453	0.022493	0.064262	0.034975
3	6.798964	16.5006	10.98786	0.91429	0.706707	0.760956	0.020909	0.084776	0.038788
4	6.097502	10.93665	8.551449	0.927751	0.809401	0.832909	0.017625	0.055093	0.027113
5	5.572302	14.49325	8.183831	0.941983	0.717757	0.832281	0.014153	0.081582	0.027215
6	4.94374	17.74836	15.09882	0.943108	0.715862	0.54304	0.013879	0.08213	0.074148
7	5.291329	17.64321	15.24132	0.948462	0.595735	0.514741	0.012573	0.116853	0.07874
8	5.570141	12.82428	9.561647	0.924102	0.774946	0.801932	0.018515	0.065052	0.032139
9	5.7629	16.10773	11.85538	0.939096	0.618904	0.734858	0.014858	0.110156	0.043023
10	3.225703	8.510427	13.45667	0.978831	0.898383	0.49865	0.005164	0.029372	0.081351
11	6.687436	9.329984	9.461482	0.885976	0.796479	0.831667	0.027816	0.058828	0.027314
12	8.406607	14.15296	8.568279	0.824497	0.545089	0.836342	0.042814	0.131492	0.026556
13	6.506821	10.62755	9.608346	0.895089	0.799719	0.839637	0.025593	0.057891	0.026021
14	8.243016	11.68809	9.995352	0.85865	0.709935	0.795251	0.034482	0.083843	0.033223
15	7.265529	15.60787	6.679357	0.839432	0.695665	0.891557	0.039171	0.087968	0.017596
SCG	MAPE			R ²			MSE		
GN	Train	Validation	Test	Train	Validation	Test	Train	Validation	Test
1	9.738701	11.16377	13.79394	0.810795	0.756543	0.523832	0.046157	0.070371	0.077265
2	6.932365	11.28379	9.874883	0.895778	0.789691	0.780656	0.025425	0.06079	0.035592
3	6.338532	15.18345	15.21544	0.928895	0.720203	0.463199	0.017346	0.080875	0.087103
4	6.029285	12.02683	9.065648	0.930805	0.761042	0.823599	0.01688	0.069071	0.028624
5	6.237554	11.82169	8.933873	0.928214	0.78114	0.833964	0.017512	0.063262	0.026942
6	6.499184	8.968761	11.59528	0.919443	0.898632	0.701659	0.019652	0.0293	0.04841
7	4.714679	8.719502	12.00688	0.948419	0.850926	0.712302	0.012583	0.04309	0.046683
8	5.830583	10.4032	10.26993	0.930187	0.843787	0.781859	0.017031	0.045153	0.035396
9	6.789215	12.35029	10.07605	0.897557	0.796814	0.772807	0.024991	0.058731	0.036865
10	5.586384	7.212316	9.563465	0.947994	0.92136	0.715325	0.012687	0.022731	0.046192
11	3.959296	7.705479	8.709564	0.967726	0.860078	0.737044	0.007873	0.040445	0.042668
12	6.595674	13.38112	9.940655	0.920512	0.736736	0.794189	0.019391	0.076096	0.033396
13	13.15846	12.98844	18.10682	0.687201	0.713319	0.511011	0.076308	0.082865	0.079345
14	5.965997	11.56171	13.64604	0.932792	0.762631	0.561434	0.016395	0.068612	0.071163
15	5.875773	11.17976	8.515279	0.935231	0.809908	0.8668	0.0158	0.054946	0.021614

Ek Tablo 6. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağın performans sonuçları (LM)

LM	MAPE											
	Train				Validation				Test			
GN	özgül yakıt tüketimi	efektif verim	Nox	CO	özgül yakıt tüketimi	efektif verim	Nox	CO	özgül yakıt tüketimi	efektif verim	Nox	CO
1	1.094246622	1.251994337	18.93465276	24.8381792	1.614815759	1.583506127	11.7186234	42.48878726	1.516264402	0.009307743	0.000665568	20.7159113
2	0.684155735	0.97321469	17.7127081	23.3058504	0.915152886	1.049350897	9.66493587	48.73456048	1.033515432	0.006251307	0.000500486	14.62455103
3	0.794372043	0.762259803	14.24084954	16.7167223	1.194543438	1.180807992	13.0235858	18.17490018	1.022525657	0.006303024	0.00039767	13.65692094
4	0.411936536	0.444549801	14.27731755	13.9389375	0.609018845	0.704473082	12.0398864	21.2853098	0.478615846	0.002883684	0.000196857	6.301723316
5	0.382241284	0.427708935	10.40915286	11.7637801	0.64067921	0.834880637	8.30003358	21.07470064	0.454837938	0.002735376	0.00020105	6.047059549
6	0.308781799	0.287893052	11.1888127	13.3237013	0.456020608	0.415300929	3.12540917	18.47494897	0.382289541	0.002277252	0.000179056	4.935935204
7	0.417011587	0.409199241	6.162416072	10.5131052	0.627861439	0.709805852	10.8100826	22.92029731	0.522661176	0.003151995	0.000240084	7.054024949
8	0.2060115	0.206794195	6.737712011	10.5003455	0.276941247	0.335540865	4.40601363	19.73891021	0.323420855	0.001947207	0.000117437	3.463832196
9	0.318929779	0.322724426	6.427079138	9.52187512	0.589034931	0.684246934	7.33661709	18.79906617	0.397408825	0.002382059	0.000153621	5.22003333
10	0.140628361	0.141737082	4.943843814	8.18293775	0.337035021	0.142183876	3.02011263	14.42233228	0.344315948	0.002098139	0.000127084	3.773663045
11	0.171854455	0.213460735	4.844750987	8.15794093	0.586170644	0.47002103	6.09039216	14.47126287	0.490309876	0.002953819	0.000195908	5.71062325
12	0.122879204	0.117786361	2.951975401	7.10123949	0.400965509	0.344805651	3.95866728	14.70759265	0.408841922	0.00248707	0.000154606	4.381778548
13	0.265790058	0.253115238	6.634312013	7.4850478	0.384070115	0.438728235	6.32036375	14.66374825	0.425225606	0.002544229	0.000216774	5.830515909
14	0.809996158	0.767490006	11.97935899	16.8627661	1.401859019	1.667717017	8.01624434	24.555623	1.07445765	0.006617399	0.000359844	13.64968754
15	0.179948975	0.18886459	3.199606684	8.26884631	0.60890493	0.641789848	5.27361652	15.66394993	0.766565055	0.004570212	0.000427486	11.92651004

Ek Tablo 7. Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağın performans sonuçları (SCG)

SCG	MAPE											
	Train				Validation				Test			
GN	özgül yakıt tüketimi	efektif verim	Nox	CO	özgül yakıt tüketimi	efektif verim	Nox	CO	özgül yakıt tüketimi	efektif verim	Nox	CO
1	1.136626453	1.245860211	20.44971273	26.5044881	1.578428261	1.606460371	11.2869457	44.5182936	1.557990788	0.009543529	0.000694083	21.70798749
2	0.81358596	0.875465145	16.74504526	20.5153946	1.333456917	1.201132772	8.13623138	37.60250332	1.047011746	0.006440662	0.000410008	13.67873534
3	0.79948805	0.767748474	14.18478676	16.6982042	1.202604761	1.186871954	13.4955431	16.29132084	1.012898601	0.0062427	0.000394697	13.5345266
4	0.40044519	0.449318551	14.01376131	13.3817914	0.639312622	0.741260524	12.6482091	21.86150164	0.49754795	0.002997105	0.000207299	6.625342248
5	0.385992383	0.435570298	10.18771591	11.6931537	0.613656461	0.85424751	8.58690615	21.17167882	0.448174736	0.002692897	0.000195801	6.000447651
6	0.34028328	0.360743867	10.54853757	11.3342069	0.320073935	0.434731123	5.76661121	17.68993585	0.474068024	0.002860323	0.000226855	5.893606568
7	0.300663845	0.311834999	10.98478752	11.646436	0.830546881	0.741469443	7.27840398	16.47173016	0.458884047	0.002736584	0.000196843	5.793548426
8	0.384905509	0.368205248	7.107892051	8.09972523	0.789570851	0.736470434	5.86674205	24.71294511	0.428228618	0.002561065	0.00016048	5.594102333
9	0.324636237	0.316702568	5.403943133	8.63023489	0.581083434	0.467735867	7.41471214	14.66051483	0.469144399	0.002812412	0.000211527	6.407051455
10	0.958277952	0.989728183	16.64097854	20.4147058	1.731927285	1.307544869	8.53148126	26.15505132	1.273721149	0.007831925	0.000527542	18.15846131
11	0.361033956	0.376830944	6.366586898	10.1668019	0.283006726	0.341048094	7.20369269	8.932534664	0.458546447	0.002724716	0.000221036	6.202438502
12	0.139004048	0.187492102	3.917778857	6.80600638	0.707408029	0.416866011	9.18529748	19.17960704	0.372869509	0.002221148	0.000147489	4.872105478
13	0.245552074	0.281684037	4.838092107	10.0245521	0.203263568	0.208235097	9.39609738	26.21746312	0.346375565	0.0020753	0.00012249	3.178585264
14	0.812133201	0.907769972	12.51448003	21.4108286	1.984528066	1.518922881	5.64987541	30.07592085	1.547920457	0.009456265	0.000568641	20.46138616
15	0.159231981	0.153879599	4.09833814	6.0992174	0.519470009	0.512292097	8.59513709	25.51016275	0.501228423	0.002998841	0.000246652	6.926068894

Ek Tablo 8. NO_x için geliştirilen ağın performans sonuçları

LM	MAPE			R²			MSE		
GN	Train	Validation	Test	Train	Validation	Test	Train	Validation	Test
1	19.56923	8.887009	17.30412	0.695551	0.733577	0.798103	9616.173	3355.105	8079.207
2	8.544851	6.750302	9.821018	0.906334	0.761027	0.84619	2958.484	3009.43	6154.958
3	7.205118	5.660973	11.45947	0.948058	0.822862	0.816491	1640.608	2230.725	7343.388
4	6.153182	5.658049	6.889185	0.953749	0.864306	0.958306	1460.869	1708.821	1668.465
5	5.673736	1.640911	9.189432	0.96851	0.970081	0.941095	994.6276	376.7769	2357.157
6	4.466123	4.577685	11.00063	0.978682	0.878795	0.904731	673.3356	1526.352	3812.323
7	2.700286	5.923512	8.752805	0.992021	0.832432	0.917232	252.0232	2110.213	3312.102
8	4.539509	2.451825	6.868088	0.97852	0.956239	0.965778	678.4474	551.092	1369.43
9	4.875417	4.314643	5.8248	0.971477	0.903651	0.963837	900.9132	1213.34	1447.128
10	4.541919	5.909773	5.210862	0.975076	0.835454	0.951179	787.2517	2072.148	1953.629
11	1.927939	6.981681	9.145036	0.994305	0.702484	0.908319	179.8814	3746.663	3668.757
12	0.197003	4.117802	5.303488	0.999936	0.923981	0.9682	2.036784	957.3146	1272.544
13	4.654295	8.786214	9.483564	0.974554	0.718848	0.839483	803.7193	3540.59	6423.321
14	0.185839	2.390962	4.903708	0.999933	0.979502	0.943741	2.100523	258.1317	2251.278
15	3.705187	9.343713	8.478623	0.982249	0.642015	0.938149	560.6641	4508.158	2475.077
SCG	MAPE			R²			MSE		
GN	Train	Validation	Test	Train	Validation	Test	Train	Validation	Test
1	20.77218	8.638258	16.24829	0.646679	0.7201	0.788688	11159.82	3524.821	8455.961
2	9.678563	6.726669	10.12105	0.893183	0.766057	0.885318	3373.868	2946.083	4589.18
3	8.860163	6.602077	10.17293	0.905955	0.765247	0.92016	2970.465	2956.276	3194.927
4	6.609662	2.543608	5.996778	0.949914	0.976816	0.97655	1582.005	291.9561	938.3888
5	6.352879	3.615053	5.972168	0.95317	0.947342	0.973727	1479.147	663.1348	1051.348
6	5.810016	3.035636	5.14839	0.965192	0.955577	0.960013	1099.435	559.4275	1600.129
7	6.066796	5.829405	6.015856	0.960718	0.880096	0.95714	1240.738	1509.965	1715.101
8	5.248907	4.008538	9.387223	0.971297	0.944461	0.940456	906.6132	699.414	2382.734
9	4.579293	4.297441	8.903921	0.978009	0.907643	0.9138	694.6128	1163.064	3449.419
10	1.397827	3.171101	7.598627	0.997215	0.941754	0.92411	87.97392	733.5066	3036.857
11	3.586331	3.687371	5.585864	0.988817	0.895207	0.975886	353.2141	1319.67	964.9676
12	4.695514	1.796405	4.720276	0.979339	0.985126	0.968744	652.577	187.3044	1250.762
13	1.523015	5.632914	8.846007	0.997822	0.814922	0.934932	68.78843	2330.717	2603.807
14	4.831181	5.518332	6.721897	0.980832	0.779536	0.942131	605.4178	2776.342	2315.707
15	0.280072	8.591109	8.46148	0.999887	0.711328	0.943106	3.564853	3635.289	2276.709

ÖZGEÇMİŞ

Samet Gürgen, 21/07/1989 tarihinde Yozgat'ın Çekerek ilçesinde dünyaya geldi. Lise eğitimini Samsun Milli Piyango Anadolu lisesinde tamamladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 2011 yılında Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü'nde Makine Yan Dal programına başladı. 2013 yılında lisans eğitimini ve yan dal programını tamamlayarak aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında ÖYP kapsamında İskenderun Teknik Üniversitesi'ne araştırma görevlisi olarak atandı. Lisansüstü eğitimi için Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde görevlendirilmiş olup, İngilizce bilmektedir.