

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMAL BARIYER KAPLANMIŞ MOTORUN YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan GÜL

(111119108)

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Programı: Otomotiv

Danışman: Doç. Dr. Hanbey HAZAR

ŞUBAT-2015

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMAL BARIYER KAPLANMIŞ MOTORUN
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan GÜL

(111119108)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

Tezin Savunulduğu Tarih :

Tez Danışmanı:

Diğer Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Hanbey HAZAR

Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ

Yrd. Doç. Dr. İlyas SOMUNKIRAN

ŞUBAT-2015

ÖNSÖZ

Tezin hazırlanması aşamasında her türlü desteği veren ve çalışmalarım esnasında bana sürekli anlayışla yaklaşan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hanbey HAZAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca benden yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Sami EKİCİ'ye, Arş. Gör. İsmail ŞANLITÜRK'e ve Mahmut Nedim TANSU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bunların yanı sıra çalışmalarımı yaparken benden maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme minnet borçluyum.

Hakan GÜL
ELAZIĞ - 2015

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
TABLolar LİSTESİ.....	XV
KISALTMALAR LİSTESİ	XVI
SEMBOLLER LİSTESİ	XVII
1. GİRİŞ.....	1
2. TERMAL BARIYER KAPLAMA	4
2.1. Termal Bariyer Kaplamanın Tarihçesi	5
2.2. Termal Bariyer Kaplama Yöntemleri.....	6
2.2.1. Alev Sprey Kaplama Yöntemi	7
2.2.2. Plazma Sprey Yöntemi	8
2.2.3. Elektrik Ark Spreyleme Yöntemi.....	11
2.2.4. Detonasyon Tabancası Tekniği.....	11
2.2.5. HVOF (Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme) Yöntemi.....	12
2.3. Kaplama Yüzeylerinin Hazırlanması	15
2.3.1. Yüzey Temizleme İşlemi	15
2.3.2. Yüzey Pürüzlendirme İşlemi	16
2.3.3. Maskeleme	17
2.4. Seramik Kaplama Malzemeleri.....	17
2.4.1. Tungsten	19
2.4.2. Tungsten Karbür.....	20
2.4.3. Tungsten Karbür Kaplamalar.....	21
2.4.4. Krom Karbürler	22
3. EGZOZ EMİSYONLARI ve MOTOR PERFORMANSI	25
3.1. Azot Oksit(NO_x) Oluşumu	26
3.2. Hidrokarbon(HC) Oluşumu	27
3.3. Karbon Monoksit(CO) Oluşumu	28
3.4. Karbondioksit(CO_2) Oluşumu	29

3.5.	Özgöl Yakıt Tüketimi(ÖYT)	30
3.6.	Egzoz Gaz Sıcaklığı(EGS)	30
3.7.	Duman(İs) Yoğunluğu	30
4.	YAPAY SİNİR AĞLARI	32
4.1.	Biyolojik Sinir Sistemi	33
4.2.	YSA'nın Temel Elemanları	34
4.2.1.	Girdiler	35
4.2.2.	Ağırlıklar	35
4.2.3.	Toplama Fonksiyonu	35
4.2.4.	Etkinlik (Aktivasyon) Fonksiyonu	36
4.2.5.	Çıkış İşlemi	36
4.3.	YSA'nın Katmanları	36
4.3.1.	Giriş Katmanı	37
4.3.2.	Gizli Katmanlar	37
4.3.3.	Çıktı Katmanı	37
4.4.	Yapay Sinir Ağları Türleri	37
4.4.1.	Tiplerine Göre YSA	38
4.4.1.1.	İleri Beslemeli YSA	38
4.4.1.2.	Geri Beslemeli YSA	39
4.4.2.	Öğrenme Yöntemlerine Göre YSA	40
4.4.2.1.	Danışmanlı Öğrenme	40
4.4.2.2.	Danışmansız Öğrenme	40
4.4.2.3.	Destekleyici Öğrenme	41
4.4.3.	Katman Sayısına Göre YSA	41
4.4.3.1.	Tek Katmanlı Algılayıcı (TKA)	41
4.4.3.2.	Çok Katmanlı Algılayıcı	42
5.	LİTERATÜR ÇALIŞMASI	45
6.	MATERYAL ve METOT	48
6.1.	Deney Motorları ve Teknik Özellikleri	49
6.2.	Motor Test Düzeneği	52
6.3.	Deneysel Çalışmalarda Yapılan İşlemler	56
6.4.	İçten Yanmalı Motorların YSA'larının Hazırlanması	60
6.5.	Motorların Matematiksel Modellerinin Oluşturulması	62

7.	DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA	67
7.1.	Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	67
7.2.	Dizel Motor Deney Sonuçları	67
7.2.1.	NO _x Emisyonlarının Karşılaştırılması	67
7.2.2.	CO Emisyonlarının Karşılaştırılması	70
7.2.3.	CO ₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması	72
7.2.4.	HC Emisyonlarının Karşılaştırılması	75
7.2.5.	ÖYT Değerlerinin Karşılaştırılması	77
7.2.6.	EGS Değerlerinin Karşılaştırılması.....	80
7.2.7.	Duman(İs) Yoğunluğunun Karşılaştırılması.....	82
7.3.	Benzinli Motor Deney Sonuçları	85
7.3.1.	NO _x Emisyonlarının Karşılaştırılması	85
7.3.2.	CO Emisyonlarının Karşılaştırılması	87
7.3.3.	CO ₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması	90
7.3.4.	HC Emisyonlarının Karşılaştırılması	92
7.3.5.	ÖYT Değerlerinin Karşılaştırılması	95
7.3.6.	EGS Değerlerinin Karşılaştırılması.....	97
7.4.	LPG’li Motor Deney Sonuçları.....	100
7.4.1.	NO _x Emisyonlarının Karşılaştırılması	100
7.4.2.	CO Emisyonlarının Karşılaştırılması	102
7.4.3.	CO ₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması	105
7.4.4.	HC Emisyonlarının Karşılaştırılması	108
7.4.5.	EGS Değerlerinin Karşılaştırılması.....	110
7.5.	Dizel motorun parçalarına ait numunelerin SEM ve EDS analizi	113
8.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA	120
9.	ÖNERİLER	126
	KAYNAKLAR	127
	EKLER	137
	ÖZGEÇMİŞ.....	168

ÖZET

Bu tez çalışmasında içten yanmalı motorlara Termal Bariyer Kaplama (TBK) uygulanmıştır. TBK uygulaması ile motorların yakıt tüketiminin azaltılması, emisyonlarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak motorların matematiksel modelleri oluşturulmuştur. YSA ile deney tekrarlarının azaltılması ve deney maliyetinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Dizel, benzinli ve LPG'li olmak üzere üç farklı motor üzerinde çalışılmıştır. Dizel motorun piston, egzoz ve emme supapları Yüksek Hızda Oksi Yakıt Püskürtme (HVOF) yöntemi kullanılarak Tungsten Karbür (WC) ile benzinli motorun piston, egzoz ve emme supapları ise Plazma Sprey yöntemi kullanılarak Krom Karbür (Cr_3C_2) ile 300 mm kalınlığındaki seramik malzeme ile kaplanmıştır. Kaplama öncesinde ve sonrasında dizel motorun NO_x , CO, CO_2 , HC, duman yoğunluğu emisyon değerleri, egzoz gaz sıcaklığı (EGS) ve özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerleri ölçülmüştür. Benzinli motorun NO_x , CO, CO_2 , HC emisyonları, EGS ve ÖYT değerleri ölçülmüştür. LPG'li motorun ise NO_x , CO, CO_2 , HC emisyonları ve EGS değerleri ölçülmüştür. Bu değerler grafikler yardımıyla yüzdesel olarak karşılaştırılmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış (standart) motorun YSA ile matematiksel modellemesi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar YSA'ya giriş olarak uygulanarak motorların bütün hızlardaki değerleri tahmin ettirilmiştir. YSA'dan alınan sonuçlar ile gerçek deney sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların örtüştüğü görülmüştür. Normal motorlar (NM) ile kaplanmış motorlar (KM)'in sonuçlarını görsel olarak karşılaştırmak, maliyet ve zaman kaybını azaltmak amacıyla YSA'dan alınan tahmini değerler kullanılarak MATLAB GUI'de ara yüz programı hazırlanmıştır.

TBK ile dizel motor egzoz emisyonlarından HC, CO, duman yoğunluğu emisyonu ve ÖYT değerlerinde düşüş, CO_2 , NO_x ve EGS değerinde ise artış olmuştur. Benzinli motor egzoz emisyonlarından HC, CO, ÖYT değerlerinde azalma, CO_2 , NO_x ve EGS değerlerinde ise artış olmuştur. LPG'li motor egzoz emisyonlarından HC ve CO değerlerinde düşüş, CO_2 , NO_x ve EGS değerinde ise artış olmuştur.

Elde edilen sonuçlar TBK ile motorlarda egzoz emisyon, ÖYT ve EGS değerlerinde dikkate alınacak bir iyileşme olduğunu göstermiştir. Ayrıca YSA ile matematiksel modelleme yapılarak elde edilen sonuçların deney tekrarlarını azalttığı saptanmıştır.

Böylelikle zamandan, yakıt sarfiyatından ve iş gücü kaybından tasarruf edileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Termal Bariyer Kaplama, Yapay Sinir Ağı, Benzinli Motor Dizel Motor, LPG'li Motor, Matematiksel Modelleme

SUMMARY

THERMAL BARRIER COATING ENGINE MATHEMATICAL MODELING WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

In this study, Thermal Barrier Coating (TBC) was applied to the internal combustion engine. It was intended to decrease the fuel consumption values of the engine and improve emission values by TBK application. The mathematical model of the engines was obtained by using Artificial Neural Network (ANN). The usage of ANN reduced both the experimental costs and number of repeated experiments. Three different engines including diesel, gasoline and LPG were studied. Pistons, exhaust and intake valves of diesel engine were coated with Tungsten Carbide (WC) by using High Velocity Oxy Fuel Injection (HVOF) method, and the pistons, exhaust and intake valves of gasoline engine were coated with Chrome Carbide (Cr_3C_2) by using the Plasma Spray method with the ceramic material of 300 μm thickness. Before and after the coating, NO_x , CO, CO_2 , HC, soot emissions, exhaust gas temperatures (EGT) and specific fuel consumption (SFC) values of diesel engine were measured. NO_x , CO, CO_2 , HC, exhaust gas temperatures (EGT) and specific fuel consumption (SFC) values of gasoline engine were measured. NO_x , CO, CO_2 , and HC emissions and EGT values of LPG engine were also measured. These values were compared as percentage by the graphs. The mathematical modeling of coated and uncoated (standard) engines was obtained by using ANN. The results obtained from experiments were applied to ANN as inputs to estimate values at all speeds. The results of ANN were compared with the actual test results and it was found that the results were similar. To compare the results of normal engines (NE) and coated engines (CE) visually and to reduce costs and time-consuming processes a MATLAB GUI interface was prepared by using the estimated values obtained from ANN.

In TBC application; HC, CO, soot emissions and SFC values of the diesel engine reduced while CO_2 , NO_x and EGT values increased. In gasoline engine, exhaust emissions of HC, CO and SFC reduced while CO_2 , NO_x and EGT values increased. In LPG engines, exhaust emissions of HC and CO values reduced while CO_2 , NO_x and EGT values increased.

The obtained results show that TBK has improved the engine exhaust emission values, SFC and EGT values considerably. It is also found that the usage of ANN to obtain

mathematical modeling of engines reduces the repeated experiments. Thus, it is understood that we can save from time, fuel consumption and labor.

Key Words: Thermal Barrier Coating, Artificial Neural Network, Gasoline Engine, Diesel Engine, LPG Engine, Mathematical Modeling

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. TBK prosesi genel görünümü	5
Şekil 2.2. Isı kaynaklarına göre TBK yöntemleri.....	7
Şekil 2.3. Toz malzemeler için alev sprej sistemi şematik gösterimi	8
Şekil 2.4. Plazma sprej sürecinin şematik diyagramı	9
Şekil 2.5. Plazma sprej kaplama prosesi ile kaplanabilen malzemeler.....	10
Şekil 2.6. Elektrik ark tel sprej ilkesi.....	11
Şekil 2.7. Tipik manuel HVOF püskürtme sistemi	12
Şekil 2.8. HVOF yöntemi ile yapılan kaplama işleminin görüntüsü.....	14
Şekil 2.9. İyi mekanik bağlanma gösteren pürüzlülük tipleri	16
Şekil 2.10. Tungsten	20
Şekil 2.11. Tungsten karbür'ün hekzagonal kristal yapısı	20
Şekil 2.12. Cr-C fazlarının üç farklı kristal yapısının atom dizilimleri ve tekrarlayan en küçük kafes birimleri	23
Şekil 3.1. Dizel motor emisyonları.....	25
Şekil 3.2. Yakıt/hava oranına bağlı olarak NO _x ve NO yoğunlukları.....	27
Şekil 3.3. Tutuşma gecikmesi periyodunda püskürtülen yakıtın HC mekanizmasının şematik gösterimi.	28
Şekil 4.1. Biyolojik sinir ağının gösterimi	33
Şekil 4.2. Temel YSA hücresi	34
Şekil 4.3. Çok katmanlı bir YSA.....	36
Şekil 4.4. YSA'nın sınıflandırılması	38
Şekil 4.5. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA modeli.....	39
Şekil 4.6. Geri beslemeli ağ yapıları.....	40
Şekil 4.7. İki girdi ve bir çıktıdan oluşan basit bir tek katmanlı YSA modeli.	42
Şekil 4.8. Çok katmanlı ağ yapısı	42
Şekil 6.1. 6LD 400 model Lombardini marka dizel motor.....	50
Şekil 6.2. Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP benzinli motor görüntüsü.....	51
Şekil 6.3. Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP LPG'li motor.....	52
Şekil 6.4. Motor test düzeneği şematik görünümü	53
Şekil 6.5. Bosch marka emisyon cihazı	54
Şekil 6.6. Operating Instructions Model(W) 502 K/J termometrenin görüntüsü.....	55

Şekil 6.7. Motor test düzeneği görünümü	56
Şekil 6.8. Dizel motor pistonunun kaplama işlemi esnasındaki görünümü	57
Şekil 6.9. HVOF yöntemi ile yapılan kaplama işleminin görüntüsü.....	57
Şekil 6.10. Dizel motorun kaplama yapılan piston ve supaplarının görünümü	58
Şekil 6.11. Benzinli motorun kaplama yapılmış piston ve supaplarının görünümü.....	59
Şekil 6.12. Motorlar için kullanılan YSA yapısı	61
Şekil 6.13. Matlab GUI çalışma alanı.....	62
Şekil 6.14. Dizel motorun YSA ile oluşturulan m-file dosyaları	63
Şekil 6.15. Matlab Gui'de hazırlanmış arayüz	64
Şekil 6.16. Dizel 6 LD 400 Lombardini motorun matematiksel modelinin 2985 dev/dk'deki sonuçları.....	65
Şekil 6.17. Dizel 6 LD 400 Lombardini motorun matematiksel modelinin 2312 dev/dk'deki sonuçları.....	65
Şekil 6.18. Dizel 6 LD 400 Lombardini motorun matematiksel modelinin 1867 dev/dk'deki sonuçları.....	66
Şekil 7.1. Dizel motor NO _x emisyonunun NM ve KM'deki değişimi	68
Şekil 7.2. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA NO _x emisyon değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği	69
Şekil 7.3. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA NO _x emisyon değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği	69
Şekil 7.4. Dizel motor CO emisyonunun NM ve KM'deki değişimi	70
Şekil 7.5. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği	71
Şekil 7.6. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği	72
Şekil 7.7. Dizel motor CO ₂ emisyonunun NM ve KM'deki değişimi	73
Şekil 7.8. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA CO ₂ emisyon değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği	74
Şekil 7.9. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA CO ₂ emisyon değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği	74
Şekil 7.10. Dizel motor HC emisyonunun NM ve KM'deki değişimi	75
Şekil 7.11. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği	76
Şekil 7.12. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği	77
Şekil 7.13. Dizel motor ÖYT değerinin NM ve KM'deki değişimi.....	78

Şekil 7.14. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA ÖYT değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği.....	79
Şekil 7.15. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA ÖYT değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği.....	79
Şekil 7.16. Dizel motor EGS değerinin NM ve KM'deki değişimi	80
Şekil 7.17. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği.....	81
Şekil 7.18. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği.....	82
Şekil 7.19. Dizel motor duman yoğunluğu değerinin NM ve KM'deki değişimi.....	83
Şekil 7.20. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA duman yoğunluğu değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği	84
Şekil 7.21. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA duman yoğunluğu değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği	84
Şekil 7.22. Benzinli motor NO _x emisyon değerinin NM ve KM'deki değişimi	85
Şekil 7.23. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA NO _x emisyon değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği	86
Şekil 7.24. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA NO _x emisyon değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği	87
Şekil 7.25. Benzinli motor CO emisyon değerinin NM ve KM'deki değişimi.....	88
Şekil 7.26. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği	89
Şekil 7.27. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği	89
Şekil 7.28. Benzinli motor CO ₂ emisyonunun NM ve KM'deki değişimi	90
Şekil 7.29. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA CO ₂ emisyon değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği	91
Şekil 7.30. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA CO ₂ emisyon değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği	92
Şekil 7.31. Benzinli motor HC emisyonunun NM ve KM'deki değişimi	93
Şekil 7.32. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği	94
Şekil 7.33. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği	94
Şekil 7.34. Benzinli motor ÖYT değerinin NM ve KM'deki değişimi	95
Şekil 7.35. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA ÖYT değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği.....	96

Şekil 7.36. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA ÖYT değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği.....	97
Şekil 7.37. Benzinli motor EGS değerinin NM ve KM'deki değişimi.....	98
Şekil 7.38. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği.....	99
Şekil 7.39. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği.....	99
Şekil 7.40. LPG'li motor NO _x emisyonunun NM ve KM'deki değişimi.....	100
Şekil 7.41. (a) LPG'li NM'nin gerçek ve YSA NO _x emisyon değerleri, (b) LPG'li NM YSA Regression grafiği	101
Şekil 7.42. (a) LPG'li KM'nin gerçek ve YSA NO _x emisyon değerleri, (b) LPG'li KM YSA Regression grafiği	102
Şekil 7.43. LPG'li motor CO emisyonunun NM ve KM'deki değişimi.....	103
Şekil 7.44. (a) LPG'li NM'nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) LPG'li NM YSA Regression grafiği.....	104
Şekil 7.45. (a) LPG'li KM'nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) LPG'li KM YSA Regression grafiği.....	105
Şekil 7.46. LPG'li motor CO ₂ emisyonunun NM ve KM'deki değişimi	106
Şekil 7.47. (a) LPG'li NM'nin gerçek ve YSA CO ₂ emisyon değerleri, (b) LPG'li NM YSA Regression grafiği	107
Şekil 7.48. (a) LPG'li KM'nin gerçek ve YSA CO ₂ emisyon değerleri, (b) LPG'li KM YSA Regression grafiği	107
Şekil 7.49. LPG'li motor HC emisyonunun NM ve KM'deki değişimi.....	108
Şekil 7.50. (a) LPG'li NM'nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) LPG'li NM YSA Regression grafiği.....	109
Şekil 7.51. (a) LPG'li KM'nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) LPG'li KM YSA Regression grafiği.....	110
Şekil 7.52. LPG'li motor EGS değerinin NM ve KM'deki değişimi	111
Şekil 7.53. (a) LPG'li NM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) LPG'li NM YSA Regression grafiği.....	112
Şekil 7.54. (a) LPG'li KM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) LPG'li KM YSA Regression grafiği.....	112
Şekil 7.55. 50x, 100x, 200x, 1000x, 5000x ve 10000x büyütmede alınmış SEM görüntüleri	114
Şekil 7.56. Dizel motorun piston numunesinden alınan EDS 1. analiz bölgesi.....	115
Şekil 7.57. Dizel motorun piston numunesine ait EDS analiz sonuçları	115
Şekil 7.58. Dizel motorun piston numunesinden alınan EDS 2. analiz bölgesi.....	116
Şekil 7.59. Dizel motorun piston numunesine ait EDS analiz sonuçları	116

Şekil 7.60. Dizel motorun piston numunesinden alınan EDS 3. analiz bölgesi.....	117
Şekil 7.61. Dizel motorun piston numunesine ait EDS analiz sonuçları	117
Şekil 7.62. Dizel motorun piston numunesinden alınan EDS 4. analiz bölgesi.....	118
Şekil 7.63. Dizel motorun piston numunesine ait EDS analiz sonuçları	118
Şekil 7.64. Dizel motorun segman numunesinden alınan EDS analiz bölgesi	119

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Çeşitli kaplama yöntemlerinin karakteristik özellikleri (%88 WC, %12 Co)....	14
Tablo 2.2. TBK sistemleri ve özellikleri	15
Tablo 2.3. Bazı basit seramik bileşikler ve erime sıcaklıkları.	19
Tablo 2.4. Tungsten Karbür'e ait bazı özellikler.	21
Tablo 2.5. Bazı sert metallerin özellikleri	22
Tablo 2.6. Krom karbürün fiziksel ve mekanik özellikleri.....	24
Tablo 4.1. Biyolojik sinir hücresi ve YSA'nın karşılaştırılması.	34
Tablo 6.1. Deneylerde kullanılan tek silindirli dizel motorun teknik özellikleri.....	50
Tablo 6.2. Deneylerde kullanılan tek silindirli benzinli motorun teknik özellikleri.....	51
Tablo 6.3. Bosch marka emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti	54
Tablo 6.4. Dizel motor piston ve supapların HVOF yöntemi ile kaplama parametreleri ...	58
Tablo 6.5. Plazma Sprey yönteminin parametreleri.....	59

KISALTMALAR LİSTESİ

EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
HVOF	: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme
KM	: Kaplanmış Motor
LPG	: Likit Petrol Gazları
MSE	: Ortalama karesel hata
NM	: Normal Motor
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi
PPM	: Milyondaki Partikül Miktarı
TBK	: Termal Bariyer Kaplama
YSA	: Yapay Sinir Ağı

SEMBOLLER LİSTESİ

Al₂O₃	: Alüminyum oksit
C	: Karbon
CaO	: Kalsiyum oksit
CO	: Karbon Monoksit
CO₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cr₃C₂	: Krom Karbür
HC	: Hidrokarbon
MgO	: Magnezyum oksit
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
NO_x	: Azot oksit
SiC	: Silisyum karbür
W	: Tungsten
WC	: Tungsten Karbür
ZrO₂	: Zirkonyum Oksit
µm	: Tane boyutu
HCl	: Hidroklorik asit
HF	: Hidroflorik asit
HNO₃	: Nitrik asit
ml	: Mililitre

1. GİRİŞ

Dünyada kişi başına düşen enerji ihtiyacı, sürekli bir artış eğilimi içerisinde. Enerji taleplerinin artışı fosil yakıtlara, özellikle de petrol ve doğalgaza olan bağımlılığı arttırmaktadır. Enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmaması nedeniyle bu kaynaklar hızla tükenmektedir. Ayrıca bu fosil yakıtlardan elde edilen enerji türlerinde, atıklar doğrudan havaya karışmakta ve bu atıkların büyük bir bölümü karbondioksit başta olmak üzere sera gazlarına dönüşmektedir. Karbon ihtiva eden diğer yakıtları yakan sabit motorlar, endüstriyel motorlar ve ev kazanları gibi kaynaklardan çıkan atık gazların hava kirliliğinin oluşmasındaki katkıları her ne kadar büyükse de, yapılan istatistikler sonucunda büyük şehirlerde motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin, toplam hava kirliliği içindeki payının % 50'lere ulaştığını göstermektedir [1].

Geçen yıllarla beraber otomobil alıcıların ihtiyaçları da büyük ölçüde değişmiştir. Konfor ve tasarım yönlerinin yanında, yakıt tüketimi ve verimlilik araç alıcı ve satıcılarının en önemli konularından biri haline gelmiştir. Bunun nedenlerinden biri, giderek daha da sıkılaştıran yakıt verimliliği standartlarıdır. Mevcut Avrupa emisyon düzenlemelerine göre, aracın yol vergisi oranları egzoz emisyonlarıyla bağlantılıdır. Ayrıca, petrol rezervlerinin sınırlı olduğu gerçeği, daha fazla yakıt tasarrufunun kaçınılmaz bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir [2]. Araç emisyonlarından kaynaklanan gazlar atmosfere yayılarak insan sağlığını tehdit etmektedir. Ayrıca dünyadaki araç sayısındaki hızlı artışla beraber yenilenemeyen enerji kaynakları da hızla tükenmektedir. Bu nedenle doğalgaz, kömür, petrol ve bor gibi yenilenmesi çok uzun zaman alan enerji kaynaklarını en verimli şekilde kullanabilmek ve ortaya çıkan zararlı atıkları da en az seviyeye indirebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Hava kirliliğine neden olan petrol kökenli yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO, HC, NO_x ve partikül emisyonları atmosferi kirleterek ciddi sağlık sorunları oluşturmaktadırlar. Bu yüzden egzoz emisyonlarını azaltmak için yapılan çalışmaların önemi büyüktür [3].

Egzoz emisyonlarındaki artışın en önemli nedenlerinden biri motorda yanmanın tam olarak gerçekleşmemesidir. İyi bir yanma olmadığında hem yakıt sarfiyatı artmakta hem de zararlı gazlar daha fazla ortaya çıkmaktadır. Yapılan bu çalışmanın en önemli hedefi silindir içindeki yanmayı iyileştirerek emisyonların ve yakıt tüketiminin

azaltılmasıdır. Bunun için malzeme yüzeyine kaplama işlemi ile modifikasyon yapılmaktadır.

Malzemelerin yüzeylerine başka bir malzemenin biriktirilmesi işlemine kaplama denir. Kaplama işlemi ile motor parçalarının zor çalışma ortamlarında mukavemetlerinin artırılması, yapısal olarak bozulmalarının önlenmesi ya da en aza indirgenebilmesi, korozyon koşullarda dayanımlarının sağlanması, mekanik sürtünme sonucu çizilme ve aşınmalarının bertaraf edilebilmesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmamızda metallerin çeşitli tozlarla kaplanarak aşınmaya, oksitlenmeye, korozyona ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan bir ısı püskürtme yöntemi olan Plazma Sprey ve toz halindeki malzemenin hızlandırılarak kinetik enerji ortaya çıkarılması ve bu enerjiyle kaplanacak yüzeye çarptırılması mantığına dayanan HVOF tekniği kullanılmıştır. Kaplama işlemi hem dizel hem de benzinli motorların piston, emme ve egzoz supaplarına uygulanmıştır. Ayrıca benzinli motor, deneylerin ardından LPG'li motora dönüştürülmüş ve kaplamanın LPG'li motora etkilerini de gözlemlemek mümkün olmuştur. Ancak içten yanmalı motorların bütün devirlerdeki değerlerini ölçmek yüksek maliyetinin yanında, çok fazla zaman alacağından pek mümkün görünmemektedir. Öğrenme yoluyla tahmini değerler üretebilen YSA'ları kullanıp motorların matematiksel modellerini oluşturarak tüm devirlerdeki tahmini değerlerine ulaşmak mümkündür. YSA, paralel olarak işleyen birçok basit işlem elemanından oluşan ve öğrenme yolu ile kendi kendini düzenleyebilen ileri bir bilgi işlem sistemidir [3]. YSA'ların öğrenme özelliği onları klasik bilgisayar yazılımlarından üstün kılmaktadır. Bir başka önemli özellik ise, bir problemin giriş bilgisi ile çıkış bilgisi arasında uygun bir tasvir gerçekleştirerek en uygun sonucu üretebilmeleridir. Bu sebeple YSA'lar daha çok tahmin problemlerinde kullanılmaktadır [4].

Kaplama işlemi öncesi ve sonrası alınan tüm deney sonuçları YSA'da öğrenmeyi gerçekleştirmek amaçlıdır. YSA'da öğrenme gerçekleştikten sonra içten yanmalı motorların bütün devirlerindeki değerlerine bilgisayar ortamında çok kolay bir şekilde ulaşmak mümkün hale gelmiştir. Bunun yanı sıra ulaşılan değerleri bilgisayar ortamında daha görsel olarak görüntülemek amacıyla bir model tasarlanmıştır.

Model, gerçek bir olayın özeti veya bir temsilcisidir. Basit anlamda günlük yaşamda karşılaşılan durumların bir benzetmesidir. Model, bir sistemin veya sürecin tam bir kopyası değil fakat bazı ayrıntıları içerisinde bulundurarak, sürecin kendisi yerine de kullanılabilir. Modellerin, ele aldıkları konu ve amaca göre çeşitli sınıflandırmaları

mevcuttur. Bu konuda yapılan en geniş çalışma, J. W. Forrester tarafından gerçekleştirilmiştir [5]. Son yıllarda bilgisayar teknolojisinde elde edilen gelişmeler nedeniyle mühendislikte kullanılan matematiksel modellerin çözümü kolaylaşmış ve teorik çalışmalar daha da önem kazanmıştır. Bunun sonucu olarak motor performansının belirlenmesinde ve uygun matematiksel modellerin çözümünde bilgisayarlardan yararlanılarak teorik çalışmalar yapılmaktadır [6]. Çalışmamızda YSA, MATLAB GUI'de matematiksel model oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. MATLAB GUI, yüksek performanslı bir uygulama yazılımıdır. İçeriğinde yer alan nesnelerin kullanılması ile kullanıcıya etkileşim sağlayan ve bir işin veya bir programın koşturulmasını sağlayan grafiksel bir program ara yüzüdür.

Bu çalışmada dizel ve benzinli motor parçalarına yapılan kaplama işlemi ile farklı devirlerde emisyon, ÖYT ve EGS değerlerindeki değişim incelenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar YSA'ya giriş olarak uygulanarak motorların bütün hızlardaki değerleri tahmin ettirilmiştir. MATLAB GUI'de oluşturulan ara yüz programı ile motorların matematiksel modelleri oluşturularak NM ve KM değerleri kıyaslanmıştır.

Çalışmamızın ilk bölümünde giriş yapılmış, ikinci bölümünde TBK, TBK yöntemleri, TBK'larda kullanılan seramik malzemeler anlatılmıştır. Üçüncü bölümde motor emisyonları, ÖYT ve EGS anlatılmıştır. Dördüncü bölümde YSA konusuna genel hatlarıyla değinilmiştir. Beşinci bölümde literatür taraması yapılmış ve tez daha önce yapılmış çalışmalarla desteklenmiştir. Altıncı bölümde çalışmanın materyal metodu; yapılan deneyler, kullanılan araç ve gereçler, YSA'da ve MATLAB GUI'de hazırlanan programların tasarlanış aşamaları anlatılmıştır. Yedinci bölümde performans, emisyon ve YSA sonuçları karşılaştırmalı olarak grafikler halinde verilerek sonuçlar analiz edilmiştir.

Sonuç ve öneriler bölümleriyle tez sonuçlandırılmıştır.

2. TERMAL BARİYER KAPLAMA

Yüksek sıcaklıklara, maruz kalan parçalarda meydana gelen oksidasyonu, aşınmayı, korozyonu ve erozyonu önlemek amacıyla oluşturulan katmanlara TBK denir. TBK'nın temel işlevi gaz türbini, içten yanmalı motor gibi yüksek sıcaklık koşullarında çalışan sistemlerin metalik bileşenlerini korumaktır. TBK'lar sayesinde metalik bileşenlerin yüzey sıcaklığını, kaplamanın kalınlığına ve termal özelliklerine bağlı olarak 100-3000 °C civarında düşürmek mümkündür. Sıcaklıktaki bu düşüş, metalik bileşenlerin yüksek sıcaklıklardaki oksitlenme hızı ve mekanik mukavemeti göz önüne alındığında kayda değerdir [7].

TBK'ların gaz türbinleri üzerindeki en önemli katkısı kullanım sıcaklığını arttırmasıdır. Kullanım sıcaklığının yükselmesi türbin ya da motorun verimini doğrudan etkiler. 1965 yılından 1985 yılına kadar kullanılan Nikel(Ni) esaslı çeşitli tek kristallerin geliştirilmesi ve kullanılmasıyla parçaların sürünme ve yorulma dirençleri artmış ve 80 °C'lik bir kullanım sıcaklığı artışı sağlanabilmiştir. Ancak bu tarihten sonra geliştirilen TBK'lar türbin kanatlarının kullanım sıcaklığında 200 °C'ye varan artışlar sağlamıştır. Yine TBK'ların kullanılmasıyla oksitlenme direnci artmış ve sürtünmeden ileri gelen hasarlar en alt seviyeye indirilmiştir. Bunun yanında TBK kullanımı parça üzerinde yerel sıcaklık değişimlerini azaltmış ve böylece bozulma oranı düşürülmüş ve termal yorulma süresi uzamıştır. TBK'lar uygulandıkları metalik komponentlerin, yüzey sıcaklıklarını düşürerek ve aşırı servis koşullarına karşı koruma sağlayarak servis ömrünü arttırırlar [8].

TBK'da üç temel katman bulunur. Bunlardan birincisi kaplanacak malzeme, ikincisi seramik kaplama malzemesi ve üçüncüsü de bu iki malzemenin birbirine kuvvetli bir şekilde tutunmasını sağlayacak bağlayıcı katmandır. TBK'da öncelikle kaplanacak bir altlık malzeme seçilir. Seçilen bu altlık malzemeye seramik malzemenin tutunabilmesi için altlık önce kimyasal olarak temizlenir. Daha sonra abrasif parçacıklar püskürtülerek pürüzlendirilir. Partiküller pürüzlü yüzeyin hem oyuklarına girerek hem de yüzey pikleri üzerinde büzüşerek katılaşırlar ve kaplamanın daha kuvvetli olarak bağlanmasını sağlarlar [9].

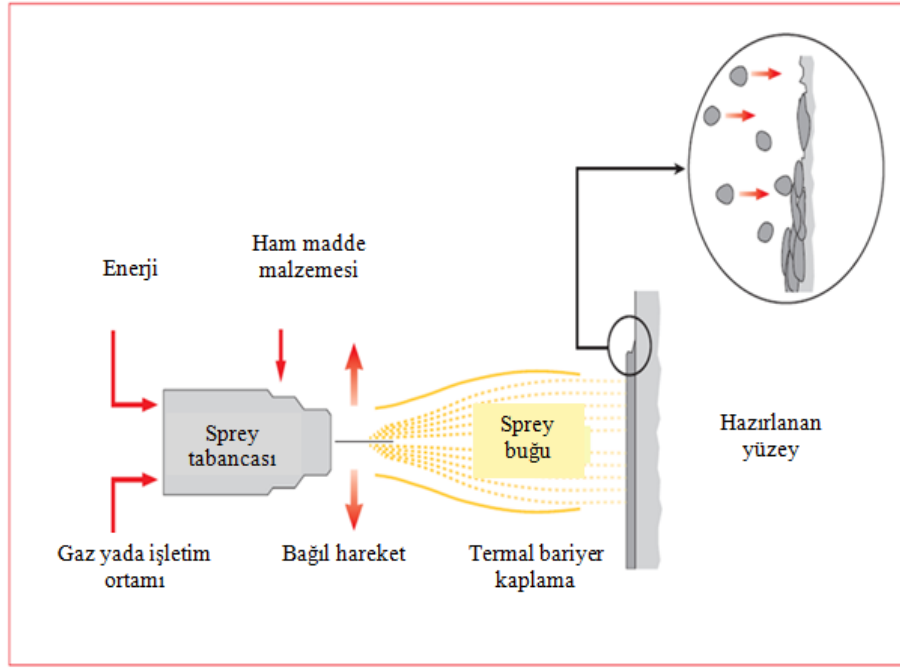
TBK'lar da, var olan malzeme özelliklerini iyileştirmek amacıyla sırayla aşağıdaki işlemler uygulanır;

- Problemlerin tespiti,
- İstenen kaplama özelliklerinin belirlenmesi,

- Yöntem, cihaz ve kaplama malzemenin seçilmesi,
- Kaplama işleminin uygulanması,
- Sonuçların teknik ve ekonomik açıdan incelenmesi ve değerlendirilmesi.

Başarılı bir kaplamanın elde edilmesi için alt malzeme özellikleri, kaplama işlemi için kullanılan cihazın teknik özellikleri, püskürtülecek malzeme özellikleri gibi parametrelerin iyi seçilmesi gerekmektedir [10].

Şekil 2.1’de TBK prosesinin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 2.1. TBK prosesi genel görünümü [2].

Farklı spreyleme teknikleri, ısı kaynağı tarafından sağlanan farklı sıcaklıklar ve farklı parçacık hızlarına sahiptirler. Uygulamanın maliyeti, kullanım gereksinimleri, kaplama cinsi gibi faktörlere bağlı olarak uygun teknik seçilmelidir [11].

2.1. Termal Bariyer Kaplamanın Tarihçesi

TBK işlemi, çeşitli malzemeleri korozyondan korumak için çinko kullanımı amacıyla 1900’lerin başlarında keşfedildi. İlk kez termal spreyleme prosedürü alev spreyleme olarak 1911 yılında İsviçre’de kullanıldığı kabul edilir. Daha sonra 1950’li yıllarda patlamalı tabanca spreyleme tekniği geliştirildi. 1950’lerin sonları ile 1960’ların başlarında plazma spreyleme tabancasının geliştirilmesiyle, kaplama malzemesi olarak seramikler ve refrakter metaller gibi yüksek sıcaklık malzemelerinin kullanılması ticari olarak uygulanabilir hale geldi.

Alev ve plazma spreye ilave olarak HVOF ve patlamalı tabanca sprej teknikleri ile günümüzde termal sprej işlemleri son derece zor ve yüksek beklenti gerektiren koşullarda dahi yaygın olarak kullanılmaktadır [12]. TBK teknolojisi endüstriyel olarak ilk defa 1939 yılında Reinecke tarafından uygulanmış ve Amerikan şirketleri tarafından geliştirilmiştir.

NASA tarafından 1950'li yıllarda kaplamayla ilgili çalışmalara başlanmış ve günümüze kadar devam etmiştir. Kaplama yapmakta ki amaç motor parçalarını daha dayanıklı hale getirmek ve korumaktır. Uçakların ve gaz türbin kanatlarının kaplanması ilk olarak emaye kaplamalar kullanılmıştır. Bu sürecin ardından alev sprej tekniği geliştirilmiş, bu yöntemle birlikte çeşitli metal ve seramik kompozisyonlarının karışımı kaplama olarak kullanılmıştır. TBK'lar için Kalsiyum oksit(CaO), Alüminyum oksit(Al_2O_3), Zirkonyum Oksit(ZrO_2), altlık/tabana malzemesi olarak da Ni ve Molibden(Mo) denenmiştir. Bunların kullanılmasıyla daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı kaplamalar geliştirilmeye başlanılmıştır. Al_2O_3 'in termal iletkenliğinin diğer bileşenlerle olan uyumsuzluğu bu alanda gelişimini önlemiştir. Bu uyumsuzluk, kaplamaların üretimi ve servis koşulları içerisinde aşırı ısınma ve soğuma kökenli, çekme gerilmeleri oluşturması sonucu kaplama ömrünü kısaltmaktadır [13,14].

TBK'lar 1970'li yılların ortasında gaz türbin motorlarının yanma odasında başarıyla kullanılmıştır. 1980'li yılların başında uçakların türbin motorlarının kanatlarına kaplama işlemi yapılmaya başlanmıştır [15].

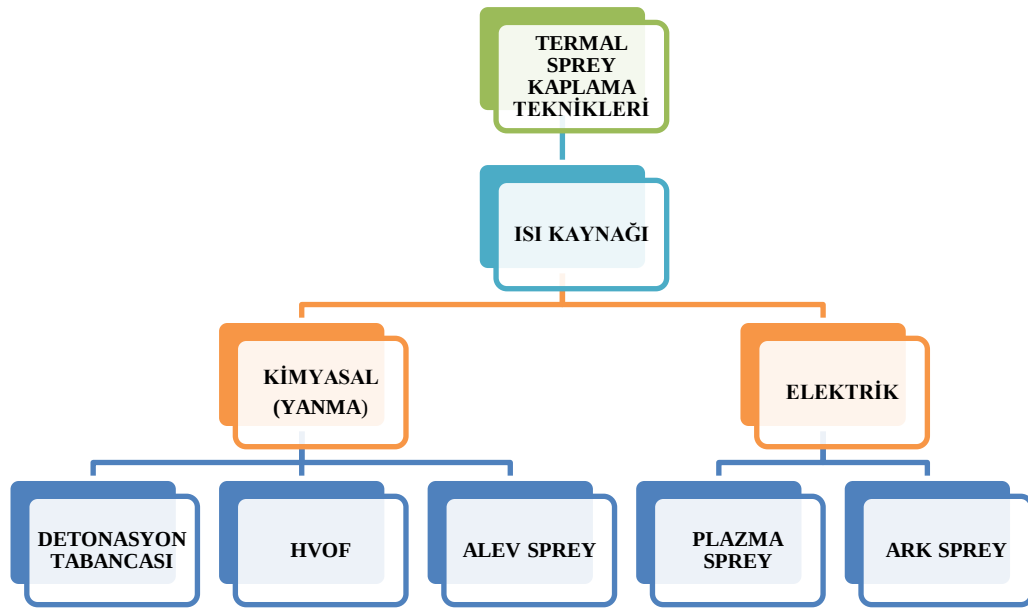
Günümüzde ise TBK mühendislerin yüksek sıcaklık uygulama alanlarında (uçak motor parçaları, uydu, roket sistemleri, fırınlar, kazanlar, petrokimya tankları, nükleer santraller, motor parçaları, gaz türbinleri), parçaların zor çalışma ortamlarında mukavemetlerinin artırılması, yapısal olarak bozulmalarının önlenmesi ya da en aza indirgenebilmesi, korozyon koşullarda dayanımlarının sağlanması, mekanik sürtünme sonucu çizilme ve aşınmalarının bertaraf edilebilmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır.

2.2. Termal Bariyer Kaplama Yöntemleri

TBK yöntemleri genel olarak kaplama malzemesinin ergimiş ya da yarı ergimiş hale getirilerek kaplanacak yüzeye püskürtülmesi prensibine dayanır [16]. Bütün termal sprej prosesleri aynı prensibe dayanır. Isıtılan toz veya tel materyal parçacıklar hızlandırılarak kaplanacak yüzeye çarptırılır. Yüzeye çarptırılan bu materyaller kaplama

yüzeyine yapışır. Milyonlarca toz parçacığı kaplama yüzeyine mekanik ya da metalik bağlarla bağlanır ve parçacıkların üst üste binmesi ile kaplama istenilen hali alır [17].

Termal sprey, püskürtmeyle kaplama teknolojisinin genel adı olup; bu başlık altında birçok kaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemin başlıcaları; alev sprey, ark sprey, plazma sprey, HVOF ve detonasyon tabancasıdır. Isı kaynaklarına göre TBK yöntemleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

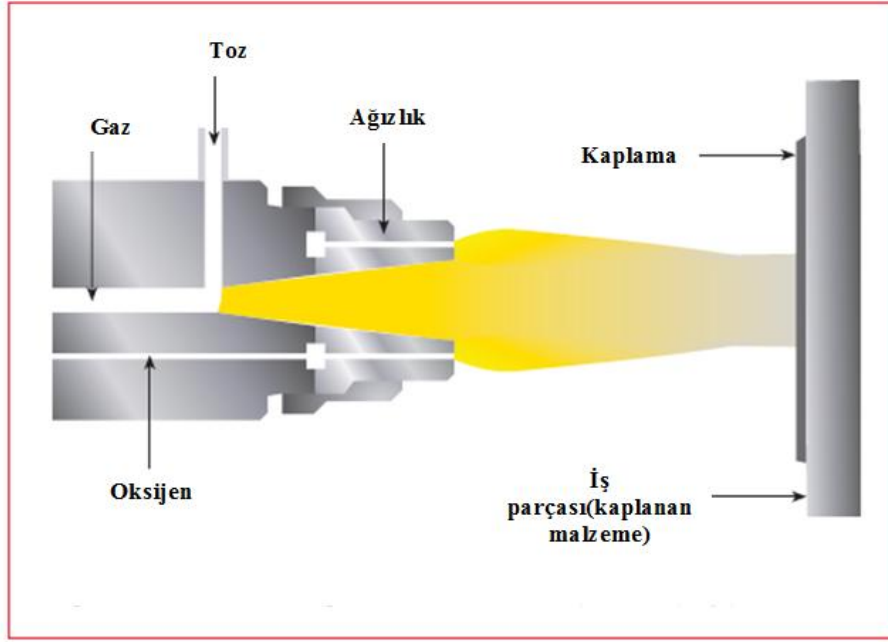


Şekil 2.2. Isı kaynaklarına göre TBK yöntemleri [18].

2.2.1. Alev Sprey Kaplama Yöntemi

Bu yöntemde kalay ve kurşun telleri gibi malzemeler kaplama maddesi olarak kullanılır. Bir besleme düzeneği sayesinde gaz odasına aktarılan bu malzemeler oksijenle yakılarak eritilir ve kaplanacak yüzey üzerine iletilir. Bir diğer alev sprey yönteminde ise kaplama malzemesi olarak asetilen, propan veya hidrojen gibi toz malzemeler kullanılır. Bu parçacıklar yine oksijenle yakılarak kaplanacak malzemeye püskürtülür. Alev püskürtme yönteminin düşük ilk yatırım maliyeti, yüksek dolgu oranı ve düşük bakım masrafı en önemli olan üstün özellikleridir. Ancak düşük bağ mukavemeti, kaplama tabakasındaki yüksek boşluk seviyesi ve düşük çalışma sıcaklığı yöntemin olumsuz olan özellikleridir [19].

Şekil 2.3'te toz malzemeler için alev sprej sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Toz malzemeler için alev sprej sistemi şematik gösterimi [2].

2.2.2. Plazma Sprej Yöntemi

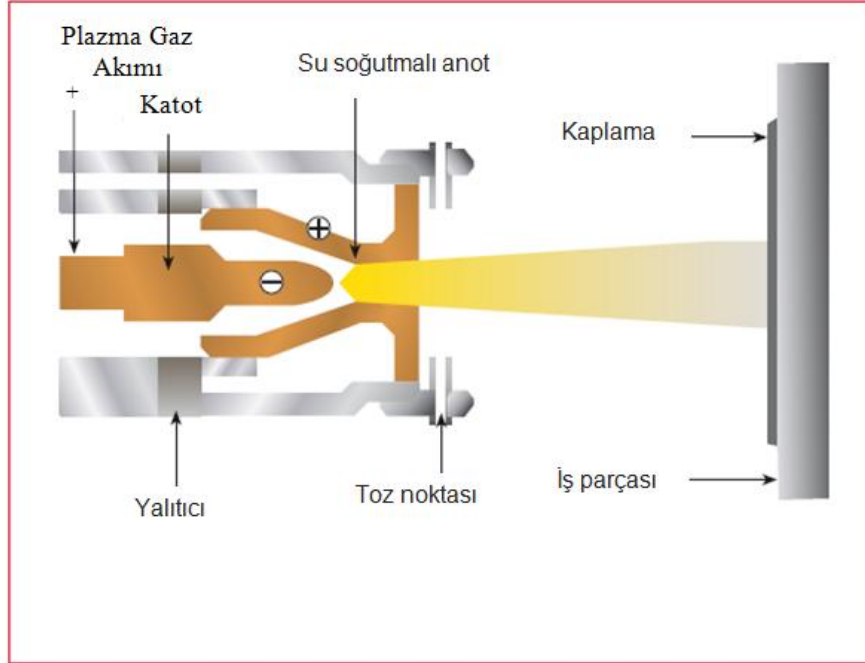
Plazma, eşit sayıda serbest elektron ve pozitif iyon bulunduran, genellikle maddenin dördüncü hali olarak adlandırılan yoğunlaştırılmış bir gazdır. Plazma püskürtme kaplama ise; metallerin çeşitli tozlarla kaplanarak aşınmaya, oksitlenmeye, korozyona ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan bir ısı püskürtme yöntemidir [20]. Başka bir deyişle plazma sprej kaplama yöntemi bir malzemenin eritilerek bir başka yüzey üzerine püskürtülmesidir.

Plazma sprej kaplama teknolojisi, termal sprej ailesinin alt bir grubudur ve 1937 yılında Reineck tarafından bulunmuş, daha sonra bu teknoloji Amerikan şirketlerince geliştirilmiştir. Plazma sprejin ilk endüstriyel uygulamaları 1960'lı yıllarda havacılık sahasında görülmüştür [21]. Plazmanın başlıca iki önemli avantajı vardır. Bunlardan birincisi, bilinen bütün malzemeleri eritebilecek derecede yüksek sıcaklık elde edilebilmesi, ikincisi ise diğer malzemelere daha iyi ısı transferi sağlamasıdır. Plazma sprejde argon, hidrojen veya azot gibi soy gazlar kullanıldığından kaplanacak malzemenin oksitlenme sorunu asgariye inmektedir [22].

Plazma sprej yönteminde kaplama malzemesi sıcak plazma alevi içine beslenir; yarı plastik bir hale gelene kadar ısıtılır ve altlık malzemesine doğru hızla püskürtülür.

Çarpma sonucunda sıcak parçacıklar altlık malzemesine ve daha sonra birbirlerine yapışarak kaplama tabakasını oluştururlar [23].

Plazma sprej tabancasının kesiti ve plazma oluşumu Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Plazma sprej sürecinin şematik diyagramı [2].

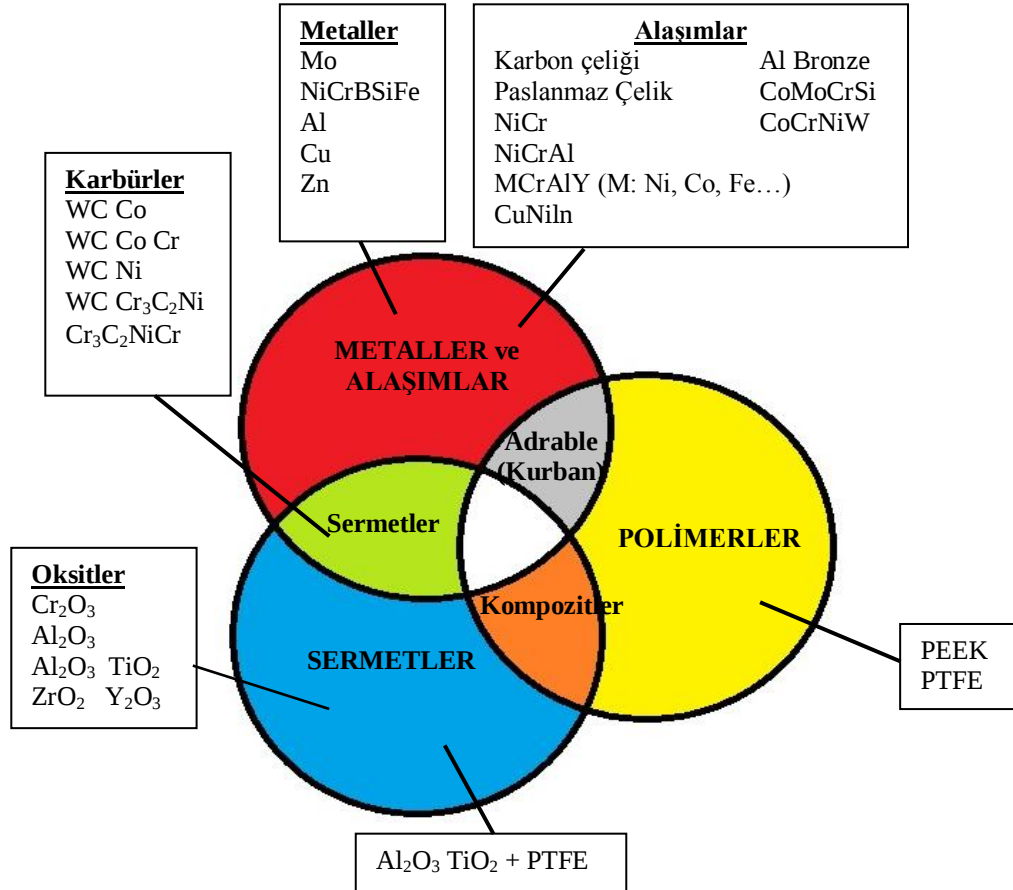
Klasik bir plazma püskürtme sistemi genel olarak:

- Güç ünitesi,
- Gaz besleme ünitesi,
- Toz besleme ünitesi,
- Soğutma sistemi,
- Plazma tabancası,
- Kontrol ünitesi,

gibi bileşenlerden oluşmaktadır.

Plazma sprej yöntemiyle gerçekleştirilen seramik kaplamalar birçok metalden daha iyi aşınma ve erozyon direncine sahiptirler ve dizel motorları da dahil erozyon ve aşınma dirençli uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar. Plazma sprej işlemi vakum veya düşük basınç altında da gerçekleştirilebilir. Bu durumda süreç düşük basınçta plazma sprej ya da vakum plazma sprej adını alır. Bu yöntemin iki önemli avantajı vardır. Bunlardan birincisi atmosfer ortamından kaynaklanan oksitlenmenin önüne geçilmesidir. İkincisi ise ortaya çıkan zararlı olabilecek gaz ve malzemelerin kapalı ortamda tutulmasıdır [16].

Plazma sprej prosesinde oluşan plazmanın çok yüksek sıcaklıklara sahip olması dolayısı ile çok yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerin kaplama tozu olarak kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. şekil 2.5’de görüldüğü üzere plazma spreyleme çok geniş bir spektrumda kaplama malzemesine sahiptir.



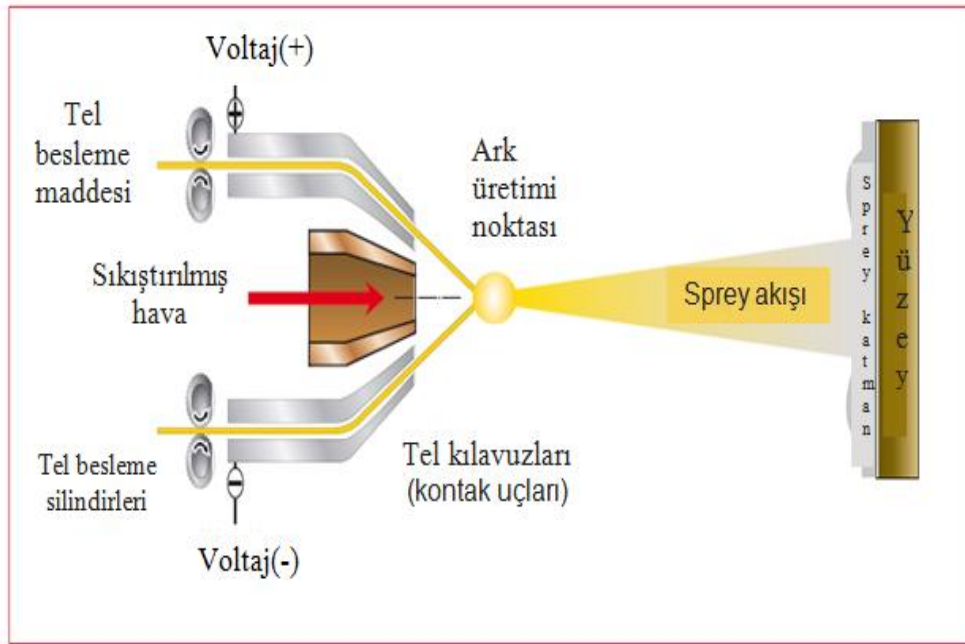
şekil 2.5. Plazma sprej kaplama prosesi ile kaplanabilen malzemeler [21].

Plazma sprej ile kaplamanın iyi olabilmesi ve malzemenin yapışabilmesi için yüzeyin przli olması ve yağ, kir barındırmaması gerekmektedir. Pürüzsüz bir yüzey varsa bu yüzey çeşitli yöntemlerle przlendirilir. Püskürtme işlemi bu işlemden sonra yapılır. Plazma spreylemenin genel olarak avantajları;

- Sabit bir ergime noktasına sahip tüm malzemelerin kaplamada kullanılabilmesi,
- Her türlü malzemenin kaplanabilir olması,
- Her büyüklükte ve geometrideki iş parçalarının kaplanabilir olması,
- Prosessin mkemmел otorizasyona imkan vermesi,
- Esnek, iyi tekrarlanabilir, yüksek hassasiyette ve kalite standartlarında kaplama üretimini mümkün kılmaması şeklinde sıralanabilir [21].

2.2.3. Elektrik Ark Spreyleme Yöntemi

Elektrik ark spreyleme yönteminde metal tel veya toz halinde kaplama malzemesi kullanılır. Kaplama malzemesi (tel) besleme tabancası yardımıyla yanma odasına ulaştırılır. Pozitif ve negatif iyonlarla yüklenmiş ortamdan geçen tellerde bir ark oluşarak teller erir. Daha sonra ortamda bulunan gazların uyguladığı basınç yardımıyla eriyen teller kaplama yüzeyine püskürtülür [23]. Elektrik ark tel spray ilkesi Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Elektrik ark tel spray ilkesi [2].

2.2.4. Detonasyon Tabancası Tekniği

Bu teknikle kaplama, 2-3 cm iç çapında 1-1,5 m uzunluğunda su soğutmalı bir yanma odasında taşıyıcı gaz ve oksijen-asetilen gaz karışımının kontrollü bir şekilde infilak ettirilmesiyle (patlatılmasıyla) kaplama tozlarının ergitilmesi ve yüzeye püskürtülmesiyle gerçekleşir. Gaz karışımı bir elektrik kıvılcımı ile saniyede 4-8 kez infilak ettirilir, sistem devamlı olmayıp kesiklidir. Bu teknikle üretilen kaplamalar, yoğun, sert ve yüksek yapışma özelliğine sahiptir. İş parçasının az ısınması ve karbürler gibi ergime sıcaklığının yüksek olduğu malzemelerin kaplanması prosesin avantajıdır. Buna karşılık düşük biriktirme hızı, esnek olmaması ve pahalı bir proses olması tekniğin dezavantajlarıdır. Yüksek sıcaklıklarda çeşitli aşınma türlerine karşı gaz türbin motor

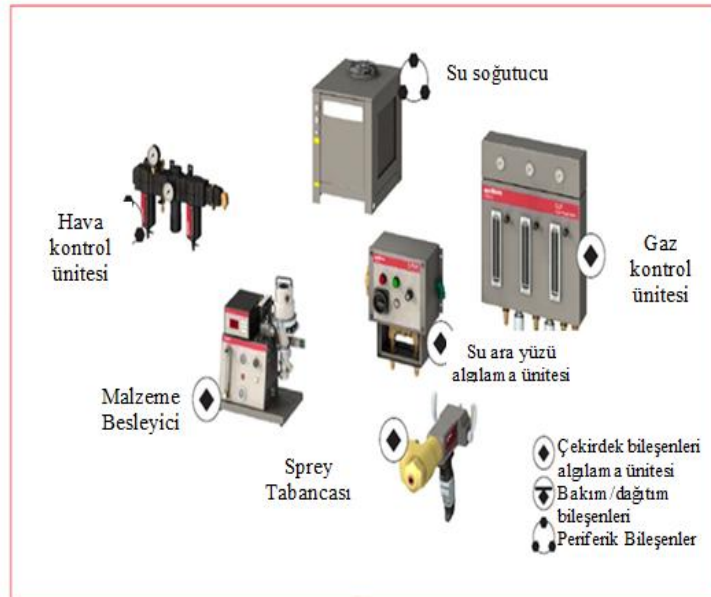
parçacıklarının korunmasında, tekstil makine parçaları, kağıt ve plastik sanayisinde, nükleer güç endüstrisinde ve kesici uçlarda detonasyon tabancası tekniği uygulanmaktadır [24].

2.2.5. HVOF (Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme) Yöntemi

Toz halinde ki malzemenin hızlandırılarak kinetik enerji ortaya çıkarılması ve bu enerjiyle kaplanacak yüzeye çarptırılması mantığına dayanan bir yöntemdir.

Bu yöntemde O_2 ve yakıt gazı, yüksek basınçlarda kullanılır. Kullanılan gazlar propan, propilen ve hidrojenidir. Kaplama malzemesi tabanca içerisindeki yanma odasına, azot kullanılarak iletilir. Yakıt, O_2 ile tabanca içerisinde karıştıktan sonra dışarıya püskürtülür. HVOF alevinin yapısı, genleşen gaz akışının süpersonik karakteri tarafından şekillendirilmektedir. Tork çıkışında ulaşılan ses üstü hız ve akışın genleşmesi ses üstü hızın karakteristikleri olan genleşme-sıkıştırma dalgaları ve “shockdiamonds” oluşumuna yol açar. HVOF spreyleme tekniğinde $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşan alev sıcaklıkları ve 1600 m/s spreyleme hızları ölçülmüştür. Kaplamada kullanılan partiküllerin boyutları $4\text{-}4,5$ mikron arasında olabilmekle birlikte, $20\text{-}120\text{ gr/dk}$ aralığında bir hızla beslenebilmektedir. Kaplama prosesinde spreyleme mesafesi $150\text{ ile }300\text{ mm}$ aralığındadır. Taşıyıcı gaz olarak azot ve argon kullanılmaktadır [25,26].

Tipik manuel HVOF püskürtme sistemi Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Tipik manuel HVOF püskürtme sistemi [2].

Ateşlenen yakıt kaplama malzemesini çevreleyerek, kaplama tozunu ısıtır ve taban malzeme üzerine iletir. Toz malzemenin kazandığı yüksek kinetik enerjiden dolayı tamamen ergimeye gerek yoktur. Parçacık yarı ergimiş halde ve plastik deformasyona uğramış bir şekilde taban malzeme üzerine çarpar ve yüzeye yayılarak kaplamayı oluşturur. HVOF termal sprey sisteminin en önemli özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Temiz, sert ve yoğun yapıda,
- Yüksek bağ mukavemetine sahip,
- Korozyon ve aşınma direnci yüksek kaplamalar üretilebilmesi,
- Termal kalıntı gerilmelerin oldukça düşük seviyede olması,
- Karmaşık geometrilerin kaplanmasına olanak vermesi ve sistemin tam otomatik olarak kullanılabilir olması [16].

HVOF yönteminin önemli özelliklerinden bir tanesi de, püskürtme anında esas metalin yüzey sıcaklığının yaklaşık 100 °C' yi aşmamasıdır. Bundan dolayı malzemede bozulma ve metalürjik olarak bir değişme meydana gelmez. Püskürtme torku ve esas yüzey arasındaki mesafenin ayarlanmasıyla esas yüzeyde anormal bir sıcaklık artışı görülmemiştir [27].

HVOF yönteminin uygulama alanları:

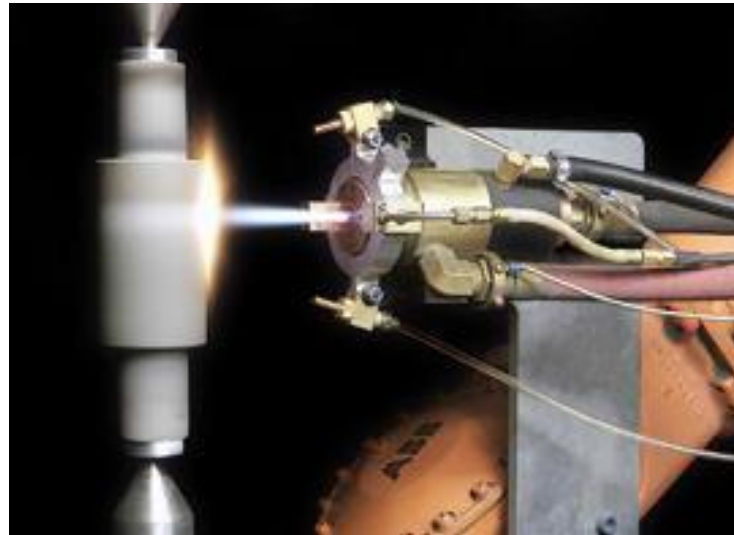
- Uçak sanayinde: Türbin kanatları,
- Kâğıt sanayinde: Kurutma silindirleri, sıyırıcı bıçaklar,
- Tekstil sanayinde: Polimer bıçakları,
- Tel çekme sanayinde: Tel çekme makaraları,
- Petro kimya sanayinde: Salmastra burçları, piston rodları, sürgülü vanalar,
- Lastik sanayinde: Bamburimikserleri [28].

HVOF yöntemiyle yapılan tungsten-karbür kaplamalardan, plazma yöntemine göre daha yüksek bağlanma mukavemeti, düşük oksit içeriği ve poroziteye sahip kaplamalar elde edilir. Püskürtme sistemleriyle, yapılan kaplamaların karakteristik özelliklerini Tablo 2.1'de görmek mümkündür [29].

Tablo 2.1. Çeşitli kaplama yöntemlerinin karakteristik özellikleri (%88 WC, %12 Co)

	HVOF	D-Gun	Stardart Plazma	Yüksek-Hızlı Plazma
Alev sıcaklığı(°C)	2760	2760	11.100	11.100
Gaz Hızı	March 4	March 3	Ses Altı	March 1
DPH300	1.050	1.050	750	950
Porozite(%)	0	<1	<2	<1
Bağlanma Mukavemeti(MPa)	69	69	55.2	69
Kalınlık (inc)	0.060	0.030	0.025	0.015
Oksit İçeriği(%)	<1	<1	<3	<1

HVOF sisteminde tabancanın ucunda de Laval olarak adlandırılan bir başlık bulunur. Bu başlığın geometrisi önce daralıp sonrasında genişleyerek bir kum saatine benzer. Başlık içerisinde gerçekleşen süreç isentropik ve adyabatiktir. Gazlar giriş noktasından çıkış noktasında kadar doğrusal bir çizgi üzerinde hareket eder. Ses hızının altında hareket eden gazlar geçiş bölgesinin daralmasıyla hızlanmaya başlar. HVOF yöntemi ile yapılan kaplama işleminin görüntüsü Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. HVOF yöntemi ile yapılan kaplama işleminin görüntüsü

Nozulun en dar noktasında gazlar ses hızına denktir ve bu noktadan sonra geçidin tekrar genişlemesiyle genişleşip süpersonik değerlere ulaşır. Gazın ses hızının üzerine

ıkabilmesi ancak belirli debi ve basına sahip olduğu durumlarda olanaklıdır. TBK sistemleri ve zellikleri Tablo 2.2’de gösterilmektedir [30].

Tablo 2.2. TBK sistemleri ve zellikleri

Biriktirme Tekniği	Isı Kaynağı	İtici Gaz	Tabanca Sıcaklığı (°C)	Parçacık Hızı (m/s)	Kaplama Malzemesi	Yapışma Mukavemeti (MPa)	Porozite Seviyesi (hacimce %)
Elektrik Ark	Elektrodlar Arası Ark	Hava	600	40	Sünek Malzemeler	40-60	8-15
APS	Plazma Ark	İnert Gaz	16000	120-600	Metalik Seramik Plastik Bileşik	30-70	2-5
LPPS	Plazma Ark	İnert Gaz	16000	900	Metalik Seramik Plastik Bileşik	>70	<5
Alev Püskürtme	Oksiasetilen/ Oksihidrojen	Şok Dalgaları	3300	240	Metalik Seramik	20-28	10-20
HVOF	Propan/ Propilen/ Hidrojen/ Kerosen	Hava	2800	1350	Metalik Seramik	40-96	0,5-2

2.3. Kaplama Yüzeylerinin Hazırlanması

2.3.1. Yüzey Temizleme İşlemi

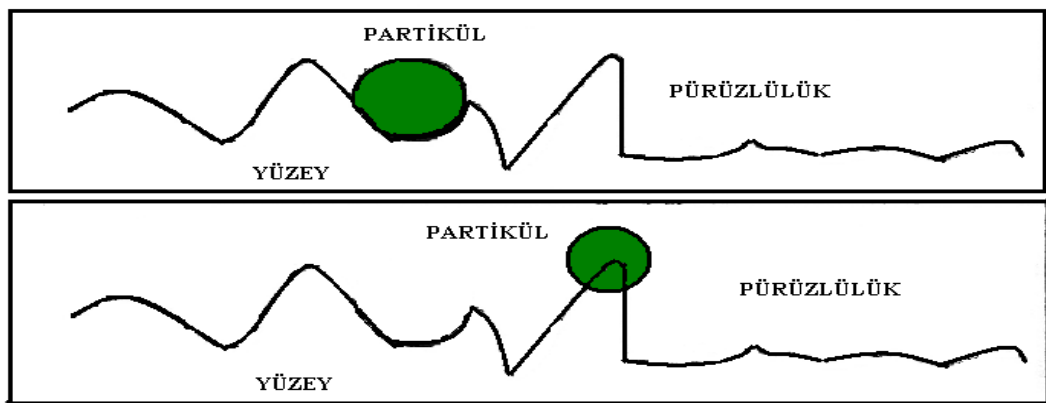
İyi bir kaplama yapabilmenin n koşulu kaplanacak olan metal malzemenin kir, pas ve yağ gibi katmanlardan çok iyi arındırılmasıdır. Bunun için çeşitli kimyasallar kullanılır.

Malzemenin iyi temizlenmesi uygulanacak olan seramik kaplamanın mukavemetini artırır. Temizleme işlemi genellikle alkol veya sıcaklık verilerek yapılır.

2.3.2. Yüzey Pürüzlendirme İşlemi

Temizleme işlemi bittikten sonra pürüzlendirme işlemine geçilir. Pürüzlendirme işleminde kullanılan malzeme bağ tabakayı oluşturur. Pürüzlendirme işlemi için genellikle Silisyum Karbür(SiC), Al_2O_3 tozları ve kuvars kumu kullanılmaktadır. Yüzey hazırlama işleminin tipi ve yüzeyin pürüzlülük derecesi kaplamanın cinsine ve kalınlığına bağlıdır. Kumlama için kullanılan havanın ve kumlama malzemesinin kuru olması gerekmektedir. Ayrıca kumlama malzemelerinin daha önce başka bir amaç için kullanılmamış olması, yağsız ve temiz olması önemlidir. Arzu edilen yüzey pürüzlülüğüne keskin köşeli kumlarla ulaşmak mümkündür. Kumlama sonucu elde edilen pürüzlülük derecesi; aşındırıcının tane boyutuna, hava basıncına, ana malzemenin yüzey sertliğine, püskürtme açısına, aşındırıcının şekline vs. bağlıdır [31].

Pürüzlendirmenin başlıca sebeplerinden biri kaplama ve alt tabaka arasında güçlü bir mekanik bağ temin etmek için yeterli yüzey pürüzlülüğü meydana getirmektir. Yüzey pürüzlendirme işleminin hangi metotla ve ne kadar yapılacağı, uygulanacak kaplamanın enine ve kalınlığına göre seçilmektedir. Bu yüzden de kaplama kalınlığı ve kaplama cinsi, yüzey hazırlama metodunun seçimi için en önemli iki faktördür. Yüzey topografyası pürüzsüz dalgalı olmamalı ve keskin değişimli olmalıdır. İyi mekanik bağlanma gösteren pürüzlülük tipleri Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. İyi mekanik bağlanma gösteren pürüzlülük tipleri [32].

Diğer taraftan, aşırı kumlama iş parçasının sertleşmesine, piklerin körleşmesine ve yüzeyde fazla kum artıklarının kalmasına neden olmaktadır. Kumlama zamanı ve basıncı arttıkça yüzeyde kirliliğe neden olan kum kalıntısı ve pürüzlülük artmaktadır. Bağlanma

katmanı, seramik katmanın bağlanmasını sağlamasının yanında taban malzemeyi oksitlenmeden ve korozyondan korur. Bağlanma katmanı yüksek sıcaklıklarda oksitlenir ve bunun sonucunda seramik metalik katman ara yüzeyinde oksijen bariyeri olarak adlandırılan bir katman oluşumu gözlenir. Oksijen bariyeri katmanının yapısını süreklilik gösteren $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ oluşturur. Bu katman, sistemin çalışma koşullarında zararlı diğer oksitlerin oluşmasını baskılayan bir difüzyon bariyeri olarak işlev yapar ve sonuçta sistem ömrünü uzatır. Ancak bu koruyucu katmanın yanı sıra krom(Cr) ve Ni'nin oluşturduğu oksitlerin saptandığı da rapor edilmiştir. Bağlanma katmanının oksitlenmesi TBK'nın ayrılmasına sebep olan en büyük etmendir [33].

2.3.3. Maskeleme

Kaplamalarda yüzeylerin örtülmesine maskeleme işlemi denir. Kaplanacak parçanın sadece gerekli kısımlarının kaplanabilmesi için, çeşitli maskeleme teknikleri kullanılır. Bunlar; metal maskeleme, lastik maskeleme ve bazı oksit boyalarla maskeleme teknikleridir. Kaplama hızı yüksek olan uygulamalarda metal ve lastik maskeleme daha uygundur [34].

2.4. Seramik Kaplama Malzemeleri

Seramik, farklı bileşimdeki kristal ve cam yapılı fazları içeren ve genellikle poroziteye sahip olan malzemelerdir. İyonik ve kovalent bağ yapısına sahip olan seramik malzemelerin, yüksek sıcaklıktaki mukavemet ve sertlikleri, korozyona karşı dirençleri (özellikle şiddetli koroziv ve oksitli atmosferde) ve yorulma dirençleri yüksektir. Bu özellikleri ile seramik malzemeler, aşınmanın etkili olduğu uygulamalarda kullanılan bir malzeme grubunu oluşturmaktadır [35].

Parçaları seramik malzemeden yapmak daha uygunmuş gibi görünse de gerek maliyet gerekse yapısının gevrek olması nedeniyle pek tercih edilmemektedir. Bunun yerine ürünleri seramik malzemelerle kaplamak daha uygun olmaktadır.

Seramik kaplamalar genel olarak:

- Koruma kaplaması olarak,
- Sürtünmeyi azaltıcı olarak,
- Korozyon önleyici olarak,

- Termal bariyer olarak,
- Elektrik izolatörü, yarı iletken ve süper iletken olarak,
- Genel tokluğu ve aşınma direncini artırıcı olarak, makine elamanları üzerinde kullanılmaktadırlar [36,37].

Günümüzde seramik malzemelere ilginin artmasının başlıca nedenleri aşağıda belirtilmiştir:

- Yüksek sıcaklık dayanımı,
- Kimyasal kararlılığın yüksek olması,
- Çok sert olmaları,
- Metallerden hafif olmaları,
- Hammadde olarak bol miktarda bulunmaları ve genellikle metallere kıyasla ucuz olmaları,
- Pahalı ve stratejik metallere ihtiyaç göstermemesi,
- Erozyon ve aşınmaya karşı dirençlerinin yüksek olması,
- Oksitlenmeye karşı dirençlerinin yüksek olması,
- Sürtünme katsayısının düşük olması,
- Basma mukavemetinin yüksek olması.

Bütün bu üstün özelliklerine rağmen, seramik malzemelerin en önemli istenmeyen özelliği gevrek karakterde olmalarıdır [38].

Seramikler geleneksel ve mühendislik seramikleri olmak üzere ikiye ayrılırlar. Geleneksel seramiklerde hammadde bakımından kil, kaolen, feldispat gibi malzemeler kullanılmaktadır. Geleneksel seramiklere cam, çimento, porselen, seramik sağlık gereçleri, fayans, tuğla-kiremit, çanak, çömlek, çini gibi malzemeler örnek gösterilebilir. Mühendislik seramiklerinde ise hammadde olarak Al_2O_3 , SiC, Magnezyum oksit(MgO), ZrO_2 gibi malzemeler kullanılır.

Bazı basit seramik bileşikler ve erime sıcaklıkları Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

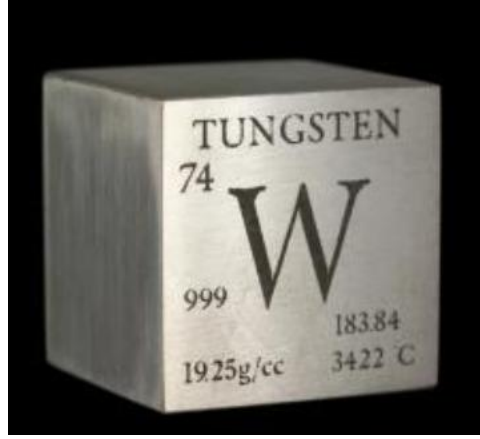
Tablo 2.3. Bazı basit seramik bileşikler ve erime sıcaklıkları [39].

Seramik Bileşik	Sıcaklığı (°C)
Hafniyum karbür, HfC	4150
Titanyum karbür, TiC	3120
Tungusten karbür, WC	2850
Magnezyum oksit, MgO	2798
Silisyum karbür, SiC	2500
Bor karbür, B ₄ C	2450
Alüminyum oksit, Al ₂ O ₃	2050
Silisyum dioksit, SiO ₂	1715
Silisyum nitrür, Si ₃ N ₄	1900
Titanyum dioksit, TiO ₂	1605

Farklı birçok kaplama yöntemiyle, Vanadyum(V), Titanyum (Ti), Zirkonyum(Zr), Hafniyum (Hf), Niobyum(Nb), nitrür ve karbonnitrürleri ve çeşitli oksit esaslı seramikler (Al₂O₃, Cr₂O₃, BeO, MgO, Zr₂O) içeren kaplamalar metaller üzerine başarı ile uygulanabilmektedir. En yaygın ve uygulaması kolay seramik kaplama işlemi seramik tozlarının püskürtülerek metal üzerine kaplanmasıdır. Bu amaçla en uygun seramik kaplama malzemeleri, mikron boyutunda üretilen toz formundaki malzemelerdir [2]. Bu çalışmada kaplama malzemesi olarak WC ve Cr₃C₂ kullanılmıştır. Bu nedenle kaplama malzemelerinden bu ikisi üzerinde durulacaktır.

2.4.1. Tungsten

Tungsten (volfram) periyodik cetvelin 74 numaralı elementine verilen isimdir (Şekil 2.10). Kimyasal sembolü W'dur. Endüstriyel uygulamalar açısından iyi özelliklere sahip bir metaldir. Cr'den sonra en yüksek ergime sıcaklığına sahip olmasının yanında, mükemmel yüksek sıcaklıktaki mekanik özelliklerine ve bütün metaller içinde en düşük genleşme katsayısına sahiptir. W'yu kaynatmak için yaklaşık 5700 °C civarında sıcaklığa ihtiyaç vardır ve bu sıcaklık güneşin yüzey sıcaklığına karşılık gelir. 19.25 g/cm³'lük yoğunluğu ile en ağır metaller arasındadır. Bütün metaller arasında en düşük buhar basıncına sahiptir [40]. Şekil 2.10'da Tungsten'in görünümü verilmiştir.

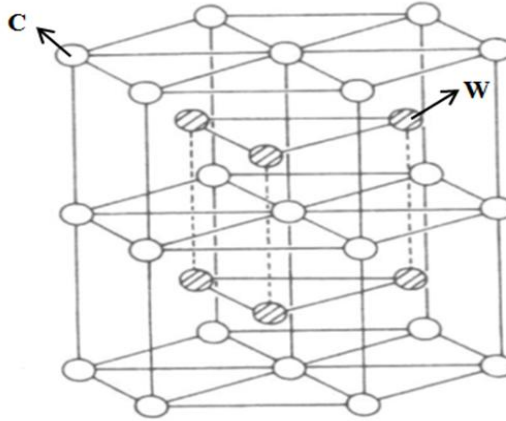


Şekil 2.10. Tungsten [41].

2.4.2. Tungsten Karbür

WC, bazen sadece ‘karbür’ olarak, bazen de ‘sert metal’ olarak ifade edilen, tungsten ve karbon elementlerinden oluşan kimyasal bir bileşiktir. Basit olarak ince taneli gri bir toz şeklinde bulunurlar ve genellikle preslenip şekle sokularak endüstriyel makineler, aletler ve aşındırıcılarda kullanılmaktadırlar [42].

WC'nin kristal yapısı, Şekil 2.11’de gösterildiği gibi hekzagonal sıkı pakettir.



Şekil 2.11. Tungsten karbür’ün hekzagonal kristal yapısı [43].

WC, yüksek ısıda tungsten ve hidrokarbonun karışımı sonucu oluşmaktadır. Tungsten cevheri ve elementel tungsten metalinin tozundan WC üretimi gerçekleştirilir. Tozla üretimde grafitle veya katı karbonla harmanlama yapılır. Direkt karbürizasyon, indirekt karbürizasyon ve yüksek sıcaklıkta kabürizasyon yöntemleriyle reaksiyon sağlanır. Daha sonra uygulanan öğütme işlemiyle mikronaltı (12 µm) WC tozu üretilmiş olur [44].

WC bileşimi, yüksek ısıda C ve WC içinde ayrışmakta ve karbür iki şeklin karışımıyla oluşmaktadır. Diğer biçimleri ise W_3C ve W_3C_4 ile oluşturulmaktadır. WC bileşiminde bulunan karbon oranı kaynama noktasını değiştirmektedir [43].

2.4.3. Tungsten Karbür Kaplamalar

Günümüzde sürtünme ve aşınmanın önemli rol oynadığı makinalama, metal şekillendirme, yataklar ve dişliler gibi uygulamalarda gelişmiş malzeme ihtiyacı vardır. Mevcut cihaz ve bileşenlerinin ömrünü uzatmak için yeni malzemeler araştırılmakta ve mevcut malzemelerin özellikleri geliştirilmektedir. WC bu gereksinimleri karşılayabilecek bir malzemedir [45].

Yumuşak bir malzeme üzerine uygulanan sert kaplama tribolojik olarak çok faydalı bir birleşimdir. Yumuşak bir malzeme üzerindeki sert kaplama sert bir parçacıktan meydana gelebilecek çizilmeye karşı iyi bir koruma sağlar. Bu sebeple karbür kaplamalar abrasif ve erozif aşınmayı içeren uygulamalarda kullanılır [46]. Tungsten karbürü ait bazı özellikler Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Tungsten Karbür’e ait bazı özellikler [47,48].

Malzeme	Sertlik HV(50 kg)	Kristal Yapı	Ergime Sıcaklığı(°C)	Teorik Yoğunluk (gr/cm ³)
WC	2200	Hekzagonal	2870	15,63
W ₂ C	3000	Hekzagonal	2730	17,3

Tungsten karbür-kobalt esaslı malzemeler sinterlenmiş formları ile erozyon, sürtünme ve aşınma uygulamalarında özellikle termal sprey işlemleri ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Sert WC parçacıklar aşınmaya dirençli ana bileşeni oluştururken kobalt bağlayıcı tokluk ve kohezyon sağlar. Sertlik, aşınma direnci ve mukavemet gibi özellikler WC tane boyutu ve karbür faz ile bağlayıcı matrisin hacimsel % oranlarından, TBK’da da poroziteden etkilenir [46]. WC’nin kobalt içeriği ve bazı karbür ilavelerinin yanı sıra WC tane boyutu ile oynayarak sert metallerin sertlik, tokluk, mukavemet, aşınma direnci ve termal iletkenliği değiştirilebilir. 1920’lerin ortasında WC tane boyutu 2 ile 5 µm

arasındayken günümüzde 0.15 ile 50 μm arasında değişebilmekte, hatta çok özel uygulamalarda 150 μm tane boyutu kullanılmaktadır. Tablo 2.5’de değişik sert metal bileşimleri için özellikler verilmiştir.

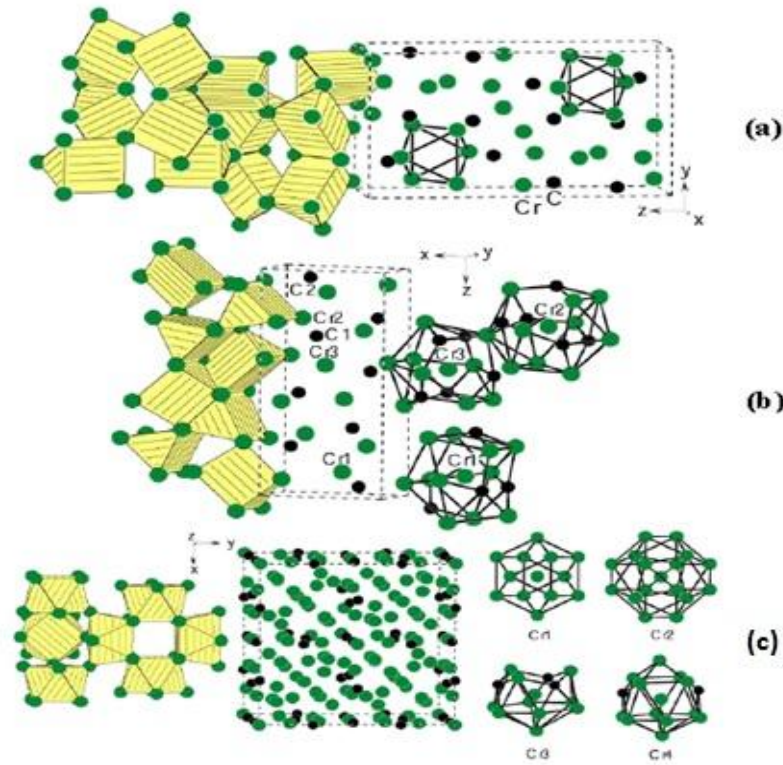
Tablo 2.5. Bazı sert metallerin özellikleri [49].

WC-Co ve WC-(W,Ti, Ta,Nb)C-Co Sert Metaller					
Bileşim(%)	Sertlik HV 30	Basma Mukavemeti (N x mm ⁻²)	Kopma Mukavemeti (N x mm ⁻²)	Kırılma Tokluğu (MPa x m ^{1/2})	Termal Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ x K ⁻¹)
WC-4Co	2000	7100	2000	8.5	5.0
WC-6Co/S*	1800	6000	3000	10.8	6.2
WC-6Co/M**	1580	5400	2000	9.6	5.5
WC-6Co/C	1400	5000	2500	12.8	5.5
WC-25Co/M	780	3100	2900	14.5	7.5
WC-6Co-9.5 (Ti,Ta,Nb)C	1700	5950	1750	9.0	6.0
WC-9Co-31 (Ti,Ta,Nb)C	1560	4500	1700	8.1	7.2
S*= mikron altı ; M**= ince/orta; C***= kaba					

2.4.4. Krom Karbürler

Krom karbür üç kimyasal kompozisyonda bulunabilen bir seramik bileşiktir. Bu kompozisyonlar; Cr_3C_2 , Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6 ’dır. Standart koşullarda, koyu gri renkte bir katıdır. Cr_{23}C_6 kübik kristal kafeste ve 10.5 GPa Vickers sertliğine sahiptir [50]. Cr_7C_3 ise ortorombik kristal kafes yapısındadır ve Vickers sertliği 14.5 GPa’dır [51]. Son olarak, Cr_3C_2 bu üç kompozisyonun en kararlısı olup, ortorombik kristal yapıda ve 23.5 GPa Vickers sertliğine sahiptir [52,53,56]. Bu özellikleri ile metal alaşımlarına katkı olarak ilave edilebilir. Krom karbür, bir metalin yüzeyine kaplandığında, yüzeye hem aşınma hem de korozyon direnci verir ve bu özelliğini yüksek sıcaklıklarda da sürdürür. Bu tip kaplama uygulamaları için en sert ve genelde en çok kullanılan kompozisyonu Cr_3C_2 ’dir [50].

Şekil 2.12’de Cr-C fazlarının üç farklı kristal yapısının atom dizilimleri ve tekrarlayan en küçük kafes birimleri gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Cr-C fazlarının üç farklı kristal yapısının atom dizilimleri ve tekrarlayan en küçük kafes birimleri [51].

Krom karbür, metal malzemelerin yüzeylerinin sert olmasının, korozyona ve aşınmaya karşı dayanıklı olmasının istendiği yerlerde ısı püskürtme malzemesi olarak kullanılmaktadır. Mil yatakları, contalar ve vanalar gibi yerlerde vanadyum karbür gibi diğer sinterlenmiş karbürlerle birlikte kaplama işlemi yapılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda (1000-1100 °C) oksidasyonunun olmayışı, krom karbürün korozyon direncini arttırmaktadır. Krom karbürün ısı genleşme katsayısı hemen hemen çeliğin ısı genleşme katsayısına eşittir. Mekanik streslerin kaplama tabakasında azalması tabakayı kuvvetlendirmektedir. Krom karbürün mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 2.6'da verilmiştir.

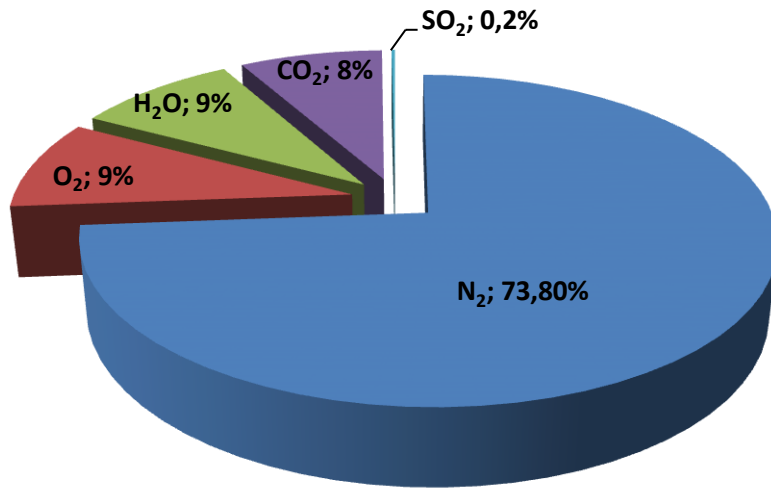
Tablo 2.6. Krom karbürün fiziksel ve mekanik özellikleri [54].

Yoğunluk(gr/cm^3)	6,65-6,68
Young's Modülü(GPa)	373
Basma Dayanımı(GPa)	4,138
Mol Kütlesi(g/mol)	180,01
Kaynama Noktası($^{\circ}\text{C}$)	3800
Ergime Noktası($^{\circ}\text{C}$)	1890(Cr_3C_2) 1665(Cr_3C_3) 1250(Cr_{21}C_6)
Isıl Genleşme Katsayısı $\alpha(10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1})$	11,2
Isıl İletkenliği(W/mK)	189,77
Sertlik-VH(kg/mm^2)	1834

3. EGZOZ EMİSYONLARI ve MOTOR PERFORMANSI

İçten yanmalı motorlar, geride bıraktığımız yüzyıl içerisinde kapsamlı araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonu karakteristikleri açısından hızlı bir gelişme göstermiştir. Ayrıca, küresel ısınma ve çevresel yaklaşım katı kuralların getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu yöndeki gelişmeler ise, yanma ve kirletici oluşumunun ayrıntılı anlaşılmasını gerektirmektedir. İçten yanmalı motorlarda fosil kökenli yakıtların kullanımı ve tam yanmanın gerçekleşmemesi nedeni ile egzoz emisyonlarında kirleticiler bulunur. Bu kirleticiler vasıtasıyla zehirli gazlar ve partiküller atmosfere karışarak insanlara ve çevreye zarar verirler. Başta büyük yerleşim birimleri olmak üzere hava kirliliğinin ana kaynağını taşıtlar oluşturmaktadır. Taşıtlardaki kirletici emisyonunun en büyük kaynağı motor içinde yanma veya eksik yanma sonucu oluşan egzoz gazlarıdır. Bunlardan bazıları NO_x , HC, CO, CO_2 'dir [55,56,57].

Dizel motorlarda, NO_x emisyonunun benzinli motorlara göre daha yüksek, CO ve HC emisyonlarının ise daha düşük olduğu bilinmektedir. Bunun nedeni dizel motorlarda hava fazlalık katsayısı(HFK) ve sıcaklıkların benzinli motorlara göre daha yüksek olmasıdır. Dizel motor emisyonları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Dizel motor emisyonları

LPG'nin benzine göre en önemli avantajı ise egzoz emisyonlarının daha düşük olmasıdır [58].

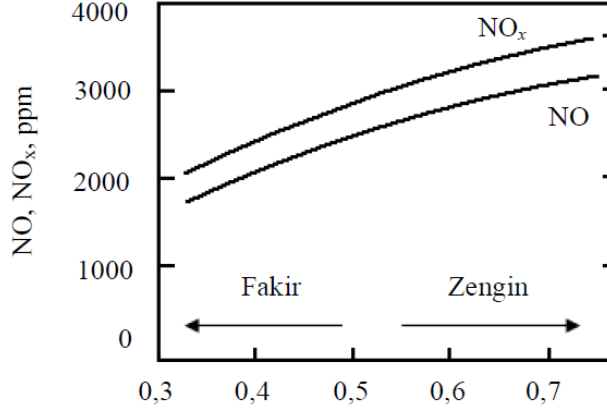
3.1. Azot Oksit(NO_x) Oluşumu

Fosil yakıtların yanması sonucunda NO_x oluşmaktadır. N ve O gazlarının değişik moleküllerinin tepkimeye girmesiyle NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ vb. gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu gazların tamamına 'Azot oksitler' denir ve NO_x olarak ifade edilirler[59]. NO oluşumunu arttıran parametreler gaz sıcaklığı ve oksijen yoğunluğudur. NO₂'nin atmosferde 118 ile 156 g/m³ seviyesinde 6 aylık bir devir boyunca bulunması halinde insan sağlığı üzerinde önemli zararlar yarattığı tespit edilmiştir [60].

NO yanmış gazların alevin gerisinde kalan bölgesinde meydana gelen ve ilk defa 1946'da Zeldovich tarafından açıklanan bir mekanizmayla oluşur. Zeldovich tarafından basit bir şekilde izah edilen reaksiyon mekanizması 1991'de Baulch vd. tarafından geliştirilmiştir. Bu haliyle genişletilmiş Zeldovich mekanizması 3 temel reaksiyondan oluşur [61].



NO_x emisyonu ortamdaki sıcaklığın etkisiyle N₂ ve O₂ moleküllerinin reaksiyonuyla oluşur. Buradan anlaşılabacağı üzere NO_x emisyon oluşumunu yanma odasındaki sıcaklık etkiler. NO_x emisyonu genellikle yüksek yanma sıcaklığında ve daha uzun yanma süresinde çok daha yüksektir. Ayrıca, motor yükü, hız, yanma odasındaki içerik, homojenlik ve karışım yoğunluğu da NO_x emisyonları üzerinde önemli etkilere sahiptir. Şekil 3.2'de yakıt/hava oranına bağlı olarak NO_x ve NO yoğunlukları görülmektedir.



Şekil 3.2. Yakıt/hava oranına bağlı olarak NO_x ve NO yoğunlukları [62].

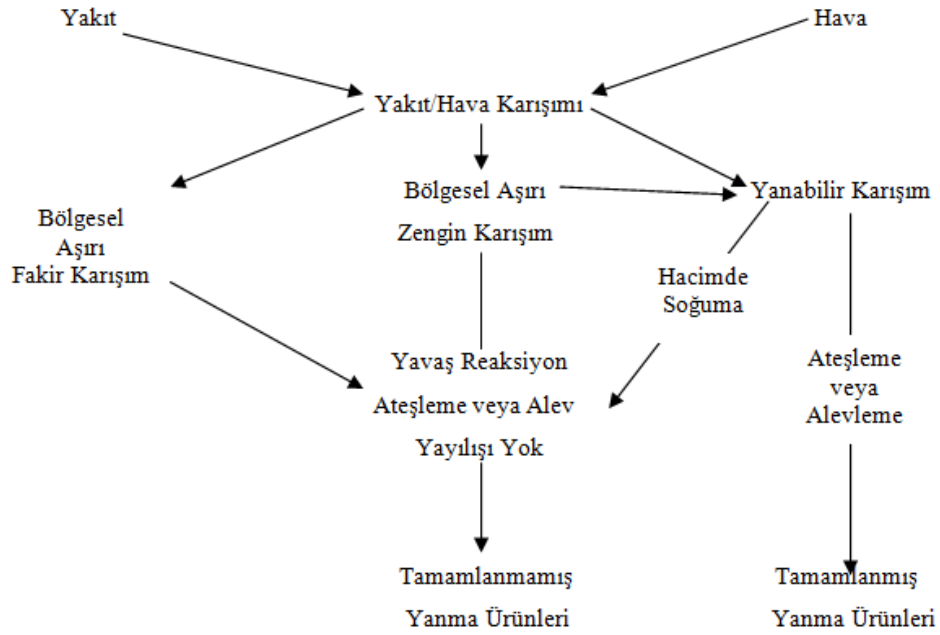
Sıcaklığın düşmesi ile NO_x'lerin tekrar N₂ ve O₂'ye ayrışması beklenirken, reaksiyon hızının düşük sıcaklıklarda çok düşük olması nedeniyle bu reaksiyonlar da yavaşlar. Böylece daha yüksek sıcaklıklarda elde edilmiş olan NO_x miktarları dondurulmuş olur. Belli bir zaman aralığından sonra ise, sıcaklıkların düşmesi sonucunda reaksiyonlar donar ve egzoz gazları içerisindeki miktar daha önce erişilen maksimum sıcaklık miktarına orantılı bir seviyede kalır. Çünkü NO_x oluşumu ayrıca reaksiyon hızına ve reaksiyonların tamamlanması için mevcut zamana da bağlıdır [63].

3.2. Hidrokarbon(HC) Oluşumu

İçten yanmalı motorlarda HC emisyonları genellikle yanmanın tamamlanamaması sonucunda meydana gelmektedir. HC moleküllerinin O₂ ile reaksiyonu sonucunda yanma gerçekleşmektedir. Yanma reaksiyonunun çok hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ve O₂'nin bazı bölgelerde eksik olması nedeniyle tam yanma gerçekleşmemekte ve HC emisyonlarında da artış gözlenmektedir. Tutuşma gecikmesi süresinde yakıt ile hava karıştıktan sonra bazı bölgelerde fakir veya zengin yanabilir karışım görülmektedir [64]. Motora gönderilen yakıtın yaklaşık olarak %9'u iş zamanı boyunca yanmamaktadır. Yanmayan bu yakıtın %7'si diğer uç zamanda (emme, sıkıştırma ve egzoz) oksijenle reaksiyona girerek yanmakta, geriye kalan %2'lik kısım ise hiç yanmadan egzoz gazından dışarı atılmaktadır [65].

Genel olarak motorlarda HC oluşumunun büyük kısmı motorun ilk hareketi sırasında soğuk çalışma şartlarında ortaya çıkmaktadır [66,67]. Dizel motorlarında yanma

sonucu açığa çıkan HC miktarı silindire gönderilen karışım fakir olduğu için benzinli motorlara kıyasla oldukça azdır. HC emisyonları özellikle motor yükünden fazlasıyla etkilenmektedir. Tam yükte çalışan motor boşta veya kısmi yükte çalışan motora göre daha az HC üretir. Çünkü yükün artışı ile birlikte silindire giren yakıt miktarı artmakta, sıcaklıkların artması ile reaksiyon hızlanmakta ve sonuçta yanmamış HC azalmaktadır [68]. Şekil 3.3’de tutuşma gecikmesi periyodunda püskürtülen yakıtın HC mekanizmasının şematik gösterimi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Tutuşma gecikmesi periyodunda püskürtülen yakıtın HC mekanizmasının şematik gösterimi [63].

HC emisyonları yanma odasının soğutulması nedeniyle odanın çeperinde oluşur ve aracın ivmelenmesi esnasında artış gösterir. Bazı HC’ler burun mukozasını tahriş ederken, bazıları ise kanserojendir. HC emisyonları NO ve güneş ışığı etkisi ile O₃ meydana getirir. Özellikle yaz aylarında gözle görülebilen ve yere yakın kısımlarda şehirlerin üzerini örtü gibi örten bu O₃ tabakası insan sağlığına zararlıdır, baş ağrısı ve bitkinlik yapar [69].

3.3. Karbon Monoksit(CO) Oluşumu

CO eksik ya da zayıf yanma sonucu oluşur. Gaz sıcaklığının düşük olması ve yeterli oksijenin bulunmaması, tamamlanmamış yanma sonucu ve CO₂’ye dönüşüm

süresinin kısa olmasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırır [70]. CO oluşumu büyük oranda HFK'ye bağlı olmaktadır. HFK'nın 1'den küçük değerlerinde karışım içerisinde yeterli hava bulunmamakta ve buda yetersiz oksijen anlamına geldiği için yakıttaki karbonun tümü CO₂'ye dönüşemeyerek CO olarak kalmaktadır [71].

CO oluşumu hidrokarbonun yanma mekanizmasında birkaç reaksiyon basamağında meydana gelir. CO oluşum reaksiyonu aşağıda gösterilen denklemle ifade edilmektedir [63].



Burada R hidrokarbon kökü olarak kullanılmıştır. Yanma işleminde oluşan CO oksitlendikten sonra CO₂'ye dönüşür.



LPG kullanım oranının artmasıyla CO emisyonları azalmaktadır. Bunun nedeni, LPG yakıtının C ve H oranının düşük olması ve gaz fazındaki LPG'nin havayla homojen bir şekilde karışarak verimli yanmasıdır [72].

Dizel motorlarında genellikle fakir karışım oranları ile çalışıldığından CO emisyonu düşük olmaktadır.

3.4. Karbondioksit(CO₂) Oluşumu

Dünyada özellikle 19. yy.'den itibaren başlayan sanayileşme süreci ile birlikte fosil yakıt kullanımının artması atmosferdeki CO₂ miktarını da yıllar itibariyle arttırmıştır. Fosil yakıtların etkisi, kutuplardaki buzulların erimesinden kuraklık tehdidine ve hava kirliliğine kadar birçok alanda ve tüm dünyada kendini hissettirmeye başlamıştır. Bu çerçevede, 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü, güçlü, yenilikçi düzenlemeleri ve bağlayıcı yaptırımlarıyla çevre kaygılarının insan hayatının her alanına yön vermesine sağlamayı amaçlamaktadır. Dolayısıyla çevreyi daha az kirleten ekonomik ve güvenilir enerji kaynaklarına tüm ülkelerce ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Ülkeler artık yeni enerji kaynakları oluşturmaya yönelik politikalar üretmeye yönelmektedirler [73].

CO₂ renksiz ve yanmayan bir gazdır. Karbon içerikli yakıtların tam olarak yanmasıyla ortaya çıkar. Mevsim değişiklikleri ve sera etkisi tartışmaları sebebiyle CO₂ emisyonları konusu kamuoyu bilincine daha fazla yerleşmiştir. CO₂ yanma sonucunda çıkan emisyonlar içerisinde en az zararı bulunan gazdır. CO₂ tabiatta bitkiler tarafından fotosentez edilerek oksijene dönüştürülmektedir.

3.5. Özgül Yakıt Tüketimi(ÖYT)

ÖYT, herhangi bir güçteki çalışma sırasında, saatte tüketilen yakıt miktarının üretilen güce oranıdır.

$$be = B \times 1000 / Ne \quad (3.5.1)$$

be: Özgül yakıt tüketimi (gr/kWh)

B: Ölçülen saatlik yakıt tüketimi (gr/h)

Ne: Efektif motor gücü

Bir motorun en avantajlı çalışma durumları; maksimum güç ($P_{e_{max}}$), maksimum tork ($M_{e_{max}}$), veya en az ÖYT (be_{min})'yi sağladığı durumlardır. Bu çalışma durumları, motorun kullanım amacı ve yaptığı işin özellikleri tarafından belirlenir [74].

3.6. Egzoz Gaz Sıcaklığı(EGS)

İçten yanmalı motorlarda EGS motorlar için önemli bir parametredir. EGS yanma odasında meydana gelen yanma hakkında bize önemli bilgiler verir. Egzozdan ölçülen EGS'ye bağlı olarak yanma odasındaki sıcaklık, yanmanın iyileşmesi yada kötüleşmesi ve emisyonlar hakkında yorumlar yapılabilir.

3.7. Duman(İs) Yoğunluğu

İçten yanmalı motorlar tarafından üretilen katı taneciklerin büyük bir bölümünü is oluşturmaktadır. İs yanmamış karbon partikülleridir. Dizel motorlarında silindir içinde bulunan yakıt damlasının içindeki H₂ molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte ve geriye kalan C yeterli O₂ bulamadığından yanamayarak is partikülleri halinde dışarı

atılmaktadır [57]. İs oluşumunun temel nedeni yakıtının silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızla hava ile karışamaması ve buharlaşamamasıdır.

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

YSA insan beyninin sinir ağlarını taklit eden, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan, örneklerden genellemeler yaparak öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, keşfedebilme ve oluşturabilme yeteneğine sahip olan bilgisayar yazılımlarıdır [75,76].

YSA klasik yöntemlerle zor çözülebilen, matematiksel olarak modellenemeyen veya çözülmesi mümkün olmayan karmaşık, lineer olmayan problemleri çok kolay çözülebilmekte, yukarıda sayılan bu tür kısıtlamaları ve yetersizlikleri gidererek çok başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [77].

YSA, üç periyotlu uğraşın sonunda kabul görmüştür. İlk yapay nöronun ortaya çıkışı 1940'larda Warren Mc Culloch ve Walter Pitts'in ortak çalışması sonucunda üretilmiştir. İkinci yükselişi, 1960'larda Rosenblatt'ın algılayıcı yakınsaması teoremini ortaya atması ve Minsky ve Papert'in basit bir algılayıcının limitlerini göstermeleri ile olmuştur. Son olarak 1982 yılında Hopfield'ın enerji yaklaşımı ilk gözle görünür gelişme olarak tarihe geçmiş, bunu Werbos'un çok katmanlı algılayıcılar için geriye yayılma algoritması takip etmiştir. Sinir hücreleri bir grup halinde işlev gördüklerinde ağ olarak adlandırılırlar ve böyle bir grupta binlerce nöron bulunur. Yapay nöronlar denilen işlem elemanları, sinir ağının dağılışı şekli, yapısı, ağın sahip olduğu öğrenme kuralı ve stratejisi bunların başında gelir. Nöronların aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleriyle katmanlar oluşmaktadır [78].

YSA modelini, şu bilgiler karakterize etmektedir [79];

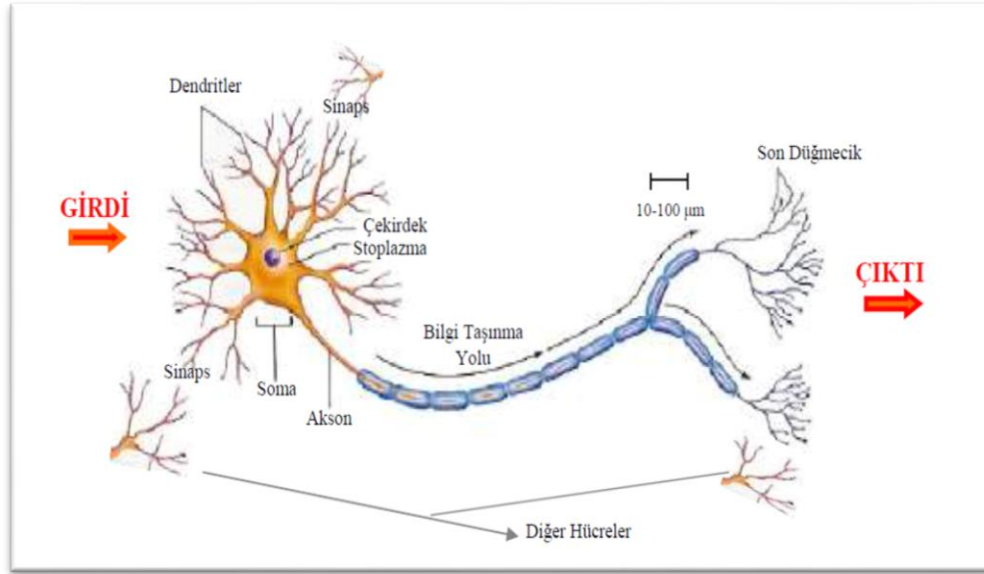
- Ağın topolojisi,
- Kullanılan toplama fonksiyonu,
- Kullanılan aktivasyon fonksiyonu,
- Öğrenme stratejisi,
- Öğrenme kuralları.

YSA'nın kullanıldığı alanlar şu şekilde sıralanabilir; Denetim ve üretim, sistem modelleme, ses ve parmak izi tanıma, haberleşme, meteorolojik yorum, arıza analizi ve tespiti, tıp alanı, savunma sanayi, otomasyon ve kontrol. Bu başlıklara ilave olarak, YSA her türlü bilgiyi işlemek ve analiz etmek için kullanılır [78].

4.1. Biyolojik Sinir Sistemi

Biyolojik sinir sistemi, merkezde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanır [80].

Nöron sinir hücresinin kendisine verilen isimdir ve sinir sisteminin temel işlem elemanıdır. Sinir sisteminde sinir hücreleri, diğer sinir hücrelerinden gelen sinyalleri sinapslar vasıtasıyla dendrite iletirler. Sinapsların durumuna göre bu sinyaller güçlendirilir veya zayıflatılır. Dendritlerin görevi, sinyalleri hücre gövdesine iletmektir ve ağaç köküne benzer bir yapıya sahiptir. Hücre gövdesinin görevi, sinapslar vasıtasıyla gelen sinyalleri işlemektir. Sonuç olarak, sinyaller belirli bir eşik değerini aşarsa aksona bu sinyaller gönderilir. Bu duruma sinirin aktif hale gelmesi denir ve bu durumda sinir hücresi bu sinyali işlemiş olur. Şekil 4.1’de biyolojik sinir hücresi yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Biyolojik sinir ağının gösterimi [81].

YSA, iki bakımdan insan beynine benzer;

- Bilgi, ağ sayesinde, ağın öğrenme sürecinden geçirildiği bir ortamdan elde edilmektedir.
- Sinaptik ağırlıklar olarak da bilinen nöronlar arası bağlantı kuvvetleri, elde edilen bilgiyi depolamak için kullanılmaktadır [78].

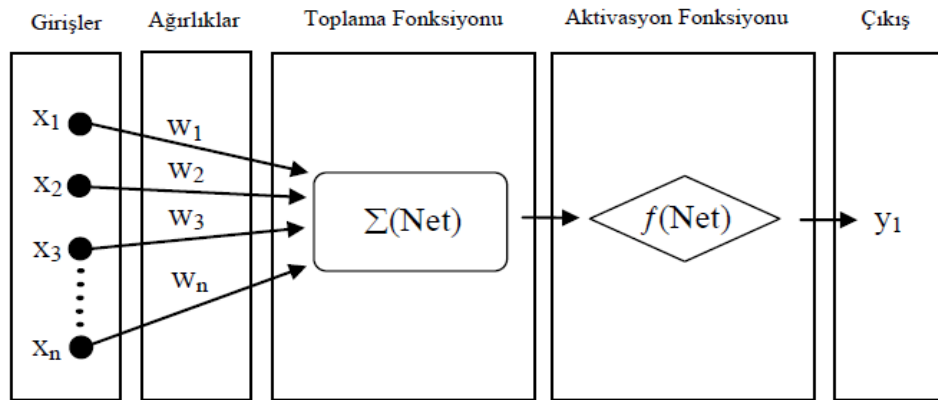
YSA'lar, insan beyninin çalışma prensibinden esinlenerek geliştirilmeye çalışılmış olup aralarında yapısal olarak bazı benzerlikler vardır. Bu benzerlikler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Biyolojik sinir hücresi ve YSA'nın karşılaştırılması [82].

Biyolojik Sinir Ağı	Yapay Sinir Ağı
Sinir Sistemi	Toplama Fonksiyonu
Sinir	Toplama Fonksiyonu
Sinapslar	Sinirler Arası Bağlantı Ağırlıkları
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Aksonlar	Yapay Sinir Çıkışı
Hücre Gövdesi	Transfer Fonksiyonu(Etkinlik İşlevi)

4.2. YSA'nın Temel Elemanları

Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi YSA'nında yapay sinir hücreleri vardır. Yapay sinir hücreleri mühendislik biliminde süreç elemanları olarak da adlandırılmaktadır. Her süreç elemanının 5 temel elemanı vardır [79]. Bunlar; girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış işlevidir. Şekil 4.2'de temel YSA hücresi gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Temel YSA hücresi

Genel olarak bütün YSA'ların temeli girişlerin bir ağırlık değeri ile çarpılarak toplanması ve işlenerek çıkış değerinin bulunması ilkesine dayanır.

Tüm YSA'lar Şekil 4.2'de gösterilen temel yapıdan türetilmiştir. Bu yapıdaki farklılıklar YSA'nın farklı sınıflandırılmalarını sağlar. Bir yapay sinirin öğrenme yeteneği, seçilen öğrenme algoritması içerisinde ağırlıkların uygun bir şekilde ayarlanmasına bağlıdır [79].

YSA'yı oluşturan temel elemanlar şunlardır.

4.2.1. Girdiler

Bir işlem elemanına dış dünyadan ya da bir başka işlem elemanından gelen ve ağın öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenen bilgilerdir [83].

4.2.2. Ağırlıklar

Ağırlıklar, hücreler arasındaki bağlantıların sayısal değerini ifade etmektedir. Bir hücreye gelen bilginin değerini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir [79]. W_i , x_i girdisine karşılık gelen ağırlık değeri, n toplam girdi sayısı ve i , indis olmak üzere $i=1..n$ 'dir.

4.2.3. Toplama Fonksiyonu

Toplama fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur. Her gelen girdi değeri, kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Ancak bazı durumlarda toplama fonksiyonu bu kadar basit bir işlem olmayabilir. Bunun yerine, en az (min), en çok (max), mod, çarpım, çoğunluk veya birkaç normalleştirme fonksiyonu gibi çok daha karmaşık olabilir. Genellikle deneme yanılma yolu ile en iyi toplama fonksiyonu belirlenmektedir. Girdileri birleştirecek olan algoritma, genellikle seçilen ağ mimarisine de bağlı olarak belirlenir. Bu fonksiyonlar farklı şekilde değerler üretebilir ve bu değerler ileri doğru gönderilir [84]. Herhangi j nöronunun toplam girdisi, diğer nöronlardan gelen değerlerin ağırlıklı toplamı ile eşik değerinin toplamına eşittir.

4.2.4. Etkinlik (Aktivasyon) Fonksiyonu

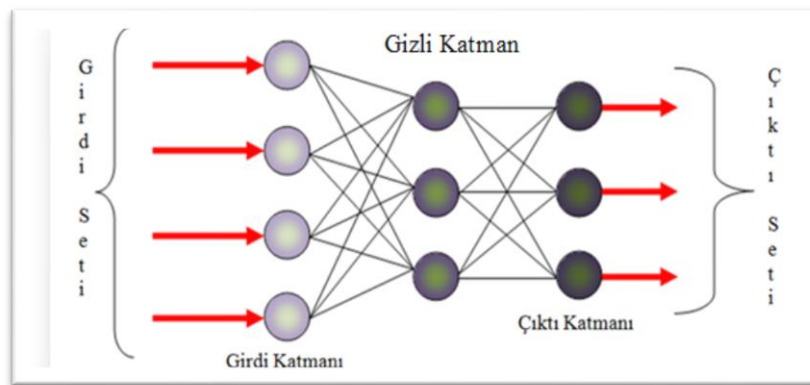
İşlem elemanına gelen net girdiyi işleyerek üretilecek çıktıyı belirler. Lineer fonksiyon, Step fonksiyonu, Sinüs fonksiyonu, vb. etkinlik işlevi olarak kullanılabilir. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi etkinlik işlevi için de belirleyici kesin bir yöntem bulunmamaktadır. Bir sinir hücresi etkinlik işlevinin eşik değerinin altında çıkış üretmez, eşik değerin üzerinde çıkış üretir [85].

4.2.5. Çıkış İşlemi

Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Hücre kendi çıktısını kendisine girdi olarak ta gönderebilir. Ağ şeklinde gösterildiğinde bir proses elemanının birden fazla çıktısı varmış gibi görülmektedir. Bu sadece gösterim amacıyladır. Aslında bir proses elemanında çıkan tek bir çıktı değeri vardır. Aynı değer birden fazla proses elemanına girdi olarak gitmektedir [84].

4.3. YSA'nın Katmanları

YSA, Şekil 4.3'de görüldüğü üzere üç katmandan oluşmaktadır [86]. Bu katmanlar giriş, çıkış ve gizli katmandır.



Şekil 4.3. Çok katmanlı bir YSA

4.3.1. Giriş Katmanı

Dış dünyadan girdiler YSA'nın bu katmanına gelir. Bu katmanda, girdi sayısı kadar hücre bulunmaktadır ve girdiler herhangi bir işleme uğramadan gizli katmana iletilmektedirler. Giriş katmanındaki her bir hücrenin birer adet girdisi ve çıktısı vardır. Ayrıca bu hücreler gizli katmandaki bütün hücrelere bağlıdır [86].

4.3.2. Gizli Katmanlar

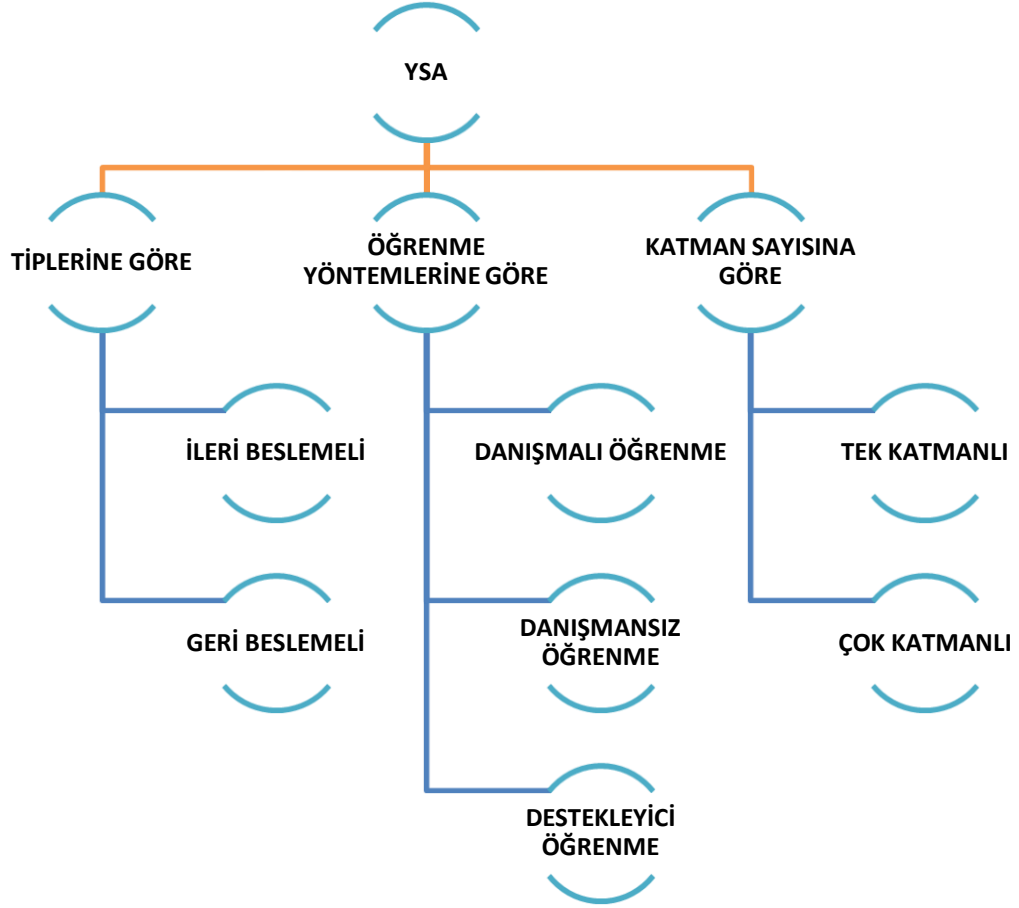
Bu katman giriş katmanından aldığı bilgiyi işleyerek bir sonraki katmana iletir. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki hücre sayısı ağdan ağa değişebilir. Gizli katmanlardaki hücre sayıları, girdi ve çıktı sayılarından bağımsızdır. Ayrıca birden fazla gizli katman varsa, bu katmanlardaki hücre sayıları aynı olmayabilir. Gizli katman sayısı ve bu katmanlardaki hücre sayısının artması, hesaplama karmaşıklığı ve süresini artırsa da YSA'nın daha karmaşık problemlerin çözümünde kullanılabildiğini sağlamaktadır [86].

4.3.3. Çıktı Katmanı

Gizli katmandan gelen bilgiyi işler ve giriş katmanına gelen girdiye uygun olarak üretilen çıktıyı dış dünyaya gönderir. Çıkış katmanındaki hücre sayısı birden büyük olabilir. Her bir hücre bir önceki katmandaki bütün hücrelere bağlıdır. Her bir çıkış hücresinin bir adet çıktısı vardır [86].

4.4. Yapay Sinir Ağları Türleri

YSA türlerini farklı kriterleri göz önüne alarak sınıflandırmak mümkündür. Genel olarak YSA tiplerine, öğrenme yöntemlerine, katman sayılarına ve yapılarına göre sınıflara ayrılmaktadır. Şekil 4.4'te YSA türleri gösterilmektedir.



Şekil 4.4. YSA'nın sınıflandırılması

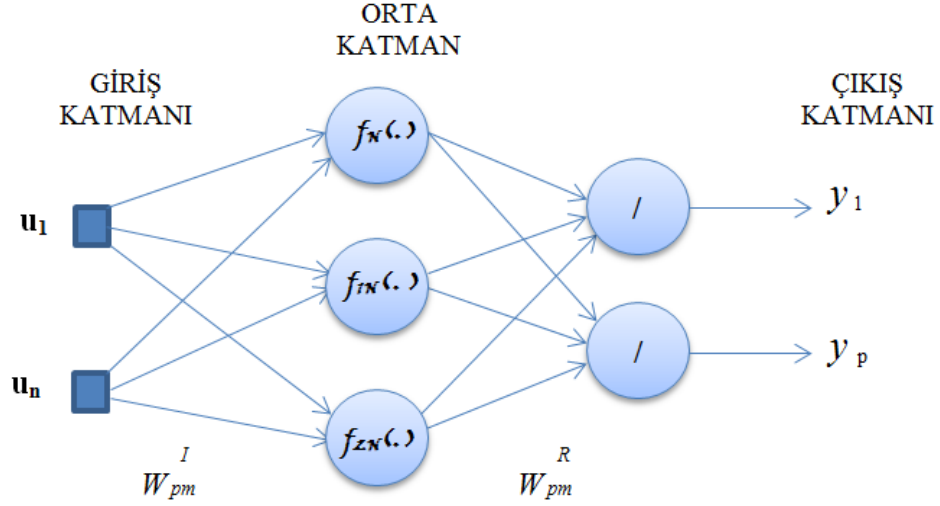
4.4.1. Tiplerine Göre YSA

4.4.1.1. İleri Beslemeli YSA

Bu ağlarda girdiler yalnızca bir yönde, girdi katmanından çıktı katmanına doğru tek yönlü bağlantılar üzerinden ilerlerler. Bir katmanın çıktı değerleri, o çıktı değerlerini üreten katmandaki yapay sinir hücrelerini etkilemezler. Bu tarz bir ağ yapısında, yapay sinir hücreleri yalnızca bir sonraki katmanda bulunan diğer yapay sinir hücreleri ile bağlantı halindedir [87].

Giriş katmanı dış ortamdan aldıkları bilgileri ara katmana gönderir ve bu katmanda bilgi işleme olmaz. Gelen her bilgi, hiçbir işleme maruz kalmadan ara katmana gider. Ara katmana gelen bilgiler, işlenerek çıktı katmanına gönderilir ve çok sayıda ara katman bulunabilir. Ara katmandan gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanından dış ortama iletilir. Bir çıktı katmanında birden fazla hücre olabilir. Her hücre bir önceki katmandaki hücrelerle bağlantılıdır. Bu tip YSA'ların eğitiminde, en çok bilinen geriye yayılım

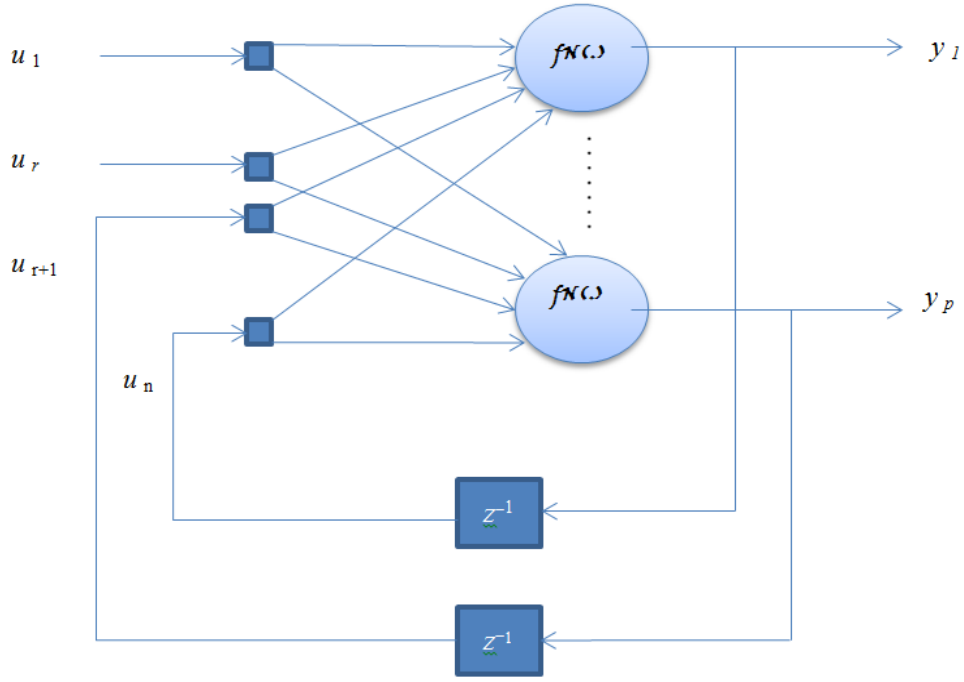
öğrenme algoritması etkin olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.5'te ileri beslemeli 3 katmanlı YSA modeli verilmiştir.



Şekil 4.5. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA modeli [79].

4.4.1.2. Geri Beslemeli YSA

Geriye yayılım algoritması ile öğrenen ağlar hiyerarşik yapıdadırlar. Bu ağlar giriş, çıkış ve en az bir tane gizli katmandan oluşmaktadır. Gizli katman birçok düğümden oluşabilir. Düğüm sayısı arttıkça ağın hatırlama yeteneğini artırır ve öğrenme işlem süresini uzatır [88]. Şekil 4.6'da geri beslemeli bir YSA modeli görülmektedir.



Şekil 4.6. Geri beslemeli ağ yapıları [89].

4.4.2. Öğrenme Yöntemlerine Göre YSA

4.4.2.1. Danışmanlı Öğrenme

Danışmanlı öğrenme yönteminde, ağırlıkların belirlenmesi bir danışman aracılığıyla yapılmaktadır. Danışmanın verdiği girdi değerlerine karşılık gerçek çıktı değerleri ile ağ tarafından elde edilen çıktı değerlerinin birbirine yakın olması beklenir. Danışmanlı öğrenmede en yaygın kullanılan öğrenme algoritması hataları düzeltme yaklaşımıdır. Hata, ağa tanımlanan gerçek çıktı değerleri ile gerçekleşen çıktı değerleri arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır [90].

4.4.2.2. Danışmansız Öğrenme

Danışmansız öğrenmede sistemin doğru çıkış hakkında bilgisi yoktur ve girişlere göre kendi kendisini örnekler. Ağlar, istenen veya hedef çıkış değeri olmadan giriş bilgilerinin özelliklerine göre ağırlık değerlerini ayarlar. Bu tür öğrenmede ara katmanlar dışarıdan yardım almaksızın kendilerini örgütlemek için bir yol bulmalıdırlar. Kohonen tarafından geliştirilen danışmansız öğrenme yönteminin kullanıldığı öz örgütlemeli harita

ağı da biyolojik sistemlerden esinlenilerek gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde sinirler öğrenmek için elverişli durum ya da ölçülerini güncellemek için yarışır. En büyük çıkış ile işlenen sinir, kazananı belirler ve komşularına bağlantı boyutlarını güncellemeleri için izin verir [84].

4.4.2.3. Destekleyici Öğrenme

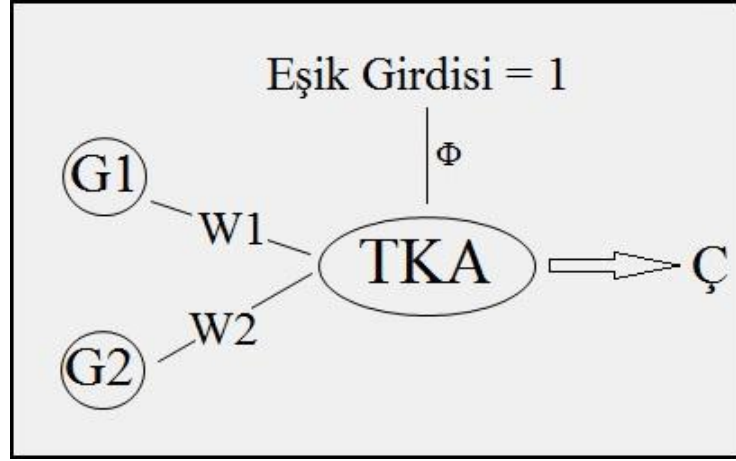
Bu stratejide de öğrenen sisteme bir öğretmen yardımcı olmaktadır. Fakat öğretmen her girdi seti için olması gereken (üretilmesi gereken) çıktı setini sisteme göstermek yerine, sistemin kendisine gösterilen girdilere karşılık çıktı üretmesini beklemekte ve üretilen çıktının doğru ve yanlış olduğunu gösteren bir sinyal üretmektedir. Sistem, öğretmenden gelen bu sinyali dikkate alarak öğrenme sürecini sürdürmektedir [91]. Başka bir anlatımla, çıktılar hakkında sayısal bir bilgiye sahip olunamasa da bazen sözel bilgiye sahip olunabilir. Örneğin iyi-kötü, güzel-çirkin, var-yok, doğru-yanlış gibi bir bilgi danışmanın ağı kısmen yönlendirmesini sağlamaktadır [92].

4.4.3. Katman Sayısına Göre YSA

4.4.3.1. Tek Katmanlı Algılayıcı (TKA)

YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmalarından oluşur. Hücre çıktıları, ağırlıklar üzerinden diğer hücrelere ya da kendisine girdi olarak bağlanabilir. Hücrelerin bağlantı şekillerine, öğrenme kuralına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre çeşitli YSA modelleri geliştirilmiştir [93].

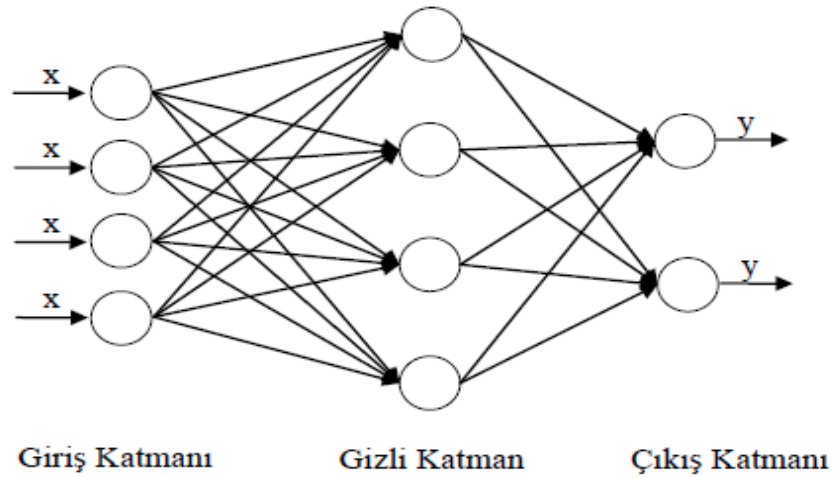
En basit Y modelinde tek katman ve tek sinir bulunmaktadır. Bu YSA tipinde birden çok girdi ve tek bir çıktı bulunmaktadır. Çıktı değeri 1 veya 0 olmalıdır. Bu tip modeller genellikle nesneleri iki ayrı sınıfa ayırmak için kullanılmaktadır. Ancak gizli katmanı olmayan sadece girdi ve çıktı katmanı olan ağlar, karmaşık işlevleri hesaplama yeteneğinden yoksundur. Bu nedenle karmaşık hesaplamalar için oluşturulan ağlarda en az bir gizli katman bulunmalıdır [89]. Şekil 4.7’de ki ağ iki girdi ve bir çıktıdan oluşmaktadır.



Şekil 4.7. İki girdi ve bir çıktıdan oluşan basit bir tek katmanlı YSA modeli [89].

4.4.3.2. Çok Katmanlı Algılayıcı

Yukarıda bahsedilen tek katmanlı algılayıcıların temel özellikleri doğrusal olan problemleri çözebilme kabiliyetleridir. Dolayısıyla daha karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri çözümleyebilmeleri mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda çok katmanlı algılayıcılar ön plana çıkmaktadır. Çok katmanlı algılayıcı, girdi katmanı, çıktı katmanı ve bu iki katman arasında bazen bir, bazen de iki ya da daha fazla katmandan oluşan ileri beslemeli bir yapıya sahip YSA çeşididir. Geri yayılım ağları olarak da adlandırılırlar. Bu isim öğrenme algoritması olarak kullandığı geri yayılım algoritmasından gelmektedir [94]. Şekil 4.8’de çok katmanlı ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 4.8. Çok katmanlı ağ yapısı [95].

4.5. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

Geleneksel bilgisayar uygulamalarının geliştirilmesinde karşılaşılan durum, bilgisayarın belli bilgisayar dilleri aracılığıyla ve kesin yazılım algoritmalarına uygun ifadelerle programlanmasıdır. Bu oldukça zaman alan, uyumluluk konusunda zayıf, teknik personel gerektiren, çoğu zaman pahalı olan bir süreçtir. Oysa biyolojik bir temele dayanmış olan yapay zeka teknolojilerinden biri olan YSA'nın geliştirilmesinde programlama, yerini büyük ölçüde "eğitime" bırakmaktadır. İşlem (proses) elemanlarının bağlantı ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine "ağın eğitilmesi" denir [84].

Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılıp gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır. Ağırlıklar her bir çevrimde yenilenerek amaca ulaşılmaya çalışılır. Amaca ulaşmanın veya yaklaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer YSA verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşılan kadar geçen zamana öğrenme adı verilir. YSA öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler verilip, sinir ağı çıkışıyla gerçek çıkışı yaklaşımları incelenir. Eğer yeni verilen örneklerle de doğru yaklaşıyorsa sinir ağı işi öğrenmiş demektir. Sinir ağına verilen örnek sayısı optimum değerden fazla ise sinir ağı işi öğrenmemiş ezberlemiştir. Genelde eldeki örneklerin yüzde sekseni ağa verilip ağ eğitilir, daha sonra geri kalan yüzde yirmilik kısım verilip ağın davranışı incelenir. Yani ağ test edilmiş olur [96].

Eğitme işlemi, sinir ağına giriş ve çıkış bilgileri sunmaktan oluşur. Ağ giriş bilgisine göre ürettiği çıkış değerini, istenen değerle karşılaştırarak ağırlıkların değiştirilmesinde kullanılacak bilgiyi elde eder. Girilen değerle istenen değer arasındaki fark hata değeri olarak önceden belirlenen değerden küçük oluncaya kadar eğitime devam edilir. Hata değeri istenen değer altına düştüğünde tüm ağırlıklar sabitlenerek eğitim işlemi sonlandırılır [86].

İleri beslemeli geri yayımlı çok katmanlı bir YSA'nın eğitiminde çıkış elde edilmesi, ağırlıkların yenilenmesi ve ortalama karesel hatanın hesaplanmasına ilişkin adımlar denklem (4.7.1 - 4.7.5) de verilmiştir [97].

$$net_j = \sum_{i=0}^N w_{ij} X_i \quad (4.7.1)$$

$$Out_j = f(net_j) = \frac{1 - e^{-net_j}}{1 + e^{-net_j}} \quad (4.7.2)$$

$$w_{ij}^{yeni} = w_{ij}^{eski} + \Delta w_{ij} \quad (4.7.3)$$

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} out_j \quad (4.7.4)$$

$$E_i = \frac{1}{2} (d_i - (\sum_{j=0}^N w_{ij} x_i))^2 \quad (4.7.5)$$

Burada;

- N : Ara katmandaki j . proses elemanın giriş sayısını,
- w_{ij} : İleri katmandaki i . den j . ye kadar olan proses elemanın ağırlık katsayısını,
- x_i : Geri katmandaki i . proses elemanından elde edilen giriş değerini,
- $f(net)$: Tanjant hiporbolik gibi bir aktivasyon fonksiyonunu,
- Out_j : Net çıkış değerini,
- Δw_{ij} : Hesaplanan ağırlıkların değişim miktarını,
- w_{ij}^{yeni} : Yeni ağırlık değerlerini,
- w_{ij}^{eski} : Eski ağırlık değerlerini,
- E_i : Ortalama hataların kareleri toplamını,
- d_i : İstenen veya beklenen emisyon değerlerini,
- η : Öğrenme parametresini göstermektedir.

5. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Sivakumar ve ark., pistonlarını stabilize zirkonyum ile kapladıkları bir dizel motorun performans ve emisyonlarındaki etkiyi araştırdıkları çalışmalarında, CO emisyonunda %2,7 oranında azalma, CO₂ emisyonunda %5,27 artış, HC emisyonlarında %35,27'lik bir azalma saptamışlardır [98].

Dorri, sayısal simülasyonla dizel motorda kirletici oluşum tahmini adlı çalışmasında, Zeldovich mekanizmasında olduğu gibi büyük aktivasyon enerjisi nedeniyle, termal NO oluşumunun sıcaklığa aşırı derecede duyarlı olduğunu, is oluşumunun zengin ve düşük sıcaklıklı oksidasyonun oluşmadığı bölgelerde meydana geldiğini söylemiştir [99].

Hazar ve Öner., dizel motorlarında TBK'nın egzoz emisyonlarına etkisini inceledikleri çalışmalarında, yanma odası elemanlarının izolasyonunun, yanma sıcaklığını arttırdığı için yanma tepkimesini de iyileştirdiğini ve bu şekilde yanmamış hidrokarbonların tepkimeye katılması sağlanarak egzoz emisyonlarının da iyileştiğini belirtmişlerdir [100].

Yaşar ve ark., endüstride yaygın olarak kullanılan TBK yöntemleri olarak; alevle toz sprej, tel sprej, elektrik ark sprej, detonasyon tabancası tekniği, HVOF ve plazma sprej olduğunu belirtmektedir. 6 silindirli, aşırı doldurmalı, ara soğutmalı bir dizel motorun silindir kapağı ve supaplarını 0,35 mm kısmi stabilize zirkonya ile kapladıkları çalışmada hacimsel verimde %1-3 artış, ÖYT değerinde %6'lık azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca 250 saatlik test sonucunda seramik kaplanmış parçaların mükemmel durumda olduklarını belirtmişlerdir [101].

Ramaswamy ve ark., doğrudan enjeksiyonlu dizel motorunda, silindir kapağı, supap ve pistonu sırasıyla 0,1 mm, 0,26 mm ve 0,45 mm termal bariyer amaçlı kaplamışlardır. Kaplama sonucunda ÖYT değerinde %1-2 azalma, EGS değerinde ise %5-6 oranlarında artma meydana geldiğini belirtmişlerdir [102].

Kamo ve ark., altı silindirli, direkt püskürtmeli, aşırı doldurmalı bir dizel motor üzerinde yaptıkları çalışmada, silindir kapağı, supaplar ve pistonları termal bariyer amaçlı olarak kaplamışlardır. Çalışmanın sonucunda NO_x emisyonlarında %40 artış olduğunu görmüşlerdir [103].

Wallace ve ark., yanma odası elemanlarına TBK uygulanmış tek silindirli bir dizel motorda yaptıkları teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda termal bariyerli pistonlara sahip motorun, kaplamasız motora göre egzoz gazlarının entalpisinde ve EGS değerinde

önemli miktarlarda artış olmasına karşın, volümetrik verimde bir miktar düşüş olduğu belirtmişlerdir [104].

Hazar ve Öztürk., bir dizel motorun piston-silindir kafası, egzoz ve emme supaplarının yüzeylerini plazma sprey yöntemiyle $Al_2O_3-TiO_2$ ile kaplayarak dizel yakıtı ile beraber farklı yakıtlarda kullandıkları çalışmalarında, yanma odası elamanları seramik kaplanan dizel motorda ısı transfer olayının azaldığını, böylece yanmayı iyileştirerek motorun performans ve emisyon değerlerini olumlu yönde etkilediği görülmüşlerdir. Ayrıca egzoz sıcaklığında kaplama sonucunda %11'lik bir artış, ÖYT değerinde yaklaşık %4 ve CO emisyonunda ise %19 bir azalma sağlamışlardır [105].

Kvernes ve ark., piston ve supapları 0,5 mm kısmi stabilize zirkonya ile kaplanmış bir orta devirli dizel motorun 14000 saatlik dayanım testinde başarı sağlanmış, bu deneme neticesinde yakıt sarfiyatında %5'e yakın azalmalar tespit etmişlerdir [106].

Uzun ve ark., aşırı doldurmalı, ara soğutmalı ve direk enjeksiyonlu düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda yapmış oldukları deneyler sonucunda, CO emisyonlarında %35-40, yanmamış HC emisyonlarında %40, partikül madde emisyonlarında %48'lik azalma olurken, NO_x emisyonlarının ise arttığını belirtmişlerdir [107].

Gürbüz ve ark., TBK'nın motor yakıt sarfiyatı, EGS ve emisyonlara olan etkilerini incelediği deneylerinde EGS değerinin arttığını, çevreye ve canlılara zararlı olan HC ve CO emisyonlarının azaldığını ve yakıt sarfiyatında iyileşme (%11) olduğunu tespit etmişlerdir [108].

Ciniviz ve ark., farklı izolasyon seviyeleri için bir dizel motorun tam yük performans ve emisyon karakteristiklerini inceledikleri çalışmalarında, yalıtım düzeyleri ile performans ve emisyon değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları kaplama deneyler sonucunda yalıtım seviyesi arttıkça ölçülen parametrelerdeki değişim miktarının da arttığını görmüşlerdir. Kaplama ile motor gücünün %6,6-9,6 arttığını, motor torkunun %6,9-10 arttığını, ÖYT değerinin %4-7,8 azaldığını, EGS değerinin %13-22 arttığını, hava fazlalık katsayısının %3-4 azaldığını, duman emisyonunun %10-18 azaldığını ve CO_2 emisyonunun %3-6,5 azaldığını görmüşlerdir [109].

Venkatesh ve ark., yaptıkları bir çalışmada, bir dizel motorun alüminyum alaşım pistonlarına seramik kaplama uygulamış ve yapılan testler sonucunda pistonun aynı tip normal pistonla göre yüzey davranışının iyileştiği sonucuna varmışlardır [110].

Özgören ve ark., stirling motorunda TBK'nın motor performansına etkilerini inceledikleri deneylerinin sonucunda, kaplamalı pistonlu güç değerlerinin kaplamasız pistonlu güç değerlerine göre daha yüksek çıktığını söylemişlerdir. Kaplama kalınlığı 0,30 mm den daha fazla kalınlığa ulaştırılır ve kaplama yüzeyi daha gözenekli bir yapıya sahip olursa, rejeneratör etkinliği daha da artacağı, aynı zamanda yer değiştirme pistonu üzerinde radyasyonla ve mekik ısı transferi ile oluşan ısı kayıpları daha da azaltılabileceği değerlendirilmesinde bulunmuşlardır [111].

Baydır ve ark., LPG yakıtlı motorda hava fazlalık katsayısı modelleme aracı ile incelenmesi adlı çalışmalarında, model sonuçlarının, planlanan deney sayısını azaltılabileceğini, deney sonuçlarından elde edilen verilerle model düzenlenerek daha doğru sonuçların alınabileceğini, ölçümü yapılamayan değerlerin tespit edilmesinin mümkün olabileceğini, geçerliliği kanıtlanmış modellerle daha detaylı parametrik çalışmalar yapılabileceğini söylemişlerdir [112].

Çırak ve ark., YSA kullanarak dizel motorlarda TBK'nın emisyonlara etkilerini inceledikleri deneylerde, KM'deki yalıtım seviyesinin artırılması sonucunda genel olarak HC, CO ve duman emisyonlarında azalma NO_x emisyonunda ise artış olduğunu belirlemişlerdir. TBK uygulaması sonucu emisyon parametrelerinde gözlenen değişikliklerin temelde silindir içi gaz sıcaklıklarındaki artıştan kaynaklandığı görüşüne varmışlardır [113].

Ateş ve ark., yaptıkları bir çalışmada, optimal parametreleri bilinen sistemlerin tasarımının YSA ile başarılı bir şekilde yapılabileceğini göstermişlerdir. Bunun yanı sıra gelecekteki çalışmalarda YSA algoritmasındaki bir takım değişikliklerle sistemlerin optimal parametreleri bilinmeden de sistemlerin tasarımının yapılabileceğini söylemişlerdir [114].

6. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada NM ve KM'nin YSA ile matematiksel modellemesi yapılmıştır. Çalışmamızda dizel, benzinli ve LPG'li olmak üzere üç farklı motor kullanılmıştır. Çalışmamız beş aşamadan oluşmaktadır.

Birinci aşama: Belirlenen dizel ve benzinli motorun egzoz emisyon ve performans değerleri kayıt altına alınmıştır. Daha sonra benzinli motor LPG'li motora dönüştürülerek LPG'li NM'nin de egzoz emisyon ve performans değerleri kayıt altına alınmıştır.

İkinci aşama: Dizel motorun yanma odası elamanlarından olan piston, egzoz ve emme supapları WC ile, benzinli motorun piston, egzoz ve emme supapları ise Cr_3C_2 ile 300 mikron kalınlığında kaplanmıştır. KM'lerin tam yük ve değişken devirlerde, egzoz emisyon ve performans değerleri kayıt altına alınmıştır. Daha sonra benzinli motor LPG'li motora dönüştürülerek LPG'li KM'nin de egzoz emisyon ve performans değerleri kayıt altına alınmıştır.

Üçüncü aşamada: NM'lerden elde edilen sonuçlar ile KM'lerden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Dördüncü aşamada: NM'lerden ve KM'lerden elde edilen sonuçlar ile YSA'dan elde edilen sonuçlar her bir motor için ayrı ayrı olmak üzere kıyaslanmıştır.

Beşinci aşamada: Motorlardan ve YSA'dan elde edilen tüm sonuçları karşılaştırmalı olarak göstermek amacıyla motorların bir temsili olan matematiksel modelleri oluşturulmuştur.

Dizel NM ve KM'nin farklı devir ve tam yükte; ÖYT(gr/kWh), HC(ppm), CO(%), CO₂(%), NO_x (ppm), duman yoğunluğu(%) ve EGS(°C) değerleri kayıt altına alınmıştır. Benzinli NM ve KM'nin farklı devir ve tam yükte; ÖYT(gr/kWh), HC(ppm), CO(%), CO₂(%), NO_x (ppm) ve EGS(°C) değerleri kayıt altına alınmıştır. LPG'li NM ve KM'nin ise farklı devir ve tam yükte; HC(ppm), CO(%), CO₂(%), NO_x(ppm) ve EGS(°C) değerleri kayıt altına alınmıştır. NM'lerde ve KM'lerde; tam yük değişken devirlerde 3250 dev/dk'den başlayarak 200 dev/dk aralıklarla 1650 dev/dk'ye kadar inilerek 8 farklı, 3200 dev/dk'den başlayarak 200 dev/dk aralıklarla 1600 dev/dk'ye kadar inilerek 8 farklı, 3150 dev/dk'den başlayarak 200 dev/dk aralıklarla 1750 dev/dk'ye kadar inilerek 7 farklı, 3100 dev/dk'den başlayarak 200 dev/dk aralıklarla 1700 dev/dk'ye kadar inilerek 7 farklı egzoz emisyon ve performans değerleri ölçülmüştür. NM'lerden toplam 30 farklı değer alınmıştır.

Dizel motorun piston, egzoz ve emme supapları; yüksek aşınma direnci, yüksek yapışma ve korozyona karşı dayanıklılık gösteren HVOF yöntemi kullanılarak WC ile kaplanmıştır. Benzinli motorun piston ve supaplarının çok yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi ve ısı transferini daha verimli yapabilmesi için plazma spreyci yöntemi kullanılarak Cr_3C_2 ile kaplanmıştır. Motorlara TBK yapıldıktan sonra deneyler tekrarlanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında dizel motorun egzoz emisyon, duman yoğunluğu, EGS ve ÖYT değerleri, benzinli motorun egzoz emisyon, EGS ve ÖYT değerleri, LPG'li motorun egzoz emisyon ve EGS değerleri tekrar incelenmiştir. Alınan deneysel veriler, YSA'ya giriş olarak verilerek YSA'nın çıkışında motorların farklı devirleri için emisyon ve performans değerleri elde edilmiştir. YSA'nın eğitiminde ve test edilmesinde MATLAB R 2012a yazılımında oluşturulan m-file dosyaları kullanılmıştır. YSA'dan tahmini olarak elde edilen veriler MATLAB GUI'de hazırlanan ara yüze aktararak motorların bütün devirlerdeki egzoz emisyon ve performans değerleri matematiksel modellerde görüntülenmiştir.

6.1. Deney Motorları ve Teknik Özellikleri

Deneylerde dizel motor olarak 4 zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı 6LD 400 model Lombardini marka motor kullanılmıştır. Dizel motor Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. 6LD 400 model Lombardini marka dizel motor

Motora ait teknik özellikler Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Deneylerde kullanılan tek silindirli dizel motorun teknik özellikleri

Motorun markası ve tipi	6LD 400 Lombardini Dizel motor
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Silindir Hacmi	395 cm ³
Strok	68 mm
Motor Gücü	6.25 / 8.5 (kW / HP)
Maksimum Tork	19.6 - 2000
Ağırlık	45 Kg
Yağlama	Tam basınçlı
Püskürtme Şekli	Direkt enjeksiyonlu tam dizel
Püskürtme Basıncı	200 kg/cm ²
Soğutma Şekli	Hava soğutmalı
Devir	3600 dev/dk
Sıkıştırma Oranı	18:1
Boyutları	382 x 427 x 491 mm

Benzinli motor olarak tek silindirli, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP model motor kullanılmıştır. Kullanılan benzinli motor Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP benzinli motor görüntüsü

Motora ait teknik özellikler ise Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. Deneylerde kullanılan tek silindirli benzinli motorun teknik özellikleri

Motorun markası ve tipi	Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP Benzinli Motor
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	77.7 mm
Silindir Hacmi	392 cm ³
Strok	82.6 mm
Ağırlık	43.6 Kg

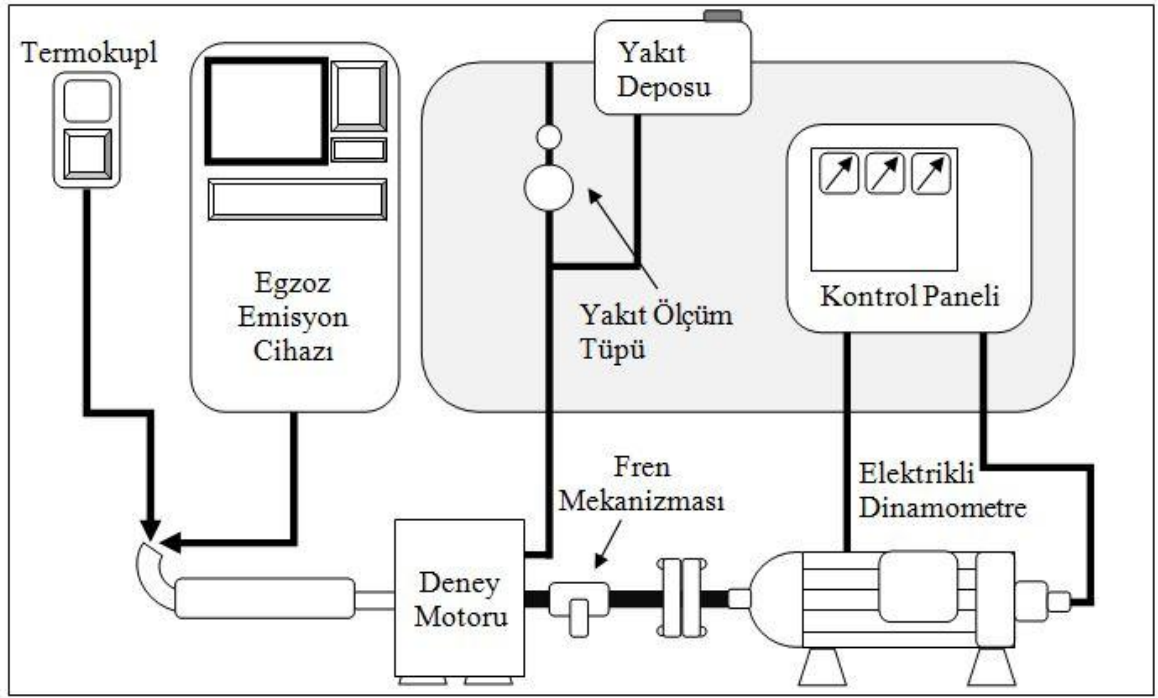
LPG’li motor olarak benzinli motora LPG dönüştürücüsü takılarak elde edilen motor kullanılmıştır. Kullanılan LPG’li motor şekil 6.3’te gösterilmiştir.



şekil 6.3. Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP LPG’li motor

6.2. Motor Test Düzenegi

Motor deneyleri Cussons P8160 Model elektrikli dinamometre düzeneginde yapılmıştır. Deney düzeneginin şematik görünümü şekil 6.4’te gösterilmiştir. Deney düzeneginde test motoru, egzoz emisyon cihazı, termometre, yakıt ölçüm tüpü, dinamometre, fren mekanizması, yakıt deposu ve kontrol ünitesi bulunmaktadır.



Şekil 6.4. Motor test düzeneği şematik görünümü

Deneylerde kullanılan yakıt ölçüm tüpü hacimsel tipte, mekanik kontrollü 10ml ve 20 ml’lik olup iki boğumlu camdan silindirik bir parçadır. Yakıt ölçüm tüpünün 10 ml’lik boğumunda bulunan dizel ve benzin tüketim süresi kronometre yardımı ile belirlenmiştir.

Motorlar farklı devirde tam yükte çalışırken emisyon değerleri Bosch marka emisyon cihazı kullanılarak alınmıştır. Kullanılan Bosch marka emisyon cihazı Şekil 6.5’de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Bosch marka emisyon cihazı

Emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti Tablo 6.3’de gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Bosch marka emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti

Bileşenler	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0.00 – 10.00 % Hac.	0.001 % Hac.
CO ₂	0.00 – 18.00 % Hac.	0.01 % Hac.
HC	0 – 9.999 ppm Hac.	1 ppm Hac.
O ₂	0.00 – 22.00 % Hac.	0.01 % Hac.
Lambda	0.500 – 9.999	0.001
NO	0 – 5000 ppm Hac.	≤ 1 ppm Hac.

Motorların egzoz gaz sıcaklıklarını ölçmek için Operating Instructions Model(W) 502 K/J termometre kullanılmıştır. Kullanılan Operating Instructions Model(W) 502 K/J termometrenin görüntüsü Şekil 6.6’da verilmiştir.

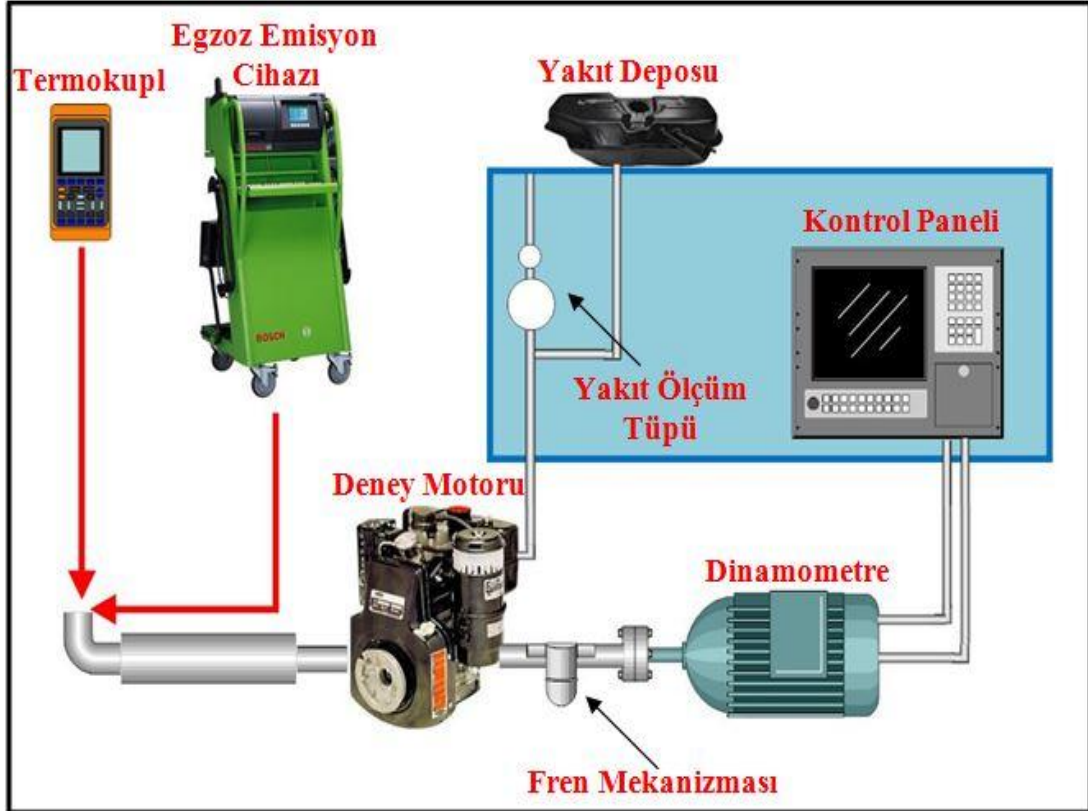


Şekil 6.6. Operating Instructions Model(W) 502 K/J termometrenin görüntüsü

Frenleme, manuel olarak fren mekanizması ile yapılmıştır.

6.3. Deneysel Çalışmalarda Yapılan İşlemler

Kaplama yapılmadan önce sırası ile dizel motor, benzinli motor ve LPG'li motor test düzeneğine bağlanmış ve motorlar 20 dk boyunca 2000 devir/dk'da çalıştırılmıştır. Motor test düzeneği Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



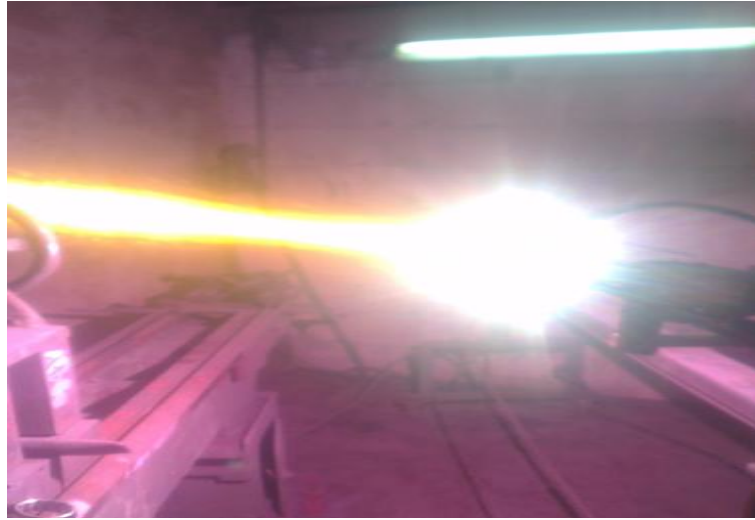
Şekil 6.7. Motor test düzeneği görünümü

Farklı devirlerde, tam yük verilmiş motordan 30 farklı egzoz emisyon, EGS ve ÖYT değerleri alınmıştır. Deney sonuçları alınan NM'nin piston ve supapları sökülüştür. Yanma odası hacminin ve sıkıştırma oranının değişmemesi için piston ve supapların yanma odası bölümünde kalan kısımlarından 300 mm talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonrasında kaplama öncesi malzeme yüzeyindeki fiziksel suyun uçurulması işlemi(100-110 °C'de) gerçekleştirilmiştir. Daha sonra malzemeler 24 grit Al_2O_3 kum ile kumlanarak pürüzlendirilme işlemine tabi tutulmuş ve kaplama öncesi işlem tamamlanmıştır. Seramik katmanın bağlanmasını sağlamak, taban malzemeyi oksitlenmeden ve korozyondan korumak için bağlayıcı toz olarak %80 Ni, %20 Cr kullanılmıştır. Dizel motorun piston ve supapları HVOF yöntemi kullanılarak WC ile

kaplanmıştır. Dizel motor pistonunun kaplama işlemi esnasındaki görünümü şekil 6.8’de verilmiştir. HVOF yöntemi ile yapılan kaplama işleminin görüntüsü şekil 6.9’da verilmiştir.



şekil 6.8. Dizel motor pistonunun kaplama işlemi esnasındaki görünümü



şekil 6.9. HVOF yöntemi ile yapılan kaplama işleminin görüntüsü

HVOF yönteminin parametreleri Tablo 6.4’te gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Dizel motor piston ve supapların HVOF yöntemi ile kaplama parametreleri

Parametreler	
HVOF tabancasının adı	HVOF
Kaplama kalınlığı (mikron)	300 Mikron
Bağlayıcı toz adı	80/20 Ni/Cr
Bağlayıcı toz katman kalınlığı (mikron)	20-30 Mikron
O ₂ basıncı (Bar), akışı (l/dk.)	10.3 bar,l/dk
Propan basıncı (bar), akışı (l/dk.)	6.9 bar,l/dk
Toz besleme miktarı (gr/dk.)	38-150 g/dk
Püskürtme mesafesi (mm)	23-25cm
Taşıyıcı gaz (N ₂) basıncı (bar), akışı (l/dk.)	0.55 bar,l/dk

Dizel motorun kaplama yapılan piston ve supaplarının görünümü Şekil 6.10’da verilmiştir.



Şekil 6.10. Dizel motorun kaplama yapılan piston ve supaplarının görünümü

Benzinli motorun piston ve supapları ise plazma sprej yöntemi kullanılarak Cr_3C_2 ile kaplanmıştır. Benzinli motorun kaplama yapılmış piston ve supaplarının görünümü Şekil 6.11’de verilmiştir.



Şekil 6.11. Benzinli motorun kaplama yapılmış piston ve supaplarının görünümü

NM ile yapılan deneyler kaplama yapılan dizel, benzinli ve LPG’li motorlarda tekrar edilmiştir. Elde edilen veriler kaydedilerek deneyler sonlandırılmıştır. Plazma Sprej yönteminin parametreleri Tablo 6.5’te gösterilmiştir.

Tablo 6.5. Plazma Sprej yönteminin parametreleri

Parametreler	
Plazma Tabancasının Adı	Sulzer Metco 9 MB 80 KW
Kaplama Kalınlığı (Mikron)	300 Mikron
Bağlayıcı Toz Adı	80/20, Ni/Cr
Bağlayıcı Toz Katman Kalınlığı (Mikron)	20-30 Mikron
Argon Basıncı (Psig),	75 psig,l/dk
Hidrojen Basıncı (Psig), Akışı (1/dk.)	50 psig,l/dk
Toz Besleme Miktarı (gr/dk.)	45-60-g/dk
Püskürtme Mesafesi (mm)	8,5-9.0 cm
Taşıyıcı Gaz (N_2) Basıncı (bar), Akışı (l/dk.)	26 (SCFH),l/dk

6.4. İçten Yanmalı Motorların YSA'larının Hazırlanması

Motorların bütün devirlerdeki sonuçlarının elde edilmesi hem maliyetli hem de zaman alıcıdır. Her ne kadar ölçülen kısmi veriler ile tahmini değerler elde edilebilse de daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar için matematiksel bir modele ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu amaçla elde edilen deneysel veriler ile KM ve NM için MATLAB yazılımı kullanılarak görsel bir arayüz oluşturulmuştur. YSA modelini tasarlamak için MATLAB R2012a paket programı kullanılmıştır. Dizel, benzinli ve LPG'li motorların egzoz emisyon ve performans parametrenin KM ve NM değerleri için ayrı ayrı olmak üzere toplam 36 adet m-file dosyası hazırlanmıştır. Her bir motordan alınan 30 farklı emisyon ve performans parametre değerlerinden 15 tanesi YSA'ların eğitilmesi için, 15 tanesi ise YSA'ların test edilmesi için kullanılmıştır. Daha iyi sonuçlar elde edebilmek için eğitim ve test verileri [-1 ; +1] aralığında normalize edilmiştir. YSA eğitimi sırasında momentum katsayısı, öğrenme katsayısı ve eğitim süresi olarak YSA'nın default değerleri kullanılmıştır. Örnek olarak normal dizel motorun NO_x için hazırlanan m-file kodları ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

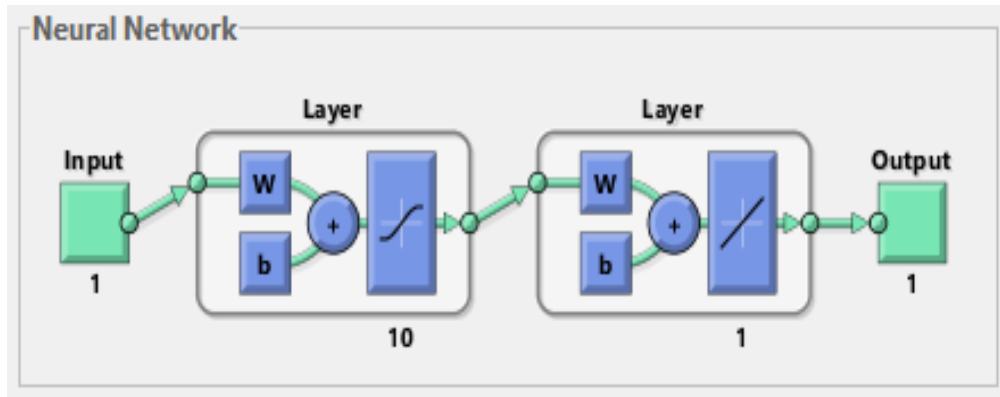
```
clc
clear all
p=1600:3050; %1600 ile 3000 arasındaki tam sayılar
t=[381 388 .....]; % 30 adet çıkış verileri

[p2,psNOx] = mapminmax(p); % -1, 1 aralığında giriş verileri normalize edildi
[t2,tsNOx] = mapminmax(t); % -1, 1 aralığında çıkış verileri normalize edildi
p4=p2(1:100:1451); %normalize edilmiş eğitimde kullanılacak giriş verilerimiz
t4=t2(1:2:30); %normalize edilmiş eğitimde kullanılacak test verilerimiz
p5=p2(51:100:1451); %normalize edilmiş testte kullanılacak giriş verilerimiz

netNOx = newff(minmax(p4),[10 1],{'tansig' 'purelin'},'trainlm'); % ara katmanda
kullanılan nöron sayısı
netNOx.trainParam.epochs=3000; % (iterasyon sayısı)
[netNOx,tr]=train(netNOx,p4,t4); %YSA eğitiliyor
```

```
a2 = sim(netNOx,p5); % eğitimde kullandığımız veriler test edildi
a = mapminmax('reverse',a2,tsNOx); % normalize değerler tekrar gerçek değerlere
dönüştürüldü.
```

Bu çalışmada literatürde en çok kullanılan çok katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı bir YSA modeli kullanılmıştır. YSA'nın eğitimi, MATLAB Neural Network Toolbox kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6.12'de motorlar için kullanılan YSA yapısı görülmektedir.



Şekil 6.12. Motorlar için kullanılan YSA yapısı

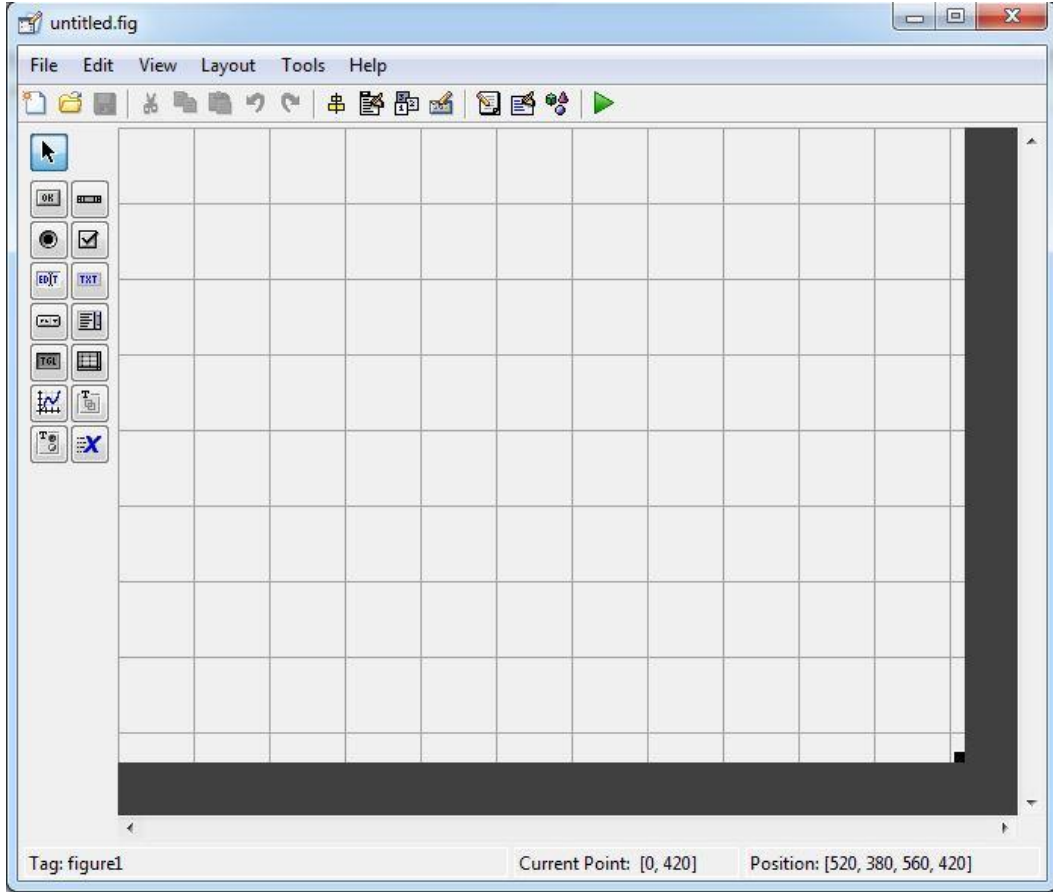
Kullanılan YSA yapısının giriş nöron sayısı 1, ara katman nöron sayısı 10 ve çıkış katman nöron sayısı 1'dir. Daha önce belirtildiği gibi ara katman nöron sayısının YSA çıkışına etkisi büyüktür. En uygun ara katman nöron sayısı deneme yanılma yoluyla 10 olarak bulunmuştur. Ara katmanda "Tanjant Sigmoid" aktivasyon fonksiyonu, ara katman ile çıkış katmanı arasında ise doğrusal (purelin) aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır.

Oluşturulan YSA modelinde maksimum iterasyon sayısı 3000, performans fonksiyonu olarak ortalama karesel hata(MSE), öğrenme algoritması olarak ise yine literatürde en çok kullanılan Levenberg-Marquardt(trainlm) algoritması kullanılmıştır. YSA'nın çıkışından elde edilen tahmini değerlerle gerçek değerler arasındaki ilişkinin daha net olarak görülebilmesi için regression(gerileme) analizi yapılmıştır. Emisyonların, ÖYT ve EGS'lerin regression değerleri 1 ya da 1'e yakın çıkmıştır. Regression değerinin 1 olması sonuçların birbirine çok yakın olduğunu göstergesidir.

Kullanılan YSA modelinde motorların tüm devirlerine karşılık gelen emisyon, ÖYT ve EGS değerleri tahmin ettirilmiştir ve bu değerler MATLAB GUI'de hazırlanan arayüz programında kullanılmıştır.

6.5. Motorların Matematiksel Modellerinin Oluşturulması

Yapılan motor deneyleri ve YSA'dan alınan tahmini değerler MATLAB GUI'de hazırlanan arayüz programı ile görsel hale getirilmiştir. Dizel motor matematiksel modelini oluşturmak için Şekil 6.13'de görülen MATLAB GUI çalışma alanı kullanılmıştır.



Şekil 6.13. Matlab GUI çalışma alanı

Açılan ekranda, çalışma alanı ekrana sığabilecek şekilde genişletilerek arayüz oluşturulmaya başlanmıştır. İlk olarak motor isminin yazılı olduğu panel oluşturulmuştur. Bu panelin üzerine devir, motor özellikleri, normal motor, kaplanmış motor ve fark panelleri oluşturulmuştur. Devir sayısını girmek için devir panelinin içine Edit Text

eklenmiştir. Girilen devir sayısına göre sonuçları görmek, yani modeli çalıştırmak için Push Button eklenmiştir. Motor resmini eklemek için, grafikleri de göstermeye yarayan Axes eklenmiştir. Motor özellikleri panelindeki bölümler için Static Text'ler eklenerek motor özellikleri yazılmıştır. NM ve KM panellerindeki NO_x, CO₂, HC, duman yoğunluğu, CO, ÖYT ve EGS sonuçlarını görmek için panellerin içerisine Edit Text'ler eklenerek herbiri daha önce YSA ile oluşturulan Şekil 6.14'deki m-file dosyalarına bağlanmıştır.



Şekil 6.14. Dizel motorun YSA ile oluşturulan m-file dosyaları

NM ile KM için NO_x, CO₂, HC, CO, ÖYT, duman yoğunluğu ve EGS sonuçlarının farklarını yüzdesel olarak göstermek için Şekil 6.15'te görülen fark paneli oluşturulmuştur.

Dizel 6LD 400 Lombardini Motorun Matematiksel Modeli

MOTOR DEVRİNİ GİRİNİZ

START

Motor Özellikleri

Motorun markası	6LD 400 Lombardini
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Silindir Hacmi	395 cm ³
Strok	68 mm
Motor Gücü	6.25 / 8.5 (kW / HP)
Maksimum Tork	19.6 - 2000
Ağırlık	45 Kg
Sıkıştırma oranı	18:1
Püskürtme Basıncı	200 kg / cm ²
Devir	3600 d / dk
Yakıt Tipi	Dizel

Standart Motor

NOx(ppm)	0
CO2(%)	0
HC(ppm)	0
CO(%)	0
ÖYT(gr/kWh)	0
EGS(oC)	0
Duman Yoğunluğu(%)	0

Kaplanmış Motor

NOx(ppm)	0
CO2(%)	0
HC(ppm)	0
CO(%)	0
ÖYT(gr/kWh)	0
EGS(oC)	0
Duman Yoğunluğu(%)	0

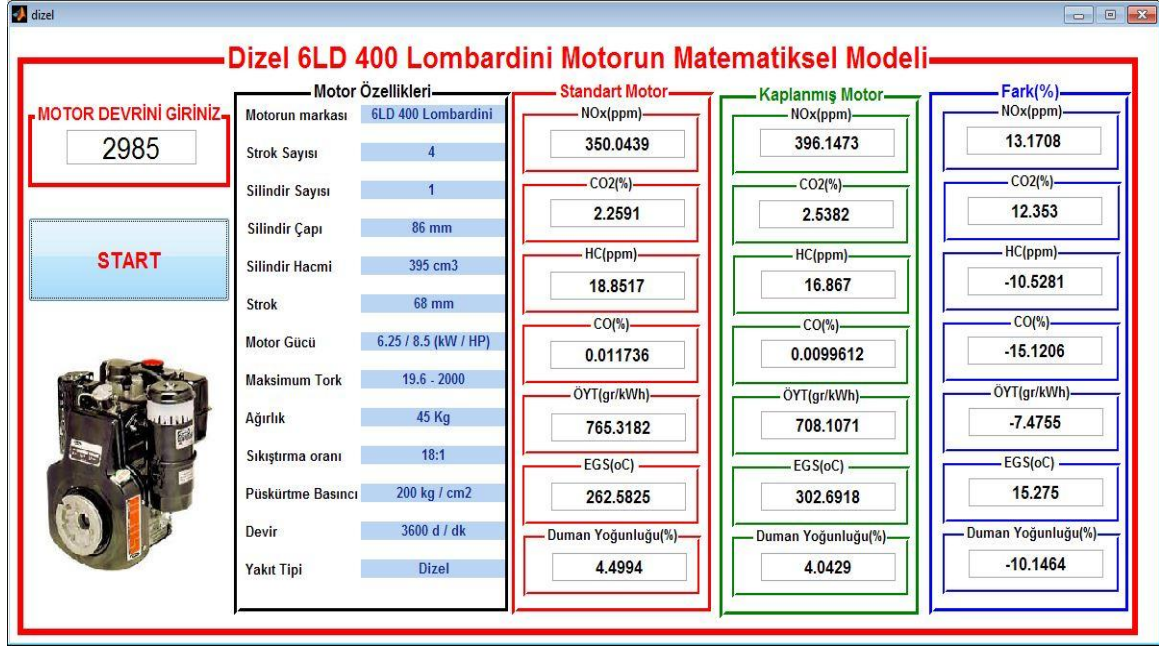
Fark(%)

NOx(ppm)	0
CO2(%)	0
HC(ppm)	0
CO(%)	0
ÖYT(gr/kWh)	0
EGS(oC)	0
Duman Yoğunluğu(%)	0

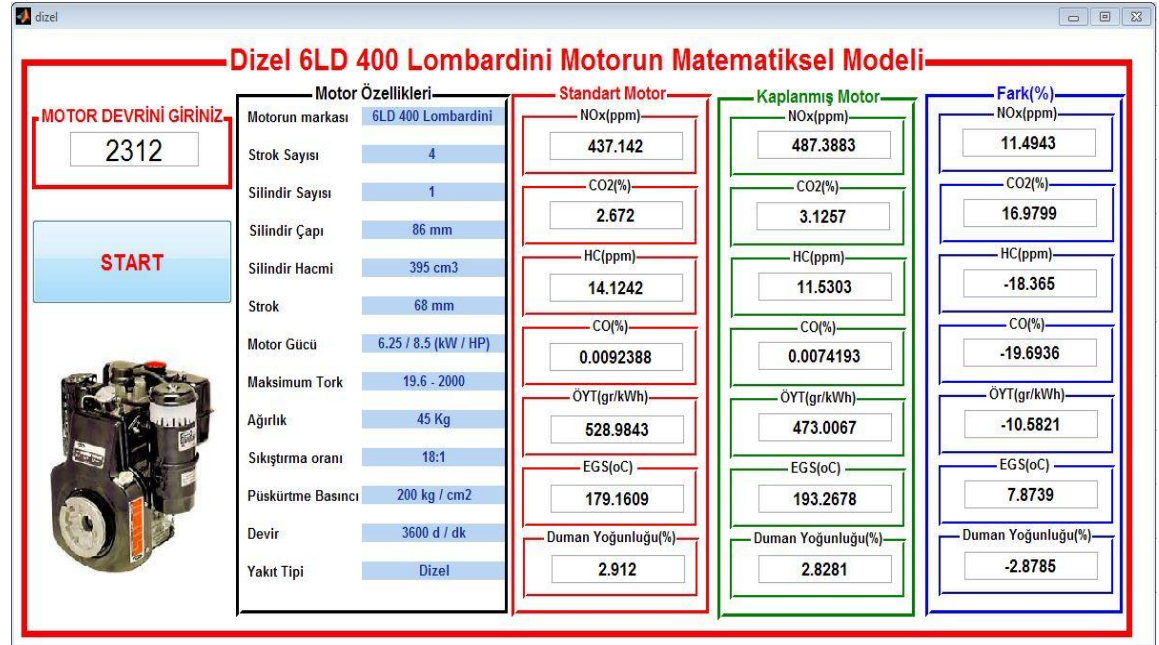
axes1

Şekil 6.15. Matlab Gui’de hazırlanmış arayüz

İstenilen motor devri girildikten sonra Start butonuna tıklandığında sonuçlar Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’deki gibi görünmektedir. Benzinli ve LPG’li motorun matematiksel modelleri oluşturulurken dizel motorda yapılan işlemler tekrarlanmıştır. Benzinli motorun matematiksel modelinin arayüz görünümü Ek-1’de, LPG’li motorun matematiksel modelinin arayüz görünümü, Ek-2’de, dizel motorun matematiksel modelinin kodları Ek-3’te verilmiştir.



Şekil 6.16. Dizel 6 LD 400 Lombardini motorun matematiksel modelinin 2985 dev/dk'deki sonuçları



Şekil 6.17. Dizel 6 LD 400 Lombardini motorun matematiksel modelinin 2312 dev/dk'deki sonuçları

Dizel 6LD 400 Lombardini Motorun Matematiksel Modeli

MOTOR DEVRİNİ GİRİNİZ
1867

START



Motor Özellikleri		Standart Motor	Kaplanmış Motor	Fark(%)
Motorun markası	6LD 400 Lombardini	NOx(ppm)	NOx(ppm)	NOx(ppm)
Strok Sayısı	4	422.0574	489.7445	16.0374
Silindir Sayısı	1	CO2(%)	CO2(%)	CO2(%)
Silindir Çapı	86 mm	2.1457	2.5831	20.3858
Silindir Hacmi	395 cm3	HC(ppm)	HC(ppm)	HC(ppm)
Strok	68 mm	16.3827	14.2248	-13.1716
Motor Gücü	6.25 / 8.5 (kW / HP)	CO(%)	CO(%)	CO(%)
Maksimum Tork	19.6 - 2000	0.0097157	0.0079195	-18.4881
Ağırlık	45 Kg	ÖYT(gr/kWh)	ÖYT(gr/kWh)	ÖYT(gr/kWh)
Sıkıştırma oranı	18:1	751.8327	680.9432	-9.4289
Püskürtme Basıncı	200 kg / cm2	EGS(oC)	EGS(oC)	EGS(oC)
Devir	3600 d / dk	132.5627	145.3005	9.6088
Yakıt Tipi	Dizel	Duman Yoğunluğu(%)	Duman Yoğunluğu(%)	Duman Yoğunluğu(%)
		2.3012	2.1944	-4.6411

Şekil 6.18. Dizel 6 LD 400 Lombardini motorun matematiksel modelinin 1867 dev/dk'deki sonuçları

7. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Kaplama öncesi ve kaplama sonrası motorların tam yük farklı devirlerdeki performans ve emisyon değerleri tespit edilmiştir. Performans, emisyon ve YSA sonuçları karşılaştırmalı olarak grafikler halinde aşağıda gösterilmiştir.

YSA'nın tahmin ettiği değerlerin gerçeğe yakınlığını YSA regression değeri göstermektedir. Bu değer 1 ve 1'e yakın olması gerçek ve tahmini sonuçların birbirine çok yakın olduğunu göstergesidir.

7.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

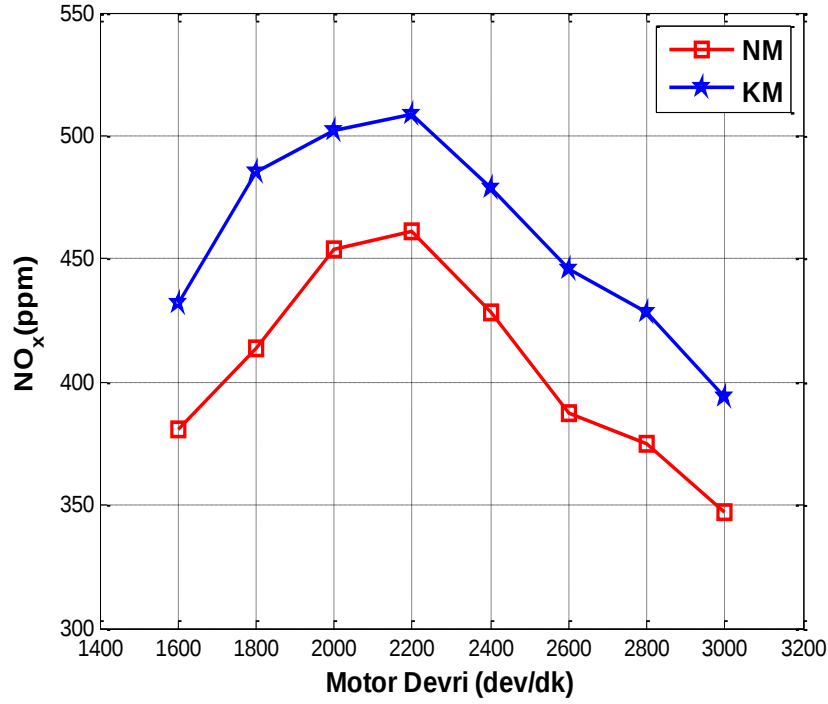
Kaplama öncesi ve kaplama sonrası dizel, benzinli ve LPG'li motorların tam yük farklı devirlerdeki emisyon, ÖYT ve EGS değerleri tespit edilmiştir. Egzoz gaz emisyonları, ÖYT, EGS ve YSA sonuçları karşılaştırmalı olarak grafikler halinde aşağıda gösterilmiş ve motorlar dizel, benzinli ve LPG'li olmak üzere üç ayrı başlık altında analiz edilmiştir.

7.2. Dizel Motor Deney Sonuçları

7.2.1. NO_x Emisyonlarının Karşılaştırılması

Dizel motorda basınç, reaksiyon sıcaklığı, bir önceki yanmadan kalan karışım, fazla oksijen, ateşleme gecikme süresi ve tutuşma hızı NO_x oluşumunu etkileyen en önemli faktörlerdir [115]. Dizel motorun NO_x emisyonu oluşumunda adyabatik alev sıcaklığı, ısı salınım oranı ve stokiyometrik yanma da önemli etkiler gösterebilir.

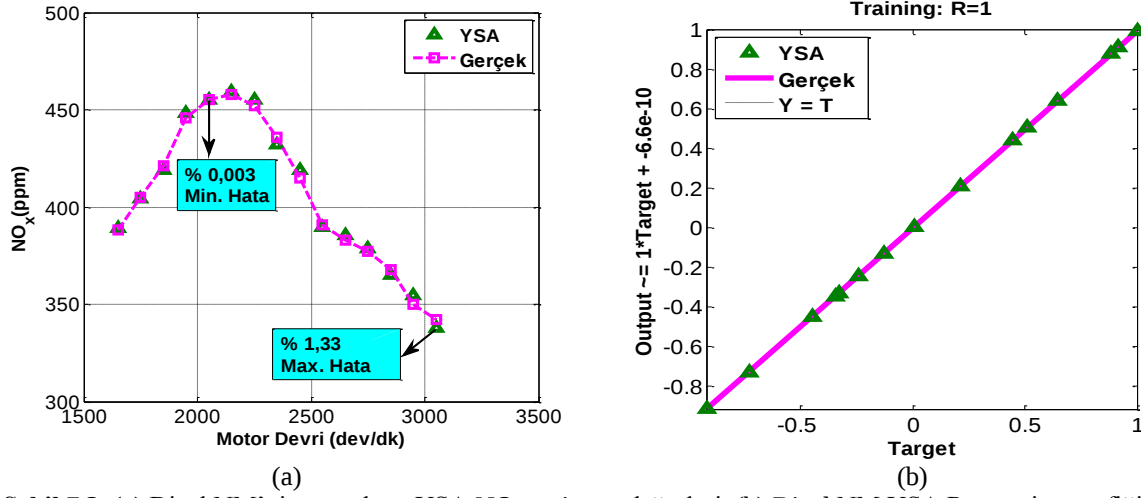
NO_x seviyesi yanma odası sıcaklığı ile doğru orantılıdır. NM ve KM'nin tam yük ve farklı devirlerdeki NO_x emisyonu grafikleri Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Dizel motor NO_x emisyonunun NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.1'e bakıldığında her iki motor için KM ve NM'nin NO_x emisyon değerlerinin 1600 dev/dk'de yani düşük devirde düşük çıktığı görülmektedir. Motor devrinin artmasıyla beraber NO_x emisyonun her iki motor için arttığı ve yüksek devirlerde tekrar azaldığı görülmektedir. Motor devrinin artmasıyla beraber artan sıcaklıkla birlikte NO_x emisyon miktarının arttığı görülmektedir. 2200 dev/dk'de NO_x emisyon değerleri her iki motor için maksimum değere ulaşmıştır. Bunun nedeninin orta devir aralığında yanma parametrelerinin iyileşmesi olduğu düşünülmektedir. 2200 dev/dk'den sonra, devir arttıkça yükselen sıcaklığa rağmen NO_x'in düştüğü görülmüştür.

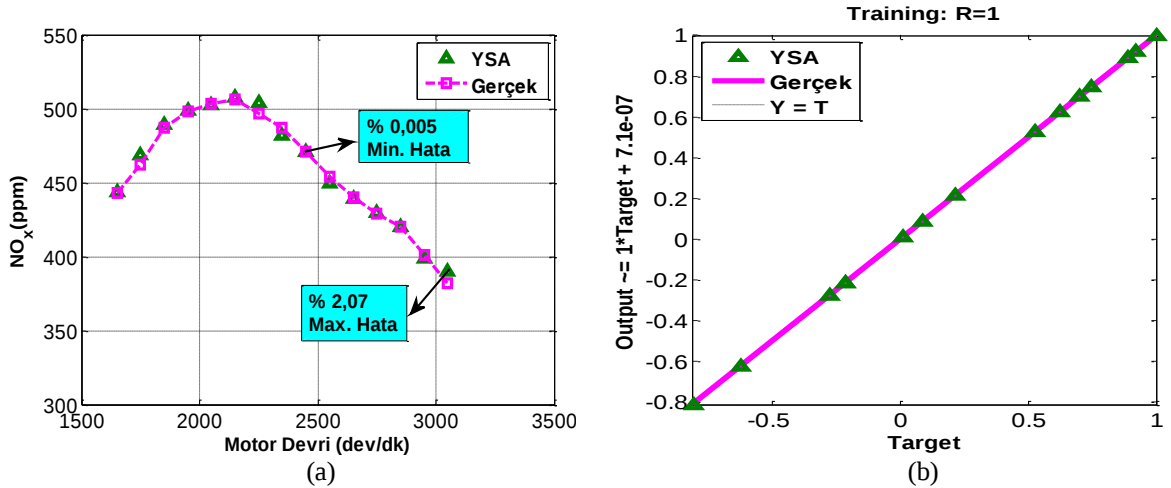
Yüksek devirlerde NO_x'in düşmesi ortamda bulunan gazların yüksek sıcaklıkta kalma sürelerinin azalması, böylece NO_x oluşumu için yeterli zamanın kalmadığı şeklinde açıklanabilir [39]. Yapılan deneyler sonucunda KM NO_x emisyon değerlerinde NM'ye göre ortalama %13'lük bir artış olduğu görülmüştür. Bu artışın nedeninin kaplama ile termal yalıtım yapılan motorun silindir içi basıncının ve adyabatik alev sıcaklığının artması olduğu düşünülmektedir. NM'nin deneylerden elde edilen gerçek değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerlerinin karşılaştırılmalı grafiği ve regression değerleri grafiği Şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.2. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA NO_x emisyon değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek NO_x emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %1,33 olarak, minimum hatayı ise 2050 dev/dk'de %0,003 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.2 (b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.3'te KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini NO_x emisyon değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.

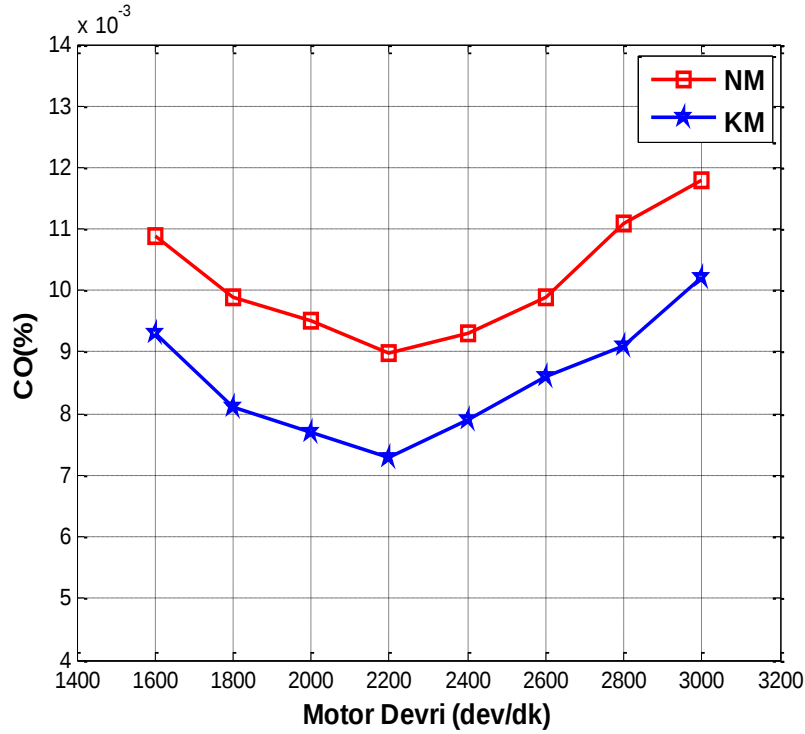


Şekil 7.3. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA NO_x emisyon değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek NO_x emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 3050 dev/dk'de %2,07 olarak, minimum hatanın ise 2450 dev/dk'de %0,005 olarak yapıldığı görülmüştür. Şekil 7.3(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.2.2. CO Emisyonlarının Karşılaştırılması

CO oluşumunu etkileyen etkenler; düşük yanma sonu sıcaklığı, eksik yanma ve fakir hava/yakıt karışımıdır. Dizel motorlar yüksek HFK ile çalıştıklarından CO emisyonları azdır. Silindir içerisinde genellikle yakabileceklerinden daha çok hava mevcuttur. Bu da CO emisyonlarını sınırlandıran bir etmendir [116]. Dizel motorun NM ve KM'de, CO emisyon değerleri Şekil 7.4'te görülmektedir.

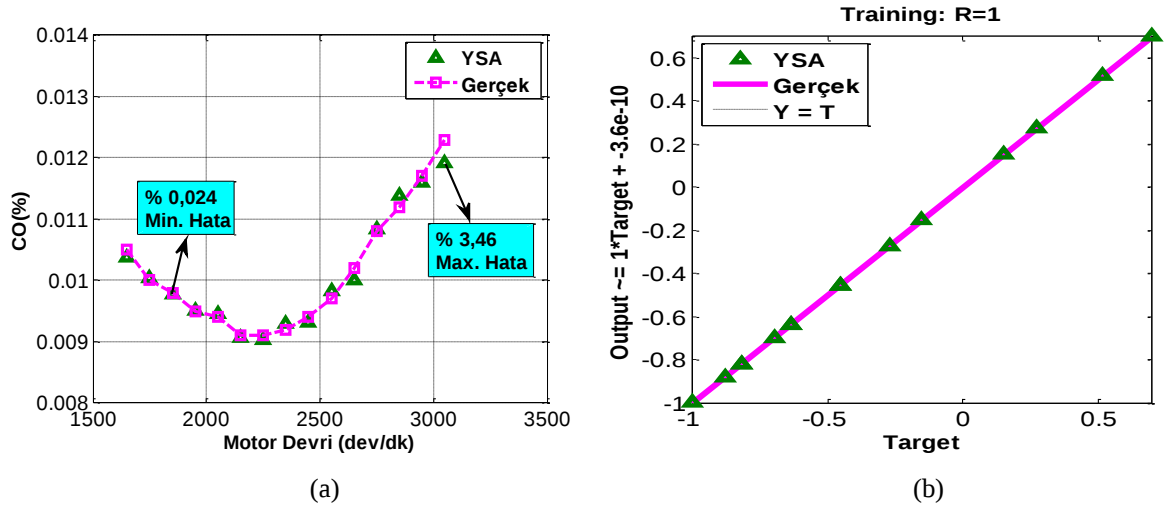


Şekil 7.4. Dizel motor CO emisyonunun NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.4'e bakıldığında dizel motorun düşük motor hızlarında ki CO emisyon değerleri daha yüksek ölçülmüştür. Bunun nedeni düşük motor hızlarında silindirlerdeki düşük gaz sıcaklığı nedeniyle CO'nun, CO₂'ye tam olarak dönüşmemesidir [117]. Her iki motorun en düşük CO emisyon değerleri 2000 dev/dk ile 2200 dev/dk arasında ölçülmüştür. Orta devirden sonra yani 2200 dev/dk'den sonraki devirlerde yanma için yeterli tutuşma zamanının bulunmaması, CO ve O₂'nin tepkimeye girmesine engel olmaktadır. Buna bağlı olarak ta CO miktarının yükseldiği düşünülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda KM CO emisyon değerlerinin NM'ye göre ortalama %16 daha az olduğu görülmüştür. Dizel motorların ısı yalıtımını sağlamak amacıyla yanma odası

elemanlarının seramik malzeme ile kaplanması neticesinde, silindir içi sıcaklık seviyeleri artmakta, buna bağlı olarak da CO ve duman emisyonlarında azalma sağlanabilmektedir [103, 109, 118].

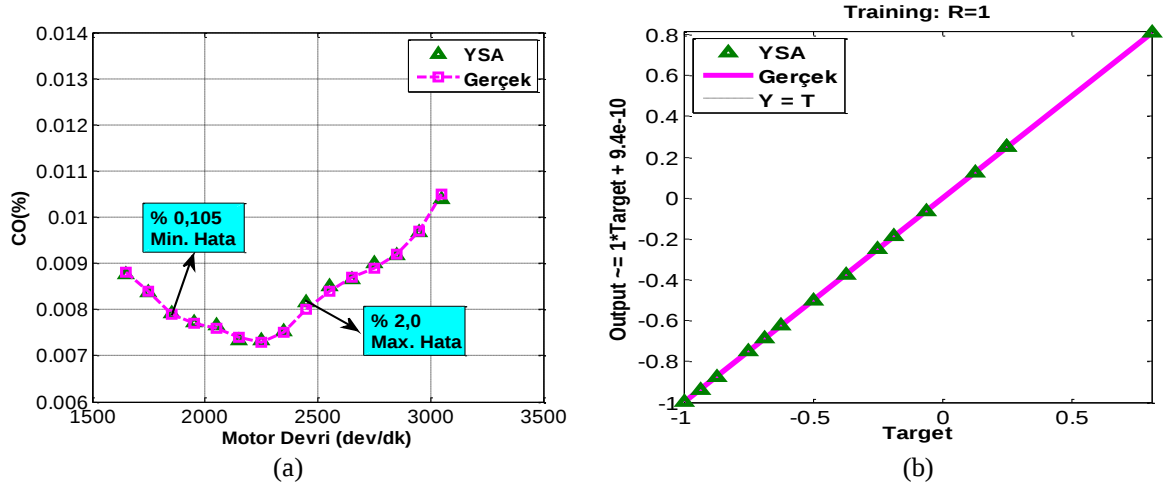
Şekil 7.5'te NM'den alınan gerçek CO değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.5. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek CO emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %3,46 olarak, minimum hatayı ise 1850 dev/dk'de %0,024 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.5'te görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.6'da KM CO emisyonunun gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



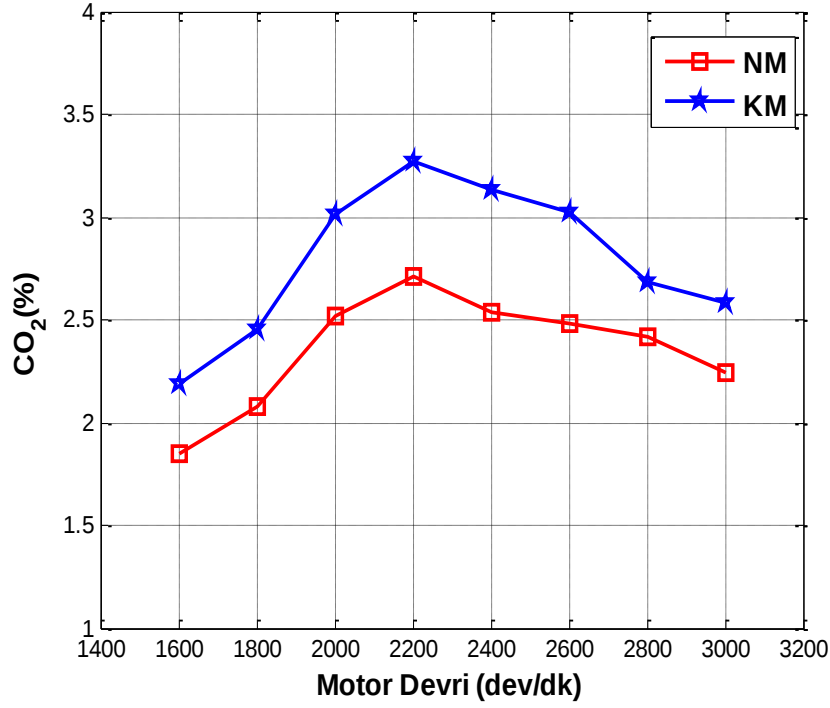
Şekil 7.6. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek CO emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2450 dev/dk'de %2 olarak, minimum hatayı ise 1850 dev/dk'de %0,105 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.6(b)'de görüldüğü YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.2.3. CO₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması

CO₂ emisyonu doğrudan yanma ile ilgilidir. Dizel bir motor düşük devirde çalışıyorsa, yanma performansı da düşüktür. Çünkü düşük devirlerde silindir içi sıcaklık değeri optimum şartlarda olmadığı için kötü bir yanma reaksiyonu gerçekleşmektedir [119].

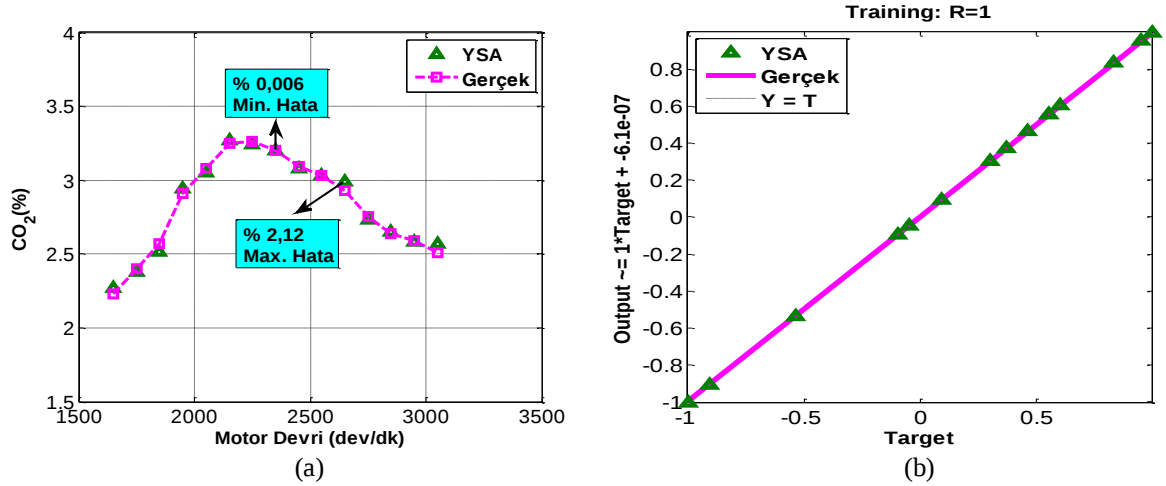
Dizel motorların tam yük farklı devirlerdeki CO₂ emisyon değerinin değişimi Şekil 7.7'de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. Dizel motor CO₂ emisyonunun NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.7'ye bakıldığında CO₂ emisyonunun, 2200 dev/dk'de en yüksek noktada olduğu görülmektedir. Bunun nedeni motorlarda maksimum moment devrinde silindir içine alınan O₂ miktarının en yüksek seviyeye çıkmasıdır. Maksimum moment devrinden sonra yakıt karışımı zenginleşmekte ve CO₂ oranı düşmektedir. Ortaya çıkan CO emisyon değerleri CO₂ sonuçlarını destekler niteliktedir. Yapılan deneyler sonucunda kaplama yapılan dizel motorun CO₂ emisyon değerlerinde ortalama %15'lik artış olduğu görülmüştür.

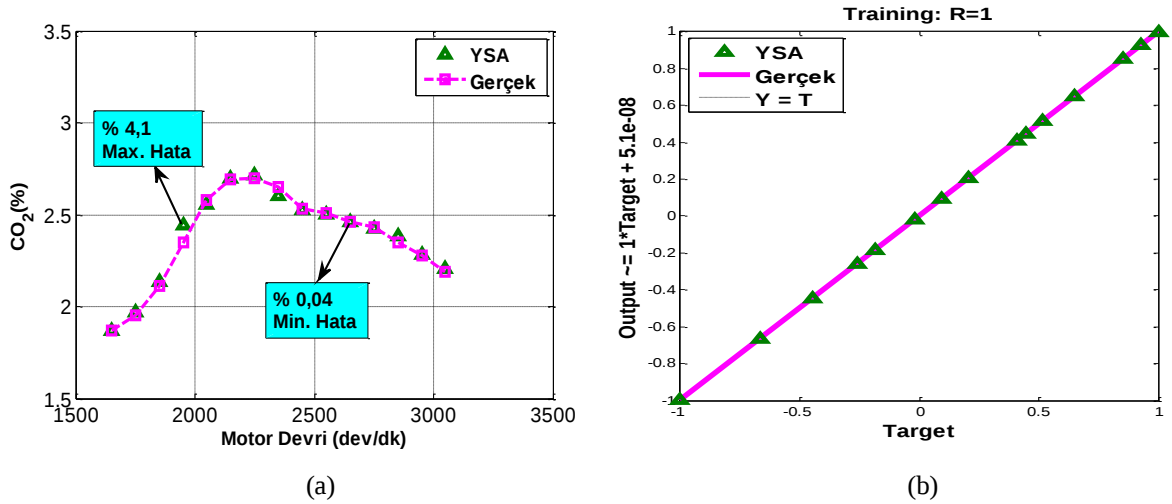
Şekil 7.8'de NM'de CO₂ gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.8. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA CO₂ emisyon değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek CO₂ değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2650 dev/dk'de %2,12 olarak, minimum hatayı ise 2350 dev/dk'de %0,006 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.8(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.9'da KM CO₂ gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



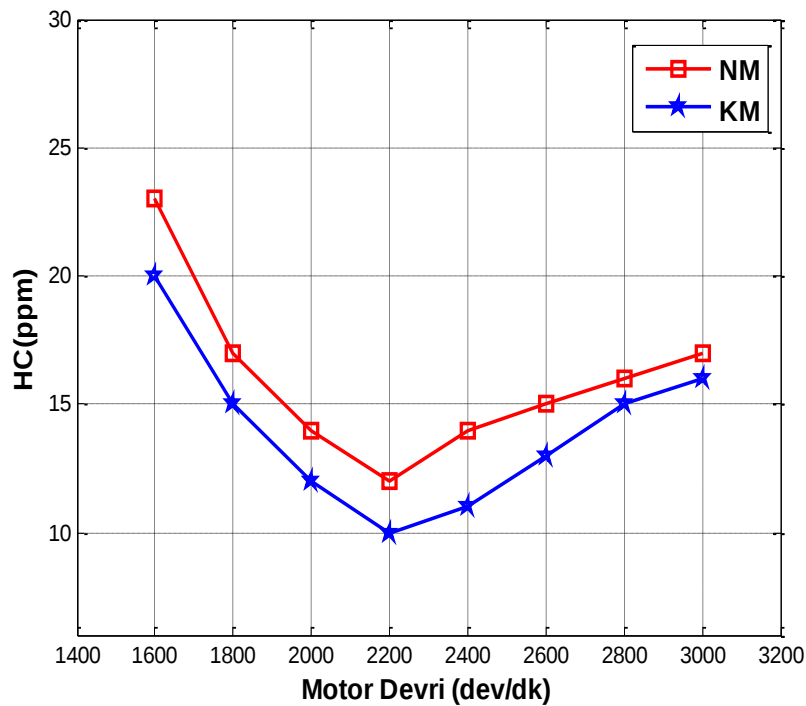
Şekil 7.9. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA CO₂ emisyon değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek CO₂ değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 1950 dev/dk'de %4,1 olarak, minimum hatanın ise 2650 dev/dk'de %0,04 olarak yapıldığı görülmüştür. Şekil 7.9(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.2.4. HC Emisyonlarının Karşılaştırılması

HC emisyonu eksik yanma sonucu oluşan bir emisyonudur. Yanma ürünleri arasında yanmamış HC'lerin bulunmasının nedeni, yakıtın tutuşma sıcaklığına gelmemesi, ortamda oksijenin yetersiz olması nedeniyle yakıtın okside olamaması veya yarı oksitlenmesidir [120].

KM ve NM'nin tam yük ve farklı devirlerdeki HC emisyonunun değişimi Şekil 7.10'da gösterilmiştir.

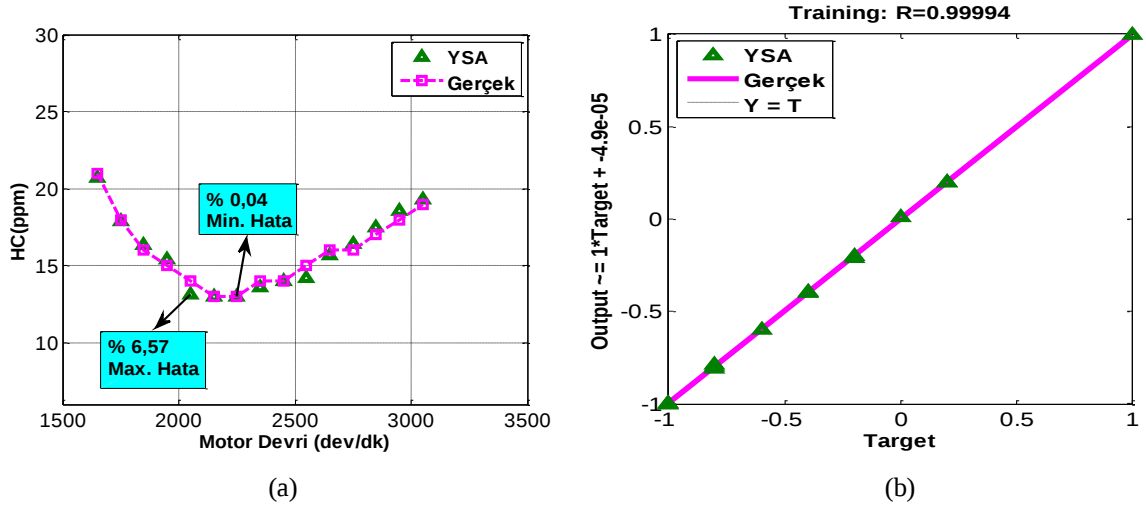


Şekil 7.10. Dizel motor HC emisyonunun NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.10'a bakıldığında KM'nin bütün devirler için HC emisyonunun NM'ye göre daha düşük çıktığı görülmektedir. HC emisyonu üzerinde etkili olan etkenlerden bir tanesi de yanma reaksiyon sıcaklığıdır. Düşük devirlerde her iki motor için HC emisyonun yüksek çıkması üzerinde yanma reaksiyon sıcaklığının düşük olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Artan devirle birlikte yanma reaksiyon sıcaklığının artması, HC emisyonunun her iki motor için azalmasına neden olmuştur. Ayrıca motor devrinin artmasıyla beraber, düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamı yanmadan dışarı atılmakta ve böylelikle HC emisyonları artmaktadır [59].

Yapılan deneylerde çıkan sonuçlar bunları doğrular niteliktedir. Kaplama sonrasında yapılan deneyler sonucunda dizel motor HC emisyon değerlerinde ortalama %12'lik düşüş olduğu görülmüştür.

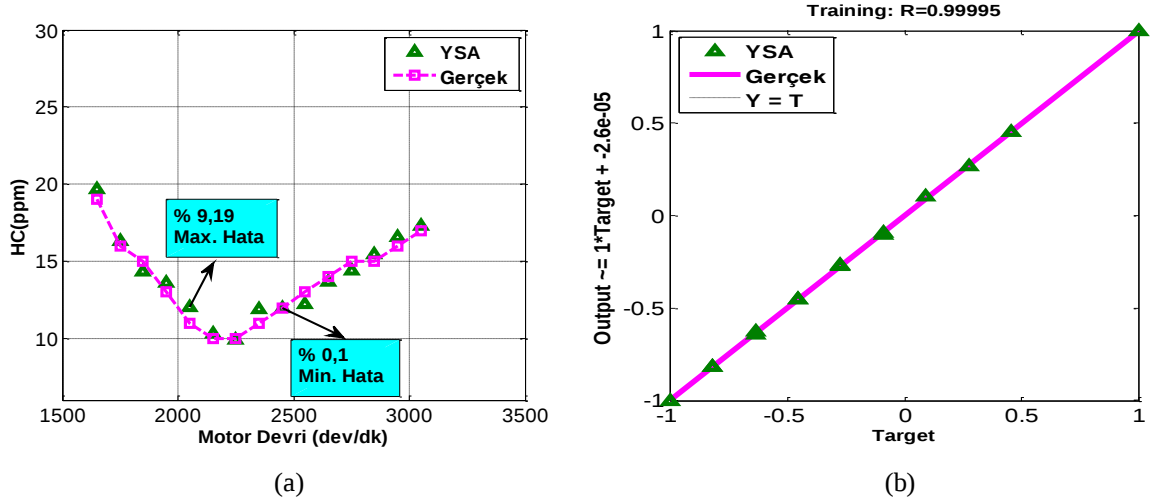
Şekil 7.11'de NM'de HC gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.11. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek HC değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2050 dev/dk'de %6,57 olarak, minimum hatayı ise 2250 dev/dk'de %0,04 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.11(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 0.99994 çıkmıştır.

Şekil 7.12'de KM HC gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.

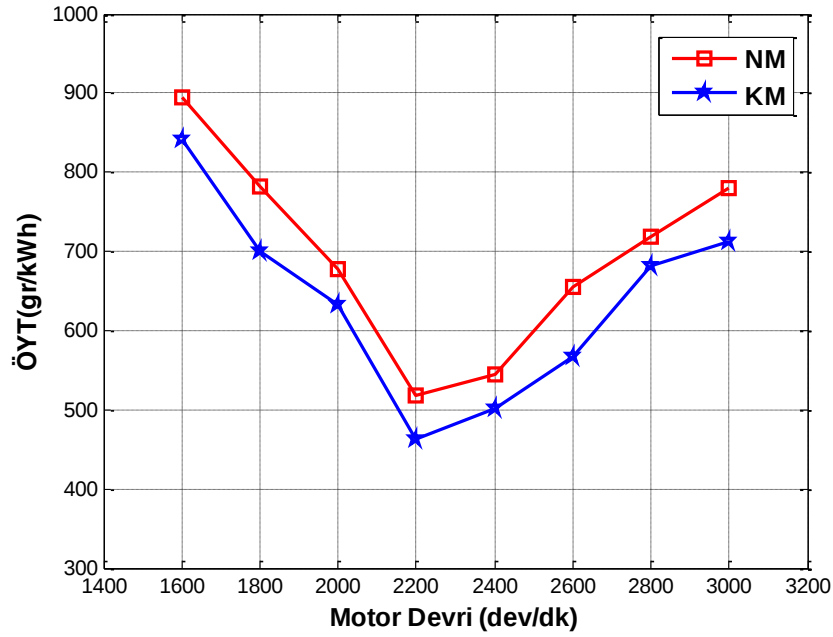


Şekil 7.12. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek HC değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 2050 dev/dk'de %9,19 olarak, minimum hatayı ise 2450 dev/dk'de %0,1 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.12(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 0,99995 çıkmıştır.

7.2.5. ÖYT Değerlerinin Karşılaştırılması

ÖYT, birim güç başına birim zamanda tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. Dizel motorların tam yük farklı devirlerdeki ÖYT değişimleri Şekil 7.13'de gösterilmiştir.

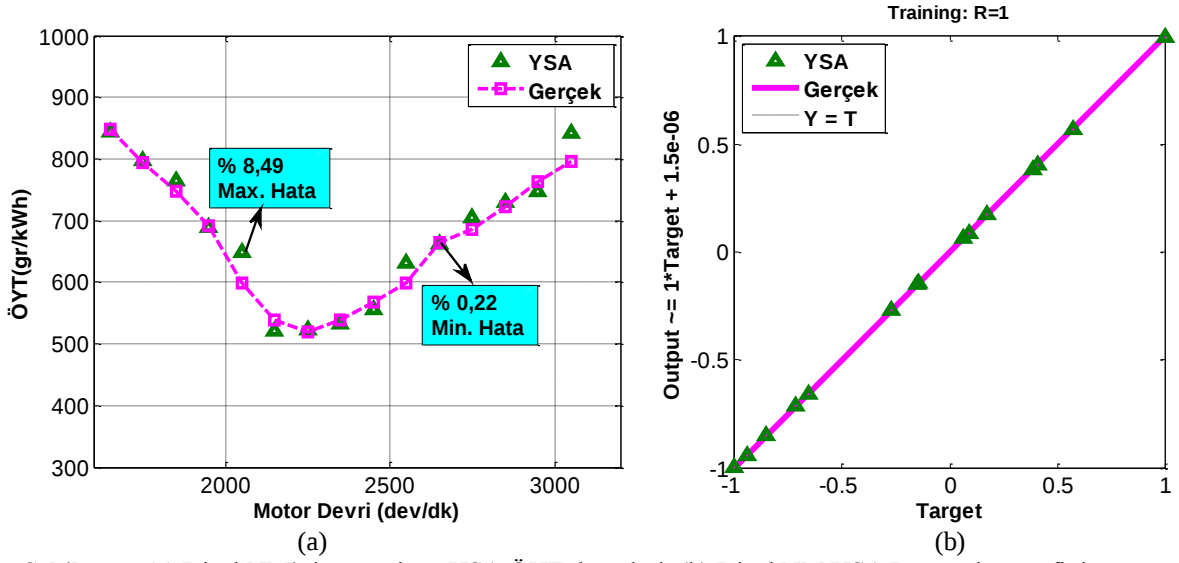


Şekil 7.13. Dizel motor ÖYT değerinin NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.13 incelendiğinde NM ve KM için düşük devirlerde ÖYT değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Düşük devirlerde motorlarda ısı kaybının yüksek olması, yanma koşullarının motor devri olarak optimum yanma bölgesinden uzak olması, ayrıca düşük devirlerde motor gücünün düşüklüğünden dolayı bu, beklenen bir sonuçtur [114].

Deney motorunun maksimum torku ürettiği 2200 dev/dk'de ÖYT'nin minimum değere ulaştığı görülmüştür. 2200 dev/dk'den sonraki yüksek devirlerde, motorlarda ÖYT'nin arttığı görülmektedir. Motor devri yükseldikçe yakıtların yanması için gerekli zaman azaldığından dolayı tam yanmanın gerçekleşemediği ve bu durumun da ÖYT'nin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda kaplama yapılan dizel motorun ÖYT değerlerinde ortalama %8'lik düşüş olduğu görülmüştür. Bu sonucun motorlar üzerinde uygulanan TBK işleminin yanma odası sıcaklığını arttırdığı ve böylece yanmanın iyileşmesi nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir.

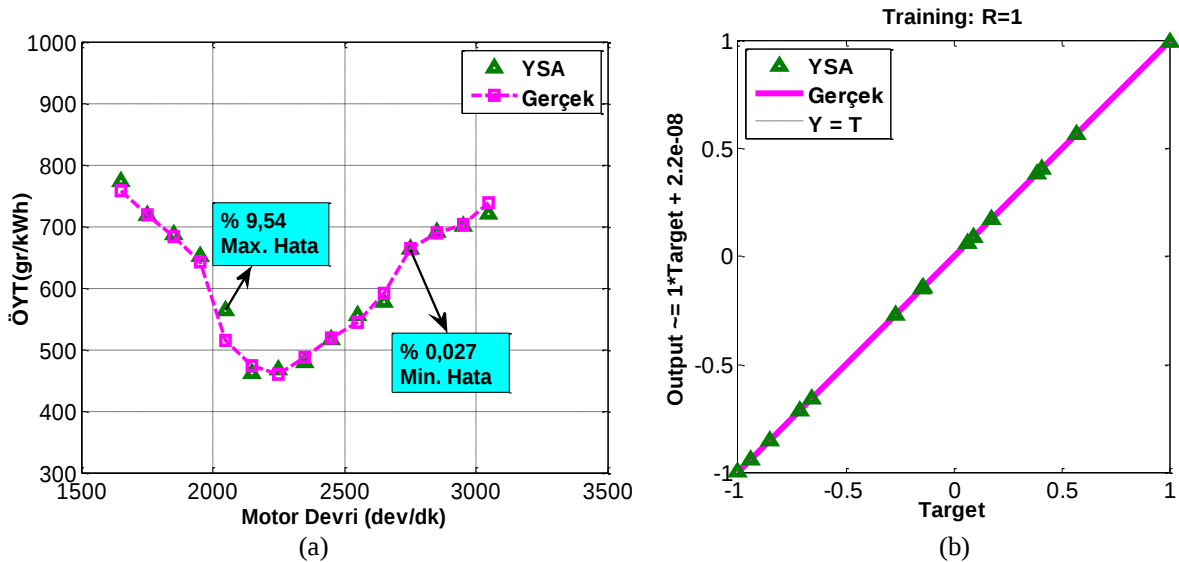
Şekil 7.14'de NM'de ÖYT gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.14. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA ÖYT değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek ÖYT değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği ÖYT değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 2050 dev/dk'de %8,49 olarak, minimum hatanın ise 2650 dev/dk'de %0,22 olarak yapıldığı görülmüştür. Şekil 7.14(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.15'te KM ÖYT gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.15. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA ÖYT değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği

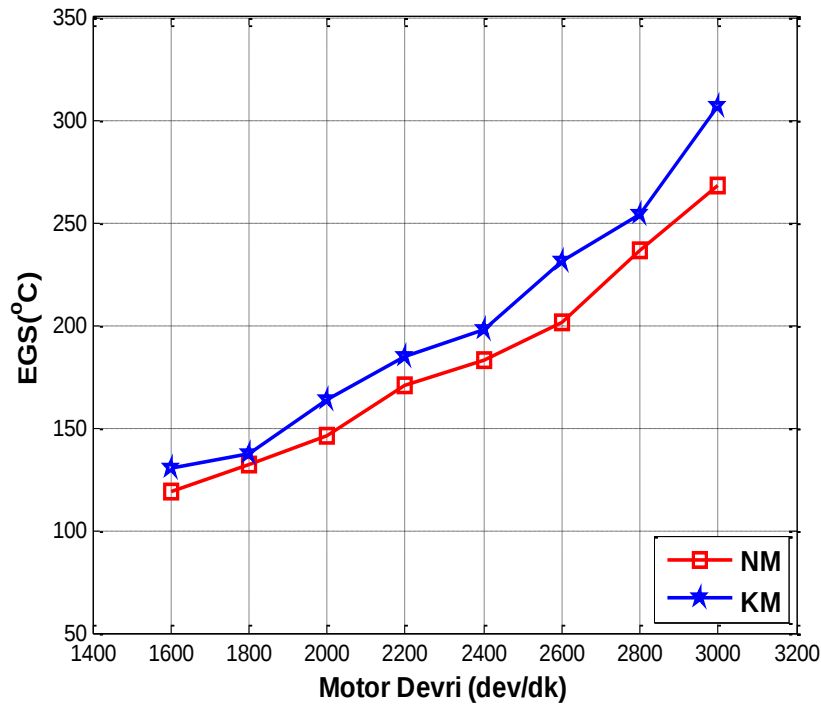
KM'nin gerçek ÖYT değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği ÖYT değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 2050 dev/dk'de %9,54

olarak, minimum hatanın ise 2750 dev/dk'de %0,027 olarak yapıldığı görülmüştür. Şekil 7.15(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.2.6. EGS Değerlerinin Karşılaştırılması

EGS, içten yanmalı motorlarda yük ve devir sayısına bağlı olarak değişmektedir. Devir sayısı arttıkça yanma odasındaki yakıt miktarının artmasından dolayı yanma boyunca ortaya çıkan ısı artacaktır. Bu olay EGS'nin yükselmesine neden olmaktadır. Dizel motor EGS ölçümü, egzoz manifolduna monte edilen 120 cm uzunluğundaki egzoz borusundan alınmıştır.

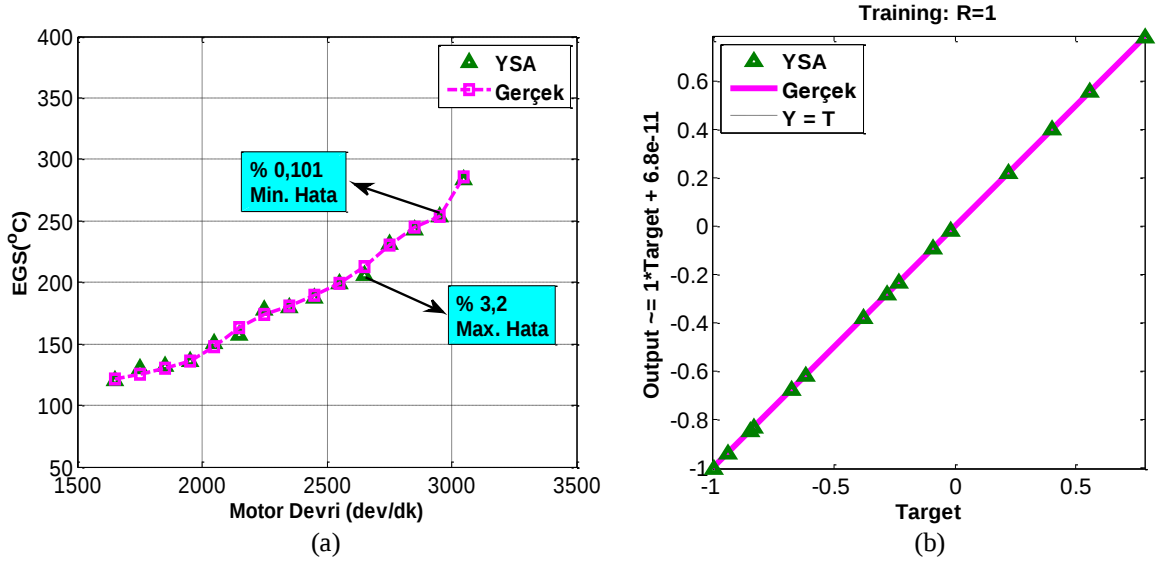
Dizel motorların tam yük değişken devirlerdeki EGS değişimleri Şekil 7.16'da gösterilmiştir.



Şekil 7.16. Dizel motor EGS değerinin NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.16 incelendiğinde her iki motor için EGS'nin motor devriyle beraber artış gösterdiği görülmektedir. KM'de uygulanan yalıtım neticesinde piston ve supaplar üzerinden kaybedilen ısı azalmaktadır. Bu sayede yanma sonu sıcaklığında artış olmakta ve ortaya çıkan EGS değeride artmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda KM'nin EGS değerlerinde ortalama %9'luk artış olduğu görülmüştür.

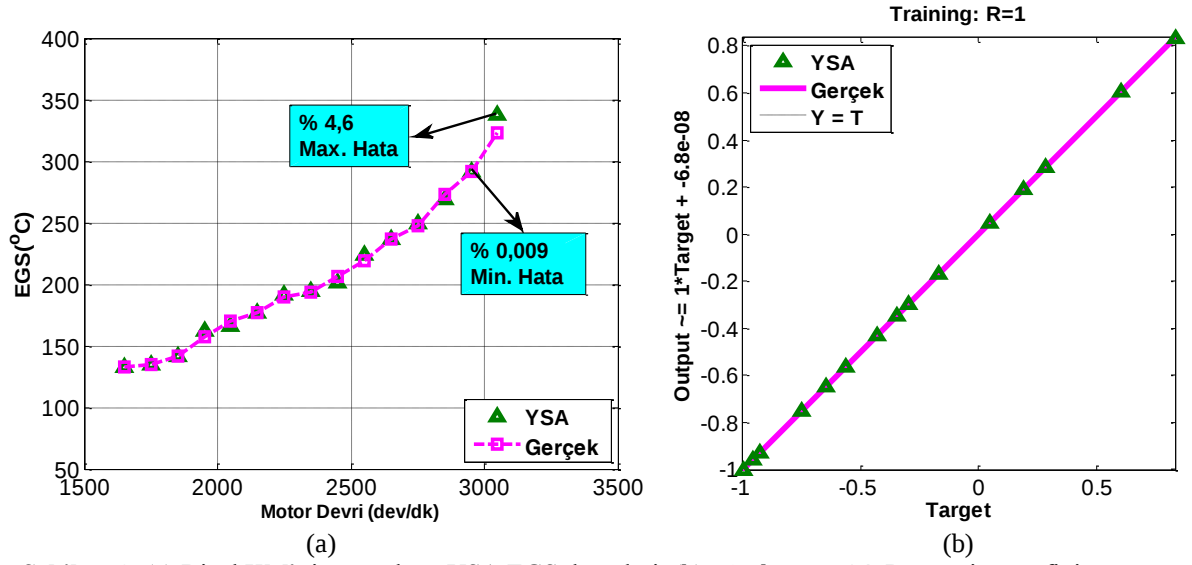
Şekil 7.17’de NM EGS gerçek değerleri ile YSA’da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.17. (a) Dizel NM’nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği

NM’nin gerçek EGS değerleri ve YSA’nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 2650 dev/dk’de %3,2 olarak, minimum hatanın ise 2950 dev/dk’de %0,101 olarak yapıldığı görülmüştür. Şekil 7.17(b)’de görüldüğü gibi YSA’nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.18’de KM EGS gerçek değerleri ile YSA’da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.

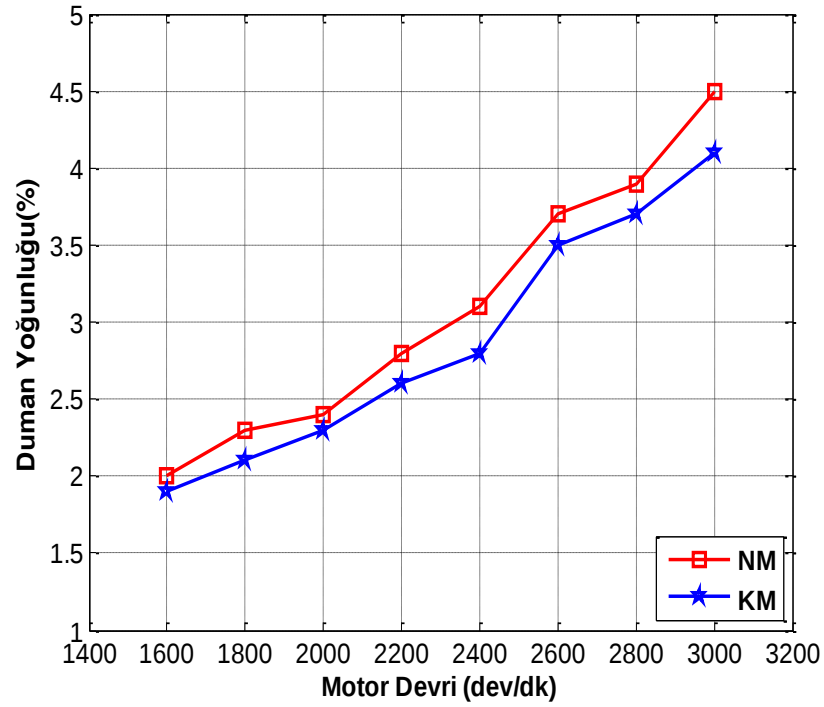


Şekil 7.18. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %4,6 olarak, minimum hatayı ise 2950 dev/dk'de %0,009 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.18(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.2.7. Duman(İs) Yoğunluğunun Karşılaştırılması

Dizel motorda silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H_2 molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte (oksijenle birleşmekte) ve geriye kalan C yeterli O_2 bulamadığından yanamayıp is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır. İs oluşumunun nedenleri yakıtının cinsine göre değişmekle birlikte genellikle silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızla hava ile karışmaması ve buharlaşmamasıdır [121]. KM ve NM'nin tam yük ve değişken devirlerdeki duman yoğunluğu değişimleri Şekil 7.19'da gösterilmiştir.

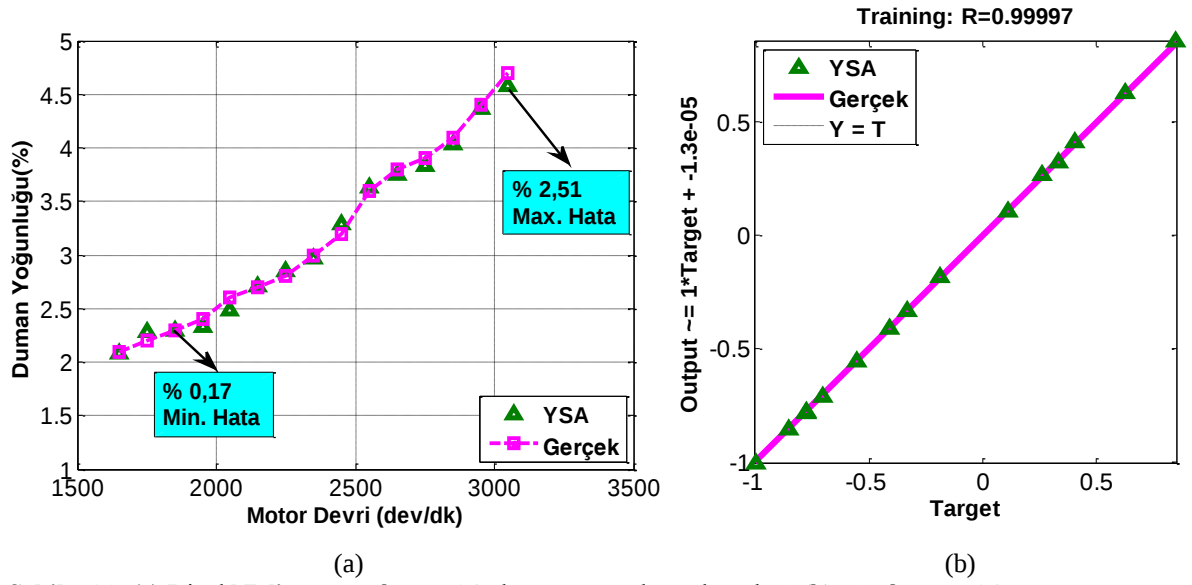


Şekil 7.19. Dizel motor duman yoğunluğu değerinin NM ve KM’deki değişimi

Şekil 7.19 incelendiğinde her iki motor için düşük devirlerde duman yoğunluğunun düşük çıktığı görülmektedir. Düşük devirlerde yanma odasındaki hava hareketliliğinin ve yanma odası sıcaklığının düşük olmasından dolayı bu durumun olduğu düşünülmektedir [105]. Artan motor devriyle birlikte her iki motor için NM ve KM’nin duman yoğunluğu da artmaktadır. Yüksek devirlerde; yetersiz süre, düşük yanma verimi ve artan motor devriyle birlikte zengin karışım oluşumunun duman yoğunluğunu arttırdığı düşünülmektedir. Yüksek devirlerde yakıt miktarının püskürtülmesi her çevrimde arttığı için gerekli hava sağlanamamaktadır. Bu durum duman miktarının yüksek devirlerde artmasına neden olmuştur [108].

Yapılan deneyler sonucunda kaplama yapılan motorun duman yoğunluğu değerlerinde ortalama %6’lık düşüş olduğu görülmüştür. TBK’nın temel işlevi ısı kayıplarını azaltarak termal verimliliği arttırmaktır. TBK’nın ısı yalıtımı özelliği sayesinde yanma odası ve EGS’de daha yüksek sıcaklıklara ulaşılmıştır. Yanma odası içerisinde meydana gelen bu yüksek sıcaklığın duman yoğunluğu üzerinde olumlu etki yaptığı düşünülmektedir.

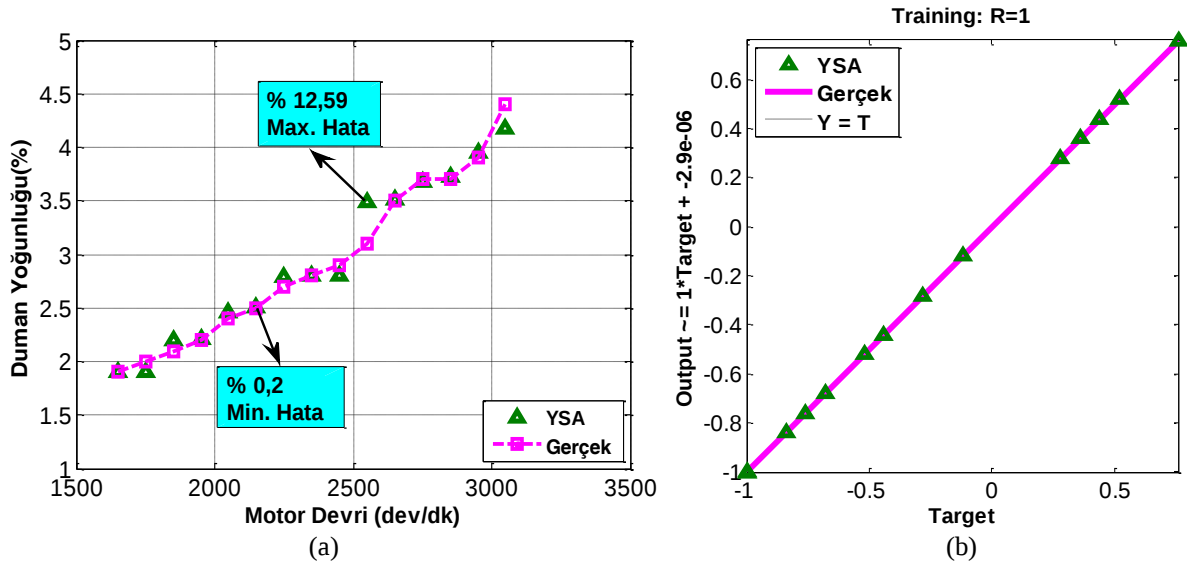
Şekil 7.20’de NM duman yoğunluğu gerçek değerleri ile YSA’da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.20. (a) Dizel NM'nin gerçek ve YSA duman yoğunluğu değerleri, (b) Dizel NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek duman yoğunluğu değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği duman yoğunluğu değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 3050 dev/dk' de %2,51 olarak, minimum hatanın ise 1850 dev/dk'de %0,17 olarak yapıldığı görülmüştür. Şekil 7.20(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 0.99997 çıkmıştır.

Şekil 7.21'de KM duman yoğunluğu gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.21. (a) Dizel KM'nin gerçek ve YSA duman yoğunluğu değerleri, (b) Dizel KM YSA Regression grafiği

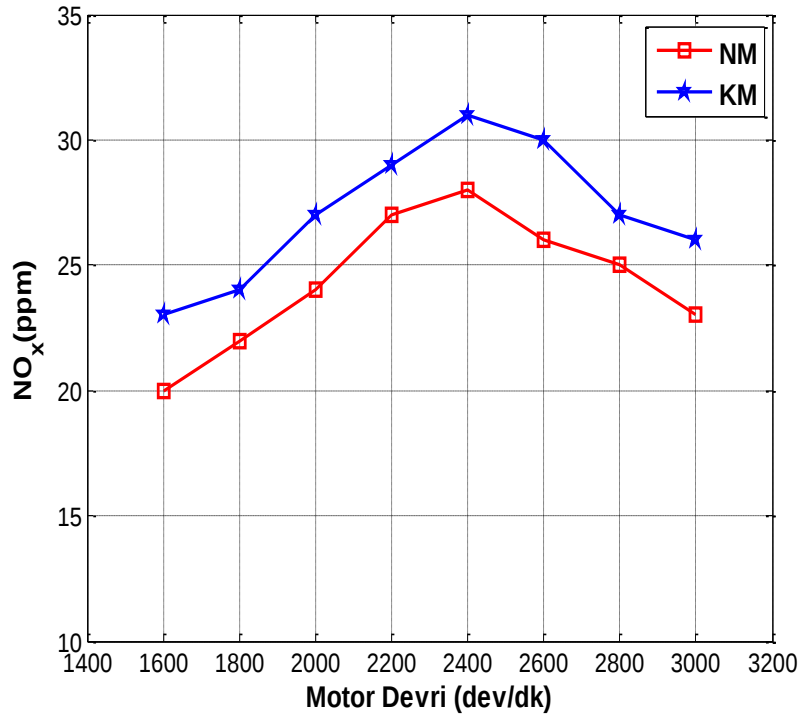
KM'nin gerçek duman yoğunluğu ve YSA'nın tahmin ettiği duman yoğunluğu değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 2550 dev/dk'de %12,59 olarak, minimum hatanın ise 2150 dev/dk'de %0,2 olarak yapıldığı görülmüştür. Şekil 7.21(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Bu sonuçlar YSA'nın ürettiği değerlerin gerçek değerlere çok yakın olduğunu göstermektedir.

7.3. Benzinli Motor Deney Sonuçları

7.3.1. NO_x Emisyonlarının Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda yanma odası sıcaklığı arttıkça NO_x emisyon seviyesi genellikle artmaktadır. TBK'nın ısı yalıtımı özelliği nedeniyle benzinli motor NO_x emisyonunda artış beklenmektedir. NO_x grafiği Şekil 7.22'de verilmiştir.

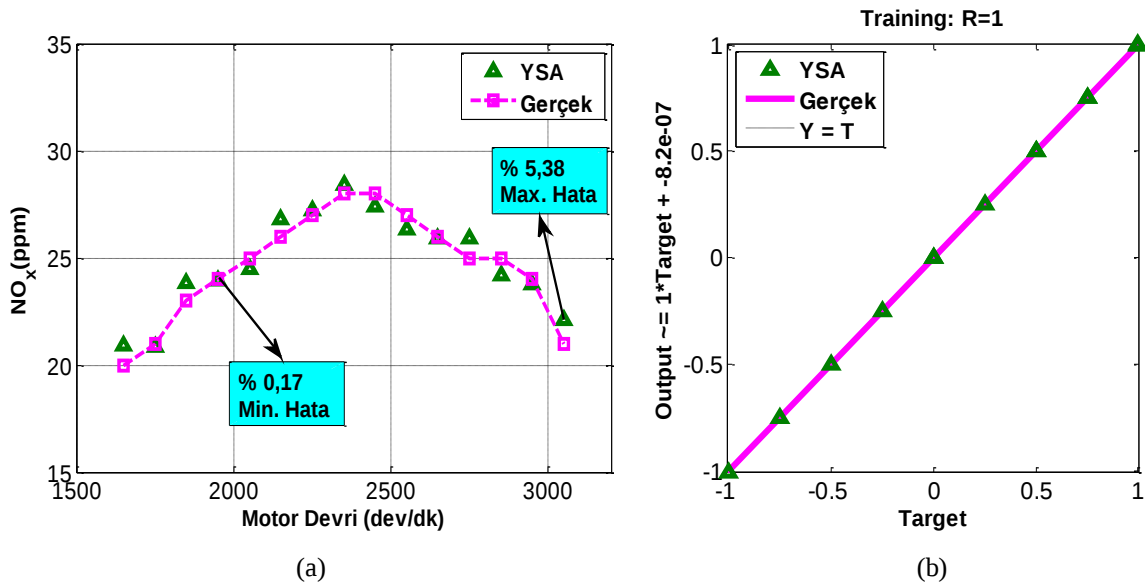


Şekil 7.22. Benzinli motor NO_x emisyon değerinin NM ve KM'deki değişimi

Düşük devirlerde motor sıcaklığı yeterli seviyelerde olmadığından her iki motor için NO_x emisyon değerleri düşük çıkmıştır. Motor devri düşük devirden orta devire doğru yükseldikçe yanma odası sıcaklığının ve basıncın artması ile NO_x emisyon değerleri her iki

motor için artmaktadır. NM ve KM'nin en yüksek NO_x emisyon değerlerine orta devirde ulaştığı tespit edilmiştir. Orta devirden sonra silindir içine alınan yakıtın yanma süresi kısalmaktadır. Yanma odasında tam yanmanın gerçekleşmemesi nedeniyle NO_x emisyon değerlerinin azaldığı düşünülmektedir. TBK uygulanmış benzinli motorun NO_x emisyon değerlerinin NM'ye oranla yüksek olduğu Şekil 7.22'de görülmektedir.

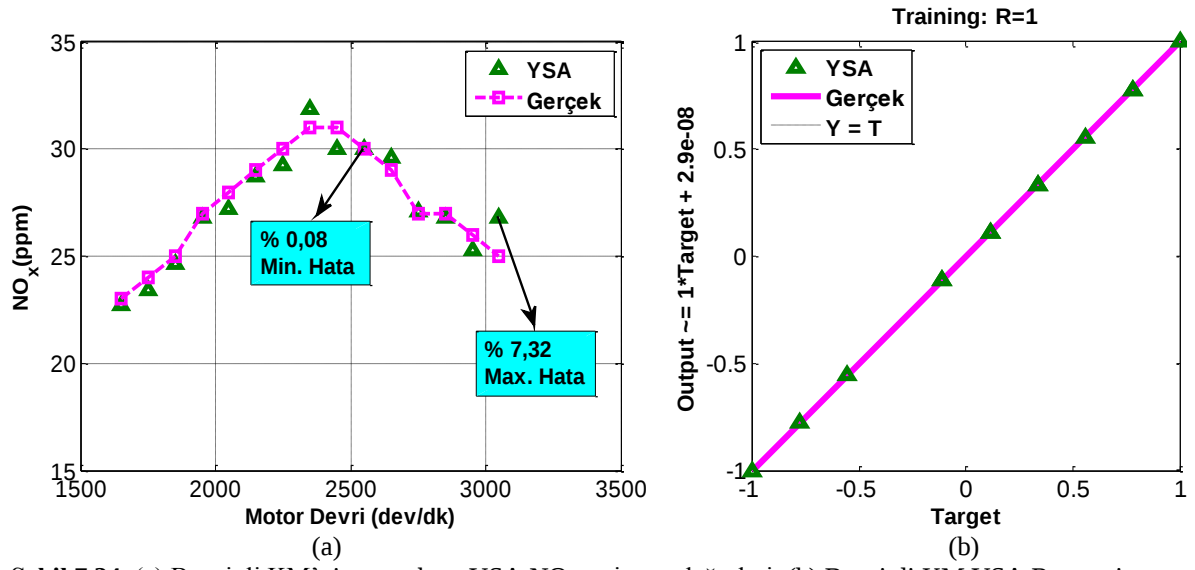
NO_x emisyon sonuçlarında NM ile KM arasındaki en fazla fark 2600 dev/dk'de %15, en az fark ise 2200 dev/dk'de %7 olarak ölçülmüştür. Deney sonuçlarında TBK yapılan benzinli motorun NM'ye göre NO_x emisyon değerlerinde ortalama %10'luk artış olduğu tespit edilmiştir. TBK uygulanan benzinli motorun piston ve supaplarından dış ortama ısı transferi azalmıştır. Böylece yanma veriminin arttığı ve bu artışın NO_x emisyonunu arttırdığı düşünülmektedir. Şekil 7.23'de NM'de NO_x emisyonu gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.23. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA NO_x emisyon değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek NO_x emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %5,38 olarak, minimum hatayı ise 1950 dev/dk'de %0,17 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.23 (b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.24'te KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini NO_x emisyon değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.

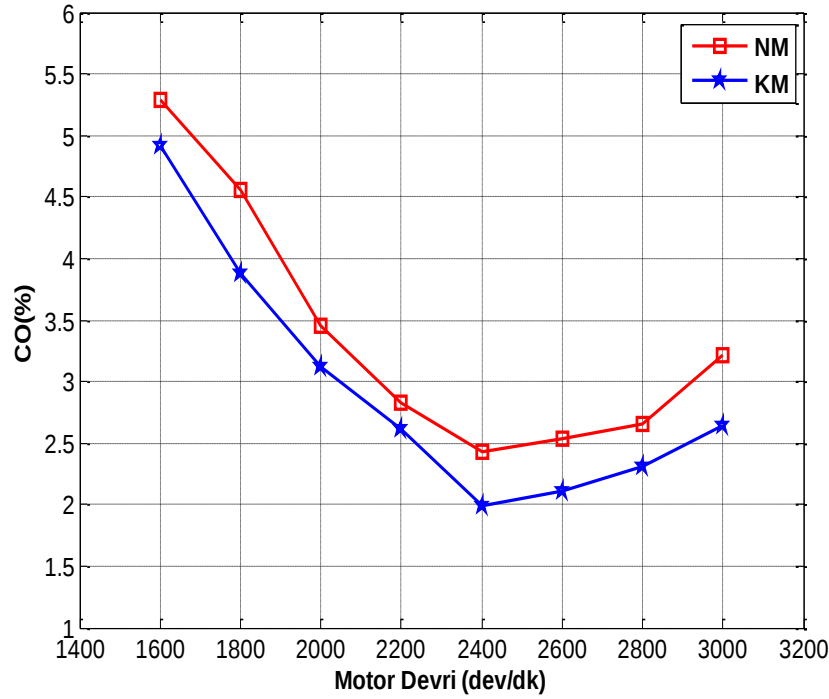


Şekil 7.24. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA NO_x emisyon değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek NO_x emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %7,32 olarak, minimum hatayı ise 2550 dev/dk'de %0,08 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.24 (b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.3.2. CO Emisyonlarının Karşılaştırılması

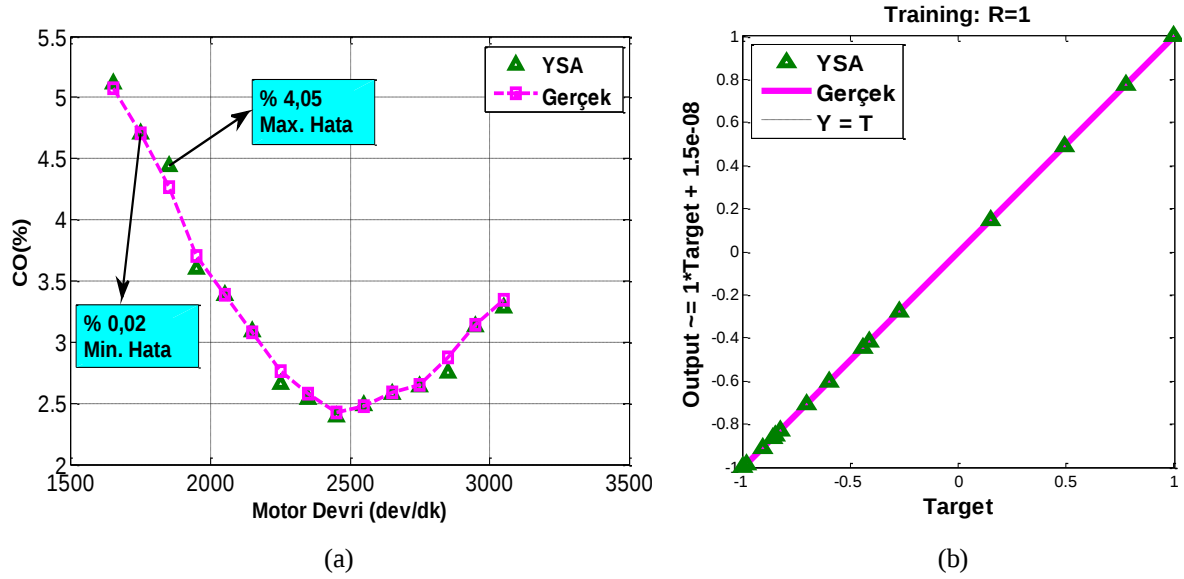
CO sınırlaması emisyon standartlarının temel parametrelerindendir. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni hava-yakıt oranının düşük olması ve eksik yanmadır [122]. Benzinli motorun tam yükte ve farklı devirlerde gerçekleştirilen deneylerinde NM'nin ve KM'nin CO emisyon değerleri Şekil 7.25'te görülmektedir.



Şekil 7.25. Benzinli motor CO emisyon değerinin NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.25'e bakıldığında CO emisyon değerlerinin düşük motor hızlarında daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni düşük motor hızlarında silindirlerdeki düşük gaz sıcaklığı nedeniyle CO'nun, CO₂'ye tam olarak dönüşmemesidir [117]. Her iki motorun en düşük CO emisyon değerleri 2400 dev/dk' de ölçülmüştür. Orta devirden sonra yani 2400 dev/dk'den sonraki devirlerde yanma için yeterli tutuşma zamanının bulunmaması ve volumetrik verimin düşmesi, CO ve O₂'nin tepkimeye girmesine engel olmaktadır. Buna bağlı olarak ta CO miktarı yükselmektedir. CO emisyon sonuçlarında NM ile KM arasındaki en fazla fark 2400 dev/dk'de %18, en az fark ise 2200 dev/dk'de %8 olarak ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda KM'nin CO emisyon değerlerinin NM'ye göre ortalama %13 daha az olduğu görülmüştür. TBK uygulanan benzinli motorun, yanma odası sıcaklığının artması nedeniyle yanmanın iyileşerek CO emisyonunu düşürdüğü düşünülmektedir.

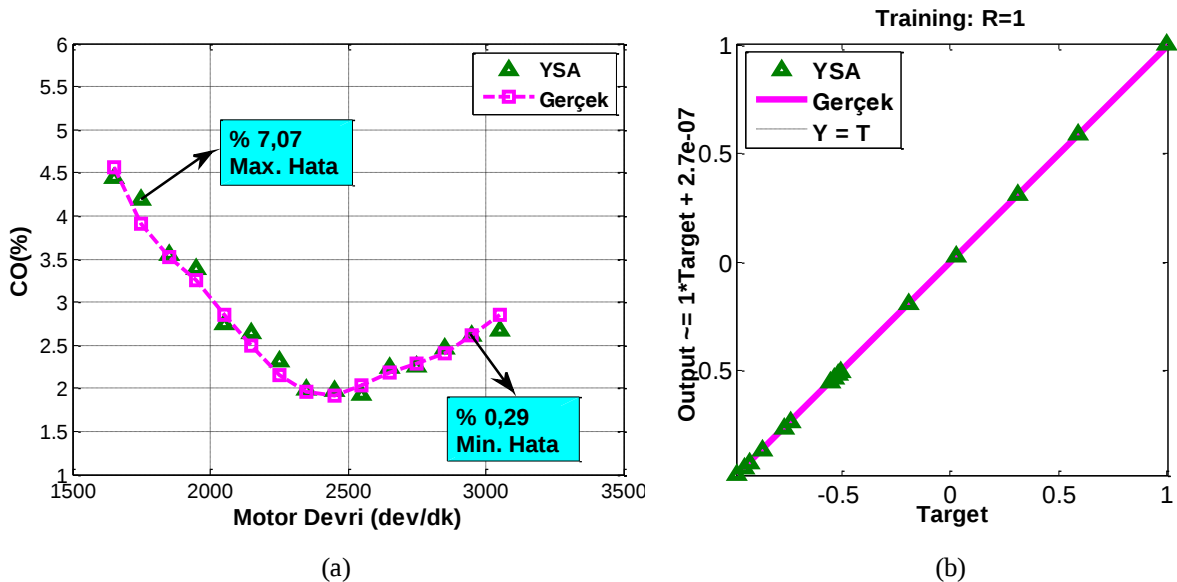
Şekil 7.26'da NM'de CO emisyonu gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.26. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek CO emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1850 dev/dk'de %4,05 olarak, minimum hatayı ise 1750 dev/dk'de %0,02 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.26(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.27'de KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini CO emisyon değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.

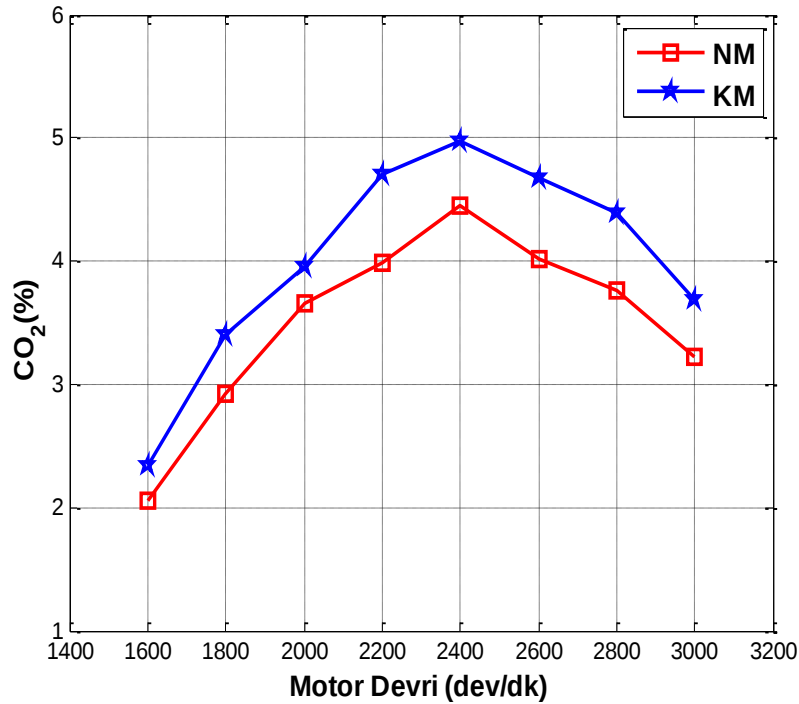


Şekil 7.27. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek CO emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1750 dev/dk'de %7,07 olarak, minimum hatayı ise 2950 dev/dk'de %0,29 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.27 (b)'de görüldüğü gibi YSA' nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.3.3. CO₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması

Benzinli motora uygulanan TBK işlemi yanma verimini arttırarak CO emisyonunu azaltmıştır. CO emisyonunun azalması CO₂ emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Benzinli motorların tam yükte farklı devirlerdeki CO₂ grafikleri Şekil 7.28'de görülmektedir.

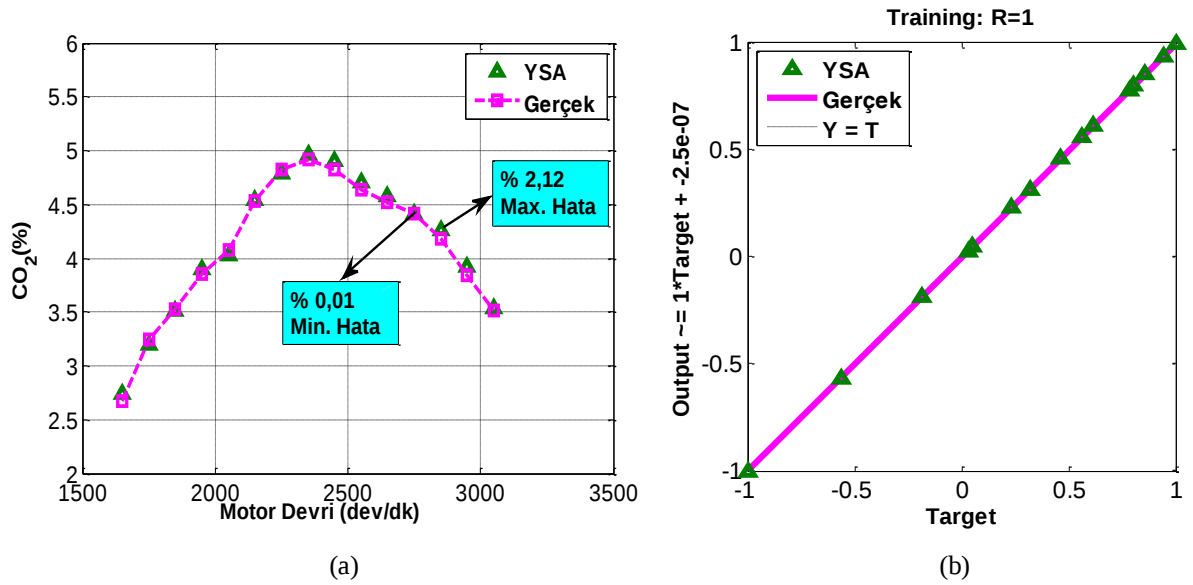


Şekil 7.28. Benzinli motor CO₂ emisyonunun NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.28'e bakıldığında CO₂ emisyonunun düşük devirlerde en az seviyede olduğu görülmektedir. Orta devirde silindir içi sıcaklığının artması ve yanmanın iyileşmesiyle CO₂ en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Bunun nedeni benzinli motorun maksimum moment devrinde, silindir içine alınan O₂ miktarının en yüksek seviyeye ulaşmasıdır. Motorun yüksek devirlerinde CO₂ oranının tekrar düşüşe geçtiği görülmüştür.

Maksimum moment devrinden sonra yakıt karışımı zenginleşmekte ve CO₂ oranı düşmektedir. Ortaya çıkan CO emisyon değerleri CO₂ sonuçlarını destekler niteliktedir. Yapılan deneyler sonucunda kaplama yapılan benzinli motor CO₂ emisyon değerlerinde ortalama %12'lik artış olduğu görülmüştür.

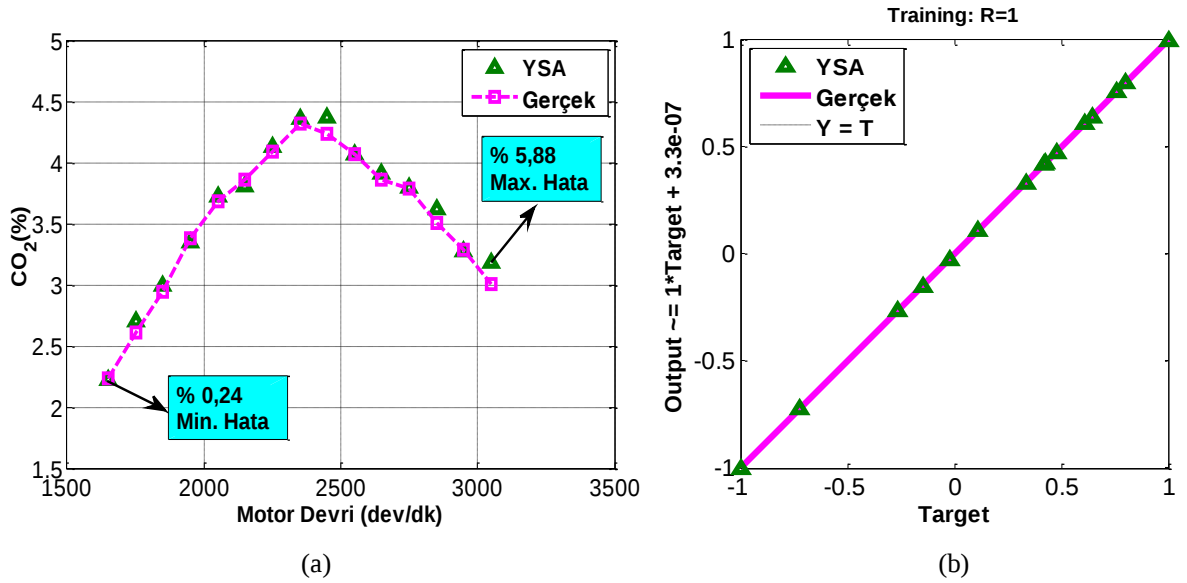
Şekil 7.29'da NM'de CO₂ gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.29. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA CO₂ emisyon değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek CO₂ emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2850 dev/dk'de %2,12 olarak, minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,01 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.29 (b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.30'da KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini CO₂ emisyon değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.



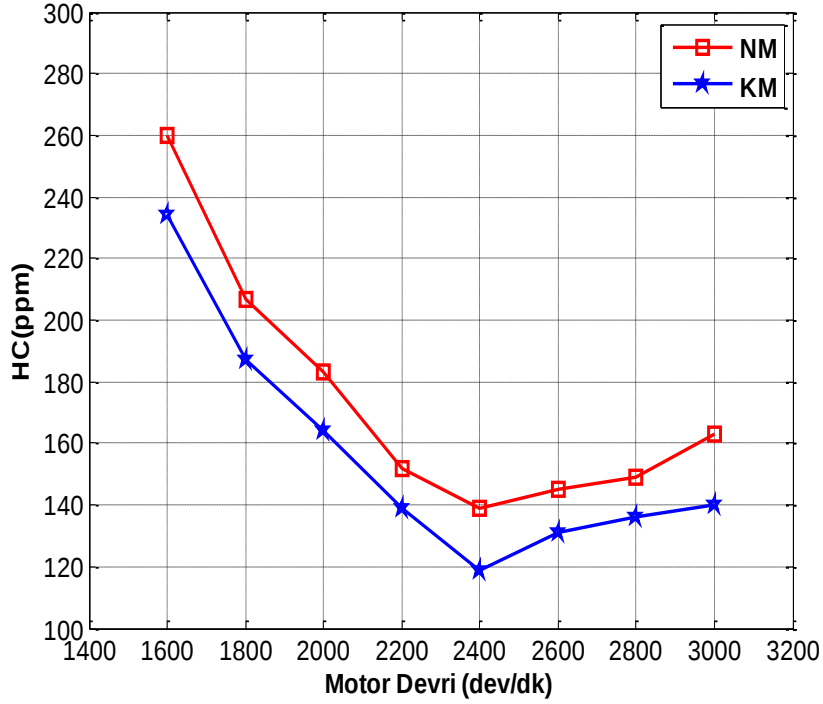
Şekil 7.30. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA CO₂ emisyon değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek CO₂ emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %5,88 olarak, minimum hatayı ise 1650 dev/dk'de %0,24 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.30(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.3.4. HC Emisyonlarının Karşılaştırılması

Benzinin C ve H elementlerinden oluşan bir bileşik olduğu bilinmektedir. Eğer benzin bileşiminde bulunan C ve H gibi bileşenlerin tüm bağları oksijen ile karşılaşırsa bu reaksiyona stokiyometrik yanma denilmektedir. Stokiyometrik yanmanın gerçekleşmediği durumlarda egzozdan çıkan HC oranında artış olması beklenir.

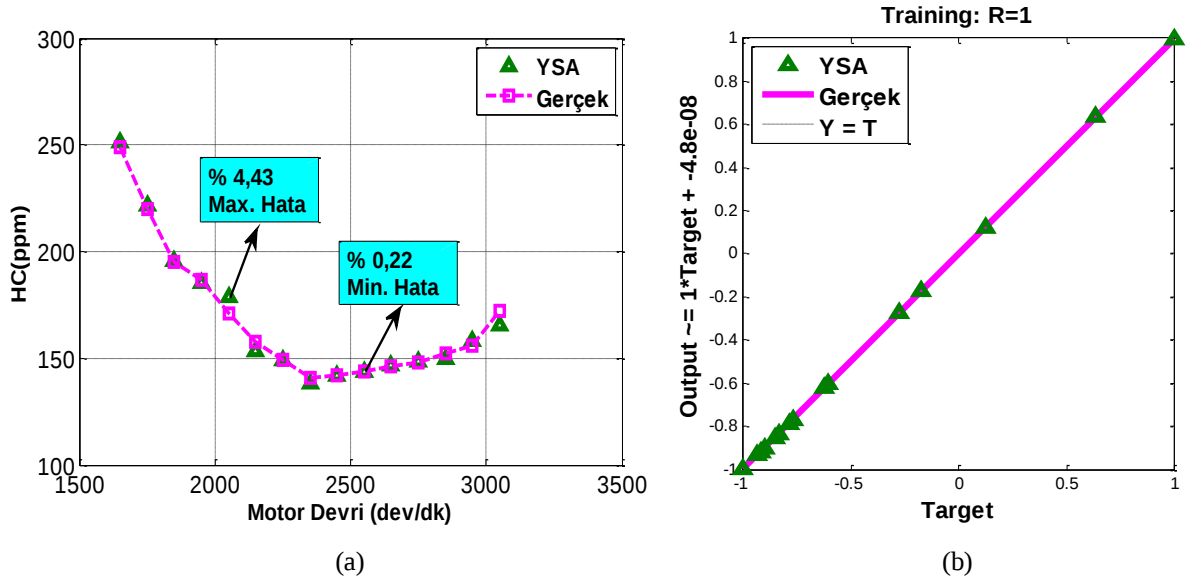
Benzinli motorların tam yükte farklı devirlerdeki HC grafikleri Şekil 7.31'de görülmektedir.



Şekil 7.31. Benzinli motor HC emisyonunun NM ve KM'deki değişimi

Düşük motor devirlerinde yanma odasındaki sıcaklığın düşük olması yanma sonucu sıcaklığının düşmesine ve yanmanın tamamlanamamasına neden olmaktadır. Böylece HC emisyon değerleri artmaktadır. Orta devirde yanmanın iyileşmesi ile stokiyometrik yanma sağlanmakta ve HC emisyon oranı düşmektedir. Yüksek motor devirlerinde yanma odasına gönderilen yakıt miktarının artmasına rağmen yanma için ayrılan sürenin azalması ve volümetrik verimin düşmesi nedeniyle HC emisyon seviyesinin arttığı düşünülmektedir. HC emisyon sonuçlarında NM ile KM arasındaki en fazla fark 2400 dev/dk'de %14 olarak, en az fark ise 2200 dev/dk'de %8 olarak ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda kaplama yapılan benzinli motor HC emisyon değerlerinde ortalama % 10'luk düşüş olduğu görülmüştür. Kapsama ile benzinli motorun yanma odasında açığa çıkan ısı artmıştır. Buna bağlı olarak yanma veriminin artması ile HC emisyonlarında iyileşme olduğu düşünülmektedir.

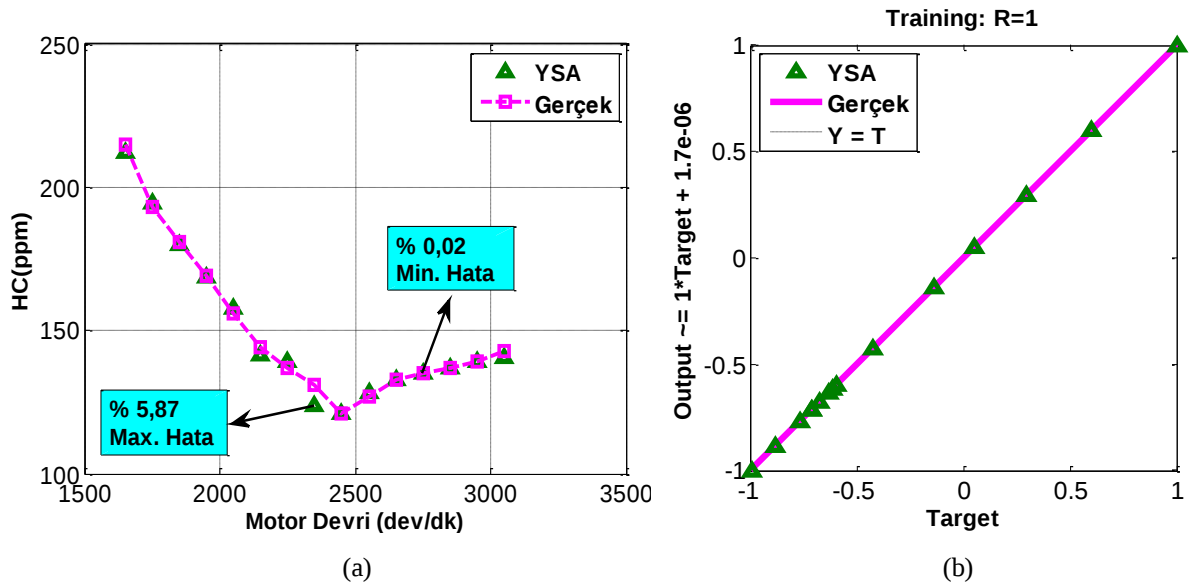
Şekil 7.32'de NM'de HC gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.32. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek HC emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2050 dev/dk'de %4,43 olarak, minimum hatayı ise 2550 dev/dk'de %0,22 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.32(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.33'de KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini HC emisyon değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.



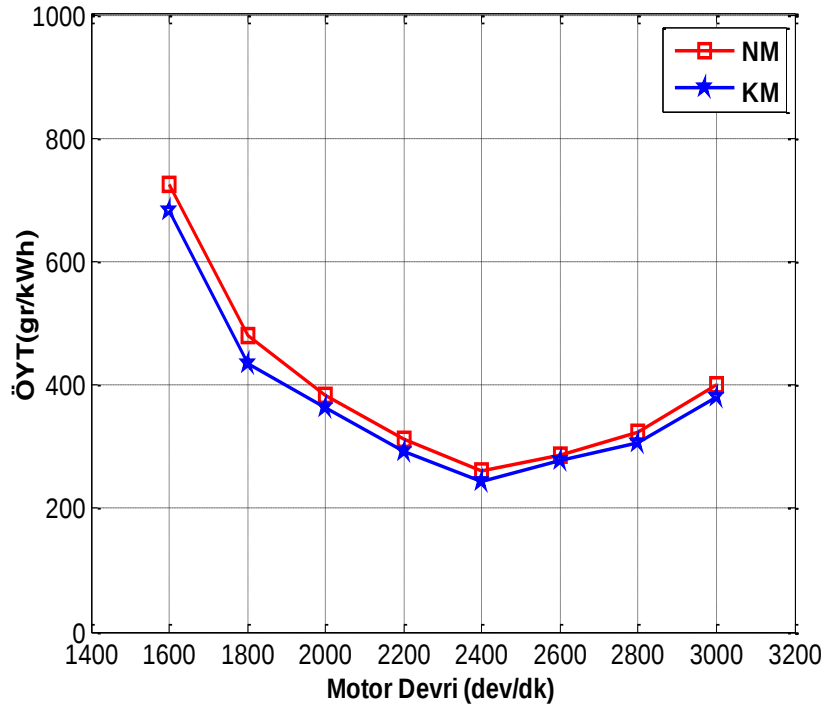
Şekil 7.33. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek HC emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2350 dev/dk'de %5,87 olarak, minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,02 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.33(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.3.5. ÖYT Değerlerinin Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda ÖYT önemli bir parametredir. TBK ile ÖYT'nin düşürülmesi amaçlanmıştır.

Benzinli motorların tam yük farklı devirlerdeki ÖYT grafikleri Şekil 7.34'de görülmektedir.

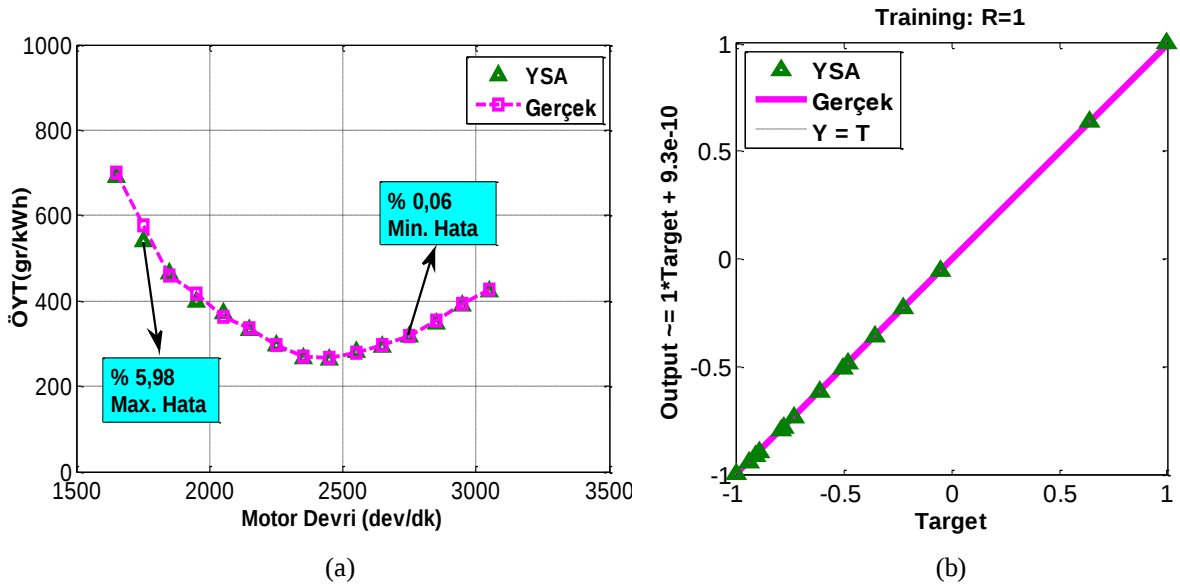


Şekil 7.34. Benzinli motor ÖYT değerinin NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.34 incelendiğinde NM ve KM için düşük devirlerde ÖYT değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Düşük devirlerde motorlarda ısı kaybının yüksek olması, yanma koşullarının motor devri olarak optimum yanma bölgesinden uzak olması ve düşük devirlerde motor gücünün düşük olmasından dolayı bu beklenen bir sonuçtur [114]. Deney motorunun maksimum torku ürettiği 2400 dev/dk'de ÖYT'nin minimum değere ulaştığı görülmüştür. 2400 dev/dk'den sonraki yüksek devirlerde, motorlarda ÖYT'nin arttığı

görülmektedir. Motor devri yükseldikçe yakıtların yanması için gerekli zaman azaldığından dolayı tam yanma gerçekleşmemektedir. Bu durumun ÖYT'nin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda kaplama yapılan benzinli motorun ÖYT değerlerinde %5'lik düşüş olduğu görülmüştür. Bu sonucun TBK uygulanan motorun yanma odası elemanları üzerinde ki termal yalıtımdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü uygulanan kaplama ile kısmi olarak termal yalıtım sağlanmış ve böylece yanma sonu sıcaklığı artırılmıştır. Yanma sonu sıcaklığının yükselmesinin kimyasal tepkime veriminin artmasına neden olduğu ve böylelikle ÖYT'nin düştüğü düşünülmektedir.

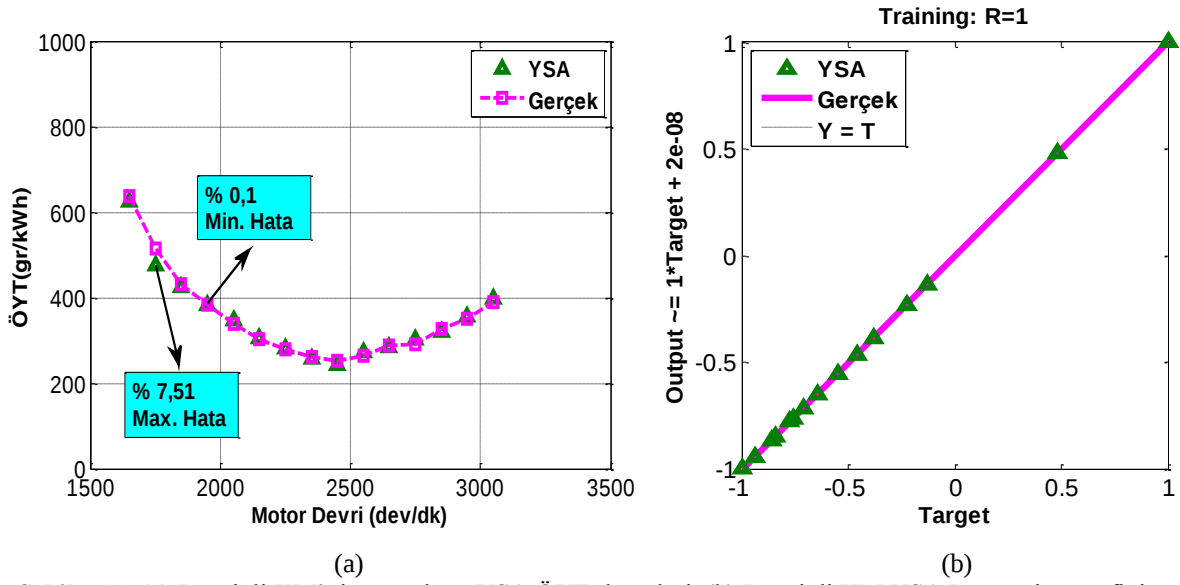
Şekil 7.35'de NM'de ÖYT gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.35. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA ÖYT değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek ÖYT değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği ÖYT değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1750 dev/dk'de %5,98 olarak, minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,06 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.35 (b)'de görüldüğü YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.36'da KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini ÖYT değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.



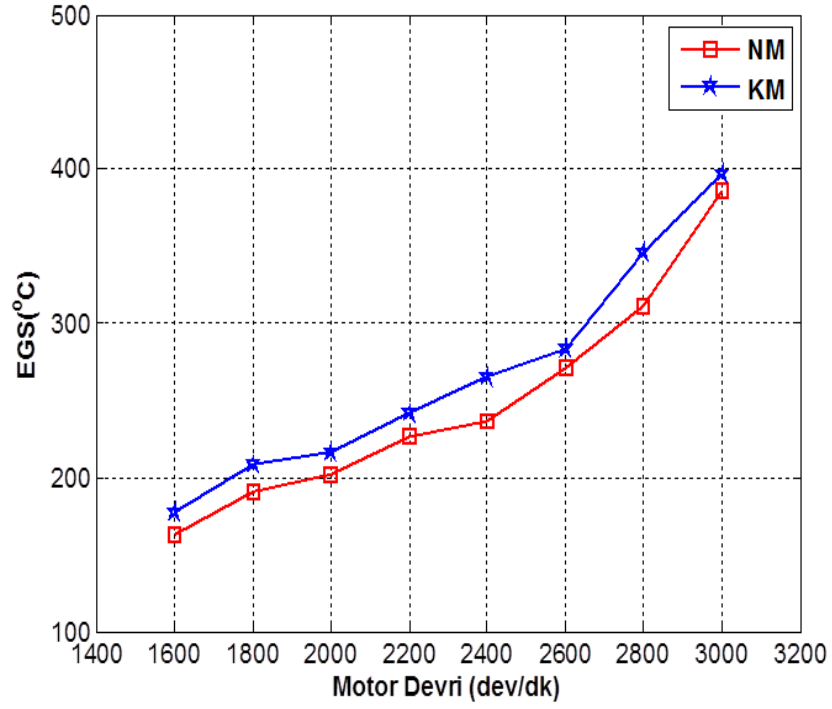
Şekil 7.36. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA ÖYT değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek ÖYT değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği ÖYT değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1750 dev/dk'de %7,51 olarak, minimum hatayı ise 1950 dev/dk'de %0,1 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.36 (b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.3.6. EGS Değerlerinin Karşılaştırılması

EGS, içten yanmalı motorlarda yük ve devir sayısına bağlı olarak değişmektedir. Devir sayısı arttıkça yanma odasındaki yakıt miktarının artmasından dolayı yanma boyunca ortaya çıkan ısı artacaktır. Benzinli motor EGS ölçümü, egzoz manifolduna monte edilen 65 cm uzunluğundaki egzoz borusundan alınmıştır.

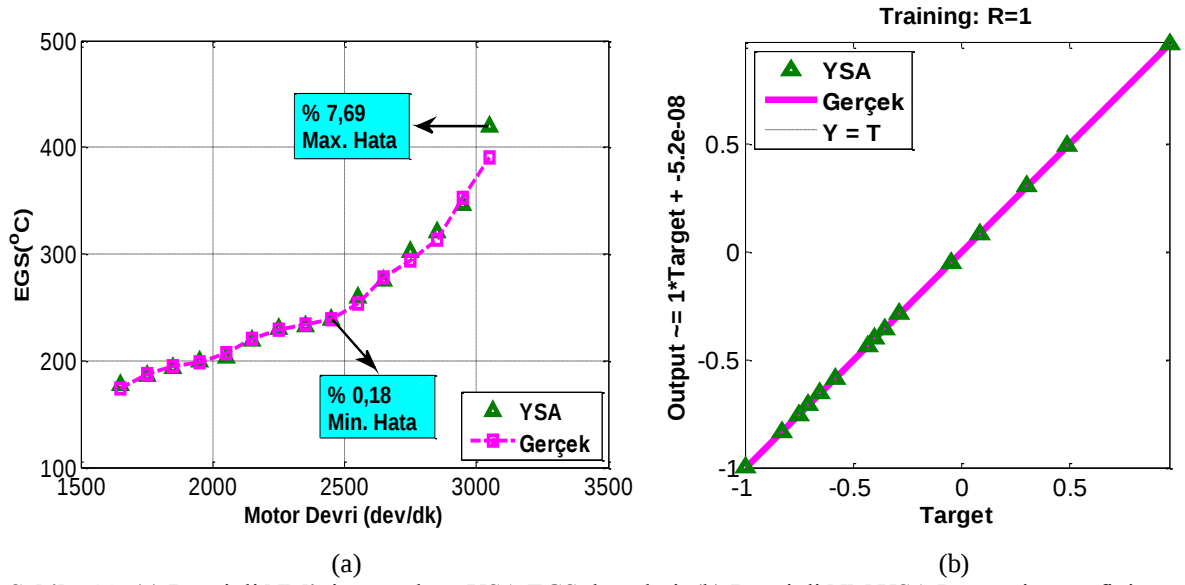
NM ve KM'nin tam yükte farklı devirlerdeki EGS grafikleri Şekil 7.37'de görülmektedir.



Şekil 7.37. Benzinli motor EGS değerinin NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.37'de TBK yapılmış benzinli motorun EGS değerlerinin normal motora göre yüksek çıktığı görülmektedir.

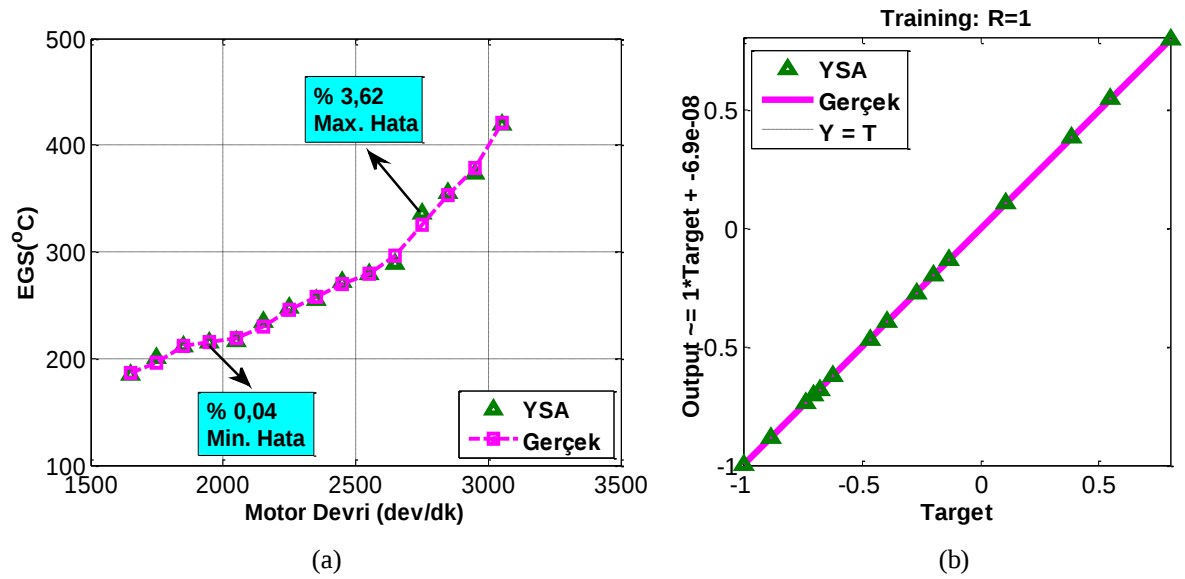
KM'de uygulanan yalıtım neticesinde piston ve supaplar üzerinden kaybedilen ısı azalmaktadır. Bu sayede yanma sonu sıcaklığında artış olmakta ve buna paralel olarak ortaya çıkan EGS değeri de artmaktadır. EGS emisyon sonuçlarında NM ile KM arasındaki en fazla fark 2400 dev/dk'de %12, en az fark ise 3000 dev/dk'de %3 olarak ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda KM'nin EGS değerlerinde ortalama %7'lik artış olduğu görülmüştür. Benzinli motorların tam yükte farklı devirlerdeki EGS grafikleri Şekil 7.38'de görülmektedir



Şekil 7.38. (a) Benzinli NM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) Benzinli NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %7,69 olarak, minimum hatayı ise 2450 dev/dk'de %0,18 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.38 (b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.39'de KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini EGS değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.



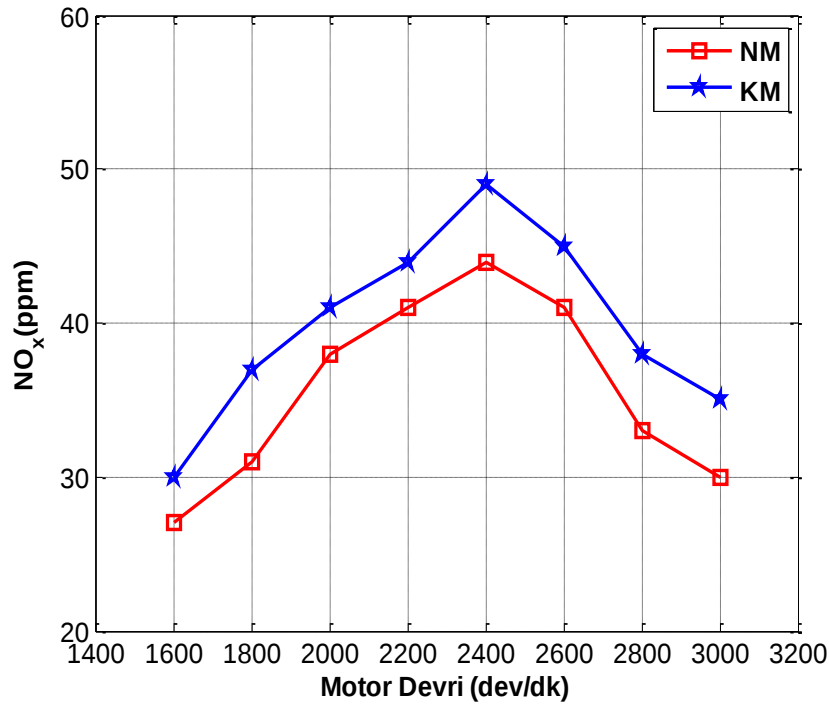
Şekil 7.39. (a) Benzinli KM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) Benzinli KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2750 dev/dk'de %3,62 olarak, minimum hatayı ise 1950 dev/dk'de %0,04 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.39 (b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.4. LPG'li Motor Deney Sonuçları

7.4.1. NO_x Emisyonlarının Karşılaştırılması

NO_x seviyesi yanma odası sıcaklığı ile doğrudan orantılıdır. KM ve NM'nin tam yük ve farklı devirlerdeki NO_x emisyonu grafikleri Şekil 7.40'da verilmiştir.



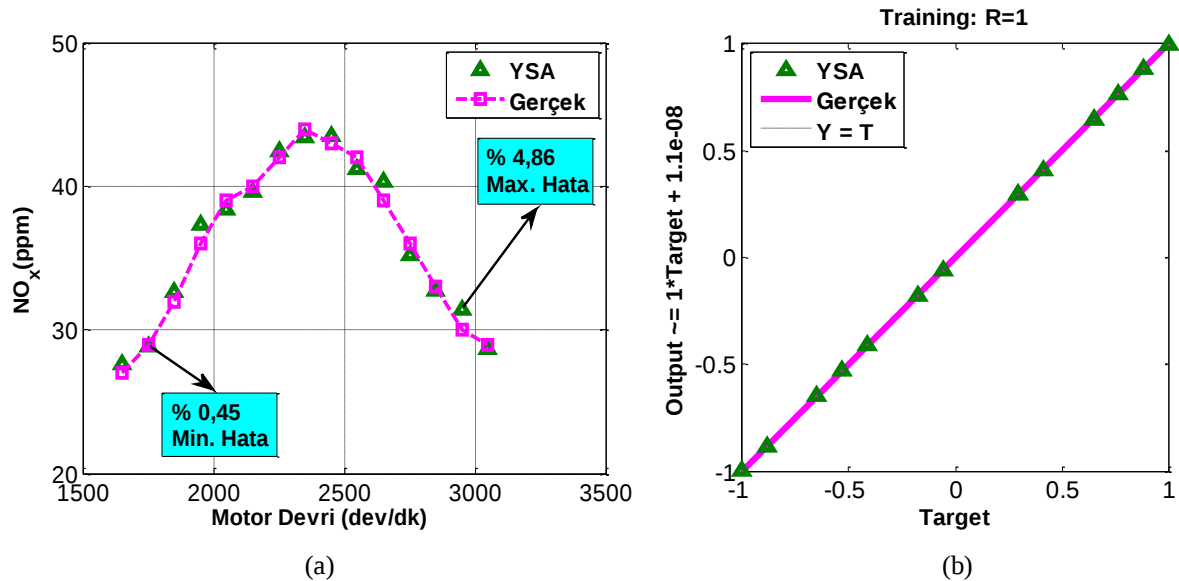
Şekil 7.40. LPG'li motor NO_x emisyonunun NM ve KM'deki değişimi

Şekil 7.40'a bakıldığında her iki motor için NO_x emisyon değerlerinin 1600 dev/dk'de yani düşük devirde düşük çıktığı görülmektedir. Motor devrinin artmasıyla beraber NO_x emisyonun her iki motor için arttığı ve yüksek devirlerde tekrar azaldığı görülmektedir. Motor devrinin artmasıyla beraber artan sıcaklıkla birlikte NO_x emisyon miktarının arttığı görülmektedir. 2400 dev/dk'de NO_x emisyon değerleri her iki motor için maksimum değere ulaşmıştır. Bunun nedeninin orta devir aralığında yanma

parametrelerinin iyileşmesi olduğu düşünülmektedir. 2400 dev/dk'den sonra, devir arttıkça yükselen sıcaklığa rağmen NO_x 'in düştüğü görülmüştür.

Yüksek devirlerde NO_x 'in düşmesi ortamda bulunan gazların yüksek sıcaklıkta kalma sürelerinin azalması, böylece NO_x oluşumu için yeterli zamanın kalmadığı şeklinde açıklanabilir [39]. Yapılan deneyler sonucunda KM'de, NO_x emisyon değerlerinde NM'ye göre ortalama %12'lik bir artış olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin ise kaplama ile termal yalıtım yapılan motorun silindir içi sıcaklığının artması olduğu düşünülmektedir. LPG'li motorun NO_x değerlerinin benzinli motora göre yüksek çıkmasının nedeni homojen bir yakıt olan LPG'nin daha yüksek yanma hızına sahip olması ve silindir içindeki hava/yakıt karışımının yanma odası ısınıp düşürmemesi olarak izah edilebilir.

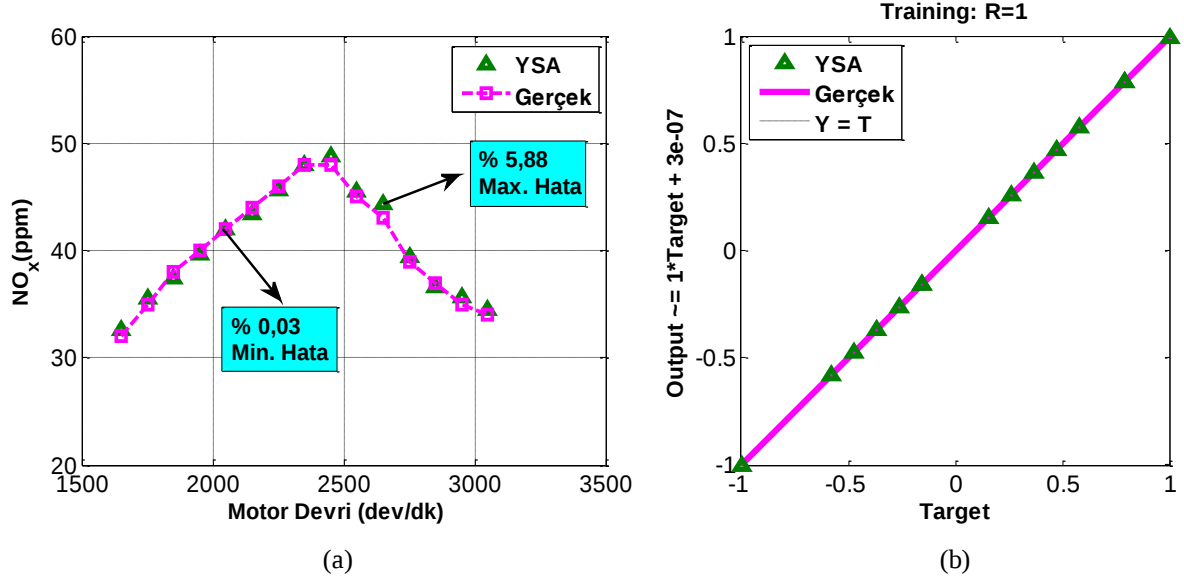
NM'nin deneylerden elde edilen gerçek değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerlerinin karşılaştırılmalı grafiği ve regression değerleri grafiği Şekil 7.41'de verilmiştir.



Şekil 7.41. (a) LPG'li NM'nin gerçek ve YSA NO_x emisyon değerleri, (b) LPG'li NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek NO_x emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2950 dev/dk'de %4,86 olarak, minimum hatayı ise 1750 dev/dk'de %0,45 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.41(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.42'de KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini NO_x emisyon değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.



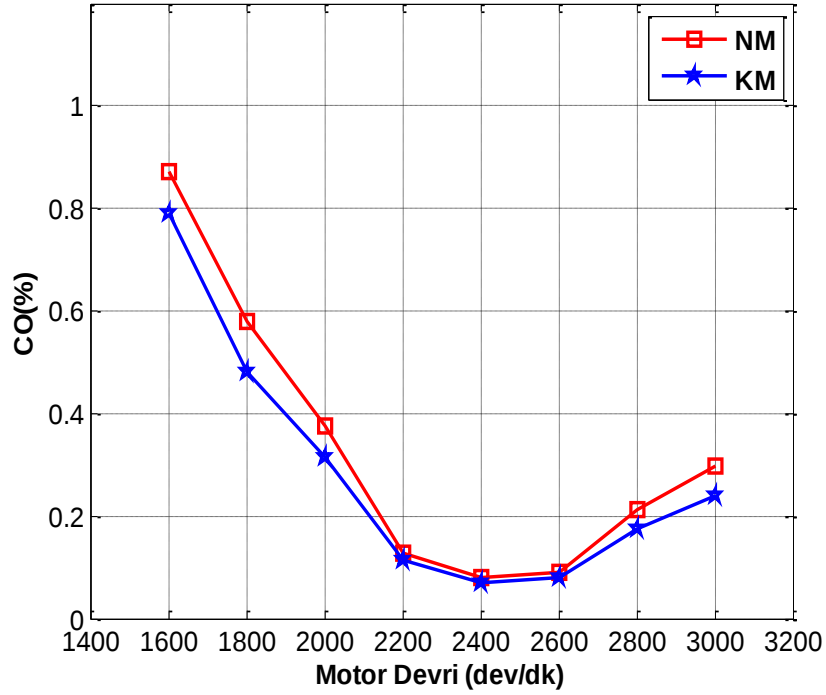
Şekil 7.42. (a) LPG'li KM'nin gerçek ve YSA NO_x emisyon değerleri, (b) LPG'li KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek NO_x emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2650 dev/dk'de %5,88 olarak, minimum hatayı ise 2050 dev/dk'de %0,03 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.42(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.4.2. CO Emisyonlarının Karşılaştırılması

CO emisyonu motorda kullanılamayan kayıp kimyasal enerjiyi ifade ettiği için önemli bir parametredir. Ayrıca, CO sınırlaması emisyon standartlarının temel parametrelerindendir. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni hava-yakıt oranının düşük olmasıdır [122].

LPG'li motorun tam yükte ve farklı devirlerde gerçekleştirilen deneylerinde NM ve KM CO emisyon değerleri Şekil 7.43'de görülmektedir.

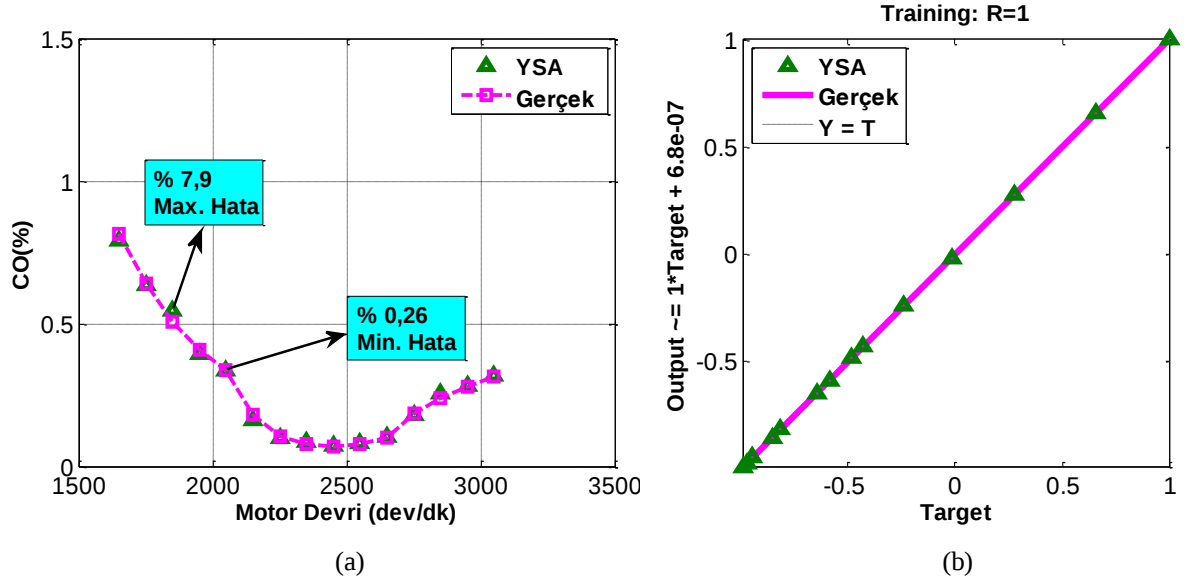


Şekil 7.43. LPG’li motor CO emisyonunun NM ve KM’deki değişimi

Şekil 7.43’e bakıldığında LPG’li motorun düşük motor hızlarında ki CO değerleri daha yüksek ölçülmüştür. Bunun nedeni düşük motor hızlarında silindirlerdeki düşük gaz sıcaklığı nedeniyle CO’nun, CO₂’ye tam olarak dönüşmemesidir [117]. Her iki motorun en düşük CO emisyon değerleri 2400 dev/dk’de ölçülmüştür. Orta devirden sonra yani 2400 dev/dk’dan sonraki devirlerde yanma için yeterli tutuşma zamanının bulunmaması, CO ve O₂’nin tepkimeye girmesine engel olmaktadır. Buna bağlı olarak ta CO miktarının yükseldiği düşünülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda KM CO emisyon değerlerinin NM’ye göre %15 daha az olduğu görülmüştür. TBK uygulanan LPG’li motorun yanma odası sıcaklığının artması nedeniyle yanmanın iyileşerek CO emisyonunu düşürdüğü düşünülmektedir.

LPG’li motorda benzinli motora göre CO emisyonu düşük çıkmıştır. Bunun nedeni LPG yakıtlarındaki C ve H oranının düşük olmasından dolayı, tutuşma gecikmesinin az olması ve LPG yakıtının gaz fazında O₂ ile homojen bir karışım oluşturarak hızla tutuşması olduğu düşünülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör HFK’dir.

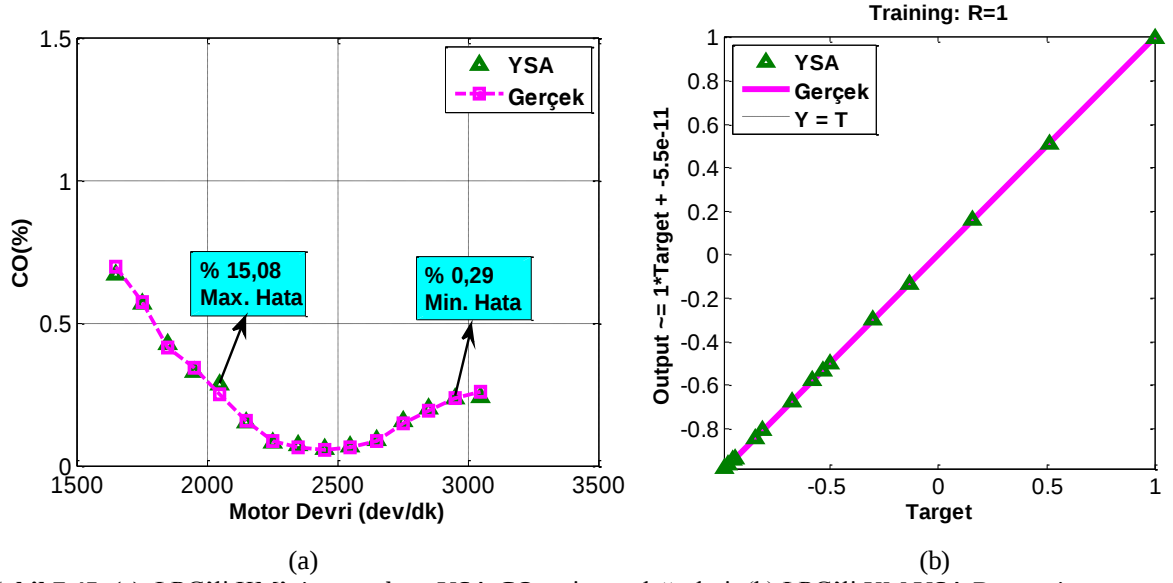
NM'nin deneylerden elde edilen gerçek değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO emisyon değerlerinin karşılaştırılmalı grafiği ve regression değerleri grafiği Şekil 7.44'de verilmiştir.



Şekil 7.44. (a) LPG'li NM' nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) LPG'li NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek CO emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1850 dev/dk'de %7,9 olarak, minimum hatayı ise 2050 dev/dk'de %0,26 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.44(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.45'te KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini CO emisyon değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.



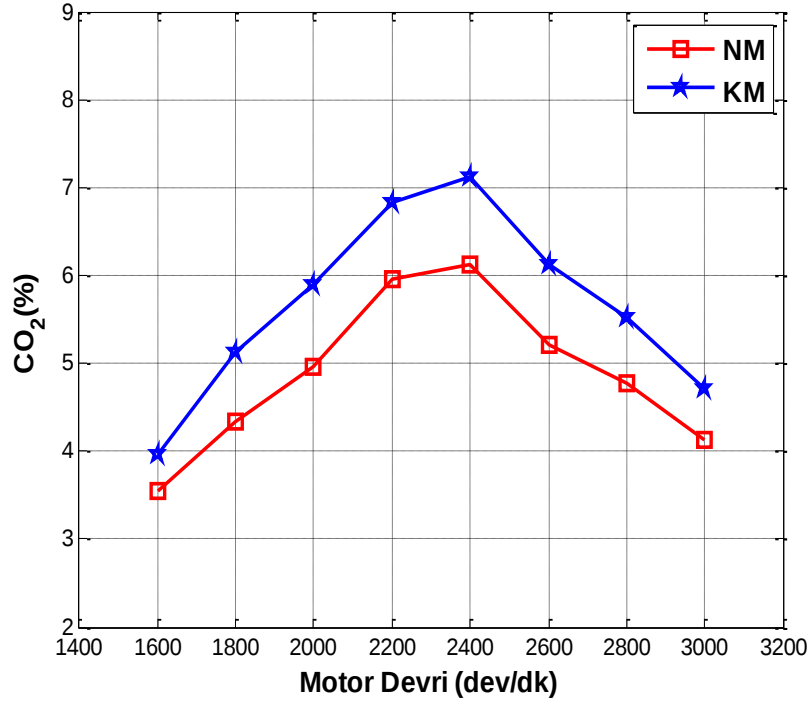
Şekil 7.45. (a) LPG’li KM’nin gerçek ve YSA CO emisyon değerleri, (b) LPG’li KM YSA Regression grafiği

KM’nin gerçek CO emisyon değerleri ve YSA’nın tahmin ettiği CO emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA’nın maksimum hatayı 2050 dev/dk’de %15,08 olarak, minimum hatayı ise 2950 dev/dk’de %0,29 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.45(b)’de görüldüğü gibi YSA’nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.4.3. CO₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması

LPG’li motora uygulanan TBK işlemi yanma verimini artırarak CO emisyonunu azaltmıştır. CO emisyonunun azalması CO₂ emisyonunun artmasına neden olmaktadır.

LPG’li motorların tam yükte farklı devirlerdeki CO₂ grafikleri Şekil 7.46’da görülmektedir.



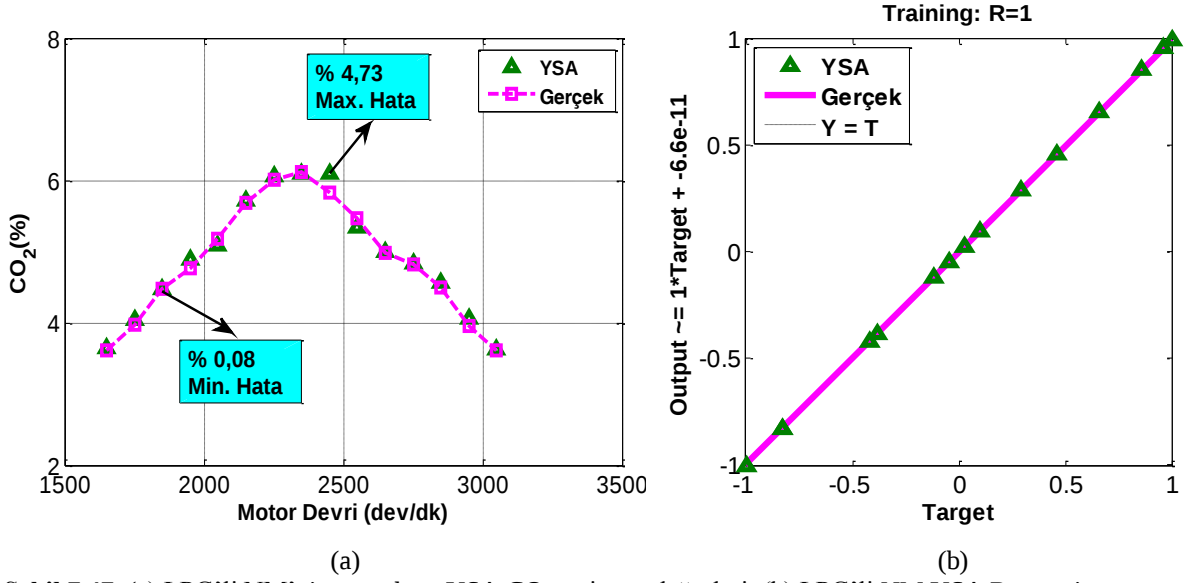
Şekil 7.46. LPG’li motor CO₂ emisyonunun NM ve KM’deki değişimi

Yapılan deneyler sonucunda kaplama yapılan LPG’li motor CO₂ emisyon değerlerinde

%14’lük artış olduğu görülmüştür. LPG’li çalışmada artan sıkıştırma oranıyla birlikte yanma verimi arttığından daha fazla oksitlenme olmaktadır. Ayrıca CO emisyonundaki azalmayla ilişkili olarak da CO₂ emisyonu artmaktadır.

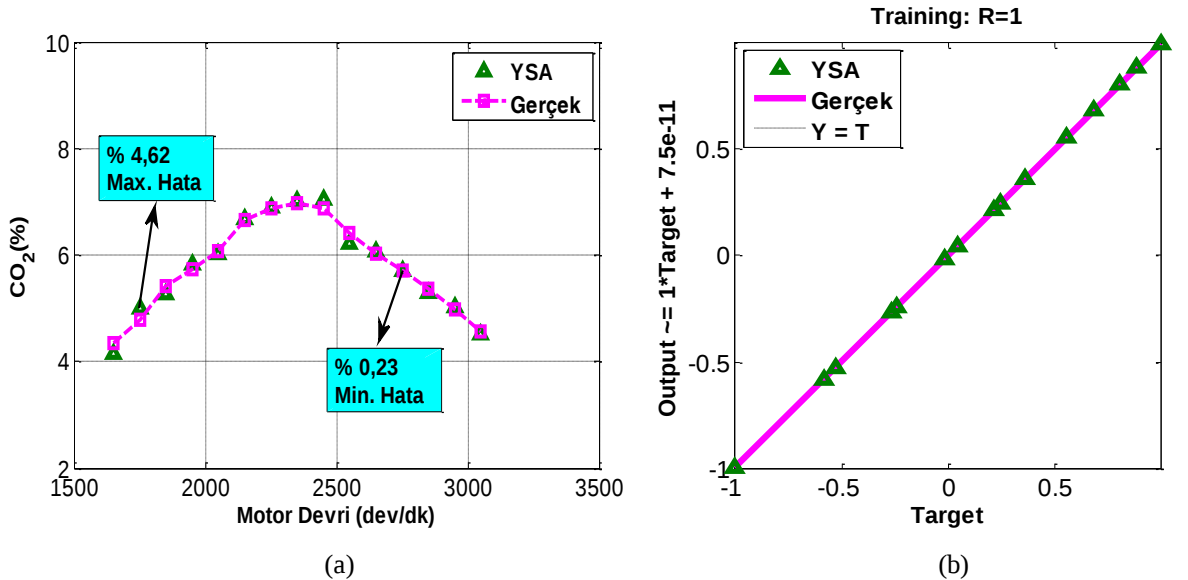
TBK uygulamasıyla LPG’li motor CO₂ emisyonlarında artış görülmüştür. Bunun nedeninin TBK’nın yanma odasında ki sıcaklığı arttırarak yanmayı iyileştirmesi olduğu düşünülmektedir.

NM’nin deneylerden elde edilen gerçek değerleri ve YSA’nın tahmin ettiği CO₂ emisyon değerlerinin karşılaştırılmalı grafiği ve regression değerleri grafiği Şekil 7.47’de verilmiştir.



Şekil 7.47. (a) LPG'li NM'nin gerçek ve YSA CO₂ emisyon değerleri, (b) LPG'li NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek CO₂ emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2450 dev/dk'de %4,73 olarak, minimum hatayı ise 1850 dev/dk'de %0,08 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.47 (b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır. Şekil 7.48'de KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini CO₂ emisyon değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.



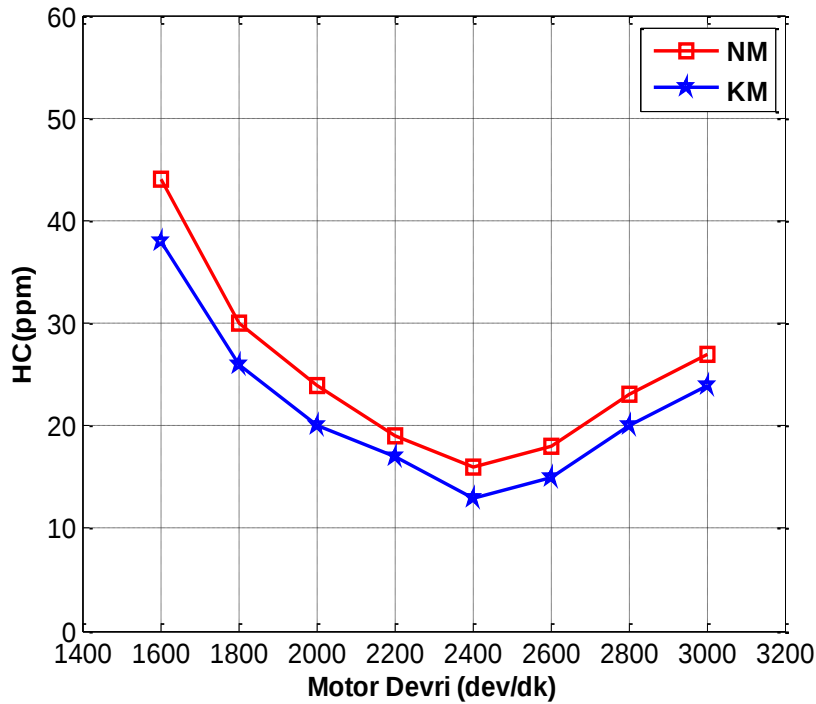
Şekil 7.48. (a) LPG'li KM'nin gerçek ve YSA CO₂ emisyon değerleri, (b) LPG'li KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek CO₂ emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1750 dev/dk'de %4,62 olarak, minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,23 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.48(b)'de görüldüğü gibi NM'nin YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.4.4. HC Emisyonlarının Karşılaştırılması

HC emisyonu eksik yanma sonucu oluşan bir emisyondur. Yanma ürünleri arasında yanmamış HC'lerin bulunmasının nedeni, yakıtın tutuşma sıcaklığına gelmemesi, ortamda oksijenin yetersiz olması nedeniyle yakıtın okside olamaması veya yarı oksitlenmesidir [120].

KM ve NM'nin tam yük ve farklı devirlerdeki HC emisyonunun değişimi Şekil 7.49'da gösterilmiştir.



Şekil 7.49. LPG'li motor HC emisyonunun NM ve KM'deki değişimi

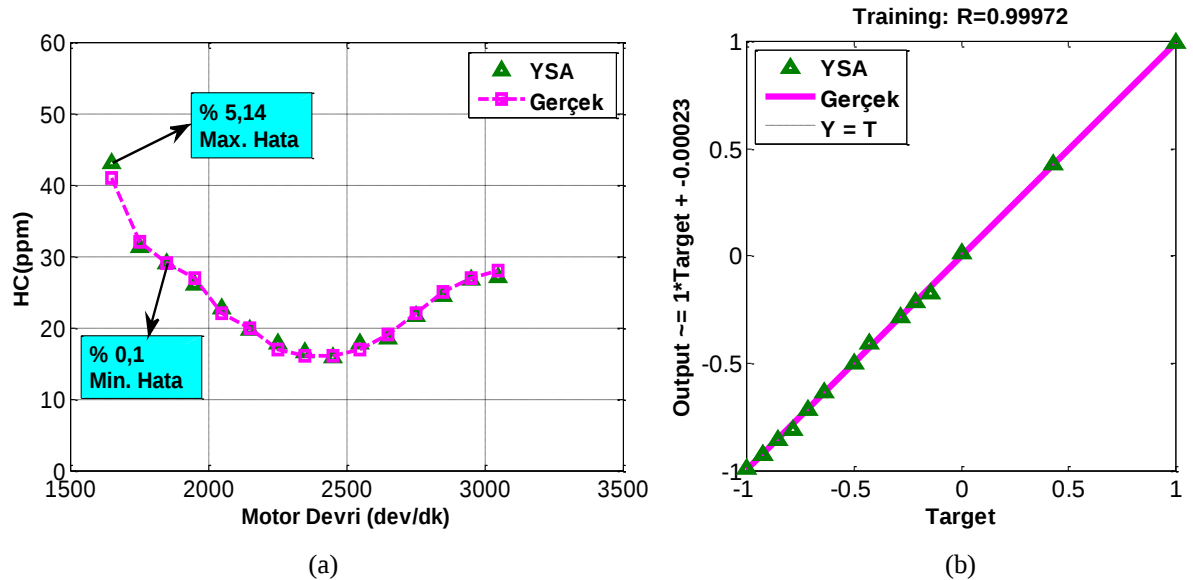
Şekil 7.49'a bakıldığında KM'nin bütün devirler için HC emisyonunun NM'ye göre daha düşük çıktığı görülmektedir. HC emisyonu üzerinde etkili olan etkenlerden bir tanesi de yanma reaksiyon sıcaklığıdır. Düşük devirlerde yanma reaksiyon sıcaklığının düşük

olmasının her iki motor için HC emisyonun yüksek çıkmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Artan devirle birlikte yanma reaksiyon sıcaklığının artması HC emisyonunun her iki motor için azalmasına neden olmuştur. Ayrıca motor devrinin artmasıyla beraber, düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamı yanmadan dışarı atılmış ve böylelikle HC emisyonları artmıştır [59].

Yapılan deneylerde çıkan sonuçlar bunları doğrular niteliktedir. Kaplama sonrasında yapılan deneyler sonucunda LPG'li motor HC emisyon değerlerinde ortalama %14'lük düşüş olduğu görülmüştür. Kaplama ile LPG'li motorun yanma odasında açığa çıkan ısıda ve yanma veriminde artış olmuştur. Yanma veriminin artmasının HC emisyonlarının iyileşmesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

LPG'li motorlarda, benzinli motorlara göre daha düşük HC emisyon değerleri elde edilmiştir. LPG benzine göre homojen bir yakıttır. HC emisyonunun iyi bir yanma ile azaldığı düşünüldüğünde LPG'li motorun HC oranının benzinli motora göre düşük çıkması beklenen bir sonuçtur.

Şekil 7.50'de NM'de HC gerçek değerleri ile YSA'da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.

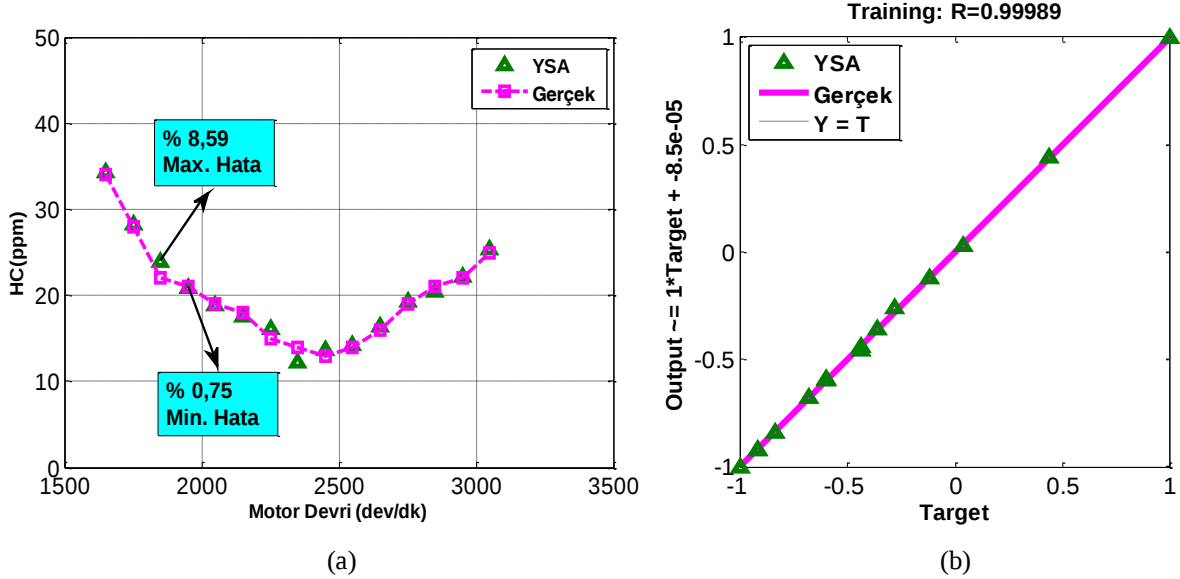


Şekil 7.50. (a) LPG'li NM' nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) LPG'li NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek HC emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1650 dev/dk'de %5,14 olarak, minimum hatayı ise 1850 dev/dk'de %0,1 olarak yaptığı

görülmüştür. Şekil 7.50(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 0,99972 çıkmıştır.

Şekil 7.51'de KM' nin gerçek ve YSA'nın tahmini HC emisyon değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.



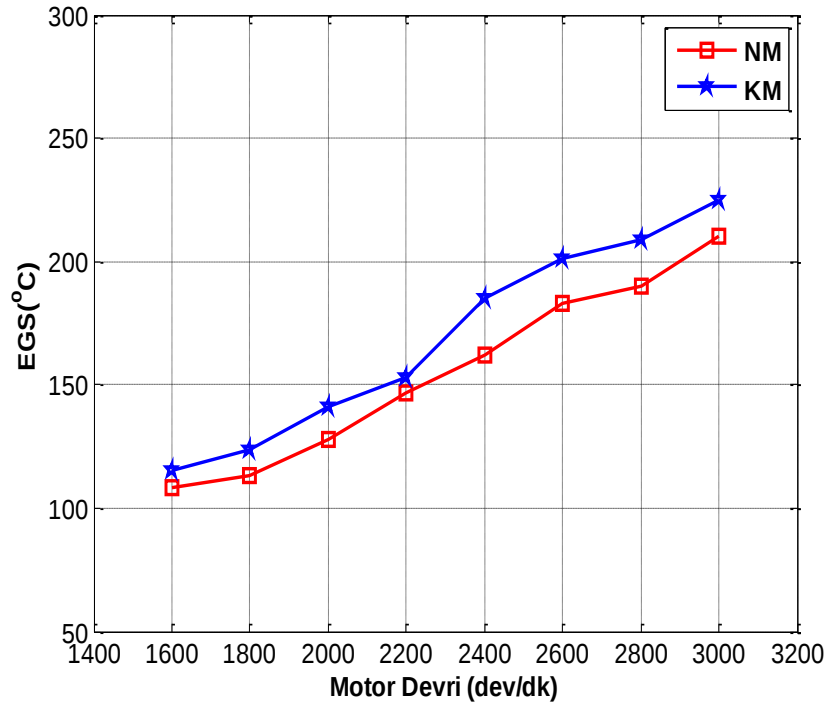
Şekil 7.51. (a) LPG'li KM' nin gerçek ve YSA HC emisyon değerleri, (b) LPG'li KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek HC emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1850 dev/dk'de %8,59 olarak, minimum hatayı ise 1950 dev/dk'de %0,75 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.51(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 0,99989 çıkmıştır.

7.4.5. EGS Değerlerinin Karşılaştırılması

EGS, içten yanmalı motorlarda yük ve devir sayısına bağlı olarak değişmektedir. Devir sayısı arttıkça yanma odasında ki yakıt miktarının artmasından dolayı yanma boyunca ortaya çıkan ısı artacaktır. Bu olay EGS'nin yükselmesine neden olmaktadır.

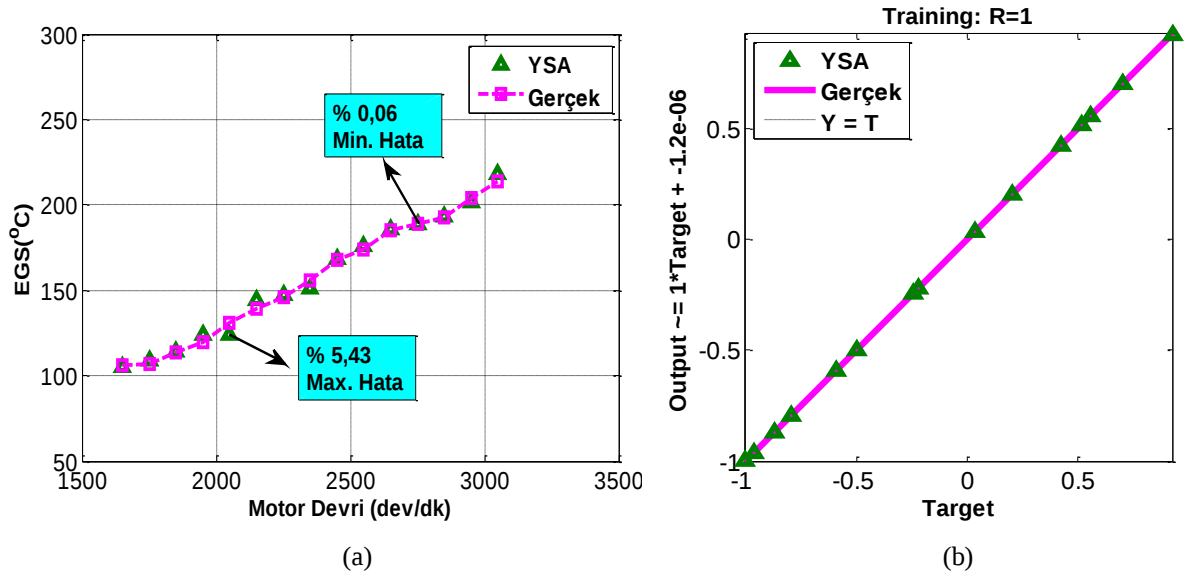
LPG'li motorların tam yük değişken devirlerdeki EGS değişimleri Şekil 7.52'de gösterilmiştir.



Şekil 7.52. LPG’li motor EGS değerinin NM ve KM’deki değişimi

Şekil 7.52 incelendiğinde her iki motor için EGS’nin motor devriyle beraber arttığı görülmektedir. KM’de uygulanan yalıtım neticesinde piston ve supaplar üzerinden kaybedilen ısı azalmaktadır. Bu sayede yanma sonu sıcaklığında artış olmaktadır. Buna paralel olarak ortaya çıkan EGS değeri de artmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda KM’nin EGS değerlerinde %8’lik artış olduğu görülmüştür. LPG’li motor EGS değerleri benzinli motora göre düşük çıkmıştır. LPG’nin minimum tutuşma sıcaklığının, yakıt oktan sayısının ve kalorifik değerinin benzinden düşük değerlerde olmasının bu azalmayı ortaya çıkardığı düşünülmektedir.

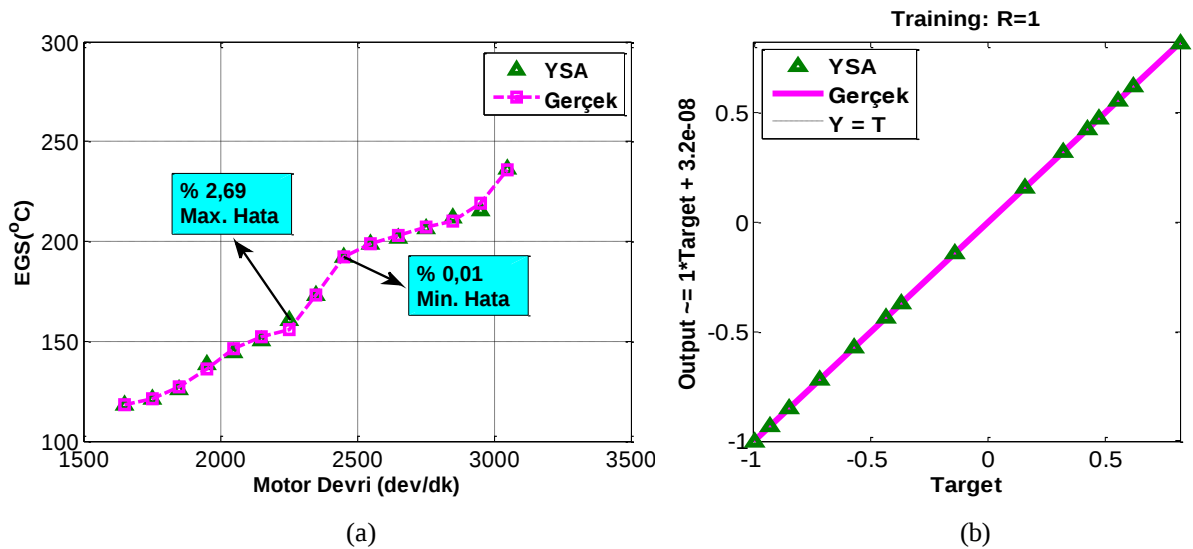
Şekil 7.53’de NM’de EGS gerçek değerleri ile YSA’da tahmin edilen sonuçlar ve regression değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 7.53. (a) LPG'li NM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) LPG'li NM YSA Regression grafiği

NM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2050 dev/dk'de %5,43 olarak, minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,06 olarak yaptığı görülmüştür. Şekil 7.53(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

Şekil 7.54'de KM'nin gerçek ve YSA'nın tahmini EGS değerleri grafiği ve regression değerleri grafiği verilmiştir.



Şekil 7.54. (a) LPG'li KM'nin gerçek ve YSA EGS değerleri, (b) LPG'li KM YSA Regression grafiği

KM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2250 dev/dk'de %2,69 olarak, minimum hatayı ise 2450 dev/dk'de %0,01 olarak yaptığı görülmüştür.

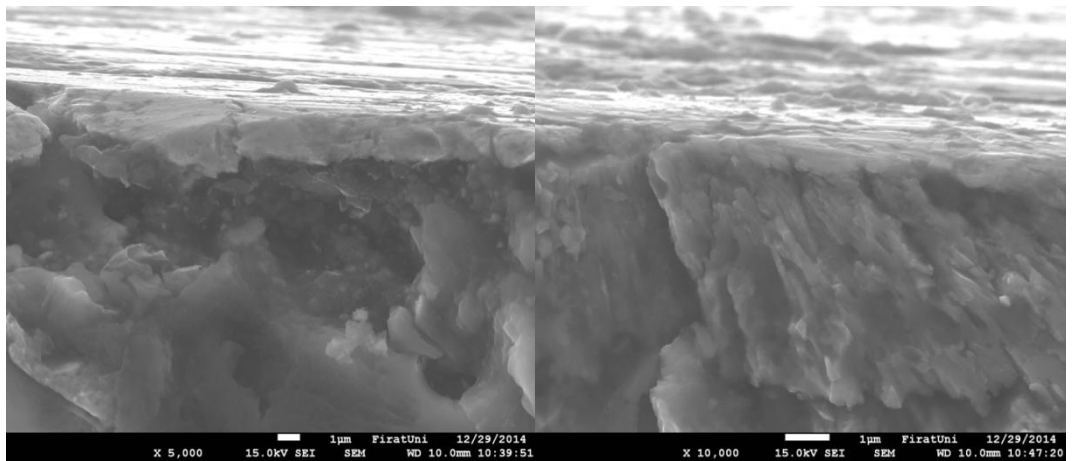
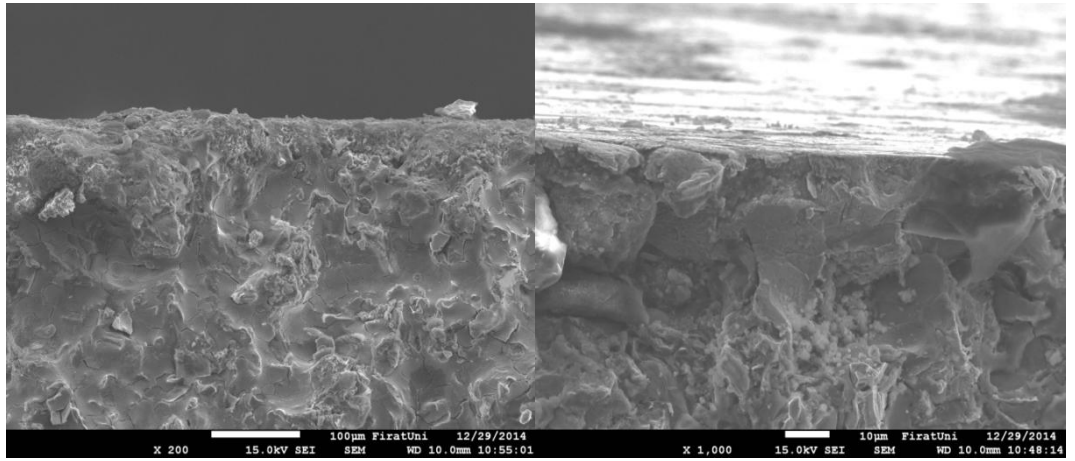
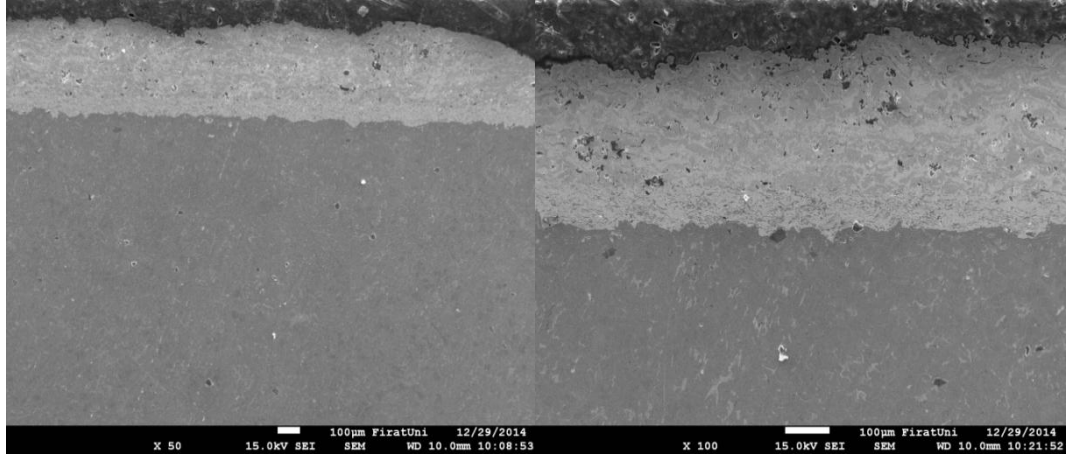
Şekil 7.54(b)'de görüldüğü gibi YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

7.5. Dizel motorun parçalarına ait numunelerin SEM ve EDS analizi

Dizel motorun pistonuna ait numune yüzeyinin analiz için hazırlanması Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde ger ekleŐtirilmiŐtır. Metalografik deneyler öncesi numunelerdeki mikro yapıların ve meydana gelen fazları tespit etmek amacıyla; SEM (Scanning Elektron Microscopy), EDS (Energy Dispersive Spectrograf) noktasal analiz çalışmaları ger ekleŐtirilmiŐtır.

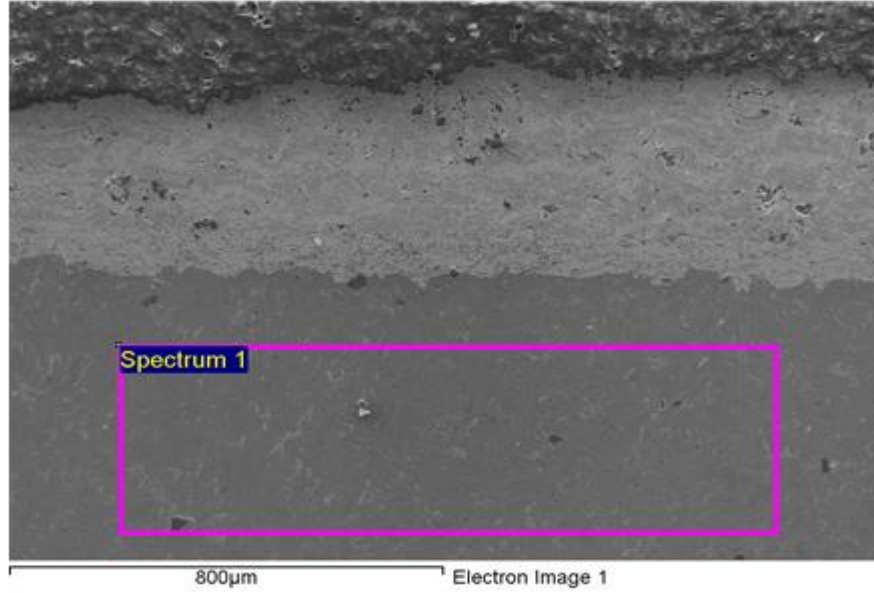
Kaplama yapılan dizel motorun pistonu s k lerek SEM ve EDS noktasal analizi için numune alınmıştır. Pistona ait numune 60, 120, 300, 600, 800, 1000, 1200'lük zımpara  eŐitleri ile zımparalanmıŐtır. Zımparalama iŐleminden sonra elmas pasta ile  uhalama işlemi yapılmıştır.  uhalama işleminin sonunda parlatılan yüzeyler etil alkol ile temizlenmiŐtır. Yüzeyi temizlenen piston malzemesine ait numune keller (190 ml saf su, 5 ml nitrik asit(HNO_3), 3 ml hidroklorik asit(HCl) ve 2 ml hidroflorik asit(HF)) kullanılarak daęlanmıŐtır. Numune analizlere hazır hale getirilmiŐtır.

Kaplamaların detaylı mikro yapı analizlerinde, kaplama morfolojisi, dikey ve yatay çatlak oluŐumlarını incelemeye kullanılmak üzere 50x, 100x, 200x ve 1000x büyütmelerde SEM fotoğrafları alınmıştır. 50x, 100x, 200x ve 1000x büyütmede alınmış SEM görüntüsü Şekil 7.55'de verilmiŐtır.

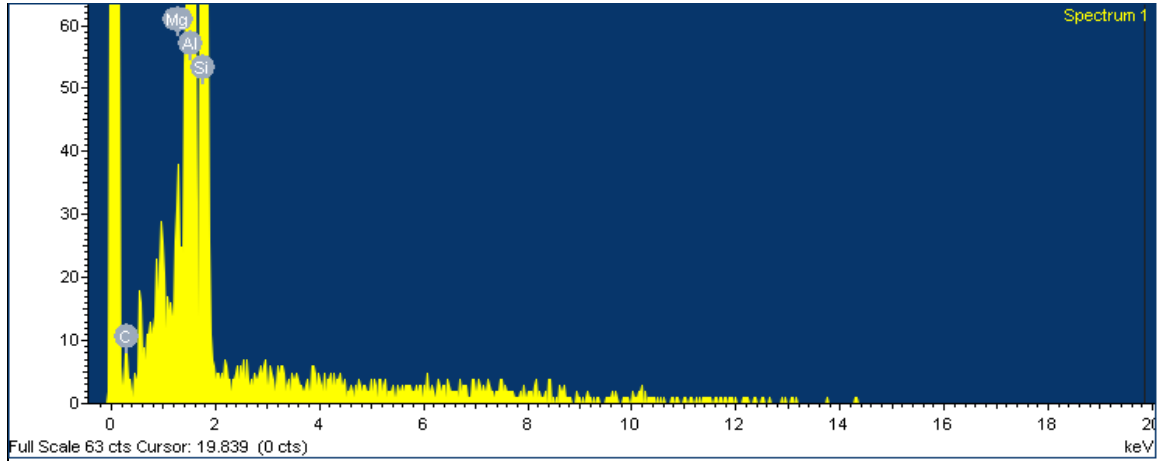


Şekil 7.55. 50x, 100x, 200x, 1000x, 5000x ve 10000x büyütmede alınmış SEM görüntüleri

Kaplamaların EDS analizleri de alınmıştır. Şekil 7.56 numaralı kaplamanın seramik katman ve metalik bağlanma katmanına ait elementsel analiz haritası verilmektedir.

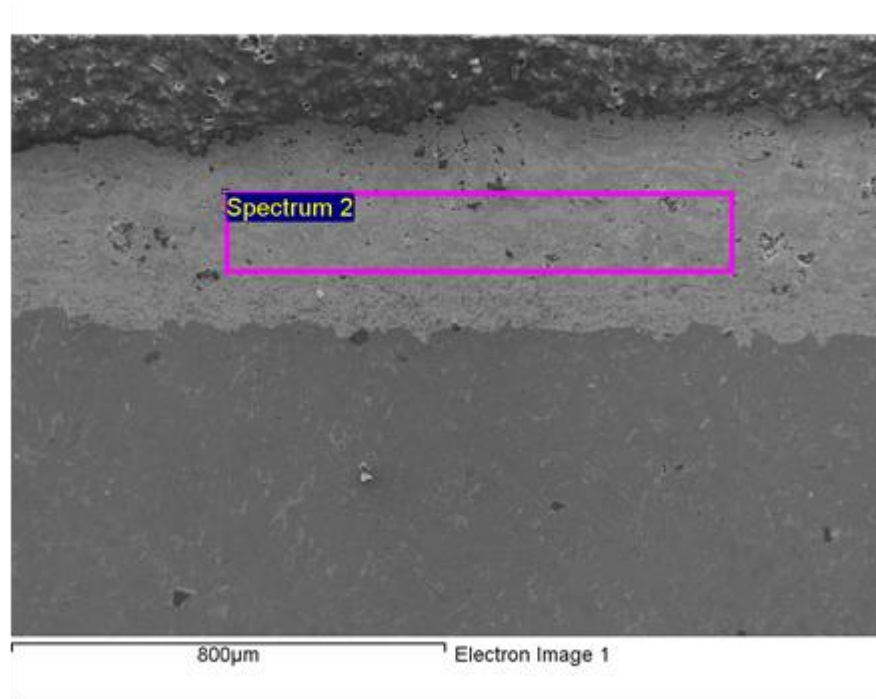


Şekil 7.56. Dizel motorun piston numunesinden alınan EDS 1. analiz bölgesi

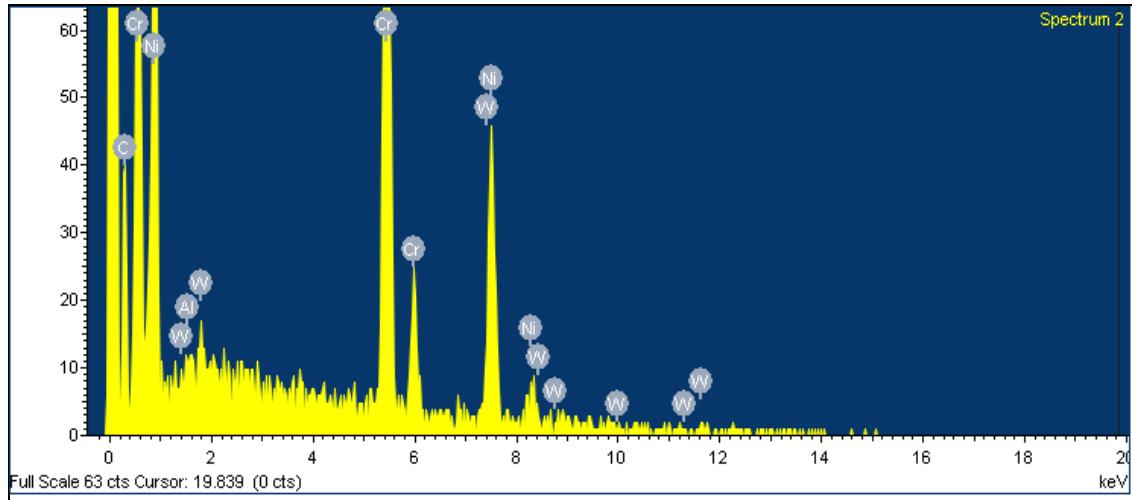


Element Tipi	% Ağırlık Oranı	% Atom Oranı
C	9.70	19.62
Mg	0.82	0.82
Al	61.65	55.50
Si	27.82	24.06
Toplam	100.00	

Şekil 7.57. Dizel motorun piston numunesine ait EDS analiz sonuçları

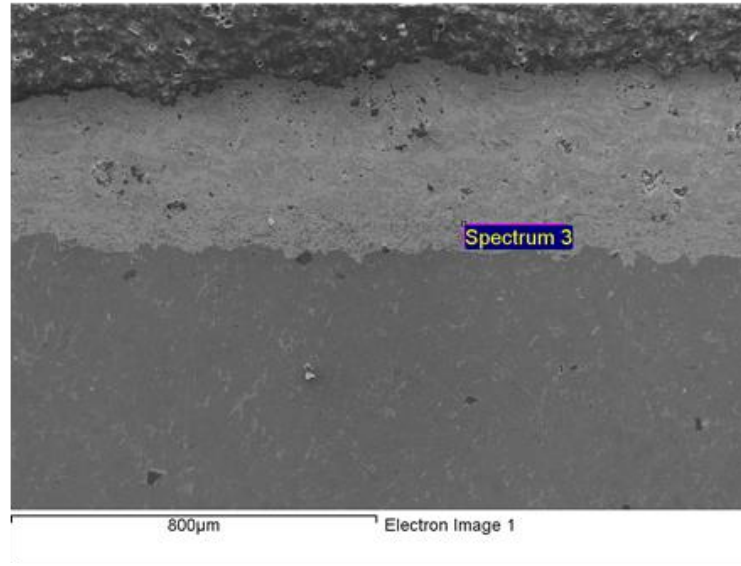


Şekil 7.58. Dizel motorun piston numunesinden alınan EDS 2. analiz bölgesi

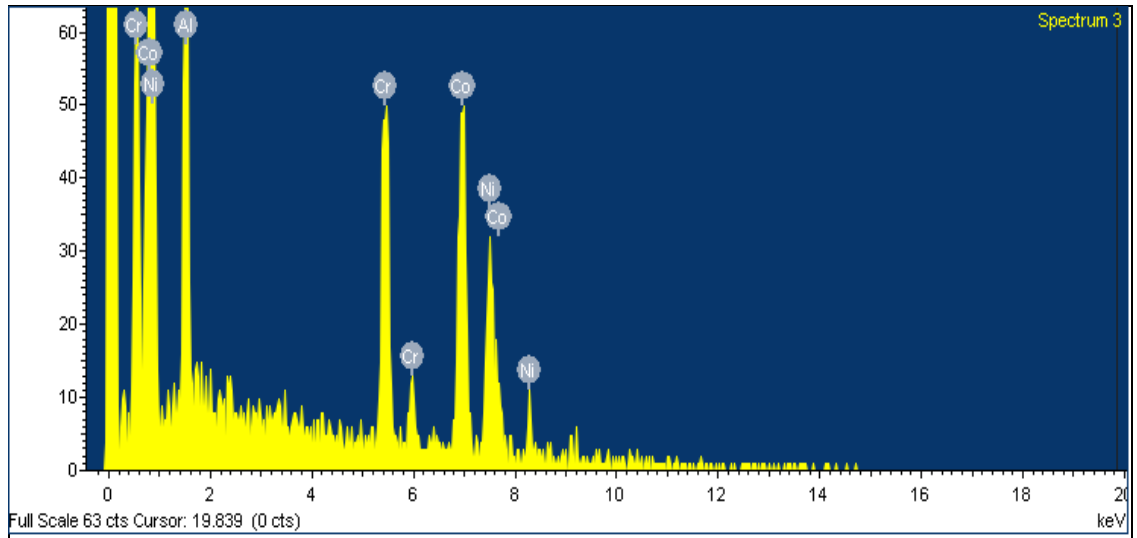


Element Tipi	% Ağırlık Oranı	% Atom Oranı
C	21.82	56.18
Al	0.19	0.21
Cr	43.21	25.70
Ni	33.66	17.72
W	1.12	0.19
Toplam	100.00	100.00

Şekil 7.59. Dizel motorun piston numunesine ait EDS analiz sonuçları

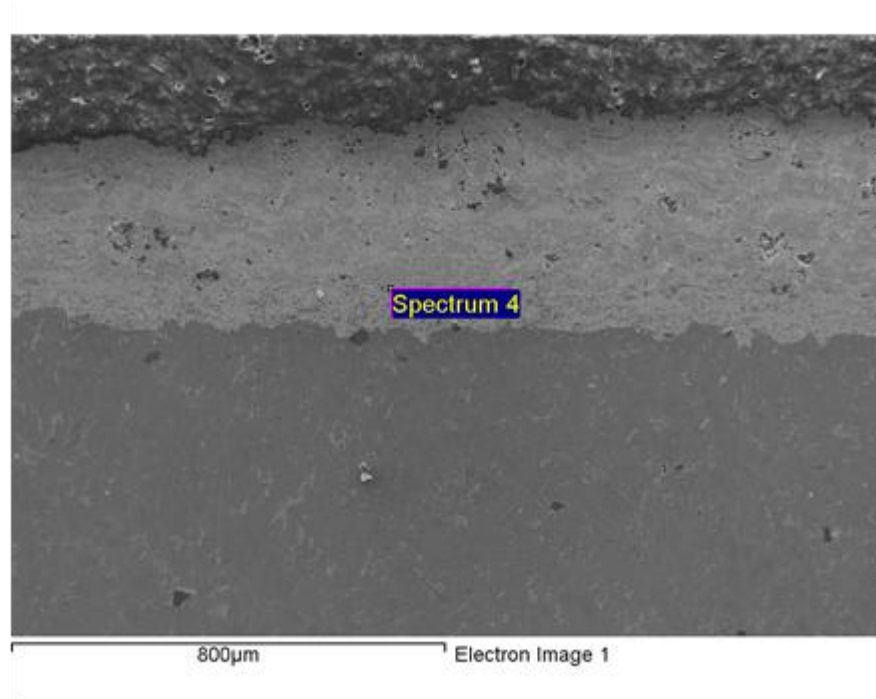


Şekil 7.60. Dizel motorun piston numunesinden alınan EDS 3. analiz bölgesi

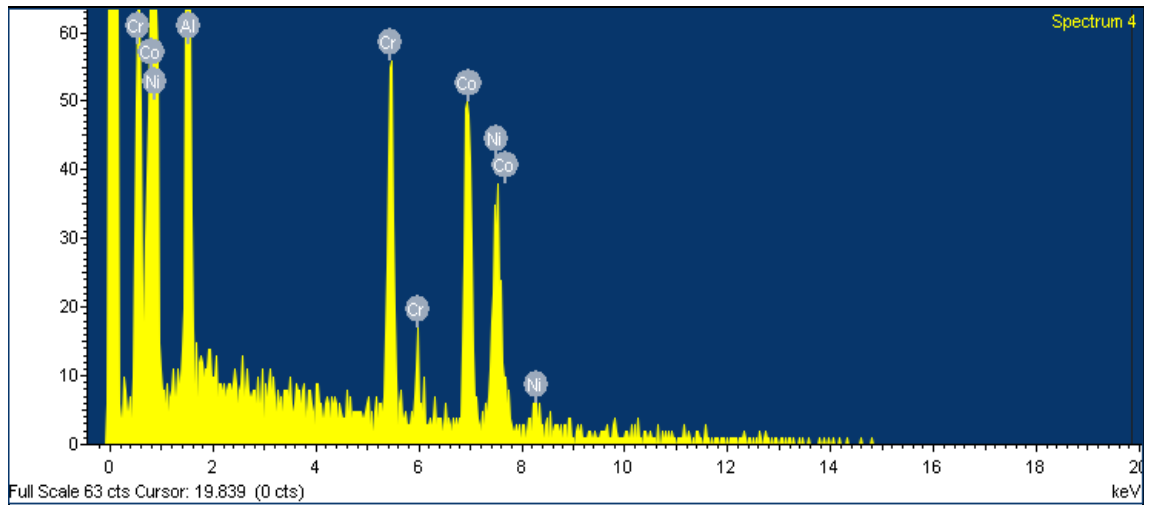


Element Tipi	% Ağırlık Oranı	% Atom Oranı
Al	12.68	23.49
Cr	20.87	20.06
Co	37.97	32.20
Ni	28.48	24.24
Toplam	100.00	100.00

Şekil 7.61. Dizel motorun piston numunesine ait EDS analiz sonuçları



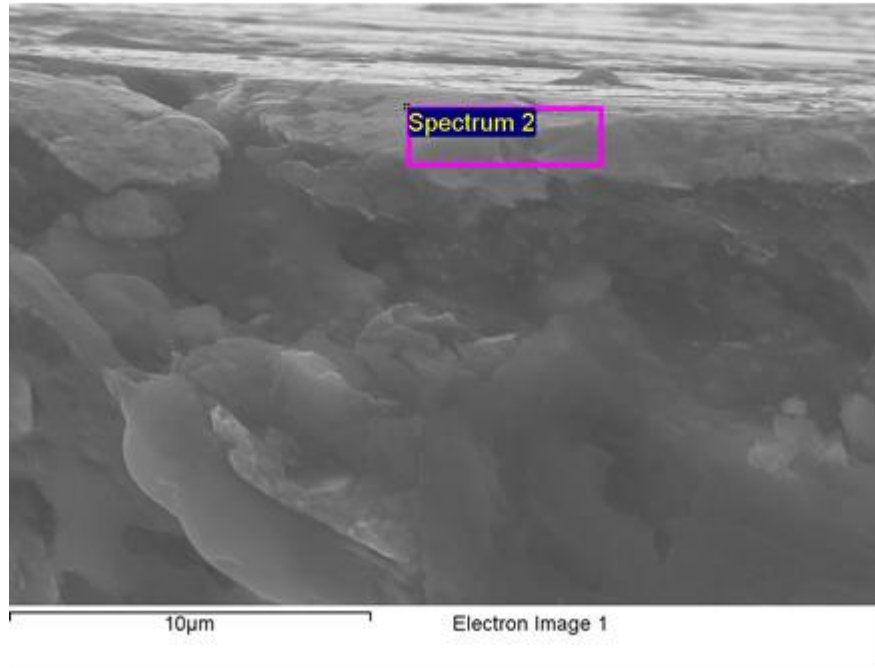
Şekil 7.62. Dizel motorun piston numunesinden alınan EDS 4. analiz bölgesi



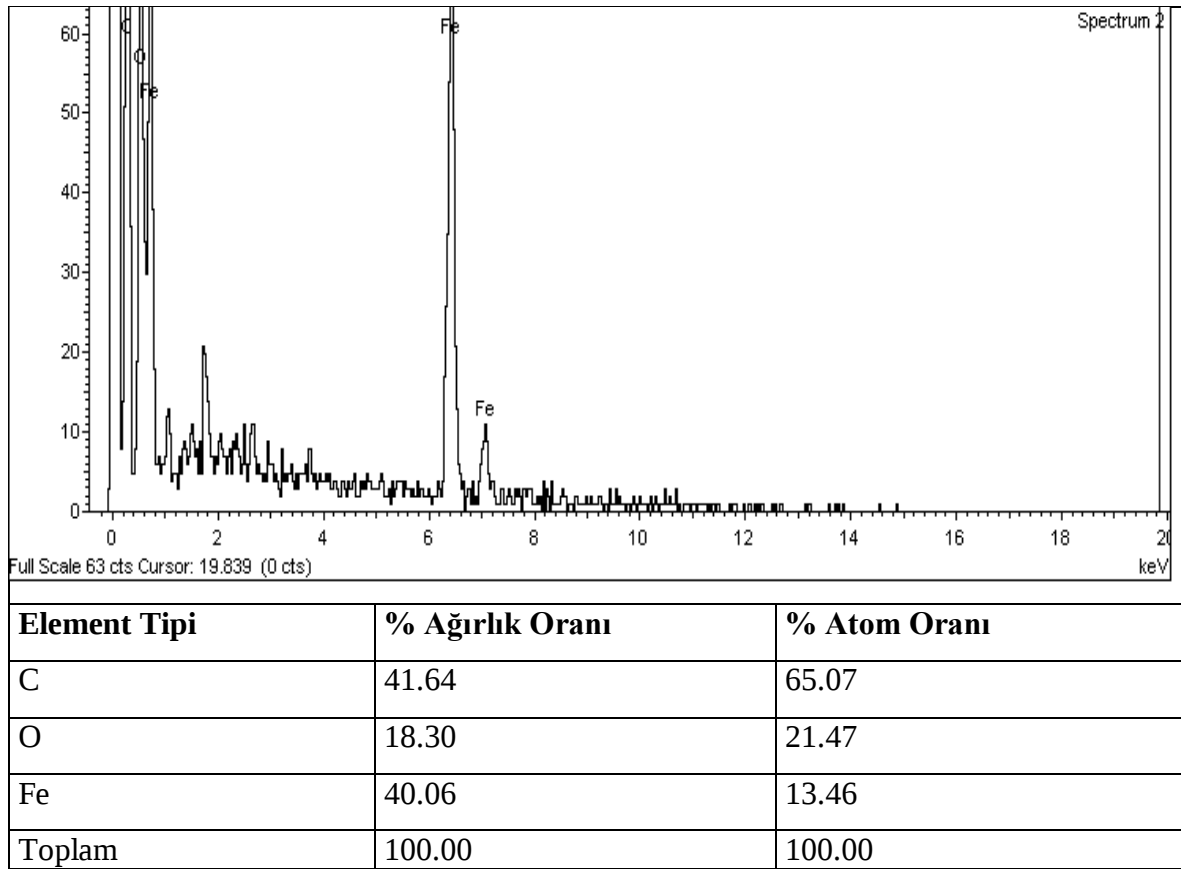
Full Scale 63 cts Cursor: 19.839 (0 cts)

Element Tipi	% Ağırlık Oranı	% Atom Oranı
Al	11.71	21.96
Cr	19.13	18.60
Co	38.82	33.31
Ni	30.34	26.13
Toplam	100.00	100.00

Şekil 7.63. Dizel motorun piston numunesine ait EDS analiz sonuçları



Şekil 7.64. Dizel motorun segman numunesinden alınan EDS analiz bölgesi



Şekil 7.65. Dizel motorun segman numunesine ait EDS analiz sonuçları

8. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında dizel, benzinli ve LPG'li motorların yanma verimliliğini arttırmak için yanma odası elemanları olan piston ve supaplarına TBK uygulanmıştır. Motorların kaplanmadan önce ve kaplamadan sonra egzoz emisyon ve performans değerleri ölçülmüştür. Motorlardan alınan sonuçlar YSA'ya giriş olarak verilerek YSA'nın tüm devirler için tahmini değerler üretmesi sağlanmıştır. Ayrıca YSA ile motorların matematiksel modelleri oluşturulmuştur. Matematiksel modeller kullanıcıların 1600 ile 3000 dev/dk aralığında rastgele girdiği devir için NM ve KM emisyon ve performans parametrelerinin tahmini sonuçlarını ve bu sonuçlar arasındaki yüzdesel farkları göstermektedir. Bu sonuçlara göre;

- Yapılan deneyler sonucunda KM ile NM kıyaslandığında, NO_x değerleri arasında ortalama %13'lük bir artış meydana gelmiştir. Dizel NM'nin gerçek NO_x değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %1,33 olarak, minimum hatayı ise 2050 dev/dk'de %0,003 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin gerçek NO_x değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 3050 dev/dk'de %2,07 olarak, minimum hatayı ise 2450 dev/dk'de %0,005 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda KM uygulanmış dizel motorun CO emisyon değerinin NM'ye göre ortalama %16 daha az olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek CO değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %3,46 olarak, minimum hatayı ise 1850 dev/dk'de %0,024 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin gerçek CO değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatayı 2450 dev/dk'de %2 olarak, minimum hatayı ise 1850 dev/dk'de %0,105 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda kaplama yapılan dizel motorun CO_2 emisyon değerlerinde ortalama %15'lik artış olduğu görülmüştür. Dizel NM'nin gerçek CO_2 emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO_2 emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatayı 2650 dev/dk'de

%2,12 olarak, minimum hatayı ise 2350 dev/dk'de %0,006 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek CO₂ emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatayı 1950 dev/dk'de %4,1 olarak, minimum hatayı ise 2650 dev/dk'de %0,04 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.

- Yapılan deneyler sonucunda KM uygulanmış dizel motorun HC emisyon değerlerinde ortalama %12'lik düşüş olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek HC emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatayı 2050 dev/dk'de %6,57 olarak, minimum hatayı ise 2250 dev/dk'de %0,04 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 0.99994 çıkmıştır. KM'nin gerçek HC emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 2050 dev/dk'de %9,19 olarak, minimum hatayı ise 2450 dev/dk'de %0,1 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 0.99995 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda dizel KM'nin ÖYT değerlerinde NM'ye göre ortalama %8'lik düşüş olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek ÖYT değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği ÖYT değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 2050 dev/dk'de %8,49 olarak, minimum hatayı ise 2650 dev/dk'de %0,22 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek ÖYT değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği sfc değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 2050 dev/dk'de % 9,54 olarak, minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,027 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda dizel KM'nin EGS değerlerinde ortalama %9'luk artış olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 2650 dev/dk'de %3,2 olarak, minimum hatayı ise 2950 dev/dk'de %0,101 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 3050

dev/dk'de %4,6 olarak, minimum hatayı ise 2950 dev/dk'de %0,009 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA'nın regression değeri 1 çıkmıştır.

- Yapılan deneyler sonucunda dizel KM'nin duman yoğunluğu değerlerinde ortalama %6'luk düşüş olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek duman yoğunluğu değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği duman yoğunluğu değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 3050 dev/dk'de %2,51 olarak, minimum hatanın ise 1850 dev/dk'de %0,17 olarak yapıldığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 0.99997 çıkmıştır. KM'nin gerçek duman yoğunluğu değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği duman yoğunluğu değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu maksimum hatanın 2550 dev/dk'de %12,59 olarak, minimum hatanın ise 2150 dev/dk'de %0,2 olarak yapıldığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda benzinli motorun NO_x değerlerinde ortalama %10'luk artış olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek NO_x emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %5,38 olarak, minimum hatayı ise 1950 dev/dk'de %0,17 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek NO_x emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %7,32 olarak, minimum hatayı ise 2550 dev/dk'de %0,08 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda benzinli motor CO emisyon değerlerinde %13'lük düşüş olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek CO emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1850 dev/dk'de %4,05 olarak, minimum hatayı ise 1750 dev/dk'de %0,02 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek CO emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1750 dev/dk'de %7,07 olarak, minimum hatayı ise 2950 dev/dk'de %0,29 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin CO YSA regression değeri 1 çıkmıştır.

- Yapılan deneyler sonucunda benzinli motor CO₂ emisyon değerlerinde %12'lik artış olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek CO₂ emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2850 dev/dk'de %2,12 olarak, minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,01 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek CO₂ emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %5,88 olarak, minimum hatayı ise 1650 dev/dk'de %0,24 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda benzinli motor HC emisyon değerlerinde %10'luk düşüş olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek HC emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2050 dev/dk'de %4,43 olarak, minimum hatayı ise 2550 dev/dk'de %0,22 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek HC emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2350 dev/dk'de %5,87 olarak, minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,02 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda benzinli motorun ÖYT değerlerinde %5'lik düşüş olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek ÖYT değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği ÖYT değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1750 dev/dk'de %5,98 olarak, minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,06 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek ÖYT değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği ÖYT değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1750 dev/dk'de %7,51 olarak, minimum hatayı ise 1950 dev/dk'de %0,1 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda benzinli motorun EGS değerlerinde ortalama %7'lik artış olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 3050 dev/dk'de %7,69 olarak, minimum hatayı ise 2450

dev/dk'de %0,18 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2750 dev/dk'de %3,62 olarak, minimum hatayı ise 1950 dev/dk'de %0,04 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.

- Yapılan deneyler sonucunda LPG'li motorun NO_x değerlerinde ortalama %12'lik artış olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek NO_x emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2950 dev/dk'de %4,86 olarak, minimum hatayı ise 1750 dev/dk'de %0,45 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek NO_x emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği NO_x emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2650 dev/dk'de %5,88 olarak, minimum hatayı ise 2050 dev/dk'de %0,03 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda LPG'li KM'nin CO emisyon değerlerinin NM'ye göre %15 daha az olduğu görülmüştür. TBK uygulanan NM'nin gerçek CO emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1850 dev/dk'de %7,9 olarak, minimum hatayı ise 2050 dev/dk'de %0,26 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek CO emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2050 dev/dk'de %15,08 olarak, minimum hatayı ise 2950 dev/dk'de %0,29 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda LPG'li motor CO₂ emisyon değerlerinde ortalama %14'lük artış olduğu görülmüştür. NM nin gerçek CO₂ emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2450 dev/dk'de %4,73 olarak, minimum hatayı ise 1850 dev/dk'de %0,08 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek CO₂ emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği CO₂ emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1750 dev/dk'de %4,62 olarak,

minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,23 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır.

- Yapılan deneyler sonucunda LPG'li motor HC emisyon değerlerinde ortalama %14'lük düşüş olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek HC emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1650 dev/dk'de %5,14 olarak, minimum hatayı ise 1850 dev/dk'de %0,1 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 0,99972 çıkmıştır. KM'nin gerçek HC emisyon değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği HC emisyon değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 1850 dev/dk'de %8,59 olarak, minimum hatayı ise 1950 dev/dk'de %0,75 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 0,99989 çıkmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda KM'nin EGS değerlerinde %8'lik artış olduğu görülmüştür. NM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2050 dev/dk'de %5,43 olarak, minimum hatayı ise 2750 dev/dk'de %0,06 olarak yaptığı görülmüştür. NM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. KM'nin gerçek EGS değerleri ve YSA'nın tahmin ettiği EGS değerleri kıyaslandığında yapılan hesaplamalar sonucu YSA'nın maksimum hatayı 2250 dev/dk'de %2,69 olarak, minimum hatayı ise 2450 dev/dk'de %0,01 olarak yaptığı görülmüştür. KM'nin YSA regression değeri 1 çıkmıştır. Ortaya çıkan regression değerleri, YSA ile elde edilen sonuçların gerçeğe çok yakın olduğunun bir göstergesidir.

9. ÖNERİLER

İçten yanmalı motorlar üzerinde yapılan modifikasyon işlemleri ile motor performansını artırma, birim yakıttan elde edilen enerjinin daha verimli kullanılması ve kirletici emisyonların azaltılması hedeflenmektedir.

Yapılan deneysel çalışma ile içten yanmalı motorlara uygulanan farklı kaplama malzemeleri ve yöntemlerle motorların emisyon ve performans değerlerinde iyileşmeler sağlanmıştır. YSA kullanılarak oluşturulan matematiksel modellerle motorların bütün devirlerdeki tahmini emisyon ve performans değerlerine ulaşılmıştır.

Bu çalışmaya ek olarak aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir;

- Motorların performans parametrelerinin(motor gücü, efektif verim vb.) YSA ile bütün devirlerdeki tahminleri yapılarak motorların matematiksel modelleri oluşturulabilir.
- Dizel ve benzinli motorlarda farklı yakıtlar yada katkı maddeli yakıtlar kullanılarak motorların emisyon, ÖYT ve EGS değerleri YSA ile bütün devirler için tahmin ettirilerek matematiksel modelleri oluşturulabilir.
- Yanma odası elemanlarından piston ve supaplara ek olarak silindir gömleği ve silindir üst kapağı seramik malzemeler ile kaplanabilir.
- Motorlara farklı kaplama yöntemleri ve farklı kaplama malzemeleri uygulanabilir.
- Piston ve supaplara uygulanan kaplama kalınlığı değiştirilebilir.
- Kaplama işleminde kullanılan kaplama tozlarında çok fazla çeşit olmasından dolayı istenilen motor performansına göre kaplama tozu seçiminde kolaylık sağlamaktadır.
- Motorlardan alınan rasgele emisyon, ÖYT ve EGS değerleri YSA ile bütün devirler için tahmin ettirilebilir.
- YSA ile kaplama yapılan motor parçalarının ömrü tahmin ettirilebilir.
- Kullanılan tek silindirli dizel, benzinli ve LPG'li motorlar yerine 4 silindirli motorlar kullanılabilir.
- Dizel, benzinli ve LPG'li motor için yapılan matematiksel modeller tek bir modelde yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Büyükkaya, E., Yaşar, H., Çelik, V., ve Ekmekçi, İ.**, 1997. Termal Bariyer Kaplamanın Turbo Doldurmalı Bir Dizel Motorunun Egzoz Emisyonlarına Etkileri, 469-481.
- [2] <http://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/coating-equipment/>, 15.6.2014.
- [3] **Keck, J.**, 1982. Turbulent flame structure and speed in SI engines, Nineteenth Symposium on Combustion/The Combustion Institute, 1451-1466, Pitsburg.
- [4] **Gülseçen, S.**, 1993. Yapay sinir ağları, işletme alanında uygulanması ve bir örnek çalışma, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 134, Ankara.
- [5] **Öztürk, A.**, 2005. Yöneylem Araştırması, 10. Basım, Başak, s.19, Ankara.
- [6] **Emiroğlu, M.**, 1994. Tek silindirli içten yanmalı bir motorda sıkıştırma ve yanma periyotlarının bilgisayarla modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 219, İstanbul.
- [7] **Ahmaniemi, S., Vuoristo, P., and Mantyla, T.**, 2004. Mechanical And Elastic Properties Of Modified Thick Thermal Barrier Coatings, *Materials Science and Engineering*, A366, 175–182, Finland.
- [8] **Bose, S.**, 2011. High temperature coatings. Butterworth-Heinemann.
- [9] **Kwin, B. F.**, 1989. How to apply thermal spray coatings, *Welding Design & Fabrication*, 43-46.
- [10] **Sert, Y.**, 2007. Plazma püskürtme tekniği ile kaplanmış tekstil parçasının aşınma özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 131, Sakarya.
- [11] **Weidmann, E., Guesnier A., and Duclos B.**, 2005. Metallo graphic preparation of thermal spray coatings, Struers Application Notes, www.struers.com.
- [12] **Tucker, R. C.**, 1994. ASM handbook, ASM International Handbook Committee, Surface Engineering Volume 5, p.1445-1471.
- [13] **Geçkinli, E.** 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri, İ.T.Ü. Matbaası, Sayı:1454, İstanbul.

- [14] **Musil, J., Alaya M., and Oberacker, R.,** 1997. Stabilized zirconia thermal barrier coatings: deposition process and properties, *ASM International JTTEE5* 6:449-455, 14,
- [15] **Miller, R. A.,** 1997. Thermal barrier coatings for aircraft engines: history and directions. *Journal of Thermal Spray Technology*, Volume 6(1), JTTEE5 6:35-42.
- [16] **Stokes, J.,** 2003. The the oryand application of the HVOF thermal spray process. *Doktora Tezi*, Dublin City University Press, 27-28, Ireland.
- [17] **Davis, J.R.,** 2004. Introduction to thermal spray processing. *Handbook Of Thermal Spray Technology* Editor, Asm International and The Thermal Spray Society, 3-13, America.
- [18] **Bergmannand, C. P., and Vicenzi, J.,** 2011. Protection against erosive wear using thermal sprayed cermet: a review, in *Protection Against Erosive Wear Using Thermal Sprayed Cermet*, Springer Berlin Heidelberg, pp.1–77.
- [19] <http://www.ytmk.sakarya.edu.tr/yuzey.html>, Yüzey Teknolojileri, 08.08.2014.
- [20] **Herman, H., and Shankar, N. R.,** 1987. Survivability of thermal barrier coatings. *Materials Science & Engineering*, Vol 88, pp 69-74, USA.
- [21] **Yüksek, E., Altuncu, E., Eker, G., ÜSTEL, F.** 2005. Plazma Sprey Kaplama Yöntemi ve Teknolojik Uygulamaları. *4th Powder Metalurgy Conference*, 18-22, Sakarya, Türkiye.
- [22] **Akahn, Ö.,** 2000. Motorlarda plazma sprej kaplı silindirlerin tribolojik özellikleri. *Makine Mühendisliği Odası Dergisi*, 486: 30–33.
- [23] **Bornstein, N., and Marcin, J.,** 1996. Pratt&Whitney thermal barrier coatings, *Advanced Turbine Systems Annual Program Review*, National Technical Information Service, 1-14, USA.
- [24] **Kharlamov, Y.A.,** 1986. Materials engineering forum detanation spraying of proctective coatings, *Voroshilavgrad Machine Building Institute*, Voroshilovgrad, U.S.S.R. 9 Sept.
- [25] **Pawlowski, L.,** 2007. *The Scienceand Engineering of Thermal Spray Coatings*, John Wiley&Sons Second Edition.
- [26] **Turunen, E.,** 2005. Diagnostic tools for hvof process optimization. *Dissertation for the Degree of Doctor of Science in Technology*, Helsinki University.

- [27] **Bilge, T.**, 1998. Aşınmaya karşı plazma püskürtme ve HVOF(Yüksek- Hızlı- Oksi Yakıt) püskürtme yöntemleriyle yüzey hazırlama, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [28] **Kaya, A.**, 2007. Plazma püskürtme ve HVOF yöntemleri kullanılarak, Cr_3C_2 -NiCr(75/25) ve CrNiBSi+%80 WC-Co tozlarıyla kaplanan çeliğin yapısı ve yüzey özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [29] **Parker, D.W., and Kurtner, G. Ş.**, HVOF-spray technology, *Advanced Materials and Processes*, V.139, n.4, 4-91, pp, 68-72.
- [30] **Bengi, T.**, 2009. Termal bariyer kaplamaların ısı özelliklerinin incelenmesi ve düşük termal iletkenlik için parametre optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] **Yenihayat, F.**, 1996. Seramik kaplamalarda kırılma tokluğunun sonlu elemanlar yöntemi ile analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 75, Ankara.
- [32] **Kılavuz, Z.**, 2004. AISI Paslanmaz Çelik Üzerine Plazma Sprey Tekniği ile Kaplama ve Karakterizasyonu, *Lisans Tezi*.
- [33] **Chen, W.,Wu, X., Marple, B., Nagy, D., and Patnaik, P.**, 2007. TGO growth behaviour in TBC swith APS and HVOF bond coats. *Surface&Coatings Technology*.
- [34] **Çelik, E.**, 1995. Plazma Sprey Tekniğiyle Üretilen Seramik Kaplamaların Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Metalurji ve Malzeme Müh., Eylül.
- [35] **Wear Applications**, engineered Materials Handbook, Ceramicand Gasses, V. 2, pp: 973977, 1987
- [36] **Trent, E.M.**, 1977. Metal Cutting, London.
- [37] **Wachtman, J.B., Jr. and Haber, R.A.** 1986. Chemical Engineering Progress, Pp. 39-46.
- [38] **Toptan, Ö.**, 2008. Geleneksel Seramikler, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Lisans Ders Notları.
- [39] **Hazar, H.** 2004. Bir dizel motoru silindir yüzeyinin seramik malzeme ile kaplanarak aşınma davranışının deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Anabilim Dalı, 127, Elazığ.

- [40] **Lassner E., and Schubert, W. D.,** 2009. Tungsten: Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys, and Chemical Compounds, p.7.
- [41] <http://www.periodictable.com/Items/074.68/index.html>, 14.08.2014.
- [42] <http://www.tungsten-carbide.com>, 24.04.2014.
- [43] **Çolak, F.,** 2004. Kimyasal metotla nikel kaplanmış tungsten karbür tozları kullanılarak seramik-metal kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metal Eğitim Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- [44] **Karayazgan, N.,** 2005. WC-Co esaslı kesici takım uçlarının elektrolitik geri kazanımı, Diss.
- [45] **Bonny K., Baets P., Lauwers, B., Vleugels, J., and Van Der Biest O.,** 2004. Characterization of Tribological Behaviour of Hardmetals, Proceedings of the 8th International Symposium on Tribology, p. 168-175.
- [46] **Lovelock, H. L., and Villiers L.,** 1998. Powder/Processing/Structure Relationships in WC-Co Thermal Spray Coatings: A Review of the Published Literature, Journal of Thermal Spray Technology, Volume 7, No. 3, p. 357–373.
- [47] **Stiglich J. J., Sudarshan, T.S., and Yao, Z.,** Nano-grained Tungsten Carbide-Cobalt (WC/Co), Materials Modification, Inc.
- [48] **Pierson, H. O.,** 1996. Handbook of Refractory Carbides and Nitrides: Properties, Characteristics, Processing, and Applications, Noyes Publications. New Jersey, USA.
- [49] **Voyer, J., and Marple B. R.,** 1999. Sliding Wear Behavior of High Velocity Oxy-Fuel and High Power Plasma Spray-Processed Tungsten Carbide- Based Cermet Coatings, Wear, vol. 225–229, part 1, p. 135–145.
- [50] **Lide, D.R.,** 1998. Handbook of Chemistry and Physics (87 ed.), Boca Raton, FL: CRC Press. 4-52.
- [51] http://www.hardmaterials.de/html/_crystal_structures.html, Crystal Structures of Hard Materials, 08.07.2014.
- [52] **Tracey, V.A.,** 1992. Nickel in Hardmetals. Refractory Metals & Hard Materials, 11 p. 137-149.
- [53] **Chattopadhyay, R.,** 2001. Surface Wear: Analysis, Treatment, and Prevention. 2001: p. 228-229.

- [54] **Özel, S.**, 2009. Alüminyum alaşımı ve bronz yüzeyine oksit ve karbür bileşiklerinin plazma sprey yöntemiyle kaplanmasının araştırılması. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, 25, Elazığ.
- [55] **Çanakçı. M.**, 2001. Production of Biodiesel from Feed stocks with High Free Fatty Acids and its Effect on Diesel Engine Performance and Emissions, Ph.D. Dissertation, Iowa State University.
- [56] **Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J.M., Gomez, J., and Lopez, F.J.**, 2003. Exhaust Emissions from a Diesel Engine Fueled with Transesterified Waste Olive Oil, *Fuel*, 82:1311-1315.
- [57] **Yamık, H.**, 2002. Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [58] **Pulkrabek, W.W.**, 1997. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, pp. 150-158, Prentice Hall, New Jersey.
- [59] **Stone, R.**, 1989. Motor Vehicle Fuel Economy, Macmillan Educational Ltd, Houndsmills.
- [60] **Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A.**, 1994. Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-3, Ankara.
- [61] **Merker P.G., Schwarz C., Stiesch G., and Otto F.**, 2006. Simulating Combustion, Springer, Heidelberg.
- [62] **Uymaz, A.**, 2009. Pamuk yağı esaslı biyodizel ile çalışan bir dizel motorunda yakıt püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8-20, Ankara.
- [63] **Heywood, J.B.**, 1988. Internal combustion engine fundamentals. Vol. 930. New York: Mcgraw-hill.
- [64] **Örnek, S.**, 2007. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 25-27, 31-33, Denizli.
- [65] **Cheng, W., Hamrin, D., Heywood, S., Hochgreb, K., and Norris, M.**, 1993. An overview of Hydrocarbon Emission Mechanism in Spark Ignition Engines, SAE Paper, 932708.

- [66] **Parlak, A., and Ayhan, V.,** 2007. Effects of Using Piston with Thermal Barrier Layer in Spark Ignition Engine on Performance at WOT and Cold Start HC Emission at Idle, *Journal of Energy Institute*, Vol. 80, No.4.
- [67] **Ayhan, V., Kapsız, M., ve Parlak, A.,** 2006. Buji Ateşlemeli Motorlarda Termal Bariyer Kaplamanın Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, 9. *Uluslararası Yanma Sempozyumu*, 16-17 Kasım 2006, Kırıkkale, Türkiye.
- [68] **Haşimoğlu, C., ve İçingür, Y.,** 1988. Dizel Motorlarda Azot Oksit (NO_x) Kontrol Yöntemleri, *Selçuk Teknik Online Dergisi*, ISSN-1302-6178, Vol. 1, No:2, Konya.
- [69] **Sürmen, A.,** 1997. Buji ile ateşlemeli motorlarda hc emisyonlarının oluşumu ve alev geçişi sonrası davranımının matematik modeli, *5. Yanma Sempozyumu*, Temmuz, 21-23.
- [70] **İlkılıç, C.,** 1999. Çeşitli alternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 20–22, Elazığ.
- [71] **Oral, M.,** 2008. Farklı yakıtlarla dizel motorun performans ve is emisyon karakteristiklerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 24-42, 116-129, İstanbul.
- [72] **Gümüş, M.,** 2009. Çift yakıt enjeksiyonlu buji ateşlemeli bir motorda lpg kullanım oranının performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, (24, 2), 265-273.
- [73] **Coşkun, A.,** 2007. Enerji güvenliği, enerji tarımı, biyoyakıtlar, *Ekonomik Forum Dergisi*, 60-61.
- [74] **Reşitoğlu, İ.A.** 2010. Atık yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-35, Mersin.
- [75] **Diniz, A. E. and Micaroni, R.,** 2002. Cutting conditions for finish turning process aiming: the use of dry cutting, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 432: 899–904.

- [76] **Taşdemir, Ş., Sarıtaş, I., Ciniviz, M., Çınar, C., ve Allahverdi, N.,** 2005. Benzinli bir motor performansının belirlenmesinde yapay sinir ağı uygulaması, 4th International Advanced Technologies Symposium, Konya, Turkey.
- [77] **Neşeli, S., Taşdemir, Ş. ve Yıldız, S.,** 2009. Yapay sinir ağı yaklaşımı ile tornalamada yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, *Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 3: 48-67.
- [78] **Haykin, S.,** 1994. Neural Networks. Macmillan College Publishing Company, USA, 696.
- [79] **Öztemel, E.,** 2006. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık.
- [80] **Haykins, S.,** 1999. Neural networks a comprehensive foundation, Prentice Hall International, Inc.
- [81] **Felten, D.L, and Jozefowicz, R.F.,** Neurons and their properties. Netter's Atlas of Human Neuroscience. USA: Icon Learning.
- [82] **Bose S., and Nirmal, K.,** 1996. Ping; neural network fundamentals with graphs, algorithms and applications, United States, Mc Graw-Hill.
- [83] **Elmas, Ç.,** 2003. Yapay Sinir Ağları, Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [84] **Öztemel, E.,** 2003. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayınları, İstanbul.
- [85] **Elmas, Ç.,** 2007. Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, 425 s, Ankara.
- [86] **Kakıcı, A.,** 2009. <http://www.ahmetkakici.com/category/yapay-sinir-aglari/>, ErişimTarihi: 14.06.2014.
- [87] **Güneri, N., ve Apaydın, A.,** 2004. Öğrenci Başarılarının Sınıflandırılmasında Lojistik Regresyon Analizi ve Sinir Ağları Yaklaşımı. *GÜ Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, (1), 170-188.
- [88] **Gökbulut, M.,** 2001. Kontrol Sistemleri Ders Notları, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Elazığ.
- [89] **Elmas, Ç.,** 2010. Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [90] **He, Q.,** 1999. Neural Network and its Application in IR. Graduate School of Library and Information Science, *University of Illinois at Urbana-Champaign Spring*.
- [91] **Öztemel, E.,** 2012. Yapay Sinir Ağları, 3. Basım, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 25-61.

- [92] **Sevim, C.**, 2012. Öncü Göstergeler Yaklaşımına Göre Finansal Krizler ve Türkiye Örneği, BDDK Kitapları, Ankara. 236-239.
- [93] **Budak, H. Erpolat, S.**, 2001. Kredi Riski Tahmininde Yapay Sinir Ağları ve Lojistik Regresyon Analizi Karşılaştırılması, *AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology*, 3:9, 23-30.
- [94] **Hamzaçebi. C.**, 2011. Yapay Sinir Ağları: Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı, Ekin Yayınevi, Bursa, 14-45.
- [95] **Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., ve Erler, M.**, 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I. Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitabevi, 422 s, Kayseri.
- [96] **Soycan, T.Y.**, 2008. Yapay sinir ağları yaklaşımı ile kompaksiyon parametrelerinin tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 74-81, Niğde.
- [97] **Çırak B., Ve Gürbüz H.**, 2012. Yapay sinir ağları kullanarak dizel motorlarda termal bariyer kaplamanın emisyonlara etkilerinin incelenmesi, Nevşehir Üniversitesi, *Fen bilimleri Enstitü Dergisi 1*, 24-35.
- [98] **Sivakumar G., and Senthil K.S.**, 2014. Investigation on effect of yttria stabilized zirconia coated piston crown on performance and emission characteristics of a diesel engine, School of Mechanical Engineering, Vel Tech University, Chennai 600062, India.
- [99] **Dorri, A.**, 2013. Sayısal Simülasyonla Dizel Motorda Kirletici Oluşum Tahmini. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1).
- [100] **Hazar, H., ve Öner, C.**, 2007. CrN Kaplamanın Dizel Motor Silindir Gömleği Aşınmasına Etkisi. *Mühendis ve Makine*, 48.575: 14-18.
- [101] **Yaşar, H.**, 1997. Termal bariyer kaplamanın türbo doldurmalı bir dizel motorunun performansına etkileri, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13-76.
- [102] **Ramaswamy, P., Seetharamu, S., Varma, K. B. R. and Rao, K. J.**, 2000. Thermomechanical fatigue characterization of zirconium ($8\text{ Y}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$) and mullite thermal barrier coatings on diesel engine components: effect of coatings on diesel engine performance, *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers, Proquest Science Journals*, 729, 214.
- [103] **Kamo, R., Assanis, D., and Bryzik, W.**, 1989. Thin thermal barrier coatings for engines. No. 890143. SAE Technical Paper.

- [104] **Wallace, F., J., Kao, T., K., Tarabad, M., Alexander, W., D. and Cole, A.,** 1984. Thermally insulated diesel engines, *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers*, 198A(5), 21.
- [105] **Hazar, H., ve Öztürk, U.,** 2009. Fındık yağı ve d2 yakıtı karışımının performans ve emisyonuna seramik kaplamanın etkileri, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye.
- [106] **Kvernes, I., Norholm, O., and Svartdal, J.,** 1990. Ceramic coatings influences on medium speed diesel engine performance and reliability, *Marine Management*, p.10.
- [107] **Uzun, A., Çevik, İ., and Akçıl, M.,** 1999. Effects of thermal barrier coating on a turbocharged diesel engine performance. *Surface and coatings technology* 116: 505-507.
- [108] **Gürbüz, H.,ve Gökkaya, H.,** 2013. Termal bariyer kaplamanın motor yakıt sarfıyatı egzoz sıcaklığı ve emisyonlara etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (20,1), 15-19.
- [109] **Ciniviz, M.,** 2005. Türboşarjlı bir dizel motorunun yanma odası yüzeylerinin Y_2O_3 - ZrO_2 ile kaplanmasının performans ve emisyon etkileri, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [110] **Venkatesh, S.,** 1973. Surface treatments for pistons and their effect on engine performance. *Wear*, 25(1), 65-71.
- [111] **Özgören, Y.,** 2005. Stirling motorunda termal bariyer kaplamanın motor performansına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, *Teknik-Online Dergisi*, (4,3).
- [112] **Baydır, A., ve Yücesu S.,** 2011. LPG yakıtlı motorda hava fazlalık katsayısı modelleme aracı ile incelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- [113] **Gürbüz, H., ve Çırak, B.,** 2012. Yapay sinir ağları kullanılarak dizel motorlarda termal bariyer kaplamanın emisyonlara etkilerinin incelenmesi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* 1.1.
- [114] **Ateş, A., Yeroğlu, C., ve Talu, M.,** Gerçek zamanlı trms için geliştirilen YSA algoritması, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [115] **Varatharajan, K., and Cheralathan, M.,** 2012. Influence of fuel properties and composition on NO_x emissions from biodiesel powered diesel engines:A

- review, Renewable and sustainable energy reviews,16,6,3702-3710, Elsevier.
- [116] **İlhan, M.**, 2007. Çift yakıtlı (Dizel Metanol) bir dizel motorda püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 59-110.
- [117] **Cherng-Yuan, L., and Hsui-An, L.**, 2006. Diesel Engine Performance and Emission Characteristics of Biodiesel Produced by the Peroxidation Process. *Fuel*, 85: 298–305.
- [118] **Hejowski, T., and Weronki, A.**, 2002. The Effect of Thermal Barrier Coatings on Diesel Engine Performance, *Vacuum*, vol. 65, pp. 427-432,
- [119] **Puhana, S., Vedaramana, N., Rama, B.V.B., Sankarnarayananb, G. and Jeychandran, K.**, 2005. Mahua oil (madhuca indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics, *Biomass and Bioenergy*, 28,87–93.
- [120] **Challen, B., and Baranescu, R.**, 1999. Diesel Engine Reference Book, Second Edition, Butterworth Heinemann.
- [121] **Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan H. ve Mutlu, M.**, 1998. Taşıt Egzozundan Çıkan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, İstanbul, s. 13-14.
- [122] **Abdel-Rahman. A.**, 1998. On the emissions from internal-combustion engines:a review. *International Journal Of Energy Research , Int. J. Energy Res.*, 22, 483-513.

EKLER

EK-1

MOTOR DEVRİNİ GİRİNİZ

2897

START

Benzinli Briggs&Stratton I/C Castiron 10 HP Motorun Matematiksel Modeli

Motor Özellikleri		Standart Motor		Kaplanmış Motor		Fark(%)	
Motorun markası	Briggs&Stratton	NOx(ppm)	24.0074	NOx(ppm)	26.0647	NOx(ppm)	8.5694
Strok Sayısı	4	CO2(%)	3.3953	CO2(%)	4.079	CO2(%)	20.1371
Silindir Sayısı	1	HC(ppm)	152.7527	HC(ppm)	137.9468	HC(ppm)	-9.6928
Silindir Çapı	77.7 mm	CO(%)	2.9665	CO(%)	2.5774	CO(%)	-13.1162
Silindir Hacmi	392 cm3	ÖYT(gr/kWh)	374.7911	ÖYT(gr/kWh)	340.9667	ÖYT(gr/kWh)	-9.0249
Strok	82.6 mm	EGS(oc)	331.4667	EGS(oc)	365.673	EGS(oc)	10.3197
Ağırlık	43.6 Kg						
Yakıt Tipi	Benzin						



benzinli

2273

MOTOR DEVRİNİ GİRİNİZ

START



Motor Özellikleri

Motorun markası	Briggs&Stratton
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	77.7 mm
Silindir Hacmi	392 cm3
Strok	82.6 mm
Ağırlık	43.6 Kg
Yakıt Tipi	Benzin

Standart Motor

NOx(ppm)	27.5418
CO2(%)	4.1777
HC(ppm)	147.2764
CO(%)	2.6315
ÖYT(gr/kWh)	290.5134
EGS(°C)	230.6245

Kaplanmış Motor

NOx(ppm)	29.4781
CO2(%)	4.8631
HC(ppm)	137.6854
CO(%)	2.2148
ÖYT(gr/kWh)	278.2159
EGS(°C)	249.9747

Fark(%)

NOx(ppm)	7.0303
CO2(%)	16.4068
HC(ppm)	-6.5122
CO(%)	-15.8356
ÖYT(gr/kWh)	-4.233
EGS(°C)	8.3903

benzinli

1865

MOTOR DEVRİNİ GİRİNİZ

START

Motor Özellikleri

Motorun markası	Briggs& Stratton
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	77.7 mm
Silindir Hacmi	392 cm3
Strok	82.6 mm
Ağırlık	43.6 Kg
Yakıt Tipi	Benzin

Standard Motor

NOx(ppm)	23.9647
CO2(%)	2.9857
HC(ppm)	193.402
CO(%)	4.3682
ÖYTi(gr/kWh)	459.7713
EGS(oc)	193.6452

Kaplanmış Motor

NOx(ppm)	25.0202
CO2(%)	3.5758
HC(ppm)	178.129
CO(%)	3.5122
ÖYTi(gr/kWh)	422.1468
EGS(oc)	211.9278

Fark(%)

NOx(ppm)	4.4045
CO2(%)	19.7653
HC(ppm)	-7.897
CO(%)	-19.5978
ÖYTi(gr/kWh)	-8.1833
EGS(oc)	9.4413

benzinli.fg

File Edit View Layout Tools Help

Benzinli Briggs&Stratton I/C Castlron 10 HP Motorun Matematiksel Modeli

-MOTOR DEVRİNİ GİRİNİZ-

START

Motor Özellikleri

Motorun markası	Briggs&Stratton
Strok Sayısı	4
Siilindir Sayısı	1
Siilindir Çapı	77.7 mm
Siilindir Hacmi	392 cm3
Strok	82.6 mm
Ağırlık	43.6 Kg
Yakıt Tipi	Benzin

Standart Motor

NOx(ppm)	0
CO2(%)	0
HC(ppm)	0
CO(%)	0
ÖYTI(gr/kWh)	0
EGS(°C)	0

Kaplanmış Motor

NOx(ppm)	0
CO2(%)	0
HC(ppm)	0
CO(%)	0
ÖYTI(gr/kWh)	0
EGS(°C)	0

Fark(%)

NOx(ppm)	0
CO2(%)	0
HC(ppm)	0
CO(%)	0
ÖYTI(gr/kWh)	0
EGS(°C)	0

axes6

Tag: figure1

Current Point: [274, 10]

Position: [520, 305, 1274, 503]

LPG' li Briggs&Stratton I/C Castlron 10 HP Motorun Matematiksel Modeli

MOTOR DEVRİNİ GİRİNİZ

2852

START

Motor Özellikleri

Motorun markası	Briggs&Stratton
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	77.7 mm
Silindir Hacmi	392 cm ³
Strok	82.6 mm
Yakıt Tipi	43.6 Kg
Ağırlık	LPG

Normal Motor

NOx(ppm)	32.7063
CO2(%)	4.5752
HC(ppm)	24.569
CO(%)	0.25641
EGS(°C)	193.9963

Kaplanmış Motor

NOx(ppm)	36.5628
CO2(%)	5.4264
HC(ppm)	20.4419
CO(%)	0.20469
EGS(°C)	211.8566

Fark(%)

NOx(ppm)	11.7915
CO2(%)	18.6045
HC(ppm)	-16.7978
CO(%)	-20.17
EGS(°C)	9.2065



LPG

LPG' li Briggs&Stratton I/C Castiron 10 HP Motorun Matematiksel Modeli

X

MOTOR DEVRİNİ GİRİNİZ

2319

START

Motor Özellikleri		Normal Motor		Kaplanmış Motor		Fark(%)	
Motorun markası	Briggs&Stratton	NOx(ppm)	43.1248	NOx(ppm)	47.3221	NOx(ppm)	9.7329
Strok Sayısı	4	CO2(%)	6.0867	CO2(%)	6.9564	CO2(%)	14.2887
Silindir Sayısı	1	HC(ppm)	16.8085	HC(ppm)	13.0196	HC(ppm)	-22.5415
Silindir Çapı	77.7 mm	CO(%)	0.089733	CO(%)	0.075073	CO(%)	-16.3373
Silindir Hacmi	392 cm3	EGS(°C)	148.7319	EGS(°C)	168.8199	EGS(°C)	13.5062
Strok	82.6 mm						
Yakıt Tipi	43.6 Kg						
Ağırlık	LPG						

File Edit View Layout Tools Help

LPG' li Briggs&Stratton I/C Castiron 10 HP Motorun Matematiksel Modeli

MOTOR DEVRİNİ GİRİNİZ

Motorun markası Briggs&Stratton

Strok Sayısı 4

Silindir Sayısı 1

Silindir Çapı 77.7 mm

Silindir Hacmi 392 cm³

Strok 82.6 mm

Yakıt Tipi 43.6 Kg

Ağırlık LPG

START

Kaplanmış Motor

NOx(ppm) 0

CO2(%) 0

HC(ppm) 0

CO(%) 0

EGS(°C) 0

Fark(%)

NOx(ppm) 0

CO2(%) 0

HC(ppm) 0

CO(%) 0

EGS(°C) 0

axes

EK-3

```
function varargout = dizel(varargin)
% DIZEL MATLAB code for dizel.fig
%     DIZEL, by itself, creates a new DIZEL or raises the
existing
%     singleton*.
%
%     H = DIZEL returns the handle to a new DIZEL or the
handle to
%     the existing singleton*.
%
%     DIZEL('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls
the local
%     function named CALLBACK in DIZEL.M with the given
input arguments.
%
%     DIZEL('Property','Value',...) creates a new DIZEL or
raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property
value pairs are
%     applied to the GUI before dizel_OpeningFcn gets
called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes
property application
%     stop. All inputs are passed to dizel_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI
allows only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% edit18 the above text to modify the response to help dizel

% Last Modified by GUIDE v2.5 26-Nov-2014 20:18:20

% Begin initialization code - DO NOT EDIT18
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @dizel_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @dizel_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
```

```

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% --- Executes just before dizel is made visible.
function dizel_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin   command line arguments to dizel (see VARARGIN)

% Choose default command line output for dizel
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes dizel wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
axes(handles.axes1)
imshow ('dizel.JPG')


% --- Outputs from this function are returned to the command
line.
function varargout = dizel_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;


function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

str1=findobj(gcbo,'Tag','edit6');
dev=get(str1,'String');
dev_=str2double(dev);
devir_=dev_(1);
if devir_<1600
errordlg('Yanlis Deger. Lütfen 1600-3000 arasında devir
giriniz...','Hata!','error')
cancel(t)
elseif devir_>3000
errordlg('Yanlis Deger. Lütfen 1600-3000 arasında devir
giriniz...','Hata!','error')
cancel(t)
end

devir_=mapminmax('apply',devir_,ps);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikCO=sim(net,devir_);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikCO=mapminmax('reverse',cikCO,ts);
%CO alanına yazdırdık
set(handles.edit5, 'String',num2str(cikCO));

devirCO2_=get(str1,'String');
devirCO2_=str2double(devirCO2_);
devirCO2=devirCO2_(1);
devirCO2=mapminmax('apply',devirCO2,psCO2);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikCO2=sim(netCO2,devirCO2);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikCO2=mapminmax('reverse',cikCO2,tsCO2);
%CO2 alanına yazdırdık
set(handles.edit3, 'String',num2str(cikCO2));

devirHC_=get(str1,'String');
devirHC_=str2double(devirHC_);
devirHC=devirHC_(1);
devirHC=mapminmax('apply',devirHC,psHC);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikHC=sim(netHC,devirHC);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikHC=mapminmax('reverse',cikHC,tsHC);
%HC alanına yazdırdık
set(handles.edit4, 'String',num2str(cikHC));

devirNOX_=get(str1,'String');

```

```

devirNOX_=str2double(devirNOX_);
devirNOX=devirNOX_(1);
devirNOX=mapminmax('apply',devirNOX,psNOX);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikNOX=sim(netNOX,devirNOX);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikNOX=mapminmax('reverse',cikNOX,tsNOX);
%NOX alanına yazdırdık
set(handles.edit2, 'String',num2str(cikNOX));

devirOYT_=get(str1,'String');
devirOYT_=str2double(devirOYT_);
devirOYT=devirOYT_(1);
devirOYT=mapminmax('apply',devirOYT,psOYT);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikOYT=sim(netOYT,devirOYT);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikOYT=mapminmax('reverse',cikOYT,tsOYT);
%OYT alanına yazdırdık
set(handles.edit95, 'String',num2str(cikOYT));

devirEGS_=get(str1,'String');
devirEGS_=str2double(devirEGS_);
devirEGS=devirEGS_(1);
devirEGS=mapminmax('apply',devirEGS,psEGS);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikEGS=sim(netEGS,devirEGS);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikEGS=mapminmax('reverse',cikEGS,tsEGS);
%EGS alanına yazdırdık
set(handles.edit96, 'String',num2str(cikEGS));

devirIS_=get(str1,'String');
devirIS_=str2double(devirIS_);
devirIS=devirIS_(1);
devirIS=mapminmax('apply',devirIS,psIS);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikIS=sim(netIS,devirIS);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikIS=mapminmax('reverse',cikIS,tsIS);
%İS alanına yazdırdık
set(handles.edit97, 'String',num2str(cikIS));

devirkapIS_=get(str1,'String');
devirkapIS_=str2double(devirkapIS_);
devirkapIS=devirkapIS_(1);
devirkapIS=mapminmax('apply',devirkapIS,pskapIS);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikkapIS=sim(netkapIS,devirkapIS);

```

```

%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikkapIS=mapminmax('reverse',cikkapIS,tskapIS);
%kapİS alanına yazdırdık
set(handles.edit98, 'String',num2str(cikkapIS));

devirkepEGS_=get(str1,'String');
devirkepEGS_=str2double(devirkepEGS_);
devirkepEGS=devirkepEGS_(1);
devirkepEGS=mapminmax('apply',devirkepEGS,pskapEGS);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikkapEGS=sim(netkapEGS,devirkepEGS);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikkapEGS=mapminmax('reverse',cikkapEGS,tskapEGS);
%EGS alanına yazdırdık
set(handles.edit94, 'String',num2str(cikkapEGS));

devirkepOYT_=get(str1,'String');
devirkepOYT_=str2double(devirkepOYT_);
devirkepOYT=devirkepOYT_(1);
devirkepOYT=mapminmax('apply',devirkepOYT,pskapOYT);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikkapOYT=sim(netkapOYT,devirkepOYT);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikkapOYT=mapminmax('reverse',cikkapOYT,tskapOYT);
%OYT alanına yazdırdık
set(handles.edit93, 'String',num2str(cikkapOYT));

devirkepNOX_=get(str1,'String');
devirkepNOX_=str2double(devirkepNOX_);
devirkepNOX=devirkepNOX_(1);
devirkepNOX=mapminmax('apply',devirkepNOX,pskapNOX);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikkapNOX=sim(netkapNOX,devirkepNOX);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikkapNOX=mapminmax('reverse',cikkapNOX,tskapNOX);
%NOX alanına yazdırdık
set(handles.edit7, 'String',num2str(cikkapNOX));

devirkepCO2_=get(str1,'String');
devirkepCO2_=str2double(devirkepCO2_);
devirkepCO2=devirkepCO2_(1);
devirkepCO2=mapminmax('apply',devirkepCO2,pskapCO2);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikkapCO2=sim(netkapCO2,devirkepCO2);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikkapCO2=mapminmax('reverse',cikkapCO2,tskapCO2);
%kapCO2 alanına yazdırdık
set(handles.edit77, 'String',num2str(cikkapCO2));

devirkepHC_=get(str1,'String');

```

```

devirkapHC_=str2double(devirkapHC_);
devirkapHC=devirkapHC_(1);
devirkapHC=mapminmax('apply',devirkapHC,pskapHC);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikkapHC=sim(netkapHC,devirkapHC);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikkapHC=mapminmax('reverse',cikkapHC,tskapHC);
%HC alanına yazdırdık
set(handles.edit9, 'String',num2str(cikkapHC));

devirkapCO_=get(str1,'String');
devirkapCO_=str2double(devirkapCO_);
devirkapCO=devirkapCO_(1);
devirkapCO=mapminmax('apply',devirkapCO,pskapCO);
%dizel alanından girilen sayıyı ağa gönderip çıkış aldık
cikkapCO=sim(netkapCO,devirkapCO);
%Normalizasyonu ters çevirip gerçek değer elde ettik
cikkapCO=mapminmax('reverse',cikkapCO,tskapCO);
%CO alanına yazdırdık
set(handles.edit10, 'String',num2str(cikkapCO));
%fark alma
farkNOX=((cikkapNOX*100)/cikNOX)-100;
set(handles.edit90, 'String',num2str(farkNOX));
farkCO2=((cikkapCO2*100)/cikCO2)-100;
set(handles.edit89, 'String',num2str(farkCO2));
farkCO=((cikkapCO*100)/cikCO)-100;
set(handles.edit87, 'String',num2str(farkCO));
farkHC=((cikkapHC*100)/cikHC)-100;
set(handles.edit88, 'String',num2str(farkHC));
farkOYT=((cikkapOYT*100)/cikOYT)-100;
set(handles.edit91, 'String',num2str(farkOYT));
farkEGS=((cikkapEGS*100)/cikEGS)-100;
set(handles.edit92, 'String',num2str(farkEGS));
farkIS=((cikkapIS*100)/cikIS)-100;
set(handles.edit100, 'String',num2str(farkIS));

msgbox('TEBRİKLER DENEYLERİNİZ SONUÇLANDI!','SONUÇ','HATA')

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as
text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6
as a double
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, ~, ~)

```

```

% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called
% Hint: edit18 controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit11_Callback(~, ~, ~)
% hObject      handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit11 as
text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit11 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit10 (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as
text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit10 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as
text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit9 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

```

```

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as
text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit8 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

```

```

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as
text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit7 as a double


% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called


% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


function edit54_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)


% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as
text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit6 as a double


% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit54_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as
text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit5 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as
text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as
text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit3 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as
text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit76_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit76 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit76 as
text

```

```

%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit76 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit76_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit76 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit77_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit77 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit77 as
text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit77 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit77_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit77 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit78_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit78 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit78 as
text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit78 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit78_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit78 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit90_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit90 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit90 as
text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit90 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit90_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit90 (see GCBO)

```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit89_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit89 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit89 as
text
```

```
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit89 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
```

```
function edit89_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit89 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit88_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit88 (see GCBO)
```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit88 as
text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit88 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit88_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit88 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit87_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit87 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit87 as
text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit87 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit87_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit87 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

```

```

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit94_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit94 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit94 as
text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit94 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit94_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit94 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit93_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit93 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

```

```

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit93 as
text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit93 as a double


% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit93_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit93 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called


% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


function edit96_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit96 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit96 as
text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit96 as a double


% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit96_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit96 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit95_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit95 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit95 as
text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit95 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit95_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit95 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit92_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit92 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit92 as
text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit92 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit92_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit92 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit91_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit91 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit91 as
text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit91 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit91_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit91 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit98_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit98 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit98 as
text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit98 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit98_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit98 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit97_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit97 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit97 as
text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit97 as a double

```

```
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit97_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit97 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
```

```
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit100_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit100 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit100 as
text
```

```
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of edit100 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit100_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit100 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
```

```
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Adana’da doğdum. İlk, orta ve lise öğretimimi Adana’da tamamladım. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Öğretmenliği Bölümünden mezun oldum. 2005 yılında Bilişim Teknolojileri Öğretmeni olarak göreve başladım. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi A.B.D’da yüksek lisansa başladım. Halen Bilişim Teknolojileri Öğretmeni olarak görev yapmaktayım.