

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**BİR DİZEL MOTORDA ZEOLİT MADDESİNİN EMİSYON VE
PERFORMANS ÜZERİNE ETKİSİNİN YAPAY SINIR AĞLARI
(YSA) İLE ARAŞTIRILMASI**

Remziye TEKDOĞAN

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV MÜHENSİLİĞİ ANABİLİM DALI

Taşıt Dinamiği Ve Kontrol Programı

OCAK, 2020

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı
Taşıt Dinamiği Ve Kontrol Programı

Yüksek Lisans Tezi

**BİR DİZEL MOTORDA ZEOLİT MADDESİNİN EMİSYON VE
PERFORMANS ÜZERİNE ETKİSİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)
İLE ARAŞTIRILMASI**

Tez Yazarı
Remziye TEKDOĞAN

Danışman
Prof. Dr. Hanbey HAZAR

OCAK, 2020
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı
[Programı Listedен Seçiniz]

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Bir Dizel Motorda Zeolit Maddesinin Emisyon ve Performans Üzerine Etkisinin Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Araştırılması

Yazarı: Remziye TEKDOĞAN

İlk Teslim Tarihi: 24.12.2019

Savunma Tarihi: 27.1.2020

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hanbey HAZAR
Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi



Onayladım

Başkan: Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ
Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi



Onayladım

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Emine Şap
Bingöl Üniversitesi, Tek. Bil. M.Y.O.



Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Bir Dizel Motorda Zeolit Maddesinin Emisyon ve Performans Üzerine Etkisinin Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Araştırılması” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

27/01/2020

Remziye TEKDOĞAN



ÖNSÖZ

İçinde bulunduğumuz dünyanın; küresel ısınma, hammadde ve petrol kaynaklarının sınırlı olması gibi konular baz alındığında, içten yanmalı motorların üzerinde yapılan bilimsel ve AR-GE çalışmaları; motor verimini arttırmaya, yakıt tüketimini ve emisyon salınımını azaltmaya endekslenmiştir. Gelişen teknoloji ile yapılan deneysel çalışmaların getirmiş olduğu yüksek maliyet, zaman ve iş gücü kaybı gibi olgulardan tasarruf ettirecek yöntem ve metotlar geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, 4 farklı zeolit malzemesinin özel olarak tasarlanan filtre süzgecinden geçirilerek havadaki azotu (N_2) tutabileceği, oksijence saflaştırılan havanın motorun emme manifolduna beslenerek ve 4 farklı koşulda gerçekleşen yanmanın HC, CO, ÖYT gibi bazı emisyon ve performans parametrelerinde optimum değerlere ulaşmayı sağlayacağı öngörülmüştür. Deneyin tekrarlanmasını ve tekrarlamadan doğan maliyeti, tüketilecek zamanı ve iş gücünü geri kazandıracak bir yapay zekâ programı tasarlanabileceği varsayılmıştır.

Çalışmalarım boyunca değerli vaktini ayıran ve yol göstericiliği ile bilimsel bakış açımın genişlemesini sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hanbey HAZAR'a teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarda ve tez yazım sürecinde desteğini esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Hüseyin SEVİNÇ'e şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Üretim aşamasındaki yardımlarından ötürü Teknisyen Selahattin BOZ ve Tekniker Hamit DEMİR'e yardımlarından ötürü teşekkür ederim. Son olarak, her koşulda daimi destekçim ve yardımcım olan fedakâr annem ve değerli nişanlım Uğur KIZILIRMAK'a sonsuz teşekkür ederim. Bu tez çalışmamı, biricik annem ve hayat arkadaşım Uğur KIZILIRMAK'a ithaf ediyorum.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) koordinatörlüğü tarafından **TEKF.18.14** protokol numarasıyla desteklenmiş ve Fırat Üniversitesi Girişimsel Olmayan Etik Kurulun **26/12/2020** tarih ve **367895** sayılı izni ile gerçekleştirilmiştir.

Remziye TEKDOĞAN
ELAZIĞ, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Bulguları.....	2
1.2. Tezin Amacı	4
2. MOTORLU TAŞITLARIN NEDEN OLDUĞU ÇEVRE KİRLİLİĞİ ÇEŞİTLERİ.....	6
2.1 Zararlı Egzoz Emisyonları.....	8
2.1.1. Karbonmonoksit (CO).....	8
2.1.2. Karbondioksit (CO ₂).....	9
2.1.3. Hidrokarbonlar (HC).....	9
2.1.4. Azot Oksitler (NO _x).....	9
2.1.5. Duman Yoğunluğu (İs).....	10
3. ZEOLİT	11
3.1. Zeolit Tipleri.....	13
3.1.1. Doğal Zeolit Tipleri.....	13
3.1.2. Sentetik Zeolit Tipleri	16
3.2. Zeolitin Seçici Geçirgen Özellikleri	17
3.2.1. Zeolitin Moleküler Elek Özelliği.....	17
3.2.2. Zeolitin İyon Değişim Yeteneği	17
3.2.3. Zeolitin Adsorpsiyon Yeteneği.....	18
3.3. Zeolitin Modifikasyonu	21
3.3.1. Zeolitin Asit Modifikasyonu	21
3.3.2. Zeolitin Baz Modifikasyonu.....	23
4. MATERYAL VE METOT	24
4.1. Yapay Sinir Ağları (YSA).....	24
4.1.1. YSA Katmanları.....	25
4.1.2. YSA' nın Eğitilmesi	26
4.2. Motor Performans Parametreleri	28
4.3. Deneyde Kullanılan Araç ve Malzemeler.....	31
4.4. Motor Test Düzeneği	33
4.5. Dizel Motor	33
4.6. Basıncılı Moleküler Elek Sistemi	35
4.7. Çalışmada Kullanılan Zeolit Tipleri.....	37
4.7.1. Doğal zeolit (DZ)	37
4.7.2. Sentetik Zeolit (SZ).....	39
4.7.3. Baz Modifiye Zeolit (BMZ)	39
4.7.4. Asit Modifiye Zeolit (AMZ)	43

4.8.	Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı	45
4.9.	O ₂ Ölçüm Cihazı	45
4.10.	Termometre	46
4.11.	Titreşim Ölçüm Cihazı	47
4.12.	Gürültü Seviyesi Ölçüm Cihazı.....	49
4.13.	Scanning Electron Microscope (SEM) ve Enerji Dağılımlı X Işınları Spektrometresi (EDX) ...	49
4.14.	YSA'nın Modellenmesi	50
5.	BULGULAR VE TARTIŞMA	52
5.1.	Kullanılan Zeolit Türlerinin Yapısal Analizleri.....	52
5.1.1.	Doğal Zeolitin (DZ) Yapısal Analizi	52
5.1.2.	Baz Modifiyeli Zeolitin (BMZ) Yapısal Analizi	53
5.1.3.	Asit Modifiyeli Zeolitin (AMZ) Yapısal Analizi	53
5.1.4.	Sentetik Zeolitin (SZ) Yapısal Analizi	54
5.2.	ZF'de Kullanılan Zeolitlerin Oksijen Zenginleştirme Kabiliyetleri	56
5.3.	ZF Sisteminin Egzoz Emisyon ve Performans Parametreleri Üzerindeki Etkisi	58
5.3.1.	CO Emisyonlarının Değerlendirilmesi	58
5.3.2.	CO ₂ Emisyonlarının Değerlendirilmesi	60
5.3.3.	HC Emisyonlarının Değerlendirilmesi	62
5.3.4.	NO _x Emisyonlarının Değerlendirilmesi	64
5.3.5.	Duman Yoğunluğu Sonuçlarının Değerlendirilmesi	66
5.3.6.	ÖYT Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	68
5.3.7.	EGS Sonuçlarının Değerlendirilmesi	70
5.3.8.	Titreşim Sonuçlarının Değerlendirilmesi	72
5.3.9.	Gürültü Sonuçlarının Değerlendirilmesi	73
5.3.10.	Fren Termal Veriminin Değerlendirilmesi (FTV).....	75
5.4.	YSA Sonuçlarının Değerlendirilmesi	76
6.	SONUÇLAR.....	95
	ÖNERİLER	97
	KAYNAKLAR.....	98
	ÖZGEÇMİŞ.....	105

ÖZET

Bir Dizel Motorda Zeolit Maddesinin Emisyon ve Performans Üzerine Etkisinin Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Araştırılması

Remziye TEKDOĞAN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühensiliği Anabilim Dalı
Taşıt Dinamiği Ve Kontrol Bilim Dalı
Ocak 2020, XIV+104

İçten yanmalı motor egzozundan yayılan toksik maddelerin insan sağlığına ve doğal çevreye negatif etkisi giderilmek istenen bir konudur. Bu çalışmada, Basınç Salımlı Adsorpsiyon prensibi ile çalışan bir zeolit filtre tasarlanarak havanın oksijence saflaştırılması ve bu saf oksijenin, bir dizel motorun emme hattına beslenmesi ile motorun egzoz emisyon ve performans parametrelerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Zeolit, yüzey alanını genişletmek, iyon değişimi, adsorpsiyon ve moleküler elek özelliklerini iyileştirmek amacıyla, 2N HCl ve 4N NaOH ile modifikasyonları yapılmıştır. Filtre sisteminde, doğal zeolit, sentetik zeolit, baz modifiyeli zeolit ve asit modifiyeli zeolit kullanılmıştır.

ZF'nin zenginleştirdiği oksijen motorun emme manifolduna montaj edilmiş olan oksijen giriş rekoru vasıtasıyla yanma odasına beslenmiştir. Yapılan motor deneylerinde CO, CO₂, HC, NO_x, duman yoğunluğu, titreşim, gürültü, EGS, ÖYT, FTV değerleri, standart dizel motorda ve 4 farklı zeolit tipinin kullanıldığı koşullarda kayıt altına alınmıştır.

Deneysel ölçümler sonucunda, elde edilen veriler YSA'ya eğitim ve test verileri olarak girilerek MATLAB R2016a programında modelleme yapılmıştır. YSA'nın tahmin ettiği değerler ve deneysel sonuçlar kıyaslanarak programın güvenilirliği kontrol edilmiştir. Bu amaçla, her bir egzoz emisyon ve performans parametresi için tahmin edilen değerler ve deneysel değerlerin kıyaslandığı grafikler, regresyon grafikleri ve ortalama karesel hata verileri dikkate alınmıştır.

Yapılan ölçümler sonucunda, ZF'nin havadaki azotu PSA prensibi ile absorbe ederek büyükten küçüğe, SZ, BMZ, DZ, AMZ olarak oksijen zenginleştirmesi sağladığı tespit edilmiştir. İşlem sonucunda, CO, HC, duman yoğunluğu ve ÖYT değerlerinde düşüş sağlanmıştır. Buna karşın CO₂, NO_x, EGS, titreşim, gürültü, değerlerinde artış gözlenmiştir. Deneysel ölçümler sonucunda oluşturulan YSA'nın performansı incelenmiş, YSA'nın tahmin ettiği sonuçlarının kabul edilebilir hata oranlarında olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Zeolit, Basınç Salımlı Adsorpsiyon, Dizel motor, Yapay Sinir Ağları

ABSTRACT

Investigation of the Effect of Zeolite on Emission and Performance in a Diesel Engine by Artificial Neural Networks (ANN)

Remziye TEKDOĞAN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering
Vehicle Dynamic and Control

January 2020, Pages: XIV+104

The negative effect of toxic substances emitted from the internal combustion engine exhaust to human health and natural environment is an issue that is desired to be eliminated. In this study, it is aimed to design a zeolite filter working with the Pressure Swing Adsorption principle, to purify the air to oxygen and to improve the exhaust emission and performance parameters of the engine by feeding this pure oxygen to the suction line of a diesel engine. The zeolite was modified with 2N HCl and 4N NaOH in order to expand the surface area and improve ion exchange, adsorption and molecular sieve properties. Natural zeolite, synthetic zeolite, base modified zeolite and acid modified zeolite are used in the filter system.

The oxygen enriched by ZF was fed into the combustion chamber through the oxygen inlet record mounted on the intake manifold of the engine. In the engine experiments, CO, CO₂, HC, NO_x, smoke density, vibration, noise, EGS, ÖYT, BSFC values were recorded in the standard diesel engine and under 4 different zeolite types.

As a result of the experimental measurements, the data obtained were entered into ANN as training and test data and modeled in MATLAB R2016a program. The reliability of the program was checked by comparing the predicted values and experimental results of ANN. For this purpose, graphs, regression graphs and mean square error data are taken into consideration for the estimated values and experimental values for each exhaust emission and performance parameter.

As a result of the measurements, it was determined that ZF absorbs the nitrogen in the air with the principle of PSA and provides oxygen enrichment as large to small, SZ, BMZ, DZ, AMZ. As a result of the process, CO, HC, smoke density and ÖYT values were decreased. On the other hand, CO₂, NO_x, EGS, vibration, noise, values have increased. The performance of ANN, which was formed as a result of experimental measurements, was examined and it was seen that the ANN's predicted results were in acceptable error rates.

Keywords: Zeolite, Pressure Swing Adsorption, Diesel engine, Artificial Neural Networks

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1.	Zeolitin kristal yapı görünümü..... 12
Şekil 3.2.	Zeolitin kafes (bal peteği) görünümü..... 14
Şekil 3.3.	(a) Höylandit ağ örgüsünde halkalı yapıda O ₂ pencerelerinin görünümü, (b) Klinoptilolit ağ örgüsünde halkalı yapıda O ₂ pencerelerinin görünümü 15
Şekil 3.4.	Mordenitin kafes yapısı 16
Şekil 3.5.	Şabazitin kafes yapısı..... 16
Şekil 3.6.	Adsorpsiyon ve desorpsiyon şeması 19
Şekil 3.7.	Adsorpsiyon türlerine göre iyon ve/veya moleküllerin (adsorbanların) adsorbent yüzeyine bağlanma şekilleri 20
Şekil 4.1.	Bir biyolojik nöronun (sinir hücresi) yapısı 25
Şekil 4.2.	YSA'nın katmanları 26
Şekil 4.3.	Çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) ağ yapısı..... 28
Şekil 4.4.	Piston hareketlerinin titreşim analizi..... 29
Şekil 4.5.	Motor test düzeneğinin şematik görünümü..... 31
Şekil 4.6.	Cussons P8160 model motor test tezgâhının görünümü 33
Şekil 4.7.	Motor emme hattına O ₂ giriş rekoru 34
Şekil 4.8.	Zeolit tüpün tasarım süreci 35
Şekil 4.9.	Basıncılı moleküler elek sistemi 35
Şekil 4.10.	ZF sisteminin şema görünümü..... 36
Şekil 4.11.	Farklı tane boyutlarındaki doğal zeolit (Klinoptilolit) 38
Şekil 4.12.	13X HP model sentetik zeolit 39
Şekil 4.13.	Amonyum nitrat (NH ₄ NO ₃) kimyasalı..... 40
Şekil 4.14.	Farklı tane boyutlu klinoptilolitlerin kalsinasyon sonrası görünümleri..... 41
Şekil 4.15.	Amonyum nitratlı (NH ₄ NO ₃) kalsine klinoptilolit 41
Şekil 4.16.	NaOH kimyasal malzemesi..... 42
Şekil 4.17.	Farklı tane boyutlu NaOH modifiyeli klinoptilolitler 43
Şekil 4.18.	HCl kimyasal malzemesi 43
Şekil 4.19.	Farklı tane boyutlu HCl modifiyeli klinoptilolitler 44
Şekil 4.20.	BOSCH marka egzoz emisyon ölçüm cihazı 45
Şekil 4.21.	Bosean Electronic marka O ₂ , CO gaz analizörü 46
Şekil 4.22.	Extech 421502 tip J / K model termometre 47
Şekil 4.23.	Fluke 805 marka titreşim ölçer cihazı..... 48

Şekil 4.24.	Deney motoru üzerinde belirlenen titreşim ölçüm noktası	48
Şekil 4.25.	Gürültü seviyesi ölçüm cihazı.....	49
Şekil 4.26.	EVO Scanning Electron Microscope cihazı.....	50
Şekil 5.1.	(a) Bir klinoptilolit taneciğinin enine kesit 100 X ölçekli SEM görüntüsü, (b) EDX analizi.....	52
Şekil 5.2.	(a) Bir klinoptilolit taneciğinin 500X ve (b) 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri.....	52
Şekil 5.3.	(a) Bir BMZ taneciğinin enine kesit 100X ölçekli SEM görüntüsü, (b) EDX analizi	53
Şekil 5.4.	(a) BMZ tipi klinoptilolit taneciğinin 500X ve (b) 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri	53
Şekil 5.5.	(a) Bir AMZ taneciğinin enine kesit 100 X ölçekli SEM görüntüsü, (b) EDX analizi	54
Şekil 5.6.	(a) AMZ tipi klinoptilolit taneciğinin 500 X ve (b) 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri	54
Şekil 5.7.	(a) Bir AMZ taneciğinin enine kesit 100 X SEM görüntüsü, (b) EDX analizi	55
Şekil 5.8.	SZ'nin 10.00 K X ölçekli SEM görüntüsü.....	55
Şekil 5.9.	SZ'nin 10.00 K X ölçekli SEM görüntüsü.....	55
Şekil 5.10.	(a) Bir SZ taneciğinin 500X ve (b) 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri	56
Şekil 5.11.	ZF sisteminde SDM'a göre SZ, DZ, BMZ ve AMZ kullanımının O ₂ saflaştırma oranları.....	57
Şekil 5.12.	CO emisyonlarının zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri	59
Şekil 5.13.	CO ₂ emisyonlarının zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri.....	61
Şekil 5.14.	HC emisyonlarının zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri	63
Şekil 5.15.	NO _x emisyonlarının zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri.....	65
Şekil 5.16.	Duman yoğunluğunun zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri.....	67
Şekil 5.17.	ÖYT değerinin zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri	69
Şekil 5.18.	EGS değerinin zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri.....	71
Şekil 5.19.	Titreşim değerinin zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri	72
Şekil 5.20.	Gürültü değerlerinin zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri	74
Şekil 5.21.	2400 d/dk'da ki fren termal verimi	75
Şekil 5.22.	CO emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ.....	76
Şekil 5.23.	CO ₂ emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ.....	78
Şekil 5.24.	HC emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ.....	81
Şekil 5.25.	NO _x emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ.....	83
Şekil 5.26.	Duman yoğunluğu emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği,	

(a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ.....	85
Şekil 5.27. ÖYT değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ.....	87
Şekil 5.28. EGS değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ.....	89
Şekil 5.29. Titreşim değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ.....	91
Şekil 5.30. Gürültü değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ.....	93



TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Höylendit ve klinoptilolit arasındaki farklar	15
Tablo 3.2. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon özellikleri	19
Tablo 4.1. Deneyde kullanılan dizel motoruna ait teknik bilgiler	34
Tablo 4.2. Klinoptilolit' e ait bazı özellikler	38
Tablo 4.3. Amonyum nitrat (NH ₄ NO ₃) kimyasalına ait teknik bilgiler.....	40
Tablo 4.4. NaOH kimyasal malzemesine ait teknik bilgiler	42
Tablo 4.5. HCl kimyasalına ait teknik bilgiler	43
Tablo 4.6. BOSCH marka egzoz emisyon ölçüm cihazına ait teknik bilgiler	45
Tablo 4.7. Bosean Electronic marka O ₂ , CO gaz analizörüne ait teknik bilgiler	46
Tablo 4.8. Extech 421502 tip J / K model termometreye ait teknik bilgiler	47
Tablo 4.9. Fluke 805 marka titreşim ölçer cihazına ait teknik bilgiler	48
Tablo 4.10. Gürültü seviyesi ölçüm cihazına ait teknik bilgiler.....	49
Tablo 5.1. SDM ve 4 zeolit tipinin emisyon ve performans parametrelerine ait YSA tahminleri	93

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AlO_4	:	Zeolit mineralinin en küçük yapı birimi
B	:	Yakıt tüketim miktarı
b_e	:	Özgül yakıt tüketimi
$COHb$:	Karboksihemoglobün
N	:	Normal/Molarite
N_e	:	Efektif Motor Gücü
$NO.2D$:	Dizel yakıtı
OEC	:	Oxygen Enriched Combustion
ppm	:	Milyonda bir birim
SiO_4	:	Zeolit mineralinin en küçük yapı birimi
SO_x	:	Kükürt oksit
μ	:	Tanecik Büyüklüğü

Kısaltmalar

AK	:	Adsorpsiyon Kapasitesi
BET	:	Brunauer Emmett Teller
BMZ	:	Baz Modifiyeli Zeolit
ÇKA	:	Çok Katmanlı Algılayıcı
DZ	:	Doğal Zeolit
EDX	:	Enerji Dağılımlı X Işınları Spektrometresi
EGS	:	Egzoz Gaz Sıcaklığı
FTIR	:	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
FTV	:	Fren Termal Verimi
GYA	:	Geri Yayımlı Algoritması
AMZ	:	Asit Modifiyeli Zeolit
ISO	:	Uluslararası Standartlar Teşkilâtı
İDK	:	İyon Değişim Kapasitesi
İYM	:	İçten Yanmalı Motor
KDK	:	Katyon Değişim Kapasitesi
LPG	:	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
OKH	:	Ortalama Karesel Hata
ÖYT	:	Özgül Yakıt Tüketimi
PM	:	Partiküler Madde
PSA	:	Basınç Salınımlı Adsorpsiyon
PSI	:	İnçkare başına libre
SDM	:	Standart Dizel Motor
SEM	:	Scanning Electron Microscope
SZ	:	Sentetik Zeolit
YSA	:	Yapay Sinir Ağı
ZF	:	Zeolit Filtre
XOR	:	Exclusive OR
XRD	:	X ışını kırınımı
13X HP	:	Sentetik zeolit tipi

1. GİRİŞ

Yaşamsal denge, doğanın kendi kendini iyileştirmesi üzerine korunmaktadır. İnsanoğlu varlığının başlarında içgüdüsel olarak yaşadığı doğal çevreyi tanımaya çalışmıştır. Süregelen zamanda ise kendi ihtiyaçları doğrultusunda çevreyi şekillendirmeye başlamıştır. 20. yy başlarında artan insan nüfusu, insan ihtiyaçlarını karşılamayı zorlaştırmış, gelişen teknoloji, endüstri, eğitim ve sanayi beraberinde doğanın düzeltmeyeceği çevre sorunlarını getirmiştir. İnsan, yaşamını sürdürdüğü doğayı kendi eliyle tahrip etmeye başlamıştır. Hızlı nüfus artışı, plansız kentleşme ve endüstrileşme, doğal kaynakların bilinçsizce tüketilmesi gibi kaynağı insan olan sebeplerden dolayı doğanın tahrip edilmesi, ekolojik dengenin bozulmasına sebebiyet vermiştir. Bu durum başta insan olmak üzere tüm canlıların sağlığını tehdit etmektedir, hatta bazı canlı türlerinin ekosistemdeki varlıklarını yitirmelerine sebep olmaktadır. Bu ekolojik bozulma tüm canlı varlıkların yaşamlarını tehdit etmekle beraber, doğadaki cansız yapıları da harap etmektedir. Kısacası insan yaşam refahına kavuşmak için doğal kaynakları bilinçsizce kullanmakta ve kendi eliyle insan ve diğer canlıların ömürlerini kısaltmaktadır.

İnsanların konforlu yaşam lüksü, endüstrileşme, hızlı kentleşme, sanayileşme kirliliğinin başlıca sebepleridir. Hızlı nüfus artışı ve endüstrileşme, enerjiye olan ihtiyacı arttırmıştır. Enerji ihtiyacının çoğu, doğalgaz, petrol, kömür ve fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu enerji kaynakları güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji kaynakları gibi doğa dostu olmayıp, yakılmaları durumunda ekolojik sistemde yok olmayan partikül maddeler (PM), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), azot oksitler (NO_x), duman yoğunluğu (is) ve gürültü gibi birçok kirlilik etkenini meydana getirmektedirler. Ayrıca doğada rezervleri sınırlı olduğu için bu kaynakların tükenmesi yaşam dengesini de bozmaktadır (Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).

Benzin, gaz, motorin gibi yakıtlar ile çalışan içten yanmalı motorlara sahip taşıtlar, bu yakıtların yanma sonrası ürünleri, çevresel kirliliğin başlıca sebeplerindendir. CO, CO₂, NO_x, partikül maddeler (PM) ve hidrokarbon (HC) motorlu taşıtların oluşturduğu başlıca egzoz emisyon çeşitleridir. Açığa çıkan bu emisyonlar havaya karışarak hava kirliliğine ve rüzgarın etkisi ile oluşan sirkülasyon sonucu bulutlarda birikerek, asit yağmurları ile toprak ve su kirliliğine sebep olmaktadır. Taşıtların çalışması ile oluşan yüksek sesler, doğada yok olmadığı için, motorlu taşıtlar gürültü kirliliğine de yol açmaktadır. Tüm bu kirlilik türleri, ekosistemin dengesini bozduğu için enerji kaynaklarının ve doğanın yok olmasına, canlıların sağlıklarını yitirmelerine, canlı yaşam süresinin kısalmasına sebep olmaktadır. Motorlu taşıt egzozundan salınan emisyon parametrelerine maruz kalan insanlarda gözlenen bronşit, astım, koa gibi solunum yolu hastalıkları, emisyonlardaki yoğunluğu 5 g/cm³'den fazla olan ağır metallerin solunum yolundan kana direkt olarak taşınabilmesinden doğan uyku bozuklukları, stres, yorgunluk, ağır metallerin böbrekler ve idrar vasıtasıyla vücuttan atılamamasından ve insan bünyesine kalıcı olarak yerleşmesinden doğan

fiziksel ve yapısal bozukluklar motorlu taşıtların insan üzerindeki olumsuz etkilerinden başlıcalarıdır (Seven, Can, Darende, & Ocak, Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği, 2018).

Dünya sağlık örgütleri motorlu taşıtlardan doğan zararı en aza indirmek için bir takım önlemler almaktadırlar. Motorun gürültü desibel (DB) seviyesinin düşürülmesi ve motor yakıtı içerisindeki zararlı emisyon oluşturan bazı bileşenlerin miktarlarının sınırlandırılması alınan önlemlerden bazılarıdır. 7 Kasım 1982, 2709 no'lu T.C. Anayasası çevre hakkında “Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirliliğini önlemek Devletin ve vatandaşların ödevidir” maddesi ile endüstrileşme ve sanayileşmenin beraberinde gelen kirliliğe sebep olan insanların, kurum ve kuruluşların, gelişmek için harap ettiği doğayı, onarma çalışmaları başlatmaları gerektiğini, bu çalışmaların ülke yetkililerince desteklenerek, kontrol edilebileceği üzerinde durulmuştur (İraz, 2018).

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirliliğin azaltılması için geçmişten bugüne birçok çalışma yapılmıştır ve hala devam etmektedir. Özellikle egzoz emisyonlarından kaynaklanan ve motorlu taşıtlardan doğan kirliliğin %75' ini kapsayan egzoz emisyon parametrelerini düşürmek adına çalışmalar sürmektedir (Kelen, 2014). Dizel motorlarda enjeksiyon ayarlarının değiştirilmesi (Teoh, ve diğerleri, 2018), yenilenebilir yakıtların ve çoğunlukla soya, etanol, metanol, hidrojen gibi biyodizel alternatif yakıt katkılarının kullanılması (Huang, ve diğerleri, 2018), Exhaust Gas Recirculation (EGR) sisteminin geliştirilmesi, emme hattına alınan havanın O₂ yoğunluğunu arttırarak emisyonların düşürülmeye çalışılması, yanma odası şeklinin değiştirilmesi, ateşleme sisteminin elektronik olarak kontrol edilmesi, motor segmanlarını kaplayarak yanma sıcaklığının ayarlanması, emisyon değerlerini düşürmek için sıklıkla yapılan çalışmalardan bazılarıdır.

1.1. Literatür Bulguları

Bu çalışmada, ZF sistemi kullanarak havanın oksijenle saflaştırılmasının sağlanması ve saf oksijenin, motor emme hattı oksijen zenginleştirmesinin motor emisyon ve performans parametreleri üzerinde olumlu sonuçlar göstermesi hedeflenmiştir. Bu amaçla literatürde birçok çalışma bulunmaktadır.

- Subramanian çalışmasında, oksijenle zenginleştirilmiş havanın metanol katkılı yakıt ile benzinli motorun emisyon özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Zenginleştirilmiş havanın en yüksek olduğu durumda, CO ve HC emisyonlarının % 48.59 ve % 30.9 oranında azaldığını ancak, NO_x emisyonunun arttığını bildirmiştir (Subramanian, 2019).

- Kumar ve diğ. , oksijen zenginleşmesinin bir dizel motorun emisyon ve yanma davranışı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Oksijen zenginleşmesinin tüm yüklerde HC ve CO emisyonlarını önemli ölçüde azalttığı ifade edilmiştir.

- Zhu ve diğ., iki egzoz gazı devirdaim (EGR) devresinin kullanımıyla asimetric çift kaydırma turboşarjlı bir motorun yakıt tüketimini azaltmaya çalışmışlardır. Maksimum yakıt iyileştirmesinin % 1.98 olarak gerçekleştiği bildirilmiştir (Zhou , Lİ, Zhao , & Liu , 2019).

- Damodharan ve diğ. , yakıtı dizel ve biyodizel karışımları ile çeşitli alkollerin eklenmesinin dizel motor performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmaların sonuçları arasında yakıt tüketiminde % 18'lik bir azalma gözlemlendiği bildirilmiştir (Damodharan , ve diğerleri, 2018).

- Baskar ve diğ. , emme havasının oksijen konsantrasyonunu % 21'den % 27'ye yükselterek tek silindirli bir dizel motorun kirliliği ve performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yanma işleminin geliştiği ve frene özgü yakıt tüketiminde (ÖYT) % 5-12 oranında bir düşüş gözlemlendiği ifade edilmiştir (Baskar & Senthilkumar , 2016).

- Liang ve arkadaşları, bir dizel motorundaki oksijenle zenginleştirilmiş yanma (OEC) üzerinde, OEC ile dizel emülsiyonu olumsuz etkilerini azaltmak istemişlerdir. Emme havasının oksijen konsantrasyonunun % 21'den % 24'e (hacim) yükselmesinin motor ÖYT' sini azalttığı bildirilmiştir (Liang Y. , Shu , Wei , & Zhang , 2013).

- BASKIN ve arkadaşları, LPG yakıtlı buji ateşlemeli motorun ısınma periyodunda oksijen ile zenginleştirilmiş emme havasının performans ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini incelemiştir. Oksijen ile zenginleştirilmiş emme havasının benzinli motorlarda HC ve CO emisyonlarını azaltan kanıtlanmış bir teknik olduğunu çalışmalarına eklemiştir (Baskın, Erkuş, Bulut, Çiçek, & Türköz, 2018).

- Li (2010) tek silindirli, karbüratörlü benzinli bir motorun ısınma periyodunda emme havasını oksijen ile zenginleştirmiştir. Soğukta motorun çalıştırıldığı ilk bir dakika içerisinde oksijen hacmini dereceli bir şekilde yükseltmiştir. HC emisyonlarının azaldığı, hacimsel olarak ilave edilen oksijen miktarının %27 olması durumunda HC emisyon düzeyinin minimum olduğunu, CO emisyon miktarının düştüğünü ancak, NOx emisyonunda artış olduğunu, yakıtın reaksiyon hızının arttığını, silindir içi basınç ve sıcaklık değerlerinin yükseldiğini, yakıtın tam yanma gerçekleştirebileceği ortamın sağlanabildiğini bildirmiştir (Baskın, Erkuş, Bulut, Çiçek, & Türköz, 2018).

- Zhou ve diğ. (2013) emme havasını %15'den %27'ye çıkartarak, farklı hacimlerde oksijen ile zenginleştirdikleri çalışmalarında; emme havasının oksijenle zenginleştirilmesinin ÖYT'yi azalttığını bildirmişlerdir (Baskın, Erkuş, Bulut, Çiçek, & Türköz, 2018).

- Waleed Momani (2009), yanma karışımında oksijen miktarını arttırmanın (hacimce) etkilerini incelemiştir. Yük ve yük testleri olmadan ve neredeyse tüm motor devirlerinde CO ve HC emisyonlarının pozitif etkilendiği bildirmiştir (Momani, 2009).

- Yan Shi ve diğ. (2015) içten yanmalı motorun oksijen bakımından zenginleştirilmiş yanmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada, teorik hesaplamada oksijen bakımından zenginleştirilmiş

yanmanın HC, CO ve diğer kirleticilerin oluşumunu elimine edebileceği, motor emme havasında % 24 oksijen konsantrasyonu ile yanmanın gerçekleştirilebileceğini bildirilmiştir.

- P. Baskar ve A. Senthilkumar (2015) Tek silindirli, dört zamanlı, dizel motorda yanmayı oksijence zenginleştirmiş, yanma odasındaki oksijen konsantrasyonunu %21'den %27'e çıkartmışlardır. Fren termal verimliliğinde yaklaşık % 4-8 artma, ÖYT'de % 5-12 düşüş gerçekleştiğini, HC, CO ve duman yoğunluğu seviyelerinde sırasıyla % 40, % 55 ve % 60'a kadar önemli bir düşüş tespit edildiğini ancak, NO_x kirletici madde miktarının %27 oranında artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

- (Kapusuz, 2018) çalışmasında, motor emme havasına konsantratörün saflaştırdığı oksijeni ilave etmiş, oksijen oranını %21'den %23 ve %25'e yükseltmiştir. Ayrıca NO_x emisyon dengesini azaltmak için, giriş havası bağıl nemini artırmış ve kuru termometre sıcaklığı düşürmeye çalışmıştır. Artan devirlerde yükselen silindir sıcaklıklarının hidra damlacıklarına ait mikro patlamaların çoğalmasa yakıtın minimum bileşenlerine kadar çözünmesini, böylelikle daha homojen bir karışım elde edilmesini sağlamıştır. Bu şekilde NO_x dengesi deneylerle analiz edilmiştir. Deney sonucunda HC, CO, emisyonlarında ve ÖYT değerlerinde düşüş, NO_x, CO₂ emisyonlarında ise artış gözlemlendiği bildirilmiştir.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, moleküler bir zeolit filtre kullanılarak, havanın içerisindeki azotun (N₂) absorbe edilmesi ve motor emme havasına verilen oksijen miktarının artırılması sağlanmıştır. Filtre içerisinde doğal zeolit (DZ), asit modifiyeli zeolit (AMZ), baz modifiyeli zeolit (BMZ) ve sentetik zeolit (SZ) olmak üzere 4 farklı zeolit tipi ile oksijen zenginleştirme sağlanmıştır. Filtre sisteminde zeolit tipleri üzerine basınç salınım yolu ile havanın saflaştırılması ve oksijen üretilmesi amaçlanmıştır. Tek silindirli, 4 zamanlı bir dizel motorda, emme hattına, üretilen saf oksijen (O₂) iyonunun beslenmesi ile emisyon ve performans parametrelerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen saf O₂, buradan emme hattına kontrollü bir şekilde beslenmiştir. Deneysel çalışma sırasında, HC, CO, CO₂, NO_x, PM, is, titreşim, gürültü, özgül yakıt tüketimi (ÖYT), egzoz gaz sıcaklığı (EGS), fren termal verimi (FTV) parametreleri artan devir aralıklarında eş zamanlı olarak ölçülmüştür.

Zeolit filtre (ZF) sistemi, motora montaj edilmeden önce standart motora göre, SZ kullanımında %41.90, DZ kullanımında %18.6, baz modifiyeli zeolit (BMZ) kullanımında %21.90 ve AMZ kullanımında ise %17.14 oranında oksijen O₂ saflığı üretmiştir. Ayrıca, ZF sisteminin motor emme hattına montaj edilmesinin HC, CO, is, ÖYT parametrelerinde olumlu etkisi olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışmaların büyük bir kısmı zaman, iş gücü maddi kayıplara neden olmaktadır. Gelişen teknoloji ile beraber bu kayıpları azaltmaya yönelik yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı

artış göstermektedir. Yapay sinir ağı (YSA), insan beyninin öğrenme kabiliyetinden yola çıkarak, karmaşık yapıdaki problemlerin sinir hücreleri yardımıyla bilgisayarlara öğretilmesidir. Bu deney çalışması sırasında YSA, insan beyninin eğitime, öğrenme ve sonuç üretebilme yeteneklerinden yola çıkılarak bilgisayar ortamında, deneyin tekrar edilmesinin oluşturacağı vakit kaybı ve maddi sorunu gidermek amacıyla kullanılmıştır. MATLAB programında hazırlanan basit bir yazılım ile deneysel ölçüm sonuçları YSA'nın girdi katmanına tanıtılmıştır. YSA, deney sonuçları üzerinden tahmini istatistiksel çıktılar üretmiştir. YSA'nın tahmin ettiği sonuçlar ile deney sonuçları kıyaslanarak maksimum ve minimum hata analizleri yapılmıştır.



2. MOTORLU TAŞITLARIN NEDEN OLDUĞU ÇEVRE KİRLİLİĞİ ÇEŞİTLERİ

Teknolojinin varolma sebebi insan hayatını kolaylaştıracak, insan yararına olacak faydalı üretimler meydana getirmektir. Otomobiller başta olmak üzere tüm ulaşım araçları, insanların daha hızlı hareket edebilmeleri, sosyal yaşamlarına daha kolay ve hızlı bir şekilde adapte olabilmeleri için günlük hayatımızdaki yerlerini almışlardır. Teknolojinin olumlu tarafı olduğu gibi olumsuz yönleri de olabilmektedir. Özellikle içten yanmalı motorlara sahip taşıtların oluşturduğu egzoz emisyonları, doğa ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Bu olumsuz etkilerin başında hava kirliliği, toprak-su kirliliği ve gürültü kirliliği gelmektedir.

i. Hava Kirliliği

İYM'lerin egzozundan çıkan zehirli gazların doğaya salınması, egzoz bakımının gerektiği gibi önemsenmemesinden ve rutin bakımların aksatılmasından kaynaklanan egzoz borusunun iç kısımlarında zamanla emülsiyonların birikmesi, biriken katı-sıvı atıkların oluşturduğu zehirli partikül maddeler, canlıların sağlığına zarar verdiği gibi doğa açısından da negatif sonuçlar ortaya çıkartmaktadır.

Zehirli gazların hava ile karışmasından doğan kirli hava, solunum yoluyla insan ve hayvan bedenine kolaylıkla ulaşabilmektedir. Artan endüstrileşme ve fabrika sayısına bağlı olarak kirletilen temiz hava, ne kadar sık karşılaşıldığına dikkat çekmek için “çağımızın gri” diye adlandırılan “kanseri” tetiklemektedir. Günümüzde de sağlık verilerine baktığımız zaman, özellikle solunum yollarında gözlenen kanser virüsünün geçmişten günümüze ciddi oranda artarak gelmiş olduğunu söyleyebiliriz. Bilindiği üzere kanser, tedavisi bulunduğumuz yüzyılda halen daha araştırılan bir konudur. Bu hastalığa yakalanan bireylerin tedavileri hastalığın başlangıç evreleri geçilmiş ise çok zorlu olmaktadır. Hastaların çoğunun tedaviye cevap vermediğini ve malesef can kayıpları yaşandığını söyleyebiliriz. Sadece insan ırkının değil hayvanlarında bu kirletilmiş havayı soluduğunu ve sağlıklarının bozulduğunu ifade edebiliriz (Kuran, 2011).

ii. Su ve Toprak Kirliliği

İçten yanmalı motorlu taşıtların oluşturduğu HC, CO, CO₂, PM, NO_x gibi zehirleyiciler, havaya dahil olmaktadır. Havanın içerisindeki zararlı egzoz gazı emülsiyonlarının oranları kırsal bölge ve şehir hayatı arasında ciddi farklılıklar göstermektedir. Kent hayatında ilerleyen nüfus ve beraberinde artan taşıt sayısına paralel olarak birçok kirlilik etkeninin, özellikle egzoz gazı atık oranının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Motorlu taşıt egzoz emisyon atıklarının hava ile teması sonrasında zararlı gaz emisyonlarının içerisinde bulunan ağır metaller havada birikmektedir. Bu ağır metaller, rüzgarın etkisi ile oluşan

türbülansa dahil olup, bulutlara kadar taşınmaktadırlar. Yağmur bulutları, yağmur suyunu oluştururken, dış hava ile birlikte motorlu taşıt egzozundan yayılan CO, CO₂, PM, HC, NO_x gibi havanın içerisinde bulunan bazı ağır metalleri de bünyesine almaktadır. Dolayısıyla yeryüzü katmanına ulaşan yağmur suyunun içerisinde tehlikeli metallerde bulunmaktadır. Oluşan yağmur suları, yeryüzü katmanına ulaşarak deniz, göl, akarsu, barajlar gibi sulak arazilere ve toprağa yağmur yoluyla dahil olmakta ve bunun sonucunda su ve toprak kirliliği meydana gelmektedir.

Yağmur bulutlarının %50'den fazlasının kirlenmesine egzoz gazı emülsiyonları sebep olmaktadır. Atmosferde hava kirliliğinden ötürü zaman zaman asit yağmuru oluştuğu görülmektedir. İçme sularının üretimine doğrudan katkı sağlayan ve canlı hayatının vazgeçilmezi olan su, bu şekilde kirlenmektedir. Arıtılmamış su tüketen insan ve hayvanlarda, sulak alanlarda hayatlarını sürdüren canlılarda, bedenlerinin uzun süre bu toksik madde içeren kirli sularla temas etmesi durumunda, tahriş, kızarıklık, alerji, deri iltihapları, içilen kirli su ile bağışıklıkta zayıflama, uyku sorunları, stres, yorgunluk, depresyon vb. birçok hastalık görülmektedir.

Ağır metal iyonlarını ve zehirli gazları bünyesine katan bulutların oluşturduğu yağmur suyunun toprağa ulaşması ile toprak kirliliği meydana gelir. Kirli toprak, bitki yaşamını kötüleştirdiği gibi bu bitkiler ile beslenen tüm canlı türlerinin sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Ekosistemdeki bazı canlı türlerinin yok olmasının başlıca sebeplerinden biri de toprak kirliliğidir. Toprakta yetişen yenilebilir bitki türlerinin, insan vücuduna girmesi ile stres, uykusuzluk, yorgunluk gibi fiziksel etkileri, yapısal bozuklukları da beraberinde getirmektedir. Toprak kirliliğinin bir diğer maduru olan bakıma muhtaç sokak hayvanları, belediyelerin desteğinde aşı vs. hayvan kontrol zamanlarında veteriner hekimlerce muayene edilmektedir. Bu hayvanların birçoğunda, motorlu taşıt egzozuna maruz kalmaktan doğan solunum yolu hastalıkları, kirli hava, su ve topraktan doğan yapısal bozukluklar, hayvan hareketlerinde belirgin değişimler (saldırganlık, uykusuzluktan kaynaklanan kızarıklık gözler, deride gözle görülür yaralar, vs.) gözlenmektedir (Seven, Can, Darende, & Ocak, 2018).

iii. Gürültü Kirliliği

Motorlu taşıtların oluşturduğu gürültü, artan nüfus ile birlikte insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen bir kirlilik türü haline gelmiştir. İşitme sistemine zarar veren gürültü seviyesi 85 dB ve üstündeki ses düzeyleridir. Motorlu taşıtların gürültü seviyeleri ise özellikle çevre yolların şehir içi bağlantısı olan ışıklı kavşaklarda, küçük taşıtlarda 85-90 dB, ağır taşıtlarda ise 100 dB 'e kadar çıkmaktadır. Bu değerlerin insanın normal işitme düzeyinin üzerinde olduğunu görülmektedir. Araçlardan çıkan bu kirliliğin sebepleri motor ve egzoz gürültüsü, korna sesi, ani frenleme sonucu oluşan gürültü, tekerleklerin yol üzerinde yuvarlanmaları sonucunda ortaya çıkan gürültü ve titreşimler olarak bilinmektedir. Mevcut gürültü kirliliğinin canlı üzerindeki etkisini azaltmak için birtakım önlemler alınmalıdır. Karayolları ile konutlar arasında belirli bir mesafe payının

bırakılması, şehir içinden geçen ulaşımın şehir dışına taşınması, karayollarından konutlara, insanlara ve hayvanlara geçen ses düzeyini absorbe edebilmesi için yeşil plaka duvarı diye adlandırılan bitkiler yerleştirilmesi yani şehir planlamasının gürültü kirliliği minimum olacak şekilde tasarlanması alınabilecek etkin önlemler arasında sayılmaktadır (Özen & Onural, 2001).

2.1 Zararlı Egzoz Emisyonları

Motorlu taşıtların egzozundan çıkan, çevre ve canlılar için oldukça zararlı bazı kirleticiler, zararlı egzoz emisyonları olarak tanımlanmaktadır. CO, CO₂, HC, NO_x ve Partikül Maddeler başlıca zehirli egzoz emisyonlarıdır (Milli Eğitim Bakanlığı, 2011).

2.1.1. Karbonmonoksit (CO)

CO gazı solunum yoluyla vücuda giren, renksiz, kokusuz, zehirleyici bir gazdır. Canlı sağlığını olumsuz yönde etkileyen başlıca kirlilik etkenidir. Solunum yoluyla kana geçer, kandaki hemoglobine bağlanarak karboksihemoglobin'i (COHb) oluşturur (Tecer, 2011). Ayrıca CO gazı, kandaki hemoglobin ile birleşerek dokulara oksijen (O₂) taşınmasına engel olmaktadır. Doku ve organların bu gaz ile dolması O₂ yetersizliğine neden olmaktadır. CO gazına maruz kalınması durumunda baş ağrısı, göğüs sıkışması, kalp ağrısı ve hareket eylemlerinde azalmalar görülmektedir. Uzun süre bu zehirleyici gazın solunması durumunda ise boğulmadan kaynaklı ölümler meydana gelmektedir. Fosil yakıtların bilinçsiz yakılmasından ve özellikle kışın sobada yakılan kömürden sızan CO gazından dolayı birçok kişi hayatını kaybetmiştir.

İYM'lerde egzoz emisyonundaki CO miktarı, tutuşma sıcaklığı, yüksek sıcaklıkta gazın kalıcılık zamanı, yanma odası türbülansı ve yanma odası içerisindeki yetersiz O₂'den kaynaklanmaktadır. Fakir ve stokiyometrik karışımlarda, Y/H karışımının homojen olmamasına bağlı olarak yanma sırasında O₂'nin belirli bölgelere ulaşmaması ve yanmanın homojen olmayan sıcaklıklarda gerçekleşmesinden dolayı CO'nun O₂ ile ikinci kez tepkimeye girememesi ile CO emisyonu açığa çıkmaktadır (Kelen, 2014). Yanma sırasında havanın yetersiz olması yakıtın yanması için yeterli O₂'yi bulamamasına ve dolayısıyla motorun eksik yanma ile çalışmasına neden olmaktadır. Ayrıca, trafiği yoğun olan büyük şehirlerde, kent atmosferindeki CO'nun yaklaşık %85-95'inin taşıtlardan kaynaklandığı bilinmektedir (Tecer, 2011).

Denklem 2.1'de C'nin CO'ya, Denklem 2.2'de ise, CO'nun CO₂'ye oksidasyon denklemi gösterilmektedir (İlkılıç & Behçet, 2006).



2.1.2. Karbondioksit (CO₂)

Dünya sadece üzerine düşen güneş ışınları ile değil aynı zamanda Dünya'dan uzaya soğrulan kızılötesi ışığın tekrar Dünya'ya yansması ile ısınmaktadır. Karbondioksit başta olmak üzere karbonmonoksit, azot oksitler ve su buharı kızılötesi ışığı tutma özelliği olan sera gazlarıdır. Tutulan bu ısı, atmosferde sıcaklığın yükselmesine dolayısıyla Dünya'nın ısınmasına sebep olmaktadır. Bu olaya 'sera etkisi' denilmektedir. Atmosferin fazla ısınmasının küresel ısınmaya sebep olduğu, kutuplarda buzulların erimesine yol açtığı bilinmektedir. Günümüzde atmosferde artan CO₂ miktarı küresel ısınmanın başlıca sebebi olarak görülmektedir. Karbondioksit oluşumunun büyük kısmının motorlu taşıt egzoz emülsiyonlarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, içten yanmalı motorlarda yanma sonucu ürünü olarak açığa çıkan zararlı gaz emisyon değerlerini düşürmek canlı sağlığı ve atmosfer için oldukça önemlidir (İlkılıç & Behçet, 2006).

2.1.3. Hidrokarbonlar (HC)

Yanma reaksiyonu uzun zincirli HC moleküllerinden oluşan yakıtın, karbon ve hidrojen atomlarının oksidasyonu şeklinde ifade edilmektedir. Dizel motorlarda, homojen olmayan sıcaklık dağılımları ve az miktarda oksijen yoğunluğu gibi sebepler ile gerçekleşen yanma sırasında yakıt damlacıklarından bazılarının tam yanmaması, eksik yanması, hatta hiç yanmadan atmosfere atılmasından dolayı hidrokarbon emisyonları oluşmaktadır. Karışımın fakir olması HC oluşumunu azalmakta, ancak aşırı fakir karışım ile gerçekleşen yanmada alevin sönmesine bağlı olarak HC emisyonu artmaktadır (Karamangil, 2003). Yanma sırasında silindirlere alınan O₂ miktarının artırılmasıyla daha fazla yakıt O₂ ile birleşerek yakılmakta ve bunun sonucunda HC emisyonu azalmaktadır (Karamangil, 2003). HC emisyonu, büyük oranda yanma sırasında yakıtın tam yanmak için yeterli O₂' i bulamaması sonucu egzozdan atılan zehirli bir emisyonudur.

2.1.4. Azot Oksitler (NO_x)

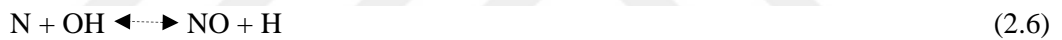
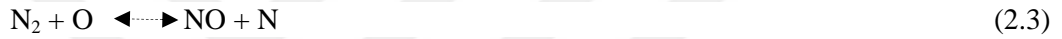
Atmosferdeki gazlar %78 azot, %21 oksijen, %1 karbondioksit, neon, helyum, kripton, ksenon ve hidrojen gazlarından oluşmaktadır. İyi bir yanma sonrasında sıcaklığın yükselmesi ve 1800K üzerinde sıcaklık değerlerine ulaşılmasıyla oksijen molekülleri ayrışmakta ve azot oksit (NO_x) oluşumu hızla artmaktadır. NO_x oluşumu sıcaklığın artması ile doğrudan ilişkilidir.

Azot oksitlerin çoğu yanma sonrası açığa çıkan azot monoksit (NO) formundadır. Azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂), diazot oksit (N₂O), diazot trioksit (N₂O₃), diazot tetroksit (N₂O₄), diazot pentoksit (N₂O₅) NO_x çeşitleridir. Bunlardan NO ve NO₂ emisyonları en önemli hava kirleticilerdir. NO, renksiz ve kokusuz iken NO₂, kırmızımsı, kahverengimsi, keskin kokulu bir gazdır. Atmosferin üst tabakasında, güneşten gelen ultraviyole ışınlarla karşı dünyayı koruyan, oksijenin çok reaktif şekli olan ozon (O₃) tabakası yer almaktadır. NO₂ gazının ultraviyole ışığı

absorbe etme yeteneği mevcuttur. Yanma sonucu açığa çıkan NO gazı, atmosferdeki O₂ ile tepkimeye girerek NO₂ gazını meydana getirmektedir. NO₂ gazı ultraviyole ışığı absorbe etmektedir. Bu nedenle, atmosfer şartları altında, kirletici emisyonların etkisi ile istenmeyen bir ozon tabakası açığa çıkmaktadır. NO₂ gazının atmosferdeki ömrünün yüzyıldan fazla olduğu, ayrıca havadaki nem ile reaksiyona girerek HNO₃ asidini meydana getirdiği bilinmektedir (İlkılıç & Behçet, 2006).

İYM'lerde NO_x emisyonu, emme manifoldundan silindirlere çekilen havanın yanma odasında, yüksek sıcaklıklarda O₂ ile oksitlenmesi sonucu açığa çıkmaktadır. Bu nedenle motorlu taşıt egzozundaki NO_x emisyon miktarının fazla olması yanma odası sıcaklığı ile beraber artış göstermektedir.

NO_x bileşiğinin oluşumu ilk kez 1946 yılında, Yakov Borosovich tarafından, 4 reaksiyon mekanizması üzerinden açıklanmıştır. Zeldovich'nin tanıttığı reaksiyonlar Denklem 2.3-2.6'da görülmektedir.



NO_x oluşumunun yanma reaksiyonun hızına ve süresine bağlı olduğu bilinmektedir. Maksimum alev sıcaklığı civarlarında NO oluşumu, denge değerine ulaşmak için yavaş kalmaktadır. Yüksek sıcaklıktan dolayı oksijen zincir reaksiyonları başlatır. Zeldovich'e göre zincir reaksiyonunu azot iyonları başlatamaz (Patterson & Henein, 1972). Bu durum yanma sırasında azotun denge konsantrasyonunun oksijene oranla bağlı olarak daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Azot atomu oksijen molekülü ile reaksiyona girerek azot oksit ve oksijen atomu meydana getirmektedir. Dolayısıyla, azot ve oksijen dengeleri sıcaklık artışı ve karışımın fakirleşmesiyle artmaktadır (oğalan, 2003).

2.1.5. Duman Yoğunluğu (İs)

İçten yanmalı motorlarda, partikül madde, yanma sırasında silindirlere yeterli O₂ alınmaması durumunda yakıt içerisindeki karbon (C) atomlarının yanmaya dahil olmadan egzoz gazları ile atılması sonucu açığa çıkan çok küçük katı ve/veya sıvı parçacıklardır. Egzoz bakımının aksatılması ile egzoz borusu içerisinde biriken kalıntılarda bu partikülleri kolaylıkla görülebilmektedir. Kl, duman yoğunluğu, SO_x ve C bazı partikül emisyonlarıdır. Diğer tüm kirleticiler gibi duman yoğunluğu emisyonu da, insanda solunum yolları başta olmak üzere birçok doku ve organa, diğer canlılara, doğal çevreye ve atmosfere zarar vermektedir (Kelen, 2014).

3. ZEOLİT

Zeolit minerali ilk olarak, 1756 yılında İsveçli mineralog Freiherr Axel Fredrick Cronstedt tarafından bulunmuştur. Cronstedt “boraks incisi testi”¹ uygulayarak, zeolit minerali içerisindeki silikat minerallerinin davranışlarını incelemiştir. Eski Yunancada; “zeo: kaynama”, “lithos: kaya”, “zeolithos: kaynayan taş” anlamına gelmektedir (Şahin). Zeolitler, SiO₄ ve AlO₄ dörtyüzlülerinin üç boyutlu sonsuz bağları ile meydana gelen alümina silikatlerdir. Volkanik küllerin, magmatik kayaların su ortamında değişimlere uğraması ile alkali ve toprak alkali gruplarının hidratlı doğal silikatlarından oluşan bir mineral grubudurlar. Feldspatların ve diğer alümina silikatların zeolite dönüşmesine ise “zeolitleşme” denilmektedir (Bilgin & Koç, 2013).

Zeolit mineralinin oluşumu hakkında iki varsayım bulunmaktadır. Birinci varsayım; milyonlarca yıl evvel volkanik patlamalar sonucu açığa çıkan kaya parçalarının, sıcaklığın etkisi ile ısınarak, morfolojik değişimler yaşaması ve bu kayaların soğuması ile zeolit minerallerinin oluşmasıdır. Doğada kaya şeklinde bulunan; klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, eriyonit, şabazit ve höylandit gibi zeolit türlerinin oluşumlarına bu yorum getirilmektedir. Bir başka varsayım ise; milyonlarca yıl önce gerçekleşen volkanik patlamalar sonucu meydana gelen toz, kül gibi partiküllerin göl, deniz ve okyanuslara ulaşarak burada birikmesi ve sulu ortamda değişimler geçirmesi ise zeolit mineralinin açığa çıktığı şeklindedir (Lestari, 2010).

Zeolit minerali $M_x Dy [Al_x+2y Si_{n-(x+2y)}O_{2n}] \cdot nH_2O$ genel kimyasal formülüne sahiptir. Burada;

M⁺ : Na⁺ veya K⁺ gibi tek değerli bir katyon,

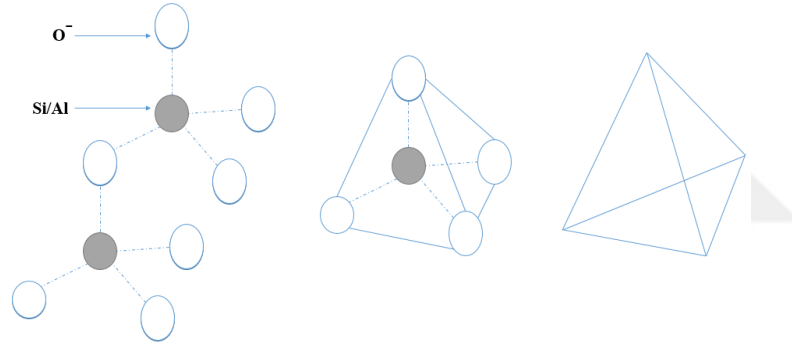
M⁺⁺ : Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ ve Ba⁺⁺ gibi iki değerli bir katyondur.

Zeolit, renksiz kristal tuzları halinde, homojen, sıkı, sağlam ve boşluklu yapıda olup, bal peteği veya kafes görünümüne sahip alümina silikat mineralleridir. Kolayca kesilip işlenebilmektedir. Gözenekli yapıda, nötr halde olan zeolit yüksek sıcaklığa karşı dayanıklıdır. Suda çözünmez, bu sebeple özellikle su arıtımı gibi kullanım alanlarında, buldukları ortamda bozulmadan uzun süre boyunca kalabilmektedirler. Zeolit yapısında yer alan mikro gözenekler, mikro pencereler ile birleşerek bir, iki veya üç boyutlu boşluklar meydana getirirler. Mineralin gözenekli yapısı, içerdiği boşluklardan kaynaklanmaktadır (Bilgin & Koç, 2013). Zeolit gözenek (por) boyutları, mikropor (< 20 Å), mezopor (~ 20-500 Å) ve makropor (> 500 Å) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Mikropor adsorbanlar endüstriyel uygulamalarda yüksek adsorplama kapasitelerinden dolayı tercih edilmektedir. (Keskiner, 2019).

¹ Boraks İncisi Testi (Borax bead test): Borax bileşiği, renksiz, kristal yapıda ve katı halde bulunmaktadır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakıldığında, kabarcıklar halinde köpüklü bir yapıya, soğuduğunda da camsı görünümde, renksiz bir katıya dönüşmektedir. Bu test, tuz içeriğindeki bazı minerallerin varlığını tespit etmek adına laboratuvarlarda yapılmaktadır. Analiz edilecek tuz öğütülmüş boraks ile karıştırılır; platin telden yapılmış bir halka bu karışıma batırılarak alevde tutulmaktadır. Halka içerisinde inci tanesi şeklinde, camsı, küçük bir boraks boncuğu meydana gelmektedir. Bu boncuğun rengi tuz içeriğindeki metalin ayırt edilmesini sağlamaktadır (Bilgin & Koç, 2013).

Sıcaklığın artması kristal yapılı zeolit mineralini etkilemektedir. Moleküldeki O_2 miktarı, sıcaklık ile orantılı olarak artmakta ve gözenek pencerelerinin büyümesine sebep olmaktadır (Bilgin, 2009).

Zeolit mineralinin yapısında, AlO_4 ve SiO_4 dörtyüzlülerinden oluşan üç boyutlu kristaller mevcuttur. Bu dörtyüzlülerin en iç kısmında Si ve Al iyonları, köşelerinde ise O_2 iyonları bulunmaktadır. Ana yapıyı Si ve Al tetraederleri meydana getirirken, bu tetraederlerin bir araya gelmesi ile tek ve çift halkalı ikincil kısımlar ve poliederler oluşmaktadır. Bu poliederlerin üç boyutta değişik dizilimleri ile mikro gözenekliliğe sahip zeolit oluşmaktadır. Poliederlerin bağlanmasını sağlayan ikincil kısımlar ve poliederler arasındaki mikro gözenekler, mikro pencereler ile bir araya gelerek zeolit mineralindeki boşluk yapısını oluşturmaktadırlar. Zeolitin boşluk yapısı, hacminin % 20-50' sini kapsamaktadır. Zeolit mineralinin düşük öz kütle' ye sahip olmasının sebebi de yine bu gözenekli yapısıdır. Şekil 3.1'de zeolitin kristal yapı biçimleri verilmiştir (Pala, 2006).



Şekil 3.1. Zeolitin kristal yapı görünümü (Pala, 2006)

Zeolitin kullanım alanları oldukça yaygındır. Başta Çin olmak üzere, Kore, ABD ve daha birçok dış ülke gibi ülkemizde de ciddi zeolit yatakları mevcuttur. Buna rağmen dünyada hâlâ zeolitin işlevi, kullanım alanları, rezerv noktaları, rezervlerdeki cevherlerin oluşumları ve miktarları gibi konularda araştırmalar tamamlanamamıştır. Hatta doğada bilinmeyen birçok zeolit çeşidi bulunmakta ve tespitleri sürmektedir (Baran, 2012).

Zeolit, birçok sektörde farklı amaçlarda kullanılmaktadır.

- Ortamdan bazı gazları ayrıştırmak,
- Tarımda gübre ve ilaçlama amaçlı,
- Hayvancılıkta yem üretimi ve ağıl temizliğinde,
- Petrolün damıtılmasında,
- Oksijen üretiminde,

- İçme sularının temizlenmesinde,
- İstenilmeyen ağır metal katyonlarının (Pb-Cd-Zn-Cu vb.) tutulmasında,
- Atık sulardan Ni⁺²'nin ayrıştırılmasında,
- Deterjan vb. ürünlerde katkı maddesi olarak,
- Radyo aktif atık temizliği

Gibi daha birçok sektörde, doğal ve sentetik zeolit mineralleri başta iyon değiştirici olmak üzere adsorban, katalizör ve katkı maddesi gibi işlevlerde kullanılmaktadır (Pala, 2006).

3.1. Zeolit Tipleri

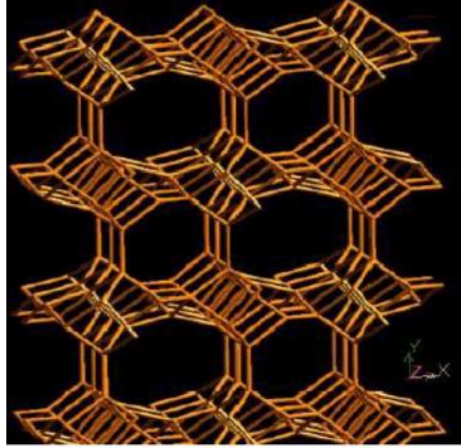
Doğal ve sentetik olmak üzere iki tip zeolit vardır. Doğal zeolit (DZ), doğada pek çok ülkede rezervleri bulunan, zeolit yataklarından çıkartılan ham zeolitlerdir. Bir diğer zeolit tipi ise yapay zeolit olarak bilinen sentetik zeolittir (SZ). DZ' in işlenmesi, diğer cevherlere oranla çok daha ucuzdur, ancak istenilen saflık ve gözenekliliği karşılayamadığı için SZ daha çok tercih edilmektedir (Gülen, Zorbay, & Arslan, 2012). SZ, DZ' ye oranla daha maliyetlidir, ayrıca daha yüksek adsorbsiyon ve daha güçlü tanecik yapısına sahiptir. Bilinen ilk SZ üretim çalışmaları, 1949 yılında Union Carvide şirketinin laboratuvarında başlamıştır (Güçoğlu, 2018). Son 200 yılda 50 farklı doğal zeolit bulunmuş ve 200'den fazla sentetik zeolit tipi üretilmiştir. Doğada rezerv saflıklarının en yüksek olduğu ve kaynağı en bol olarak bulunabilen doğal zeolitler; klinoptilolit, hölandit, analsim, şabazit, eriyonit, ferriyonit, lomantit, mordenit ve filipsit olarak bilinmektedir (Demirel, Demirel, & Doran, 2010).

3.1.1. Doğal Zeolit Tipleri

Bilinen en yaygın DZ çeşitleri; klinoptilolit, höylandit, mordenit, lamontit, analsim ve şabazittir. Ülkemizde en çok klinoptilolit tipi zeolit yatakları bulunmaktadır. Kolay temin edilebilmesi, ucuz olması, yüksek gözeneklilik ve ısıl kararlılıkta olması nedeniyle klinoptilolit, en çok tercih edilen doğal zeolit tipidir.

Klinoptilolit, Hidrate Sodyum Potasyum Kalsiyum Alumüno Silikat, kısaca Potasyum-kalsiyum-sodyum alumino silika yapısına sahiptir. Bu iyonlar, aluminosilika yapısını değiştirmeden, sulu solüsyonlardaki diğer katyonlar ile kolayca yer değiştirebilmektedir. Bu olay "iyon değişimi" ya da "katyon değişimi" olarak adlandırılmaktadır. Amonyum, kurşun, civa ve diğer ağır metaller gibi zararlı elementlerle yer değiştirerek, bu ağır metallerin temizlenmesini sağlamaktadır. Klinoptilolit, 4.3-5.3 Si/Al değeri ile en yararlı doğal zeolit olarak bilinmektedir. Klinoptilolit, canlı bedeninde toksik etki bırakan ağır metallere karşı mknatis görevi görmektedir. İyon değişimi yeteneği ile ağır metalleri kendi bünyesinde almakta ve temizliğini sağlamaktadır. Bu işlevi ile suyun-petrolün temizlenmesinde, ilaç yapımında, besi hayvanlarının yemlerinde vs.

birçok şekilde kullanılmaktadır. Klinoptilolit Ca, kalsiyum yönünden çok zengin olduğundan yaraların iyileşmesini sağlamaktadır. Şekil 3.2’de Klinoptilolit ağ örgüsü gösterilmektedir (Keskiner, 2019).



Şekil 3.2. Zeolitin kafes (bal peteği) görünümü (Keskiner, 2019)

Höylendit $[(Na, Ca_{0.5}, Sr_{0.5}, Ba_{0.5}, Mg_{0.5}, K)_9(H_2O)_{24}][Al_9 Si_{27} O_{72}]$ kimyasal formülüne sahip zeolit mineralleri grubu içerisinde yer alan, doğal oluşumlu taneseli yapıda bir mineraldir. Genellikle bazalt kayaların botluklarında stilbit ile birlikte oluşmaktadır. 3.5-4 sertlik değerine ve $2.10-2.20 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Triklitik kristal sistemine sahiptir. Kristal formu, rengi ve parlaklığı sayesinde diğer minerallerden ayırt edilebilmektedir (Soylu & Gökkuş, 2017).

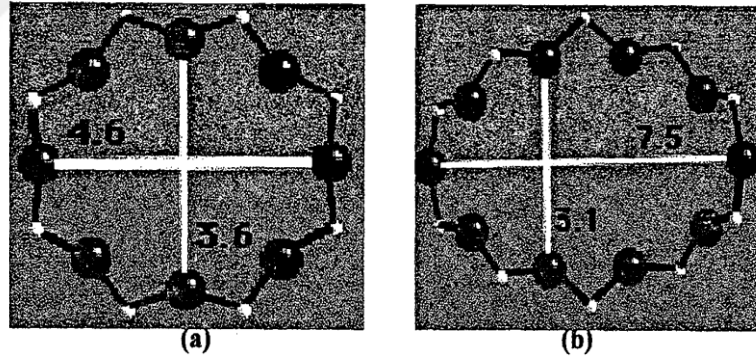
Klinoptilolit ve höylendit doğal zeolit tiplerinin ağ örgü yapıları yüksek oranda benzerlik gösterdiği için X ışını kırınımı (XRD) ile ayırım yapmanın zor olduğu bilinmektedir. Bu iki doğal zeolitin aralarındaki temel fark, klinoptilolit silis içeriği bakımından daha zengin ve ısı kararlılığının daha yüksek olmasıdır. Höylendit ve klinoptilolit tipleri birbirlerinden en doğru ısı kararlılık deneyleri ile ayırt edilebilmektedir (Bilgin & Kantarcı, 2018). Bunun sebebi klinoptilolit 700 °C’ye kadar kristalle yapısını korurken, höylenditin 350 °C’de tamamen amorf bir yapıya dönüşmesidir (Bilgin, 2009).

Zeolitlerin ayırt edilmesinde, taramalı elektron mikroskobu (SEM), optik mikroskop (OM), termogravimetrik analiz-diferansiyel termal analiz (TGA-DTA), Fourier dönüşümlü kızıl-ötesi spektroskopisi (FTIR), XRD, Raman spektroskopisi, elektron mikroprob (EMP), enerji yayılım spektrometresi (EDS) gibi yöntemler kullanılmaktadır (Yalçın & Demir, 2015). Tablo 3.1’ de höylendit ve klinoptilolit arasındaki farklar görülmektedir.

Tablo 3.1. Höylandit ve klinoptilolit arasındaki farklar

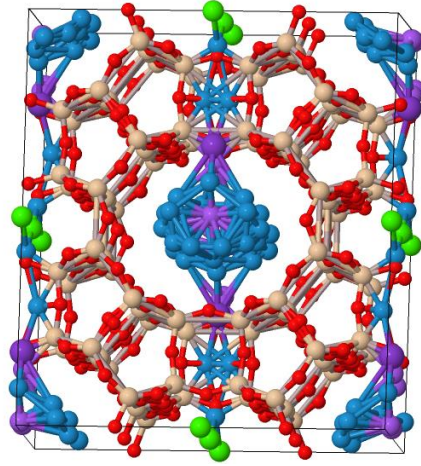
	Höylandit	Klinoptilolit
Kimyasal Formülü	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$(\text{Na}, \text{K})_6(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
Isıl Kararlılık	Az- 350 °C'de amorf yapı	İyi- 700 °C'de kararlı
Sertliği	4	3,5-4
Si/Al Oranı	<4	≥ 4
Boşluk Hacmi/Porozite	39%	34%
Halka Şekli	Hem 8'li hem de 10'lu	Sadece 10'lu
İyon değişirme kapasitesi (meq/g)	2,91	2,16

Höylandit 8-10 tane, klinoptilolit ise sadece 10 adet O₂ pencereyi ağ yapısından oluşmaktadır. Bu pencere halkalarının birleşmesi ile kanallar oluşmaktadır. Klinoptilolit mineralinde sorpsiyon, kendi hacminden daha küçük hacimdeki moleküllerin geçişi şeklinde bu kanallardan sağlanmaktadır. Şekil 3.3 (a)' da Höylandit ağ örgüsünde halkalı yapıda O₂ pencerelerinin görünümü ve Şekil 3.3 (b)' de Klinoptilolit ağ örgüsünde halkalı yapıda O₂ pencerelerinin görünümü verilmiştir (Öter, 2002).



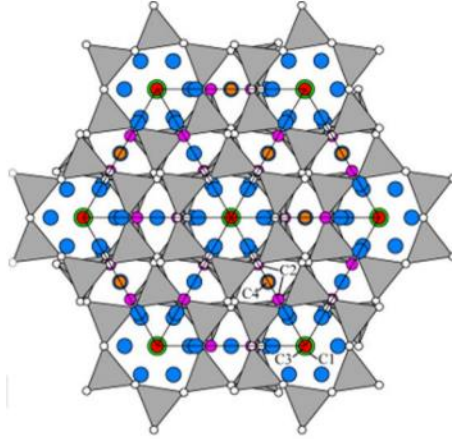
Şekil 3.3. (a) Höylandit ağ örgüsünde halkalı yapıda O₂ pencerelerinin görünümü, (b) Klinoptilolit ağ örgüsünde halkalı yapıda O₂ pencerelerinin görünümü (Öter, 2002)

Mordenit, $(\text{Na}_2, \text{Ca}, \text{K}_2)_4(\text{Al}_8\text{Si}_{40})\text{O}_{96} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$ kimyasal formülüne sahip, doğada en çok görülen 6 doğal zeolitten biridir. Riyolit, andezit ve bazalt gibi volkanik kayalarda bulunmaktadır. Doğada, renksiz, beyaz, sarımsı, pembemsi renklerde görülmektedir. 3.5 sertlik değerine, 2.152 g/cm³ yoğunluğa ve 874.11 gm moleküler ağırlığına sahiptir (Albayrak, Çubukçu, & Acar, 2007). Şekil 3.4'de mordenitin kafes yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Mordenitin kafes yapısı (www.mineral:atlas.de)

Şabazit mineralinin ilk kez Born tarafından 1772’de ‘‘küp kristali İzlanda zeoliti’’ olarak adlandırıldığı bilinmektedir. CHA olarak gösterilen şabazit, 1.6-3 Si/Al oranına sahip, doğal olarak meydana gelen bir zeolittir, $(Ca_{0.5}, Na, K)_4[Al_4Si_8O_{24}].12H_2O$ kimyasal formülüne sahiptir. Gottardi ve Galli’nin yapmış olduğu sınıflandırmaya göre 6 halkalı zeolit grubuna dâhil edilmiştir (Günel, 2018). Şekil 3,5’de Şabazit zeolitinin kafes görünümü verilmiştir.



Şekil 3.5. Şabazitin kafes yapısı (Günel, 2018)

3.1.2. Sentetik Zeolit Tipleri

En çok kullanılan SZ çeşitleri ise, A ve X guruplarıdır. Bu guruplar; 3A, 3A EPG, 4A, 4A DG, 5A ve 10X, 13X APG, 13X HP, 13X PG, XH-5, XH-7, XH9, XH-11’dir. Bu çalışmada 13X HP SZ kullanılmıştır. 13X’in kendi içinde birçok çeşidi vardır. Diğer tüm SZ çeşitleri gibi 13X’ in çeşitleri de kullanım amaçlarına göre farklı yapılarla ticari amaçlı üretilebilmektedir. Örneğin;

Z10-01: Standart 13X Moleküler Sieve

Z10-02: Hava Ön Saflaştırma

Z10-03: Hidrokarbon ve Olefin Saflaştırma

Z10-04: PSA Oksijen Üretimi

Z10-05-03: VPSA Oksijen Üretiminde

Z12-07 LiLSX: Medikal Oksijen Konsantratörlerinde

ZEON OII Plus: Medikal Oksijen Konsantratörlerinde kullanılmaktadır (Damla Kimya Mühendislik ve Mümessilik San. Tic. LTD.ŞTİ, 2017).

3.2. Zeolitin Seçici Geçirgen Özellikleri

Zeolit tetrasilikatından, birçok sektörde, farklı kullanım amaçları ile doğal veya sentetik zeolit tiplerinde yararlanılmaktadır. Zeolitin kullanılma sebebi, mineralin moleküler elek özelliği görebilmesi, iyon değiştirebilme yeteneğinin hızlı ve seçiciliğinin fazla olması, ayrıca yüksek adsorplama kapasitesinin olmasından kaynaklanmaktadır (Öz, 2012).

3.2.1. Zeolitin Moleküler Elek Özelliği

Zeolit, kafes veya bal peteği ağ örgüsüne sahiptir. Zeolit mineralinin iskelet yapısı tamamen açık olup, üç boyutlu ağ yapısına sahiptir. Bu yapı mevcut gözeneklerinden daha küçük olan moleküllerin geçişine izin vermektedir. Bu geçişe “moleküler elek” denilmektedir. Moleküler elek sistemi, adsorbent yapısındaki katyonların fiziksel özelliklerine ve elektriksel kuvvetlerine göre belirli adsorpsiyonudur. Zeolit gibi yüksek porozitedeki silikatlar, sıvı veya gaz halde herhangi bir molekülün yalnız kendi gözeneklerinden daha ufak çaptaki iyonlarının adsorpsiyonunu sağlar. Moleküler elek görevi görecekt zeolitlere etki eden başlıca faktörler sıcaklık ve dehidratasyondur. Yüksek sıcaklık, zeolitin kristalize yapısını bozmakta ve yapı gözenekliliğini arttırmaktadır. Dehidratasyon ise, zeolit kimyasında bulunan katyon iyonlarını değiştirerek, H₂O, CO₂, H₂S gibi iyonların adsorbe edilmesini sağlamaktadır (Bilgin, 2009).

Moleküler eleme; safsızlaştırma ve bulk ayırma uygulamaları olmak üzere 2 şekilde uygulanabilmektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada zeolit kristalinin moleküler elek özelliğinin etkisi ile bulk ayırma uygulanmıştır, havadan N₂ molekülünün ayrılması amaçlanmıştır.

3.2.2. Zeolitin İyon Değişim Yeteneği

Katı haldeki yüzeye bağlı iyonların, çözeltideki diğer iyonlar ile tersinir olarak yer değiştirmesi işlemine “iyon değişimi” adı verilmektedir. Katı maddeden çözeltiye ve çözeltiden katı maddeye verilen iyon değerlikleri toplamı eşit olup, reaksiyon elektriksel olarak nötr formdadır. İyon değişim kapasitesi “İDK” şeklinde ifade edilmektedir ve İDK, zeolitin gramı veya 100 gr ölçüsü başına değişebilen mol değeri olarak hesaplanmaktadır. Katı ve çözelti arasındaki iyonların değeri pozitif ise, bu katyon değişim kapasitesi “KDK” olarak ifade edilmektedir.

Klinoptilolit mineralinin İDK'sı 2.16 meq/g iken, SZ X grubu zeolitin İDK'sı ise 4.73 meq/g' dir (Bilgin, 2009).

Zeolitlerin ağ örgüsünde Si^{+4} yerine Al^{+3} bulunmaktadır. Bu durum pozitif yük eksilmesine neden olmaktadır. Zeolit odacıklarına giren K^+ , Na^+ , Sr^{+2} , Ca^{+2} , Mg^{+2} ve Ba^{+2} gibi katyonlar yük eksikliğini dengelemektedir. Zeolit yapısındaki K^+ , Na^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları değişebilir iyonlar olarak bilinmektedir. Zeolitlerde iyon değişimi, bir çözelti veya eriyik haldeki iyonlarla, zeolitin yapısındaki alüminosilikalar ile katyonların yer değiştirmesi sonucu olmaktadır. Zeolitin dörtyüzlü yapısındaki katyonlar, Van der Waals kuvveti ile zayıf bağlı olduklarından, zeolitin yıkanması sonucu çözeltideki iyonların yer değiştirebilmesini sağlamaktadırlar (Keskiner, 2019).

Zeolit yapısının ana bileşen değerlerinden olan Si/Al oranının artması, ısı kararlılığı arttırmakta, ancak İDK'yı ve adsorpsiyon kapasitesini (AK) azaltmaktadır. Bunun nedeni, Al iyonunun azalmasına bağlı, negatif iyon miktarının azalması ve yapıyı dengede tutmak için daha az katyon ihtiyacı duyulacak olmasıdır (Baran, 2012).

C^+ D^- formunda D^- anyonunun E^- anyonu ile yer değiştirmesine ve C^+E^- formuna dönüşmesine "iyon değişimi" denilmektedir.



C^+ : Adsorbentin sabit katyonu

D^- : Adsorbent yüzeyinde ve/veya yapısında bulunan saf olmayan bileşik iyonları

E^- : Adsorbent ile temas edecek çözeltinin anyonu

C^- D^+ formunda, D^+ katyonunun E^+ katyonu ile yer değiştirmesine ve C^-E^+ haline dönüşmesine "KDK" denilmektedir.



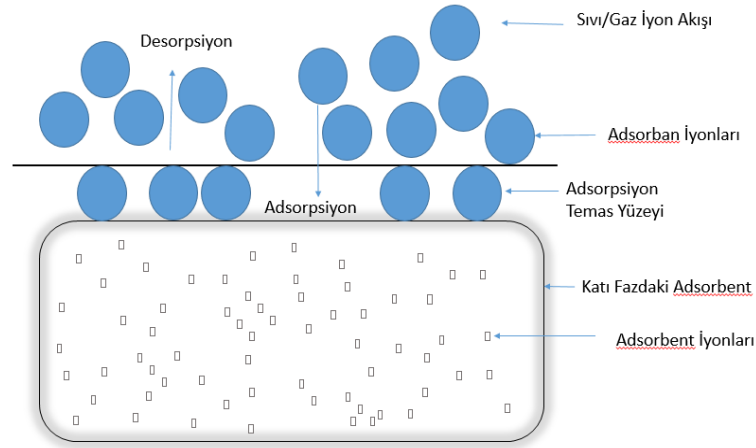
C^- : Değişmeyen katı fazdaki adsorbent

D^+ : Adsorbent yapısındaki safsızlıklar

E^+ : Sıvı veya gaz formdaki adsorban iyonları

3.2.3. Zeolitin Adsorpsiyon Yeteneği

Katı, sıvı veya gaz fazlarındaki herhangi iki yüzey arasında gerçekleşip, akışkan fazdaki bileşen yüzeyinin, diğer yüzey bileşenlerinden geçerken yüzeye tutunmasına "adsorpsiyon" denir. Adsorplanan yani tutulan maddeye "adsorban", yüzeyinde tutan, üzerinde adsorpsiyon işleminin gerçekleştiği madde ise "adsorbent" olarak adlandırılır. Adsorbent maddenin tuttuğu adsorbanların bir kısmının yüzeyden ayrılmasına ise "desorpsiyon" denilmektedir (Güçoğlu, 2018). Sıvı adsorbanın, katı adsorbent yüzeyindeki mikro boyutlu çatlaklarda veya gözeneklerde tutunmasına ise "kılcal adsorpsiyon" adı verilmektedir. Şekil 3.6'da, adsorpsiyon ve desorpsiyon şeması gösterilmektedir (Baran, 2012).



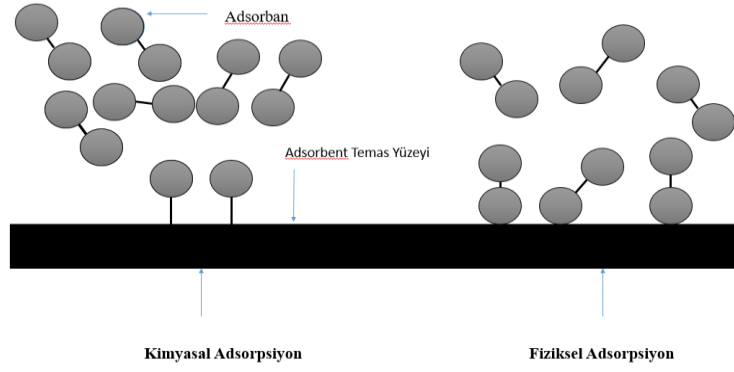
Şekil 3.6. Adsorpsiyon ve desorpsiyon şeması (Baran, 2012)

i. Adsorpsiyon Çeşitleri

Adsorbent ile adsorban arasındaki yüzeyler arası etkileşim, diğer bir deyişle adsorpsiyon fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Tablo 3.2' de fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon özellikleri verilmektedir. Şekil 3.7' de adsorpsiyon türlerine göre iyon ya da moleküllerin (adsorbanların) adsorbent yüzeyine bağlanma şekilleri gösterilmektedir (Güçoğlu, 2018).

Tablo 3.2. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon özellikleri

	Fiziksel Adsorpsiyon	Kimyasal Adsorpsiyon
Adsorbent ve adsorban arasındaki bağ	Van der Waals bağı	Kuvvetli kimyasal bağ
Elektron paylaşımı veya alışverişi	Yok	Var
Reaksiyon tipi	Tersinir	Tersinmez
Desorpsiyon yeteneği	Var	Yok
Bağ oluşum yeri	Tüm adsorbent yüzeyi	Adsorbentin yalnızca reaksiyon bölgeleri
Yapısal şekli	Monomoleküler/Multimoleküler	Monomoleküler
Sıcaklığın artmasıyla adsorpsiyon hızı	Yavaşlar	Artar
Adsorpsiyon entalpisi	< 10kcal/mol	> 40 kcal/mol



Şekil 3.7. Adsorpsiyon türlerine göre iyon ve/veya moleküllerin (adsorbanların) adsorbent yüzeyine bağlanma şekilleri (Güçoğlu, 2018)

ii. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler

Adsorpsiyon işlemine etki eden başlıca faktörler şunlardır;

1. pH: Adsorpsiyonu etkileyen önemli parametrelerden biri pH'dır. Adsorpsiyon alanının asidik veya bazik yapıda, yani H^+ veya OH^- iyonlarının adsorbent yüzeyine kuvvetli bağlarla bağlı olması, diğer iyonların adsorplanmasını etkilemektedir. Adsorbent, adsorbanları farklı pH değerlerinde adsorbe etmektedir. Yüksek katyon iyonlarının pH değerlerinin yüksek, yüksek anyon iyonlarının ise pH değerlerinin düşük olduğu bilinmektedir. pH parametresi, adsorbent madde türü ve adsorban iyonlarının cinsi gibi faktörlerden etkilenebilmektedir.

2. Sıcaklık: Adsorpsiyon, endotermik veya ekzotermik olarak gerçekleşebilmektedir. Çoğunlukla ısıveren tepkimeler ile adsorpsiyon yapılmaktadır. Bu durumda, ısı azaldıkça adsorpsiyonun arttığı sonucu anlaşılmaktadır. Sıcaklığın adsorpsiyona iki büyük etkisi bulunmaktadır. Sıcaklığın değişmesi, adsorbent ve adsorbanın bağlanma hızını, adsorbent yüzeyine temas ederek bağ oluşturan adsorban madde miktarını etkilemektedir.

3. Adsorbent Temas Yüzey Alanı: Adsorbent maddenin gözenekli ve tanecikli yapıda olması, adsorpsiyon kalitesini arttırıcı faktörlerdir. Adsorbent, gözenekliliği yok ise adsorpsiyon kapasitesi, partikül çapına bağlıdır, ancak zeolit gibi porozitesi yüksek mineraller adsorbent olarak kullanılacak ise partikül çapı önemsenmemektedir. Bu durumda adsorbent yüzey alanı, adsorbentin birim ağırlığı başına adsorpladığı madde miktarına bakılarak hesaplanabilir. Yüzey alanı büyüdükçe adsorplanan madde miktarı da artacaktır.

4. Adsorbent Fraksiyon Boyutu: Adsorbent maddenin fraksiyon boyutu küçültüldüğünde adsorbent yüzey alanı da artmaktadır. Geniş yüzey alanının, adsorpsiyon için en ideal durum olduğu bilinmektedir. Geniş yüzeyde adsorplanan madde miktarı da artmakta ve yüksek değerlere ulaşmaktadır.

5. Temas Süresi: Adsorpsiyona etki eden en önemli unsurlardan biri temas süresidir. Adsorplama işleminin başlangıcında adsorbentin geniş yüzey alanı, adsorbanla bulunduğu için

adsorpsiyon hızlı ve artan değerlerde gerçekleşmektedir. İşlem süresinin uzaması ile adsorbent yüzeyinde azalma gerçekleşmektedir, belirli bir süre sonra da doyma noktasına varılmaktadır. Bu durumda artan adsorpsiyon, hızla azalma yönelimi göstermektedir. Porozit yapıda olmayan adsorbent maddelerde ise, adsorbent ile adsorban arasında denge kurulduktan sonra adsorpsiyon hızlıca düşmektedir.

Yüksek hızda ve verimde adsorpsiyon için tüm bu parametrelerin dikkate alması gerekmektedir (Baran, 2012).

Silika partiküllerin seçiciliği az olduğu için, kullanım alanını çoğaltmak adına optimum fonksiyonel gruplar ile modifikasyon işlemleri yapılması gerekmektedir (Güçoğlu, 2018).

N₂, CO₂ ve SO₂ gibi gazlar, iyon değişimi ve adsorpsiyon yoluyla zeolit adsorbentine alınmakta ve havanın O₂ iyon konsantrasyonunun artması sağlanmaktadır. Barrey ve Hay yaptıkları deneysel çalışmada havadaki N₂ iyonunu %95 adsorplayarak O₂ zenginleştirme sağlamışlardır. O₂ üretiminde çoğunlukla X ve A grubu sentetik zeolit kullanılırken, bazı klinoptilolitlerin de kullanılabildiği bilinmektedir (Bilgin, 2009). (Baran, 2012) çalışmasında, SO₂, CO₂, H₂S gibi gazların tutulması, havanın oksijence saflaştırılma ve zenginleştirme çalışmalarında, radyoaktif izotopların tutulmasında, atık sulardan Pb, Cd, Zn, Cu gibi ağır metallerin giderilmesinde klinoptilolit silikatinden yararlanıldığını belirtmiştir.

3.3. Zeolitin Modifikasyonu

DZ, zehirsiz, çevre için risk teşkil etmeyen, ucuz maliyetli, kolay ulaşılabilir, suda bozunmayan (Bilgin, 2009), yüksek seçiciliğe ve iyon değiştirme kapasitesine sahip (Öter, 2002), geniş yüzey alanı bulunduran, toksik olmayan, modifikasyon yapabilme özelliğinde, termal açıdan kararlı silikatlardır. Ancak düşük seçiciliğinden dolayı ağır metallerin ayrıştırılması gibi adsorpsiyon işlemlerini optimum olarak yerine getirebilmesi için uygun bileşenler ile modifiye edilmeleri gerekmektedir (Güçoğlu, 2018).

3.3.1. Zeolitin Asit Modifikasyonu

Zeolitin asit modifikasyonu yapılarak, aside karşı kuvvetli yapıdaki zeolitin moleküler elek özelliği aktifleştirilmektedir (Baran, 2012). Zeolitin asit ile muamelesi, katı fazdaki adsorbentin fazla iyonlarının, asidik çözeltideki H⁺ iyonları ile yer değiştirmesini ve adsorbentin adsorban ile yüzeyde kimyasal değişim geçirmesini sağlamaktadır. Bu sayede yapıdan diğer yabancı iyonlar uzaklaştırıldığı için adsorbent yapısındaki mikro ve mezo boyuttaki porların miktarları ve adsorbent yüzey alanı artmaktadır. Klinoptilolit'in HCl veya H₂SO₄ sulu çözeltilerinden herhangi biri ile modifiye edilmesi ise maksimum yüzey alanına ulaşmasını sağlamaktadır (Sakızcı & Yörükoğulları, 2007).

(Bilgin, 2009), deneysel çalışmasında, Manisa Gördes zeolitinin N₂ adsorpsiyonu ile adsorbent yüzey alanını öğrenmeye çalışmıştır. 100µ' dan küçük fraksiyon boyutlarındaki adsorbentler, 5N asit ile 6 saat muamele edilmiştir. Elde edilen modifiye zeolitleri, DZ numunesi ile yüzey alanı açısından kıyaslayarak analizi yapılmıştır. Sonuçlar asit modifikasyonunun, DZ numunesine göre özgül yüzey alanında yaklaşık 7 kat artış sağlandığını göstermiştir. 5N asit derişimi seçilmesinin ise literatürde en iyi mikro ve makro gözenek pencerelerin bu derişimde görülmesinden kaynaklandığı bildirilmiştir.

HCl modifikasyonu, H⁺ iyonunu meydana getirdiği için klinoptilolit'in içeriğindeki Al'ın bir kısmı ana yapıdan uzaklaşmaktadır. Bu sebeple Si/Al oranı artmakta ve metal adsorpsiyon kapasitesi azalmaktadır. Özellikle Cu⁺² iyon değişim kapasitesi neredeyse %100 oranında azalmaktadır. Asit modifikasyonu için optimum pH düzeyi 5 olarak bilinmektedir. Si/Al değeri yüksek, Al oranı az olan zeolitler, aside dayanımı olan tetrasilikatlerdir. Bu zeolit tiplerinde, adsorbent yapısı asit modifikasyonu sonrasında çok fazla bozunmamakta ve kristal kararlılığını sürdürmektedir. Artan porozite ile beraber, adsorpsiyon kapasitesinde artış görülmektedir, ayrıca bazı moleküllerin adsorpsiyonunda seçicilik özelliği kazanılmaktadır. Zeolit bu yöntemle asit modifikasyonu, atmosfer kirleticisi Pb, Cu, Zn, Hg ve Cd gibi ağır metallerin, toprak, su ve hava ortamından temizlenmesinde daha etkin kullanılması sağlamaktadır (Öter, 2002). (Güçoğlu, 2018), deneysel çalışmasında, 0.063-0.200 mm fraksiyon aralığında, gözenek çapı 60 Å olan silika partikül'ün 2.5g'ını 6N HCl ile oda sıcaklığında 24h manyetik karıştırıcı ile karıştırmış, deiyonize su ile modifiye silika partikülü yıkamış ve yıkama suyu pH derecesi 5.5 oluncaya dek yıkama işlemini tekrarlamıştır. Ardından silika partikülü 160 °C'de etüvde kurutmuştur. Bu işlemin silika jel yüzeyine adsorplanmış metal iyonlarını uzaklaştırdığını ve ligandın bağlanabilmesini sağladığını, dolayısıyla silika partikülü aktifleştirdiğini bildirmiştir.

(Sakızcı & Yörükoğulları, 2007), klinoptilolit'i adsorpsiyon öncesinde 110 °C'de 3 saat vakuma tabii tutmuş, degas işlemi sağlamışlardır. Ardından 10 gr zeolit, 100 ml'lik deiyonize su ile hazırlanan 1 N'lik NaCl, CaCl₂, MgCl₂, LiCl, KCl, H₂SO₄ ve HCl çözeltileriyle, 98 °C' de 2 saat geri soğutucu altında reaksiyona tabii tutmuştur. Ardından 6 kez saf su ile yıkayıp, 110 °C'de 16 saat etüvde kurutarak modifikasyon işlemini tamamlamışlardır. Elde edilen modifiye klinoptilolit numunelerinin, DZ'e oranla özgül yüzey alanlarını ve adsorpsiyon kapasitelerini, 77 K'de N₂ adsorpsiyonu izotermelerinden XRD ve özgül yüzey alanı (BET) yöntemiyle analiz etmişlerdir. Asit modifiye klinoptilolit numunelerinin, DZ'e oranla daha büyük özgül yüzey alanına sahip olduğunu, en büyük yüzey alanına HCl formunda rastlandığını, asitle modifikasyonun yapıdaki diğer iyonları uzaklaştırdığını ve gözeneklerin düzgünlüğü arttırdığını, adsorpsiyon kapasitesinin H⁺>Ca>Li>Mg>Na>K⁺ sırasıyla azaldığını bildirilmiştir.

(Öz, 2012) deneysel çalışmasında, 0.125 – 0.25 mm fraksiyon boyutlarındaki doğal klinoptilolit numunelerini, asit modifikasyon için, 50g, 200 ml 6 N HCl çözeltisi ile 60 °C'de 4 saat

boyunca manyetik karıştırıcı ile işleme tabii tutmuştur. Kimyasal işlemi 2. bir kez tekrarlamıştır. Ardından saf su ile yıkama sonrası etüvde 24 saat kurutmuştur. Baz modifikasyon için, 50g, 200 ml, 3 N NaCl çözeltisi ile 60 °C'de 4 saat boyunca manyetik karıştırıcı ile işleme tabii tutmuştur. Kimyasal işlemi 2. bir kez tekrarlamıştır. Ardından saf su ile yıkama sonrası etüvde 24 saat kurutmuştur. Ağır metal adsorpsiyon verimini, farklı pH değerlerinde ve farklı sürelerde incelemiştir. Modifikasyonu yapılan numunelerin XRD, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve Scanning Electron Microscope (SEM) analiz raporlarını analiz etmiştir. HCl modifikasyonu ile ağır metal adsorpsiyonunun iyileştiğini, NaCl modifikasyonu ile asidik modifikasyona göre daha az iyileşme görüldüğünü, SEM ve XRD rapor sonuçlarına göre modifikasyonun gerçekleştiğinin doğrulandığını, pH 5.5'in adsorpsiyon ve adsorban eldesi için optimum değer olduğunu bildirmiştir.

3.3.2. Zeolitin Baz Modifikasyonu

Zeolitin BMZ için optimum pH düzeyi 1'dir. Zeolit yapısındaki Al miktarını arttırmak, Si/Al oranını azaltmak için tek etkin yöntem baz modifikasyonudur. Modifikasyon sonrasında, pH değerindeki artış ve Si iyonunun çözünmesine bağlı olarak Al₂O₃ miktarı artmaktadır. Bu durum zeolit iyonlarının katyon tutma kapasitesini yükseltmektedir. Literatürdeki DZ modifikasyon çalışmaları incelendiğinde bazik modifikasyon için en uygun konsantrasyonun 4N NaOH çözeltisi ile sağlandığı bilinmektedir. 4N derişiminde ana yapı amorflaşmakta ve Na-P formuna dönüşmektedir. Böylelikle optimum adsorpsiyon düzeyine ulaşılmaktadır. Si/Al oranının azalmasından dolayı metal sorpsiyonunda da artış gözlenmektedir. Özellikle Cu⁺² sorpsiyonunda önemli artışlar görülmektedir. NaOH modifikasyonu adsorbent yüzeyinde bozunmalara sebep olmaktadır, ancak saf su ile yıkama sonucu Si iyonları bir miktar yapıdan uzaklaşmakta ve suyun OH⁻ iyonu H₂SiO₃ zayıf asidini oluşturmaktadır. Böylece adsorpsiyon verimi artmaktadır (Öter, 2002).

(Küçükyıldırım, 2013) çalışmasında, DZ'in yapısında mikro ve makro pencereler, bu pencerelerin bağlandığı kanallar ve sonucunda açığa çıkan gözenekler olduğunu, bu yapıların bazı bileşenleri bünyesinde bulundurduğunu, asit modifikasyonu ile saf olmayan bu bileşenlerin adsorbent kimyasından uzaklaştığını, gözenek sayısının, yüzey hacminin ve pozitif iyon değişim kapasitesinin arttığını bildirmiştir. Bazik modifikasyonun, DZ'nin kimyasını kısmen ya da tamamen bozduğunu ve Si/Al oranını değiştirdiğini bildirmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

Yapılan bu deneysel çalışmada yapay sinir ağı ve motor performans parametreleri incelenmiştir.

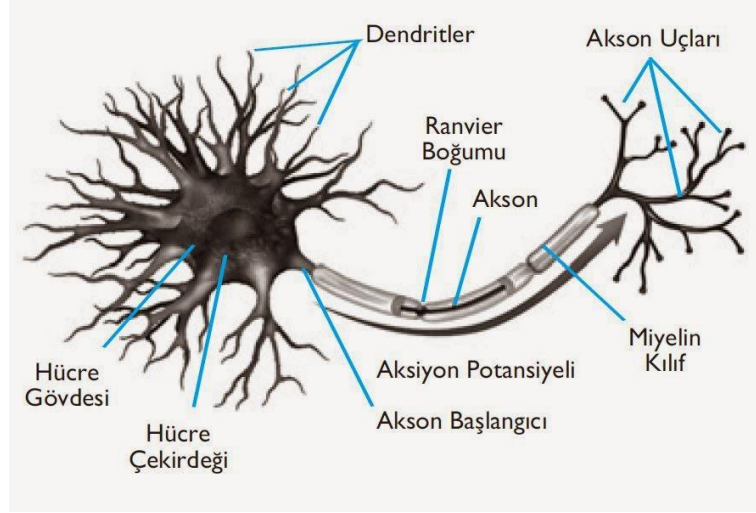
4.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA), İnsan beyninin öğrenme kabiliyetinden yola çıkarak, karmaşık yapıdaki problemlerin sinir hücreleri yardımıyla bilgisayarlara öğretilmesidir. Kısacası biyolojik sinir ağlarının simülasyonu olan yapay zekâlardır (Çuhadar, Güngör, & Göksu, 2009).

İnsan beyninde sinirsel iletim; dendritler, hücre gövdesi, akson ve sinapslar aracılığıyla gerçekleşmektedir (Sevinç, 2018). Sinir hücrelerinden sinyalleri dendritler alırken, aksonlar ise sinyallerin diğer hücelere geçişini sağlarlar (/dev/null Web Günlüğü, 2013).

Bir sinir hücresi, 5 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; dendrit, soma, akson, akson terminali ve miyelin kılıf olarak bilinmektedir. Ağaç köküne benzeyen ve dallanmış yapıdaki diğer nöronlardan iletiyi almakla görevli lifsi yapıya “dendrit” denilmektedir. Soma hücre gövdesi, içerisinde hücre çekirdeğini ve sitoplazmayı bulundurmaktadır. Sinir hücresinin sonunda, nokta uçlu, sinir ağında iletimi sağlayan akson bulunmaktadır. Diğer hücelere iletim sağlamak için, nörotransmitter keselerin sinaptik boşluğa bırakıldığı alan “akson terminali” olarak nitelendirilmektedir. Aksonların etrafını saran ve sinirsel uyarı hızını arttıran yalıtımsal lif ise “miyelin kılıf” olarak tanımlanmaktadır. İki miyelin kılıf arasında bir boşluk meydana gelir ve bunlar “ranvier boşlukları” olarak adlandırılır. Sinirsel uyarı, bu boşluklar üzerinden sıçrama şeklinde ilerlemektedir. Akson sinir uçlarındaki uyarının, akson terminalinden diğer bir nörona ranvier boşlukları üzerinden sıçrayarak geçişine “sinaptik iletim” adı verilmektedir.

Bir sinir hücresinde sinirsel iletim tüm bu kısımlar aracılığıyla gerçekleşmektedir (ankara.edu.tr). Şekil 4.1’de bir biyolojik nöronun (sinir hücresi) yapısı görülmektedir.



Şekil 4.1. Bir biyolojik nöronun (sinir hücresi) yapısı (ankara.edu.tr)

Tüm bu biyolojik sinir hücre yapısından ilham alınarak, insan beyninin öğrenme, eğitilme gibi kabiliyetleri, birçok sektörde iş kolaylığı ve veri fazlalığını en aza indirmek için matematiksel modelleme ile bilgisayar ortamında yapay olarak canlandırılmaktadır. Bu yapay simülasyona “Yapay Sinir Ağı (YSA)” adı verilmektedir. Yapay sinir hücrelerinin (nöronlarının) birbirine bağlanmasıyla YSA oluşur.

4.1.1. YSA Katmanları

YSA, giriş, ara ve çıkış katmanları olmak üzere üç başlıkta incelenir ve bu katmanlar Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

i. Girdi Katmanı

Dış dünyadan gelen girdilerin YSA’ya alındığı giriş katmanıdır. Girdi katmanı, çözülmek istenen konuya etki eden faktörlerden oluşmaktadır. Bu katmandaki nöronların varlığı ise, probleme etki eden faktörlerin sayısı ile doğru orantılıdır. Genelde girdiler herhangi bir işleme tâbi tutulmadan alt katmanlara gönderilmektedir (Çuhadar, Güngör, & Göksu, 2009).

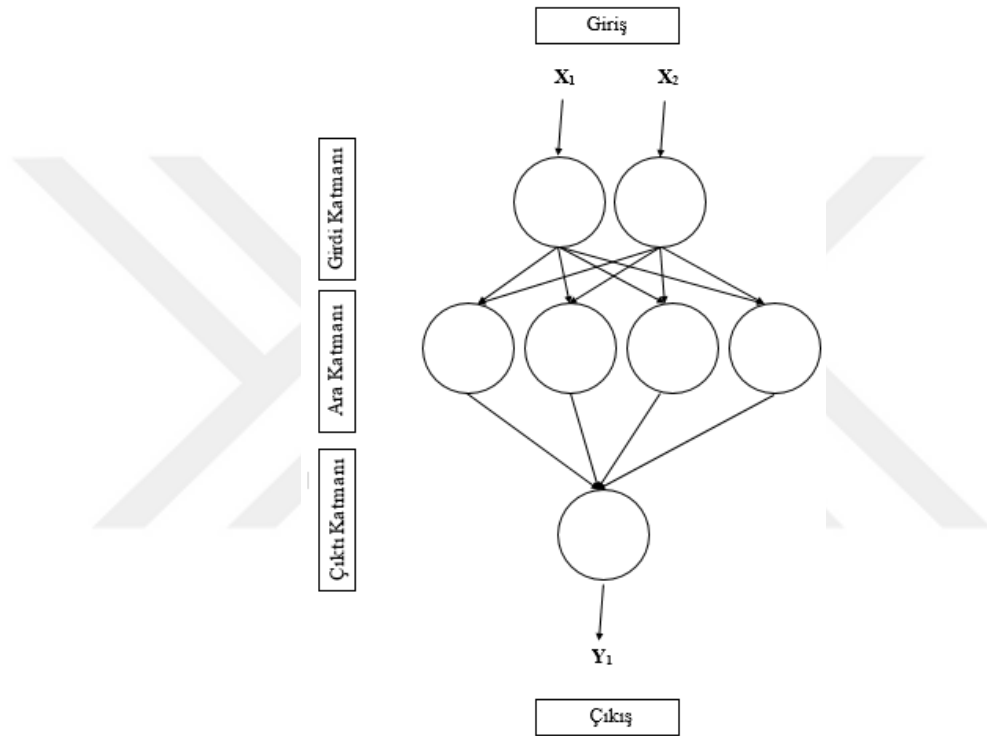
ii. Ara Katmanı

Bu katmandaki nöronlar, dış dünyadan bağımsız olup, giriş katmanından gelen sinyalleri çıkış katmanına iletmekle görevlidirler. Ara katmanların ve ara katmanlardaki nöronların sayısı, giriş ve çıkış katmanlarından ve giriş ve çıkış katmanlarındaki nöronların sayılarından bağımsız olmaktadır. Ara katman sayısı ağdan ağa fark gösterebilmektedir. Giriş katmanından gelen eşik değer üzerindeki girdiler, bağlantılarının ağırlıkları ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Bulunan ağırlık değerleri, girdinin çıktısı üzerindeki etkisini belirlemektedir (Sevinç, 2018). Giriş

katmanından gelen girdiler, bu katmanda işlenerek çıktı katmanına gönderilmektedir (Öztemel, 2012).

iii. Çıktı Katmanı

Üretilmesi gereken çıktı belirlendikten sonra, çıktı girdisi oluşturularak bu katmandan dış dünyaya aktarılmaktadır. Bir veya daha fazla değişken ile başlayan YSA girdilerinin tek bir çıktısı mevcuttur (Sevinç, 2018).



Şekil 4.2. YSA'nın katmanları (Karaatlı, Helvacıoğlu, Ömürbek, & Tokgöz, 2012)

4.1.2. YSA'nın Eğitilmesi

Biyolojik sinir sisteminden yola çıkarak, makinelere yapay zekâ eğitim ve öğretimi verilmiştir. Bazı yapay zekâ modelleri şunlardır;

- Uzman Sistemler
- Yapay Sinir Ağları (YSA)
- Genetik Algoritma
- Zeki Etmenler
- Bulanık Önerme Mantığı

Bu yapay zekâ teknolojilerinden YSA bilgisayarların eğitilmesini ve öğrenmesini sağlamaktadır. YSA'nın öğrenmesi için belirli öğrenme modelleri geliştirilmiştir. Danışmanlı

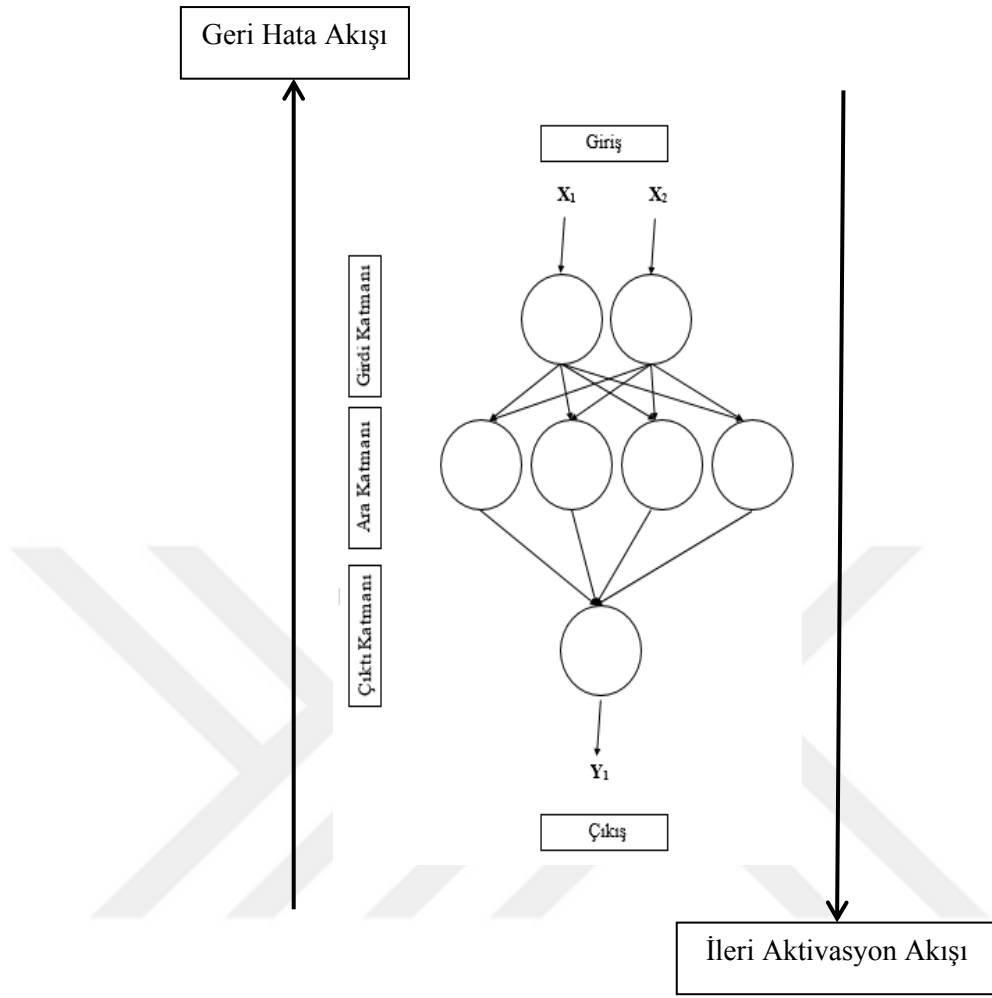
(öğretmenli) öğrenme, destekli öğrenme, danışmansız (öğretmensiz) öğrenme modelleri YSA' nın eğitimi için kullanılan başlıca modellerdir. YSA' nın eğitilmesinde en çok danışmanlı öğretim modelinden yararlanılmaktadır. Bu modelin eğitiminde Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA), Geri Yayılım Algoritması (GYA) (Back Propagation Networks), Hatayı Geri Yayma Modeli (Error Back Propagation) gibi isimlerle bilinen eğitim sisteminden yararlanılmaktadır (Karaatlı, Helvacıoğlu, Ömürbek, & Tokgöz, 2012). ÇKA eğitim sistemi, özellikle mühendislik alanında kullanılmakta, bu alanda problemlerin %95'ine olumlu sonuç verebilmektedir. ÇKA, girdi katmanı, ara/gizli katmanı, çıktı katmanı olmak üzere üç katmandan oluşan bir ağıdır (Öztemel, 2012). ÇKA ağları, Exclusive OR (XOR) probleminin çözüm sürecinde oluşturulan, Rumelhart ve arkadaşları tarafından geliştirilen bir sistemdir. ÇKA ağlarının öğrenme prensibi matematiksel olarak Denklem 4.1'de olduğu gibi;

$$W_{Yeni} = W_{Eski} + \Delta W \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Teoride “Delta Kuralı” olarak adlandırılır. Bu kural, bir nöronun girdi değeri ile çıktı değeri arasındaki hata payını minimize etmek için, ağırlık değerlerini kontrol altında tutulmaya çalışması prensibine dayanmaktadır. Bağlantı ağırlıklarındaki sürekli değişim, en uygun ağırlık değerini bulmak amacıyla gerçekleştirilir. Optimum ağırlık değerlerinin bulunması işlemine “ağın eğitilmesi” denilmektedir. Bu ağ yapısında, “Danışmanlı Öğrenme” modeli kullanılmaktadır. Danışmanlı öğretim modelinde danışman, ağa girdi değerleri ve çıktı değerleri gönderir. YSA' nın danışmanın verdiği çıktı değerlerine uygun çıktı oluşturması beklenmektedir. Ağa tanıtılan girdilere karşılık çıktı üretilmesi “ileri doğru hesaplama” olarak adlandırılır. Danışmanın verdiği çıktı değeri ile modelin belirlediği çıktı değeri arasındaki fark, hata payını ifade etmektedir. Bu farka göre ağırlık değerlerinin değişimi “geriye doğru hesaplama” olarak adlandırılmaktadır (Öztemel, 2012).

Şekil 4.3' de, çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 4.3. Çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) ağ yapısı (Karaatlı, Helvacıoğlu, Ömürbek, & Tokgöz, 2012)

4.2. Motor Performans Parametreleri

İYM'lerde motor performans parametreleri, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı, titreşim ve gürültü olarak sınıflandırılabilir.

a. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

İYM'lerde, motorun birim zamanda, birim güç için saatte harcadığı ağırlıkça yakıt miktarıdır. ÖYT, motor verimi ile ters orantılı olup, değerinin belirlenmesinde H/Y oranı etkin bir parametre olarak bilinmektedir. Matematiksel formülizasyonu, Denklem 5.1'de gösterilmektedir;

$$[b_e (\text{gr/kWh})] = [(B [(\text{kg/h}) / N_e]) \cdot 1000] \quad (5.1)$$

Formülde;

b_e : Özgül Yakıt Tüketimi

B: Yakıt Tüketim Miktarı

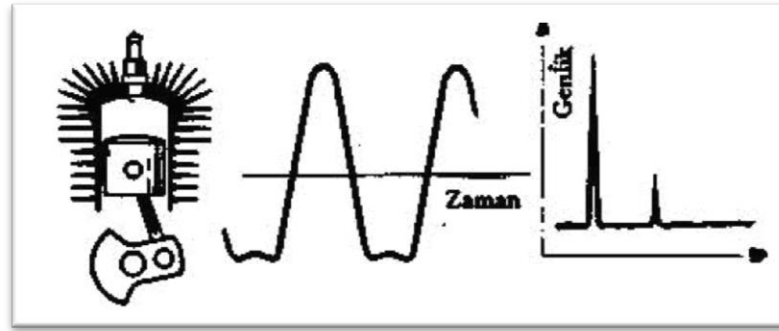
N_e : Efektif Motor Gücü' nü sembolize etmektedir.

b. Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS)

EGS, motor yanma verimini, motor performansını ve egzoz emisyon değerlerini etkileyen önemli bir motor performans parametresidir. Motorun egzoz gaz sıcaklığının bilinmesi, motorun çalışma şartları ve verimi hakkında bilgi vermektedir.

c. Titreşim ve Gürültü

Bir kütlelin belirli bir noktaya göre yaptığı salınım hareketi “titreşim”, bir saniyede yaptığı çevrim ve/veya salınım hareketlerinin miktarı ise “titreşim sıklığı” olarak adlandırılmaktadır. Titreşim, aynı zamanda birden fazla aksam arasında gerçekleşen sürtünme, itme, dönme vb. hareket işlevlerinde ekipmanların dengeli olmamasından doğan önemli bir motor performans parametresidir. Titreşimler, düşük şiddetle başlamaktadır. Titreşim sıklığının artmasıyla “gürültü” ve sonrasında yanma odasında zengin O_2 yoğunluğu, kontrolsüz yanma, yanma odası alev sıcaklığının ani yükselmesi, araç motor ekipmanlarında bakım/onarım aksaklıklarından doğan mekanik hasarlar meydana gelmesi gibi durumlarda “vuruntu” ile sonlanmaktadır. İYM’larda motor pistonlarının hareketi farklı titreşim sıklıklarında ve birçok bileşenden titreşimler meydana getirmektedir. Şekil 4.4’ de piston hareketinin titreşim sıklığının zamana ve genliğe bağlı grafikleri gösterilmektedir (Cinalioğlu).



Şekil 4.4. Piston hareketlerinin titreşim analizi (Cinalioğlu)

Titreşim değişkenleri, ISO 1000 standartlarına göre metrik olarak ölçülmekte ve bu değişkenlerin elektriksel göstergeye çevrilmesiyle titreşim analiz edilebilmektedir. Analiz işlemi “değiştirgeçler” yardımıyla yapılabilmektedir. İki tür değiştirgeç bulunmaktadır;

1. Bağımsız ve kesin titreşimi analiz eden, hız parametresine hassasiyeti olan sismik değiştirgeç
2. İvme parametresine hassasiyeti olan piezoelektrik değiştirgeçtir (Cinalioğlu).

Bir taşıt, ileri-geri, aşağı yukarı ve yana olmak üzere üç doğrusal, ayrıca yalpa, savrulma ve başvurma olmak üzere üç ağısal hareket ile titreşimler yapmaktadır (Keskin, 2017).

Yüksek desibel düzeyindeki mekanik sesler, motor aksamlarında yıpranma, sürücü ve yolcularda meydana getirdiği stres ve panik faktörü gibi birçok nedenle titreşim ve gürültü büyük ölçüde istenmemektedir.

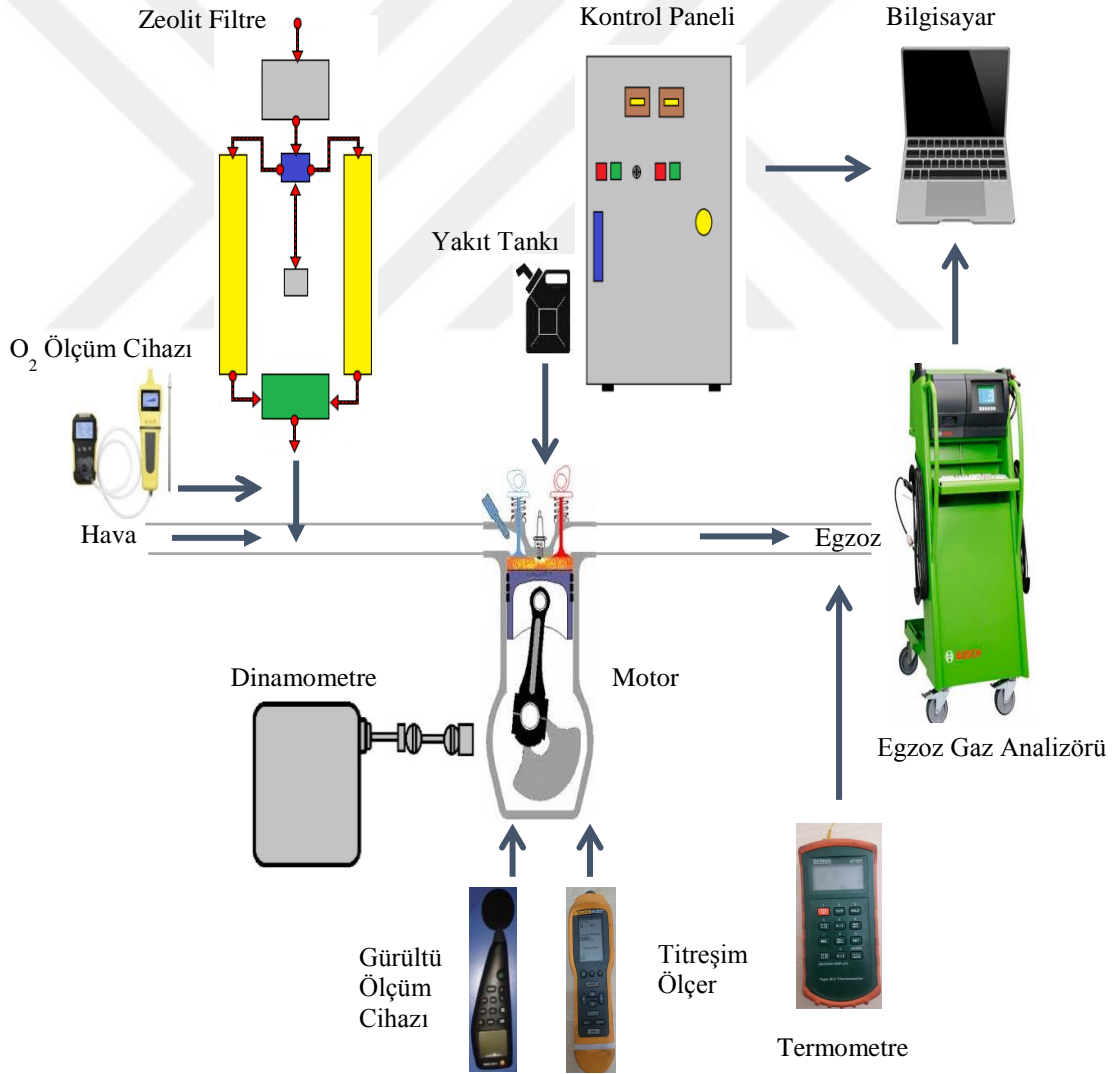


DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, 4 farklı zeolit yardımıyla havadaki azotun absorbe edilerek, oksijen oranının artırılması ve bu oksijenle zenginleştirilmiş havanın bir dizel motora beslenmesiyle CO, CO₂, HC, NO_x, duman yoğunluğu, ÖYT, EGS, titreşim ve gürültü parametrelerinin değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla, bir zeolit filtre sistemi tasarlanmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar ile vakit, insan gücü ve maddi kayıplara neden olan deneysel çalışmaları azaltma kabiliyetine sahip bir YSA modeli tasarlanıp, performansı incelenmiştir.

4.3. Deyide Kullanılan Araç ve Malzemeler

Şekil 4.5’de deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği test düzeneğinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 4.5. Motor test düzeneğinin şematik görünümü

Deneyin ilk aşamasında, silindirik zeolit tüp haznesine yerleştirilecek olan doğal zeolitin, baz ve asit ile modifikasyonları gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamasında, zeolitteki saflaştırma mekanizmasını sağlayacak bir filtre sistemi tasarlanmıştır. Üçüncü aşamasında ise, tasarlanan ZF'nin ve filtre sisteminin saflaştırdığı havanın yanma odasına beslenebilmesi amacıyla oksijen giriş rekoru üretilmiş ve motorun emme manifoldu üzerine montajı yapılmıştır.

Deneyin sonraki aşamaları, dizel motorda yapılan deneysel ölçümlerden oluşmaktadır. Her motor deneyi öncesinde, yakıt düzeyi ve pompası, enjektör ayarları, motor test tezgahının dış aksamları kontrol edilmiştir. Ayrıca, dizel motor 20 dakika rölanti devrinde çalıştırılarak, deneysel çalışma için optimum motor sıcaklığına ulaşılması sağlanmıştır. Tüm motor deneyleri, yarım yük (%50) altında, standart dizel yakıtı NO.2D kullanılarak, 1700-2900 devir aralıklarında yapılmış ve her bir parametreden 41 ölçüm alınmıştır.

Dördüncü aşamada, SDM'ye ait CO, CO₂, HC, NO_x ve duman yoğunluğu egzoz emisyon parametreleri ile ÖYT, titreşim, gürültü ve EGS motor performans değerleri egzoz gazı analiz cihazı ile belirlenmiştir.

Beşinci aşamada, motor emme manifolduna, dış ortam havasına ek olarak, oksijen giriş rekorundan, ZF'nin ayrıştırdığı saflaştırılmış O₂ girişi sağlanmıştır. Moleküler elek filtrenin her iki zeolit tüp haznesine bu aşamada 13X HP model, boncuk formda, 0.4–0.8 mm boyutlarında sentetik zeolit (işlenmiş ticari klinoptilolit) yerleştirilmiştir. Bu şartlarda yanma odasına havaya ek olarak saflaştırılan O₂'nin de katılması sağlanılmıştır. SDM çalışması incelenerek, egzoz emisyon ve motor performans parametreleri egzoz gazı analiz cihazı ile ölçülmüştür. Her bir parametre için 41 ölçüm alınmıştır.

Deneyin altıncı aşamasında, moleküler elek filtrenin iki zeolit tüp haznesine doğal zeolit (klinoptilolit) yerleştirilerek zeolitin, tasarlanan moleküler elek filtre yardımıyla havayı saflaştırması ve havanın O₂ yoğunluğunu arttırması sağlanılmıştır. Dizel motor emme hattından yanma odasına alınan dış ortam havasına ek olarak, oksijen giriş rekorundan ZF'nin ürettiği hattına O₂ dahil edilmiştir. Doğal zeolitler, moleküler elek sisteminde yer alan zeolit tüplere yerleştirilmeden önce, tüpler temizlenmiş ve basınçlı hava ile kurutulmuştur. DZ'nin çalışması incelenerek, egzoz emisyon ve motor performans parametreleri, eş zamanlı olarak, egzoz gazı analiz cihazı ile ölçülmüştür. Her bir parametreden 41 ölçüm alınmıştır. DZ'nin, SDM'a göre oluşturduğu değişiklikler analiz edilmiştir.

Yedinci aşamada, ZF'deki her iki zeolit tüp haznesine, baz ile modifiye edilmiş BMZ yerleştirilmiştir. Zeolitlerin tüplere yerleştirilmesinden önce tüpler, basınçlı hava ile temizlenmiştir. ZF'de AMZ kullanımında, hava ön saflaştırılması gerçekleşmiş ve üretilen O₂, oksijen giriş rekorundan yanma odasına gönderilmiştir. Bu şartlarda çalışan bir dizel motorun, egzoz emisyon ve motor performans değerleri eş zamanlı ölçülmüştür. Her bir parametre için 41 ölçüm alınmıştır.

Sekizinci aşamada, moleküler elek tasarımındaki her iki zeolit tüp haznesine AMZ yerleştirilmiştir. Tüpler zeolit ile doldurulmadan önce temizlenerek basınçlı havaya tabi tutulmuştur. ZF’de AMZ kullanımı ile üretilen oksijen, oksijen giriş rekorundan motor emme hattına dahil edilmiştir. Bu şartlarda çalışan bir dizel motorunun, egzoz emisyon ve motor performans değerleri eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Her bir parametre için 41 ölçüm yapılmıştır.

Deneyin son aşamasında MATLAB R2016a programında YSA modellemesi yapılarak, motor deneylerinden alınan ölçümler YSA’nın eğitilmesinde kullanılmıştır. YSA ile vakit, insan gücü ve maddi kayıplara neden olan deneysel çalışmalar azaltılarak performans incelemesi yapılmıştır. YSA, ürettiği tahmin değerler ve motor ölçüm sonuçları arasında minimum ve maksimum hata oranları oluşturarak, egzoz emisyon ve motor performans parametrelerinin analiz edilmesini sağlamıştır.

4.4. Motor Test Düzeneği

Yapılan bu deneysel çalışmada, Cussons P8160 Model, elektrikli dinamometre düzeneğine sahip, motor test tezgâhı kullanılmıştır. Cussons P8160 Model motor test tezgâhının görünümü Şekil 4.6’ da verilmiştir.



Şekil 4.6. Cussons P8160 model motor test tezgâhının görünümü

4.5. Dizel Motor

Bu deneysel çalışmada, Antor marka, 6LD 400 model, tek silindirli, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı, bir dizel motor kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan dizel motor Şekil 4.7’ de görülmektedir. Deneyde kullanılan dizel motora ait teknik bilgiler Tablo 4.1 ‘ de verilmiştir. Tasarlanan moleküler elek filtre ile havanın saflaştırılması sonucu açığa çıkan O₂’ nin motor emme hattına dahil olmasını sağlayan O₂ giriş rekoru tasarlanarak emme hattına modifiye edilmiştir. O₂

giriş rekoru işaretlenerek Şekil 4.7’ de gösterilmiştir. Normal havaya ek olarak saflaştırılmış havanın yanma odasına geçişi bu rekordan sağlanmıştır.



Şekil 4.7. Motor emme hattına O₂ giriş rekoru

Tablo 4.1. Deneyde kullanılan dizel motoruna ait teknik bilgiler

Marka / Model	Antor 6LD 400
Motor Tipi	Dizel-Tek Silindirli
Silindir Hacmi	395.0 cc
Güç	8.5 HP
Ağırlık	45 kg
Çalışma Şekli	İpli
Tork	2 kg-M@2200 d/dk
Strok Sayısı	4
Püskürtme Şekli	Direkt Püskürtmeli
Silindir Çapı	86 mm
Püskürtme Basıncı	200 kg/cm ²
Soğutma Şekli	Hava Soğutmalı
Verim Kapasitesi	Yüksek
Sıkıştırma Oranı	18/1
Karter Yağ Kapasitesi	1.2 lt
Yağ Tüketimi	11.5 gr/h

4.6. Basınçlı Moleküler Elek Sistemi

Yanma odasına alınan havanın oksijence zenginleştirilmesi için basınç salınımı yolu ile havanın saflaştırılmasını sağlayan bir ZF sistemi üretilmiştir. Filtrenin ana malzemesi zeolittir.

DeneySEL çalışmanın ilk aşamalarında, zeolit filtre (ZF) tasarımı yapılmıştır. Denemeler için ön prototip zeolit tüp haznesi üretilmiştir. Üretilen zeolit tüp haznesi Şekil 4.8' de gösterilmektedir.

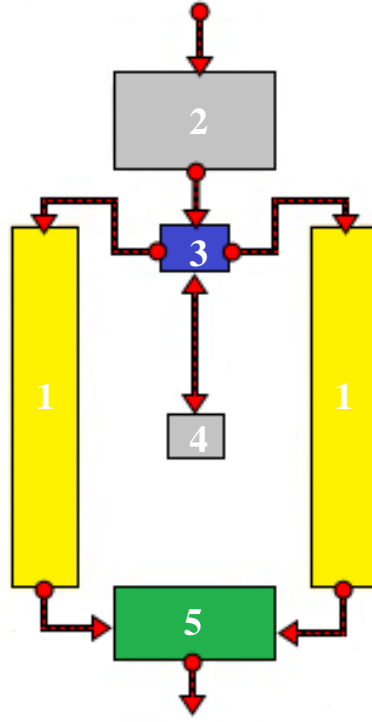


Şekil 4.8. Zeolit tüpün tasarım süreci

Daha sonra tüm parçaları belirlenerek filtre sistemi oluşturulmuştur. Filtre, kuru hava kompresörü, çift yönlü valf, iki zeolit tüp haznesi, ürün toplama tankı ve bağlantı borularından oluşmaktadır. Bu deneysel çalışma için tasarlanan basınçlı moleküler elek sistemi Şekil 4.9' da görülmektedir. Filtre sisteminin şematik hali ise Şekil 4.10' da verilmiştir.



Şekil 4.9. Basınçlı moleküler elek sistemi



(1. Zeolit tüp, 2. Hava kompresörü, 3. Kontrol valfi, 4. Kontrol ünitesi, 5. Toplama tankı)

Şekil 4.10. ZF sisteminin şema görünümü

Hava yanma odasına alınmadan önce, zeolit tarafından ön saflaştırma işlemini sağlanabilmesi için satın alınan doğal, modifiyeli ve sentetik zeolitler, tasarımda yer alan 2 zeolit tüp haznesine yerleştirilerek haznenin girişine kuru hava kompresörü ile basınç uygulanmıştır. Basınç altındaki hava, zeolit tüpten geçirilerek filtrasyon sağlanmıştır. Hava saflaştırma işlemi iki zeolit filtrede sırasıyla gerçekleşmekte olup, elde edilen toplam saf O₂ hava toplama tankında depo edilmektedir. Tankta bağlı çıkış hortumundan saflaşan havanın dış ortama verilmesi sağlanılmıştır. Saflaştırılan havanın yanma odasına tam olarak gönderilebilmesi için, motor emme hattında yanma odasına yakın olan sabit bir nokta belirlenerek, O₂ giriş rekorunun montajı yapılmıştır. Saflaştırılan havanın tamamının O₂ giriş rekorundan yanma odasına çekilmesi sağlanılmıştır.

Tasarlanan filtre sistemi' nin temeli, havanın kapalı ortamda basınca maruz kalması ve basınç altında azotun tutulması, dolayısıyla oksijen açığa çıkartılması prensibine dayanmaktadır. Filtre sistemi; kuru hava kompresörü, iki adet zeolit tüp, çift yönlü iki valf, ürün toplama tankı ve regülatörden oluşmaktadır. Silindir haznesine SZ, DZ, BMZ ve AMZ tipleri 4 farklı ölçüm alınmak suretiyle yerleştirilmiştir. Silindirlere uygulanan hava ve basınç kompresörden karşılanmaktadır. Oksijen üretiminin optimum duruma gelebilmesi için silindirlere ayrılaştırılan oksijen ürün toplama tankına gönderilerek tank deposu doluncaya kadar burada biriktirilmektedir. Hava, valf kapakçığından birinci silindire gitmektedir. Silindir içerisindeki zeolit, havanın

azotunu basınç altında adsorplayarak oksijeni ayrıştırmaktadır ve üretilen oksijen tanka ulaştırılmaktadır. Bu sırada birinci silindir içerisindeki zeolitler doygunluğa ulaştığı için, silindirin basıncı düşürülerek azotun dışarıya atılması sağlanılmaktadır. Oksijenin devamlı üretilmesi için birinci silindir havası egzoz yapılırken, oksijen üretimi ikinci silindirde devam etmektedir. Silindirler arasında basıncın ve havanın paylaşılabilmesi için iki zeolit tüp birbirine boru ile bağlanmıştır. Döngü tankta yeterli oksijen depolanıncaya dek devam etmektedir. Tankın 20-25PSI değerlerine ulaşması o an oksijen saflaştırıcı silindirik tüpün doyuma ulaştığını göstermektedir. Bu durumda hava egzoz ile atılarak, süreç ikinci tüpte başlamaktadır. Hava ve basınç çıkışının büyük bir kısmı çift yönlü valflerin zeolite tüpleri arasında açılıp kapanması ile kompresör havasının tüplere geçişine izin verilmesinden kaynaklanmaktadır. Havanın basınç ile zeolitlere gönderilmeden önce silindir girişinde yer alan toz filtresinden geçirilerek temizlenmesi sağlanmıştır. Optimum oksijen saflığı elde edebilmek için silindir çıkışında yer alan ve mikron boyutundaki tanecikleri tutabilen ince kağıt filtre ile havanın ikinci bir kez filtrasyona uğraması sağlanmıştır. İşlem sonunda açığa çıkan oksijence zenginleştirilmiş havanın çıkış basıncı yaklaşık 15 PSI olarak ayarlanmıştır. Üretilen saf oksijen çıkış borusundan motor emme hattına montajı gerçekleştirilen O₂ giriş rekoruna bağlanmıştır. Artan devir şartlarına bağlı yanma odasına gönderilen daha temiz havanın yakıt tüketimine, yanma verimine ve motor performans değerlerine etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada, emme manifoldundan motor yanma odasına alınacak olan hava, moleküler elek filtre kullanılarak, yüksek basınç altında, saflaştırılmak istenmiş, bunun içinde SZ ve DZ, ayrıca doğal zeolit modifikasyonlarından yararlanılmıştır. Zeolit mineralinin havayı saflaştırması, zeolitın iyon değiştirme özelliği sayesinde, havadaki N₂' yi absorbe etmesi sonucu gerçekleşmektedir.

4.7. Çalışmada Kullanılan Zeolit Tipleri

Bu deney çalışması sırasında doğal zeolit (DZ), sentetik zeolit (SZ), baz modifiyeli zeolit (BMZ) ve asit modifiyeli zeolit (AMZ) olmak üzere 4 tip zeolit kullanılmıştır.

4.7.1. Doğal zeolit (DZ)

Bu deneysel çalışmada klinoptilolit kullanılmasının başlıca sebepleri, bu mineraline ait ülkemizde çokça rezerv bulunması, höylandit zeolit türünün 230°C' de faz değişimi gerçekleştirmesine, 350°C' de ise tamamen amorflaşmasına rağmen klinoptilolitin 700 °C gibi yüksek sıcaklıklarda dahi bozulmadan kalabilmesi ve klinoptilolitin yüksek absorpsiyon yeteneği olmasıdır (Bilgin & Kantarcı, 2018). Bir diğer önemli sebebi de Klinoptilolit' in SO₂, H₂S ve CO₂ gibi gazların tutulmasıyla havanın oksijence zenginleştirilmesini sağlamasıdır (Soylu & Gökkuş,

2017). Klinoptilolit, 1.5-11 pH aralığına sahip, camsı, yarı veya tam saydam, doğada beyaz, pembe, sarı, kırmızımsı renklerde görülebilen, $(Na_{0,5}K_{2,5})(Ca_{1,0}Mg_{0,5})(Al_6Si_{30})O_{72} \cdot 24H_2O$ kimyasal formülüne sahip silikatlardır (Bilgin, 2009). Klinoptilolit, yeryüzünde doğal halde bulunan zeolit alümina silikatlarının bir tipidir. Tüm dünyada, zeolit rezervlerinden yılda yaklaşık 4 milyon ton zeolit çıkartılmaktadır. Bu zeolitlerin en çok kullanılan tipi Klinoptilolittir ve ülkemiz Klinoptilolit rezervi bakımından oldukça zengindir (Soylu & Gökkuş, 2017). Şekil 4.11 (a)'da deney için ticari olarak satın alınan doğal klinoptilolit gösterilmektedir. Şekil 4.11 (b)'de ise daha küçük taneli klinoptilolit gösterilmektedir. Tablo 4.2' de Klinoptilolit'e ait bazı özellikler verilmiştir.



Şekil 4.11. Farklı tane boyutlarındaki doğal zeolit (Klinoptilolit)

Tablo 4.1. Klinoptilolit'e ait bazı özellikler

KLİNOPTİLOLİT	
Kimyasal Formülü	$(Na_{0,5}K_{2,5})(Ca_{1,0}Mg_{0,5})(Al_6Si_{30})O_{72} \cdot 24H_2O$
Özgül Ağırlık	2.2 g/cm ³
Boşluk Hacmi	34 g/cm ³
Asit Dayanıklılığı	(Ph): 2
Baz Dayanıklılığı	(Ph): 12
Isıl Kararlılık	750 °C
Renk	Renksiz, beyaz, pembe, sarı, kırmızımsı
Si/Al Oranı	0.425-5.25
Kristal Boyutu	5-15 µm
Ortalama Gözenek Yarıçapı	0.041 µm
Simetri	Monoklinik
Adsorpladığı En Geniş Molekül	O ₂
Molekül Değişim Önceliği	Cs ⁺ >K ⁺ >Sr ⁺² =Ba ⁺² >Ca ⁺² >>Na ⁺ >L ⁺
Molekül Değişim Önceliği	Pb ⁺² >A ⁺ >Cd ⁺² >Zn ⁺² >Cu>Na ⁺
Ağ Örgüsü	Bal peteği veya kafes görünümünde
Birincil Yapı Molekülleri	Al, Si
İkincil Yapı Molekülü	O ₂
İyon Değişim Kapasitesi	2.26-3.10 meq g-1

4.7.2. Sentetik Zeolit (SZ)

Bu deneysel çalışmada SZ olarak, iyon değiştirme özelliği optimum şartlarda olan, ticarileşmiş, gözenekli yapıda, havayı ayırıştırarak O₂ üretimi sağlayan, N₂' yi absorbe etme özelliğinde 13X HP tipi, 0.4-0.8 mm fraksiyon boyutlarında olan zolit minerali tercih edilmiştir. Sentetik zeolit doğal zeolitten çok daha maliyetlidir. Bu durum, sentetik zeolit üreticilerinin, zeolitın hangi amaç ve işlevde kullanılacağını dikkate alarak, uygun modifikasyon işlemlerini belirlemesi ve istenilen optimum şartları sağlayacak olan zeolit tiplerini üretmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada zeolitın iyon değişim özelliğinden yararlanılmış, bunun için sentetik zeolit alımında, mineralin absorpsiyon yeteneği göz önüne alınmıştır. Absorpsiyon yeteneği, iyon değişim hızı ve yapısındaki boşluk oranı doğal ve modifiye zeolitlere kıyasla daha iyi olan 13X HP model SZ deneysel çalışma için uygun bulunmuştur. şekil 4.12'de deneyde kullanılan 13X HP tipi sentetik zeolit gösterilmektedir.

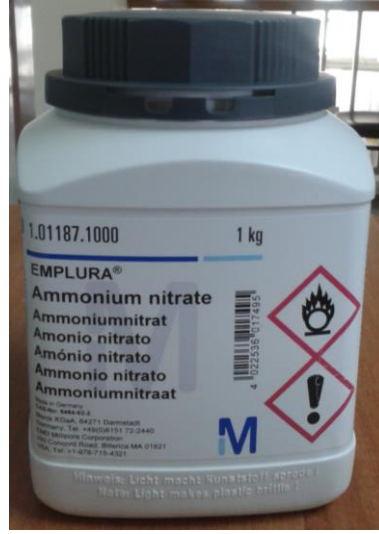


şekil 4.12. 13X HP model sentetik zeolit

4.7.3. Baz Modifiye Zeolit (BMZ)

Zeolitler, yapılarında bulundurdukları pencereler, boşluklar ve gözenekler aracılığıyla adsorpsiyon, desorpsiyon, iyon seçiciliği ve gözenek boyutlarından daha küçük tanecik yapısına sahip bazı bileşenleri tutabilme gibi birçok avantajlı özelliğe sahiptirler. Bu etkenlere rağmen doğal zeolitler istenilen saflığı ham halleri ile gerçekleştirememektedirler. Seçimliliği yükseltmek ve istenilen özelliğe sahip sabit bir faz elde etmek için modifikasyona uğramaları gerekmektedir.

Bu deneysel çalışmada, zeolitın baz modifikasyonu öncesi yapılan amonyum nitrat ile muamele işlemleri için ticari olarak 1'er kg'lık ambalajlar halinde Amonyum Nitrat kimyasal malzemesi temin edilmiştir. Amonyum Nitrat kimyasalı şekil 4.13'de görülmekte olup, kimyasal hakkındaki teknik veriler Tablo 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Amonyum nitrat (NH_4NO_3) kimyasalı

Tablo 4.2. Amonyum nitrat (NH_4NO_3) kimyasalına ait teknik bilgiler

Kimyasal Adı	Amonyum Nitrat (NH_4NO_3)
Molekül Ağırlığı	80.04 g / mol
Safılık	$\geq 95.0 \%$
Klor (Cl)	$\leq 0.002 \%$
Fosfat (PO_4)	$\leq 0.0005 \%$
Sülfat (SO_4)	$\leq 0.01 \%$
Ağır Metaller (Pb)	$\leq 0.001 \%$
Kalsiyum (Ca)	$\leq 0.005 \%$
Demir (Fe)	$\leq 0.0005 \%$
Magnezyum (Mg)	$\leq 0.001 \%$

Çalışma dahilinde ayrıca, zeolitin NaOH bazı ile kimyasal modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Baz modifikasyonu öncesinde, 1.6-3 mm fraksiyon boyutundaki klinoptilolit numuneleri, yüzey alanını genişletmek, iyon değişim kapasitesini ve adsorpsiyon yeteneğini arttırmak için kül fırınında $550 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 4 saat boyunca kuru kuruya kalsine edilmiştir. Şekil 4.14 (a)'da 1.6-3 mm tane boyutlu doğal klinoptilolit, Şekil 4.14 (b)'de ise daha ufak tane boyutlu kalsine klinoptilolit gösterilmektedir. Deney çalışması sırasında 2 farklı boyutlu klinoptilolit üzerinde inceleme yapılmıştır. Ufak tane boyutlu klinoptilolit numunesinin modifikasyonlar sırasında tanecik boyutunda önemli kayıplar yaşandığı, modifikasyonlar sonucu harcanan kimyasal malzeme miktarına oranla elde edilen ürün miktarının yetersiz olduğu görülmüştür. Deney sırasında kullanılacak olan klinoptilolit numunesinin, tasarlanan ZF'den basıncın aktif olarak geçişine izin vermesi ve motor deneylerinde filtreden dizel motoruna kaçak yapmayacak,

dolayısıyla deneyler sırasında sorun teşkil etmeyecek boyutta olması istenilmektedir. Ayrıca kimyasal sürecin uzamaması, deney için yeterli numune elde edilebilmesi ve harcanan kimyasal miktarının da optimum düzeyde tutulabilmesi için 1.6-3 mm tane boyutları arasındaki klinoptilolit numunesinin kullanımı uygun bulunmuştur.



Şekil 4.14. Farklı tane boyutlu klinoptilolitlerin kalsinasyon sonrası görünüşleri

Kalsine edilen zeolitin 20g'ı ana yapıyı tam olarak açığa çıkarmak için 100 ml, 5M 40g Amonyum Nitrat (NH_4NO_3) ile 4 saat boyunca geri soğutucu altında $90\text{ }^\circ\text{C}$ 'de muamele edilmiş, ardından 2-3 kez saf su ile yıkanarak etüvde $105\text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuştur. Bağlayıcı özellik kazanan zeolitlerin gözeneklilik oranının maksimum olabilmesi için yeniden kül fırınında $550\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 4 saat boyunca kuru kuruya kalsine edilmiştir. Şekil 4.15'de amonyum nitratlı kalsine klinoptilolit numunesi gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Amonyum nitratlı (NH_4NO_3) kalsine klinoptilolit

Bu deneysel çalışmada, zeolitin baz modifikasyonu için ticari olarak 1kg'lık ambalajlar halinde, payet formda, teknik kaliteye sahip NaOH kimyasal malzemesi satın alınmıştır. NaOH kimyasalı Şekil 4.16'da gösterilmekte olup, kimyasal hakkındaki teknik bilgiler Tablo 4.4'de yer almaktadır.

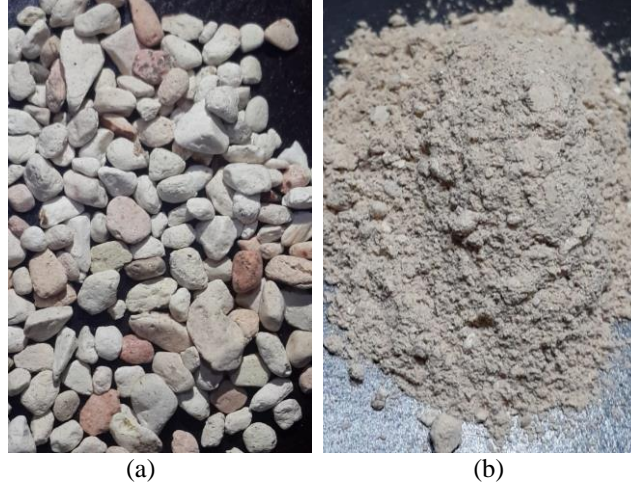


Şekil 4.16. NaOH kimyasal malzemesi

Tablo 4.3. NaOH kimyasal malzemesine ait teknik bilgiler

Kimyasal Adı	Sodyum Hidroksit (NaOH)
Türü	Baz
Safiyet	≥ 98 %
Sodyum Karbonat (Na₂CO₃)	≤ 0.5 %
Sodyum Klorür (Cl)	≤ 0.02 %
Demir (Fe)	≤ 0.001 %
Form	Payet

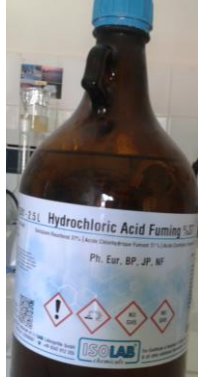
Zeolitin baz modifikasyonunun ikinci aşamasında, Sodyum Hidroksit (NaOH) baz türü kullanılmıştır. Kalsine edilmiş zeolitler, 4N derişimlerde 100 ml NaOH çözeltileri hazırlanarak, geri soğutucu altında 90 °C'de, 3 saat boyunca muamele edilmiştir, ardından 2-3 kez saf su ile yıkanarak etüvde 105 °C'de kurutulmuştur. Elde edilen baz modifikasyonu zeolitler desikatörde muhafaza edilmiştir. Şekil 4.17 (a)'da 1,6-3 mm tane boyutlu NaOH modifiyeli klinoptilolit gösterilmektedir. Şekil 4.17 (b)'de ise daha ufak tane boyutlu NaOH modifiyeli klinoptilolit gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Farklı tane boyutlu NaOH modifiyeli klinoptilolitler

4.7.4. Asit Modifiye Zeolit (AMZ)

DZ'nin yüzey alanını aktifleştirmek, adsorpsiyon ve iyon değişim yeteneklerini iyileştirmek için HCl ile modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Zeolitın asit ile modifikasyonu için ticari olarak alınan 2.5 lt ve %37'lik derişime sahip HCl kullanılmıştır. Kullanılan HCl kimyasal malzemesi Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18. HCl kimyasal malzemesi

Kullanılan kimyasal HCl malzemesinin teknik özellikleri Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. HCl kimyasalına ait teknik bilgiler

Kimyasal Adı	Hidroklorik Asit (HCl)
Türü	Asit
Molekül Ağırlığı	36.46 g
Buhar Basıncı	190 hPa (20 ° C)
Yoğunluk	1.19 gr/cm ³ (20 ° C)

Tablo 4.5. HCl kimyasalına ait teknik bilgiler (Devam)

Serbest Klor	≤ 0.0001 %
Ağır Metaller (Pb)	≤ 0.0001 %
As (Arsenik)	≤ 0.0001 %
Sülfat (SO₃)	≤ 0.001 %
Sülfat (SO₄)	≤ 0.0005 %
Kalsiyum	≤ 0.001 %
Demir (Fe)	≤ 0.0002 %
Civa (Hg)	≤ 0.000004 %
Buharlaşma Atıkları	≤ 0.005 %

Deney çalışması sırasında, klinoptilolit 1,6-3 mm fraksiyon boyutundaki numuneler, zeolit asit modifikasyonu için HCl asit türü ile muamele edilmiştir. 1L, 2N asit çözeltisi ile 500gr doğal zeolit oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda 3 saat karıştırılmıştır. Elde edilen zeolit 2-3 kez saf su ile yıkanmış, ardından etüvde 105 °C’de kurutulmuştur. İşlem sonrası modifiye zeolit desikatörde muhafaza edilmiştir.

HCl çözelti denklemi Denklem 4.1’de verilmektedir.

$$\frac{2 \text{ mol HCl}}{1 \text{ L çöz.}} \cdot \frac{36.5 \text{ g HCl}}{1 \text{ mol HCl}} \cdot \frac{100 \text{ g HCl çöz.}}{37 \text{ g HCl}} \cdot \frac{1 \text{ mol HCl çöz.}}{1.19 \text{ g HCl çöz.}} \cdot 1\text{L} \quad (4.1)$$

= 165.8ml % 37’lik HCl ile 1L’lik sulu çözelti hazırlandı.

Şekil 4.19. (a)’da HCl ile muamele edilen 1.6-3 mm tane boyutlu klinoptilolit (AMZ) gösterilmektedir. Şekil 4.19. (b)’de daha ufak tane boyutlu HCL modifiyeli klinoptilolit gösterilmektedir.



Şekil 4.19. Farklı tane boyutlu HCl modifiyeli klinoptilolitler

4.8. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Egzoz emisyon parametrelerinin analizi için BOSCH marka emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, hacimsel olarak HC ve NO_x verilerini ppm cinsinden, CO, CO₂ ve O₂ verilerini ise % cinsinden tespit etmektedir. Çalışmada kullanılan BOSCH marka egzoz emisyon ölçüm cihazı Şekil 4.20'de, cihazın teknik bilgileri ise Tablo 4.6'da görülmektedir. Bosch egzoz gazı analiz cihazı, dizel ve benzinli motorlarda; CO, CO₂, NO_x, HC, O₂ ve Pusluluk ölçümlerini anlık olarak yapabilmektedir.



Şekil 4.20. BOSCH marka egzoz emisyon ölçüm cihazı

Tablo 4.4. BOSCH marka egzoz emisyon ölçüm cihazına ait teknik bilgiler

Parametreler	Ölçüm Aralıkları	Hassasiyet
CO	0 - 10 %	0.001%
HC	0 - 9.999 ppm	1 ppm
CO ₂	0 - 18 %	0.01 %
NO _x	0 - 5000 ppm	≤ 1 ppm
O ₂	0 - 21,7 %	0.01 %

4.9. O₂ Ölçüm Cihazı

Bu deneysel çalışmada egzoz emisyon cihazında, egzoz gazlarının O₂ analizleri yapılmadan önce ortamın ve moleküler elek filtrenin O₂'si Bosen Electronic marka O₂, CO gaz analizör cihazı kullanılmıştır. Şekil 4.21'de gösterilen O₂ ölçüm cihazına ait teknik bilgiler Tablo 4.7'de yer almaktadır.



Şekil 4.21. Bosean Electronic marka O₂, CO gaz analizörü

Tablo 4.5. Bosean Electronic marka O₂, CO gaz analizörüne ait teknik bilgiler

Marka	Bosean Electronic
Model	BH - 4S
Ekran Tipi	LCD
Çekme Akışı	500 ml / dk
Isınma Süresi	< 20 S
Ölçüm Ucu Şekli	Prob
Şarj Cihazı Gerilimi	DC3.7v1800mAH
Ağırlık	500 gr
Gaz Tipi	CO, O ₂

4.10. Termometre

Egzoz gaz sıcaklık ölçümü için Extech marka 421502 Tip J / K model termometre kullanılmıştır. Bu deneysel çalışma için kullanılan Extech 421502 J / K cihazı Şekil 4.22'de görülmektedir. Extech 421502 J / K cihazına ait teknik bilgiler ise Tablo 4.8'de verilmiştir. Termometrenin doğru ölçüm yapabilmesi için termometre cihazı motor test tezgâhına, termometrenin ölçüm kısmı ise egzoz çıkışında her ölçüm için aynı yer olacak şekilde belirli bir noktaya sabitlenmiştir, bu şekilde alınan ölçümlerin hata payının minimum olması sağlanmıştır.



Şekil 4.22. Extech 421502 tip J / K model termometre

Tablo 4.6. Extech 421502 tip J / K model termometreye ait teknik bilgiler

Marka / Model	Extech 421502 J / K
Hassasiyet	≤ 0.05
Doğruluk	$\pm \% 0.05$ rdg
Batarya	9V
Sıcaklık Aralığı	-328 ila 2498 ° F (-200 ila 1370 ° C)
Çözünürlük	0.2 ° F / 0.1 ° C
Boyutlar	7.6 x 3.6 x 2.1 (192 x 91 x 53mm)
Ağırlık	365 g

4.11. Titreşim Ölçüm Cihazı

Motor titreşim değerlerini ölçmek için, Fluke 805 marka titreşim ölçer cihazı kullanılmıştır. Fluke 805 cihazı Şekil 4.23'de, cihaza ait teknik bilgiler ise Tablo 4.9'da görülmektedir. Titreşim ölçümü için Şekil 4.24'de gösterilen motor üzerinde sabit bir nokta belirlenmiş (yeşil nokta) ve tüm titreşim ölçümleri aynı noktadan alınarak ölçüm hassasiyeti sağlanmıştır.



Şekil 4.23. Fluke 805 marka titreşim ölçer cihazı

Tablo 4.7. Fluke 805 marka titreşim ölçer cihazına ait teknik bilgiler

Marka / Model	Fluke 805
Düşük Frekans Aralığı (Genel Ölçü)	10 Hz - 1.000 Hz
Yüksek Frekans Aralığı (CF + Ölçüsü)	4.000 Hz - 20.000 Hz
Titreşim Sınırı	50 G Tepe (100 G Tepe-Tepe)
Sinyal Gürültü Oranı	80 dB
Sensör Hassasiyeti	100 mV G \pm %10
Sensör Ölçüm Aralığı	0.01 G to 50 G



Şekil 4.24. Deney motoru üzerinde belirlenen titreşim ölçüm noktası

4.12. Gürültü Seviyesi Ölçüm Cihazı

Şekil 4.25’de deneysel çalışmada kullanılan testo 816 (1) marka gürültü seviyesi ölçüm cihazı, Tablo 4.10’da ise ilgili cihaza ait teknik bilgiler gösterilmektedir. Motor gürültüsünü optimum olarak analiz edebilmek için cihaz, motordan 1 metre uzağa, daha önceden belirlenmiş sabit bir noktaya konumlandırılmış ve ölçümler bu nokta baz alınarak yapılmıştır.



Şekil 4.25. Gürültü seviyesi ölçüm cihazı

Tablo 4.10. Gürültü seviyesi ölçüm cihazına ait teknik bilgiler

Cihaz Marka ve Modeli	Testo 816 (1) gürültü seviyesi ölçüm cihazı
Ölçüm aralığı	30 - 130 dB
Frekans aralığı	20 Hz - 8 kHz
Doğruluk	$\pm 1,4$ dB (referans koşullar altında: 94 dB, 1 kHz)
Çözünürlük	0,1 dB
Ölçüm hızı	0,5 sn
Mikrofon	0,5 inç
Dinamik aralık	100 dB
Frekans ağırlıklandırma	A / C
Zaman ağırlıklandırma	Hızlı 125 msn / Yavaş 1 sn

4.13. Scanning Electron Microscope (SEM) ve Enerji Dağılımlı X Işınları Spektrometresi (EDX)

Fırat Üniversitesi Nanoteknoloji Laboratuvarı (MERLAB)’a ait EVO marka “Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope) (SEM)” cihazı zeolit çeşitlerinin moleküler ve gözenek yapılarının incelenmesi amacıyla kullanılmıştır. Zeolitin atomları arasındaki boşluk yapısını (hem görünüm hem de matematiksel hesaplama olarak) inceleyebilmek amacıyla, EDX

cihazı “SEM Cihazına Uyarlanan Enerji Dağılımlı X Işınları Spektrometresi” kullanılmıştır. Deneide kullanılan SEM cihazı Şekil 4.26’da gösterilmektedir (Merlab).



Şekil 4.26. EVO Scanning Electron Microscope cihazı (MERLAB)

4.14. YSA'nın Modellenmesi

Beş aşamada gerçekleştirilen gerçek motor deneyleri sonucunda, SDM, DZ, BMZ ve AMZ' den elde edilen deneysel veriler, MATLAB R2016a paket programı kullanılarak, YSA modeli tasarlanmıştır. Dizel motorun egzoz emisyon ve performans parametrenin SDM, DZ, BMZ ve AMZ değerleri için ayrı ayrı m-file dosyaları oluşturulmuştur. Her bir parametrenin emisyon ve performans ölçümlerinden %70' ini YSA' nın eğitilmesi için, kalan %30' unu ise YSA' nın test edilmesi için kullanılmıştır. Eğitim ve test verileri, optimum sonuçlar elde edebilmek için [0; +1] aralığında normalize edilmiştir. YSA eğitimi sırasında momentum katsayısı, öğrenme katsayısı ve eğitim süresi olarak MATLAB programının kendi değerleri kullanılmıştır. Çalışma sırasında MATLAB R2016a programında YSA'nın eğitilmesi için kullanılan, SDM'de gürültü regresyon, O.K.H., maksimum ve minimum hata değerlerinin tahmin edildiği kodun bir kısmı aşağıda verilmektedir.

```
clc
clear all,close all

data=xlsread('zeolit.xlsx');
p1=data(1,:); %motor devirleri
t1=data(10,:); %
[p2,ps2NM_KATKISIZ_GURULTU] = mapminmax(p1,0,1); % 0, 1 aralığında giriş
verileri normalize edildi
[t2,ts2NM_KATKISIZ_GURULTU] = mapminmax(t1,0,1);% 0, 1 aralığında çıkış
verileri normalize edildi
%[trainV,val,test] = dividevec(p2,t2,0.20,0.20);
[trainV,valV,testV]=dividevec(p2,t2,0,0.3);

net2NM_KATKISIZ_GURULTU = newff(minmax(trainV.P),[8 1],{'tansig'
'purelin'},'trainlm'); % ara katmanda kullanılan nöron sayısı****
%[net,tr]=train(net,trainV.P,trainV.T,[],[],val,test);
```



```

net2NM_KATKISIZ_GURULTU.trainParam.epochs=5;% (iterasyon sayısı)
%net.trainParam.goal=1e-5; %**Amaca yakınlık değeri**
%net.trainParam.lr=0.79;% ***öğrenme oranı***
%net.trainParam.mc=0.78; %momentum katsayısı

[net2NM_KATKISIZ_GURULTU,tr]=train(net2NM_KATKISIZ_GURULTU,trainV.P,trainV.T);%YSA eğitiliyor

a2 = sim(net2NM_KATKISIZ_GURULTU,testV.P); % eğitimde kullandığımız veriler test edildi
a = mapminmax('reverse',a2,ts2NM_KATKISIZ_GURULTU); % normalize değerler tekrar gerçek değerlere dönüştürüldü.
p3_gercek = mapminmax('reverse',testV.P,ps2NM_KATKISIZ_GURULTU);
t3_gercek = mapminmax('reverse',testV.T,ts2NM_KATKISIZ_GURULTU);
%ortalama karesel hata(MSE), toplam karesel hata(SSE)
ortalama_karesel_hata=mse(t3_gercek,a)
toplam_karesel_hata=sse(t3_gercek,a)
figure(1)
plot(p3_gercek,a,'r--*');hold on
plot(p3_gercek,t3_gercek,'b-o');
xlabel('Motor Devri (d/d)');
ylabel('Gürültü (dBA)');
legend('YSA','Gerçek Değer');
grid on
title(['Ortalama Karesel Hata=' num2str(ortalama_karesel_hata)])
%%Daha önce hiç kullanmadığımız değerleri test etmek%%
p4=1700:2900;
p5=mapminmax('apply',p4,ps2NM_KATKISIZ_GURULTU);
b2=sim(net2NM_KATKISIZ_GURULTU,p5);%1700 ile 2900 arasındaki tüm değerler test ediliyor
b_gercek=mapminmax('reverse',b2,ts2NM_KATKISIZ_GURULTU);%gerçek test sonuçları

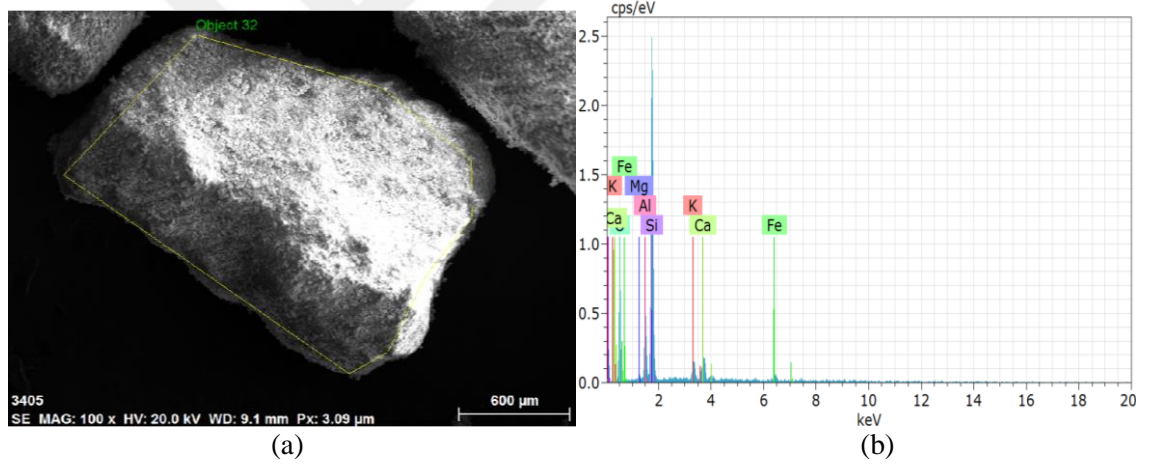
```

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

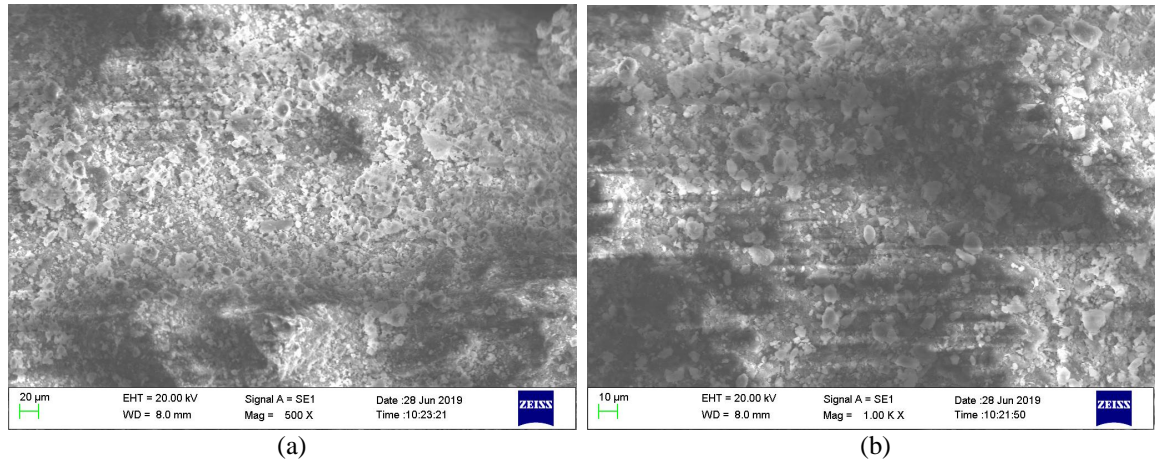
5.1. Kullanılan Zeolit Türlerinin Yapısal Analizleri

5.1.1. Doğal Zeolitin (DZ) Yapısal Analizi

Zeolit yüzeyindeki gözenekli yapıyı gözlemek amacıyla SEM görüntüleri alınmıştır. Klinoptilolit türü zeolitin tek bir taneciğinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yüz kat büyütülmüş görünümü Şekil 5.1 (a)'da gösterilmektedir. Aynı klinoptilolit tanesinin Enerji Dağıtıcı X- Işınları Spektrometresi (EDX) analiz sonucu Şekil 5.1 (b)'de verilmektedir. Şekil 5.1 (a)'da görünen seçili alandaki EDX analiz sonucuna göre, elementlerin atomsal ağırlıkları; %65.83 O, %22.96 Si, %5.34 Al, % 3.02 Ca, % 1.70 K, %0.57 Fe, %0.57 Mg şeklindedir. Şekil 5.2 (a) ve (b)'de sırasıyla klinoptilolit tipi zeolit taneciğinin SEM görüntüleri verilmiştir.



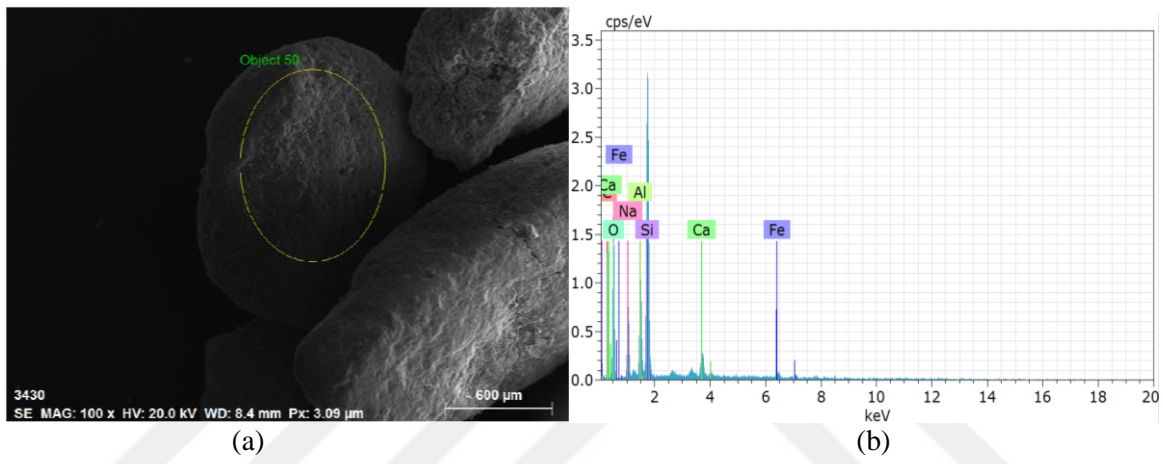
Şekil 5.1. (a) Bir klinoptilolit taneciğinin enine kesit 100 X ölçekli SEM görüntüsü, (b) EDX analizi



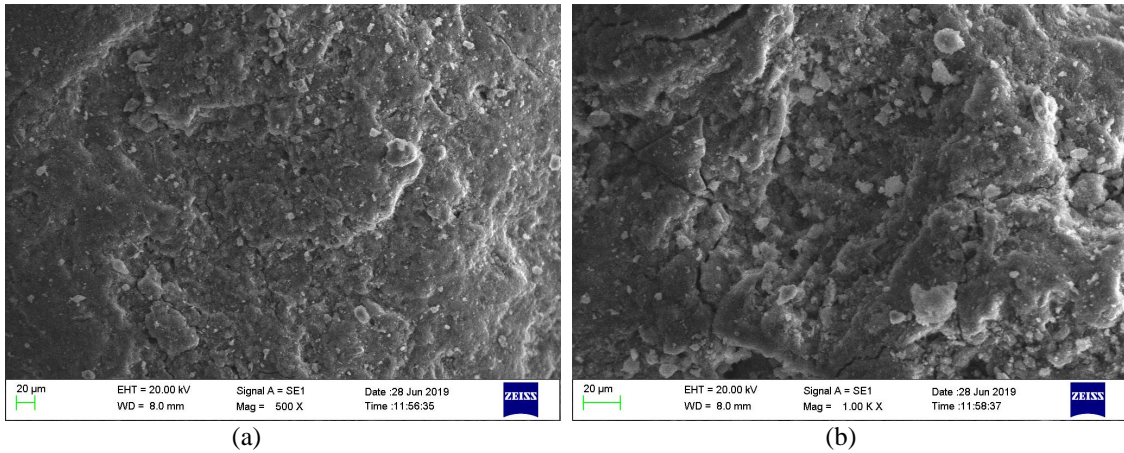
Şekil 5.2. (a) Bir klinoptilolit taneciğinin 500X ve (b) 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri

5.1.2. Baz Modifiyeli Zeolit (BMZ) Yapısal Analizi

BMZ yüzeyindeki gözenekli yapıyı gözlemlemek amacıyla SEM görüntüleri alınmıştır. BMZ'nin tek bir taneciğinin SEM görüntüsü Şekil 5.3 (a)'da gösterilmektedir. Aynı BMZ tanesinin Enerji Dağıtıcı X- Işınlı Spektrometresi (EDX) analiz sonucu Şekil 5.3 (b)'de verilmektedir. Şekil 5.3 (a)'da görünen seçili alandaki EDX analiz sonucuna göre, elementlerin atomal ağırlıkları; %59.85 O, %17.52 Si, %7.50 Na, %5.91 Al, %6.42 C, %1.87 Ca, %0.91 Fe şeklindedir. Şekil 5.4 (a) ve (b)'de sırasıyla BMZ tipi klinoptilolit taneciğinin 500X ve 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.3. (a) Bir BMZ taneciğinin enine kesit 100X ölçekli SEM görüntüsü, (b) EDX analizi

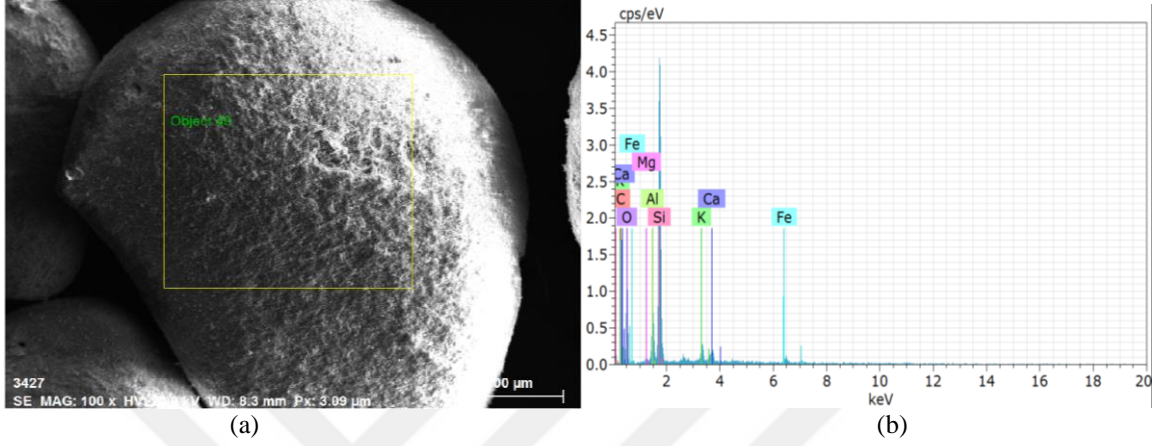


Şekil 5. 4. (a) BMZ tipi klinoptilolit taneciğinin 500X ve (b) 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri

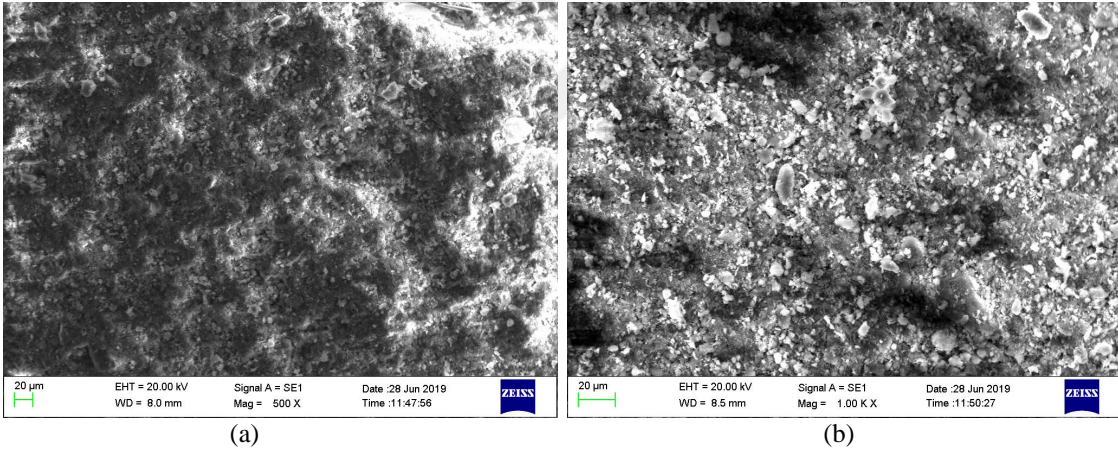
5.1.3. Asit Modifiyeli Zeolit (AMZ) Yapısal Analizi

AMZ'nin yüzeyindeki gözenekli yapıyı gözlemlemek amacıyla SEM görüntüleri alınmıştır. AMZ tipi zeolitinin tek bir taneciğinin SEM görüntüsü Şekil 5.5 (a)'da gösterilmektedir. Aynı

klinoptilolit tanesinin EDX analiz sonucu Şekil 5.5 (b)'de verilmektedir. Şekil 5.5 (a)'da görünen seçili alandaki EDX analiz sonucuna göre, elementlerin atomsal ağırlıkları; %58.70 O, %25.23 Si, %4.70 Al, %6.60 C, %1.75 K, %1.64 Ca, %0.93 Fe, %0.46 Mg şeklindedir. Şekil 8.6 (a) ve (b)'de sırasıyla AMZ tipi zeolit taneciğinin 500X ve 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri verilmiştir.



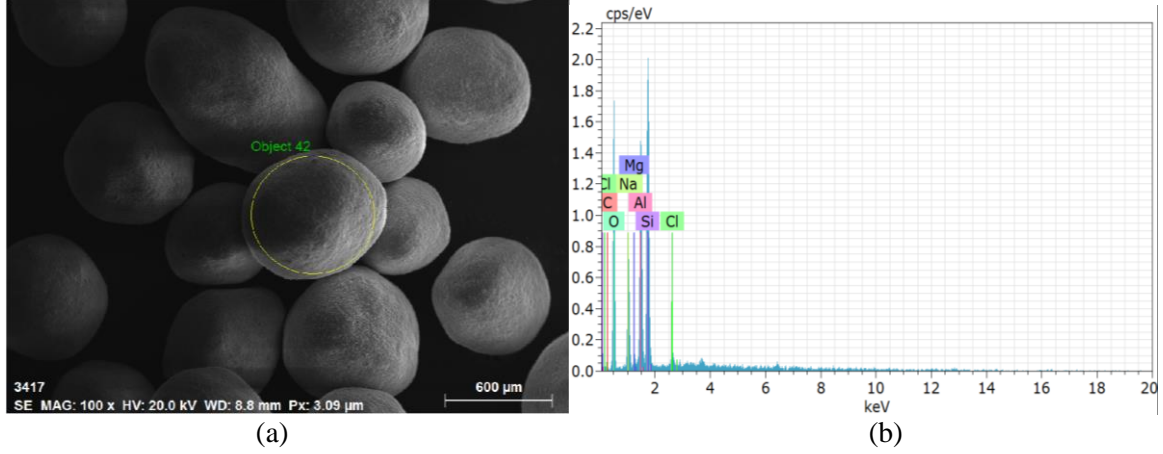
Şekil 5.5. (a) Bir AMZ taneciğinin enine kesit 100 X ölçekli SEM görüntüsü, (b) EDX analizi



Şekil 5.6. (a) AMZ tipi klinoptilolit taneciğinin 500 X ve (b) 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri

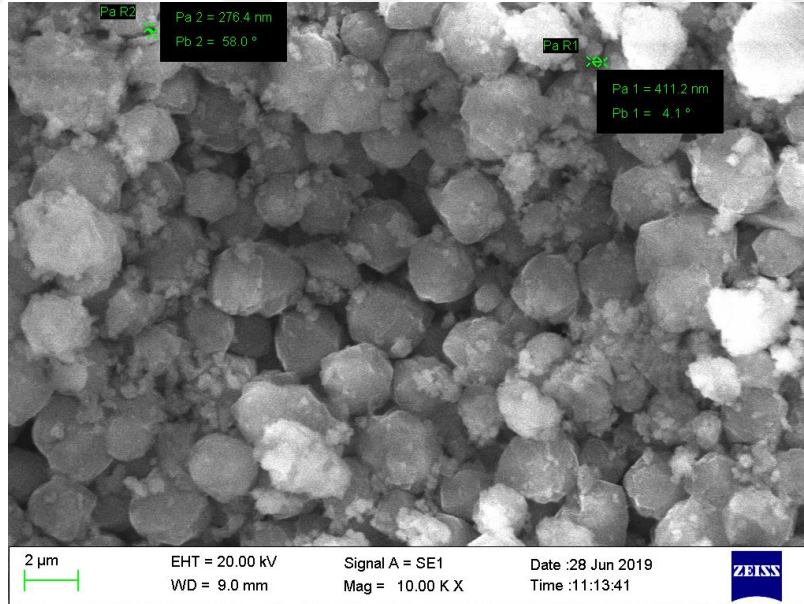
5.1.4. Sentetik Zeolitin (SZ) Yapısal Analizi

Sentetik zeolit yüzeyindeki gözenekli yapıyı gözlemlemek amacıyla SEM görüntüleri alınmıştır. SZ'nin tek bir taneciğinin SEM görüntüsü Şekil 5.7 (a)'da gösterilmektedir. SZ taneciğinin EDX analiz sonucu Şekil 5.7 (b)'de verilmektedir. Şekil 5.7 (a)'da görünen seçili alandaki EDX analiz sonucuna göre, elementlerin atomsal ağırlıkları; %57.20 O, %12.59 Si, %10.20 Al, %8.18 Na, %10.83 C, %0.50 Cl, %0.50 Mg şeklindedir.

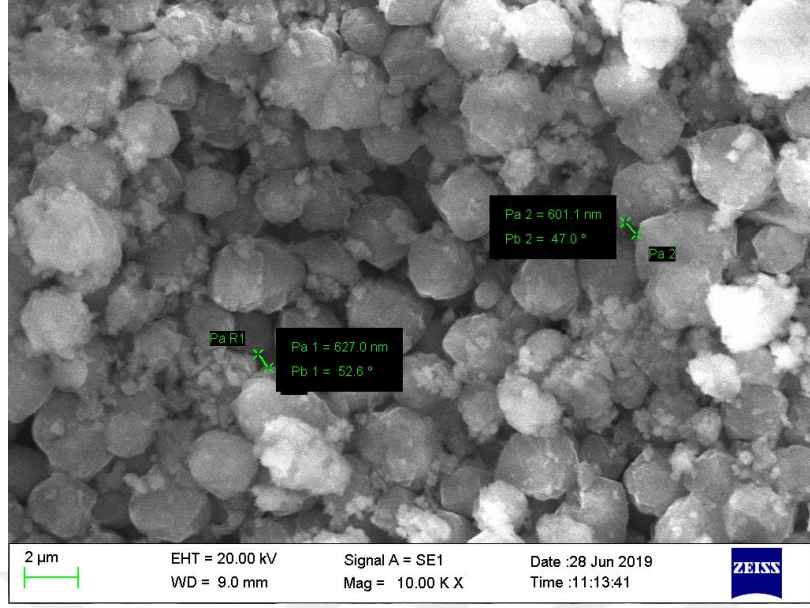


Şekil 5.7. (a) Bir AMZ taneciğinin enine kesit 100 X SEM görüntüsü, (b) EDX analizi

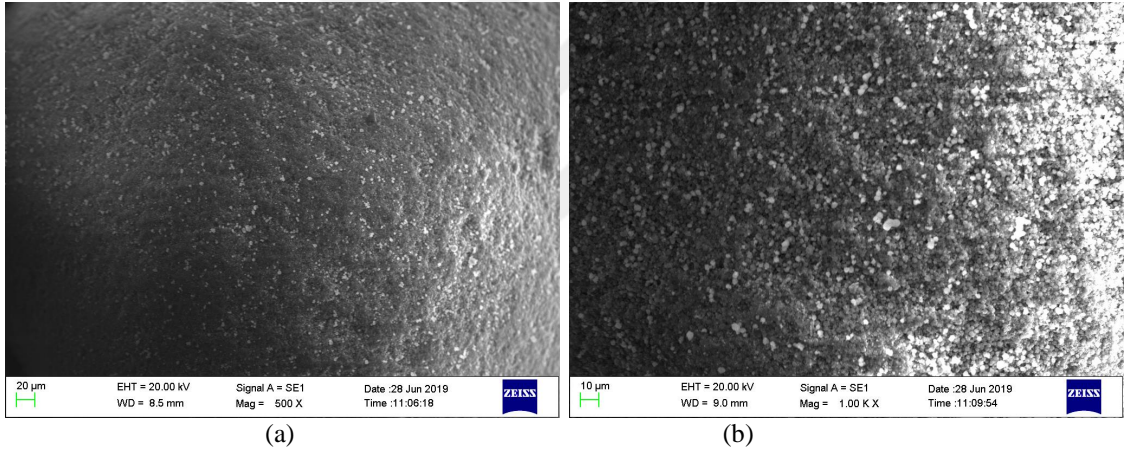
Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da SZ taneciğinin 10.00 KX’deki SEM görüntüsü gösterilmektedir. Tanecik yapısındaki bazı boşluklar matematiksel olarak ifade edilmiştir. SEM analizi sonucunda SZ’nin, BMZ, DZ ve AMZ’ye kıyasla gözenek yapısının çok daha fazla olduğu, taneciklerin küresel şekilde olduğu görülmektedir. Boyutların nanometre skalasına kadar düşebildiği görülmüştür. Şekil 5.10 (a) ve (b)’de sırasıyla SZ tipi zeolit taneciğinin 500X ve 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.8. SZ’nin 10.00 K X ölçekli SEM görüntüsü



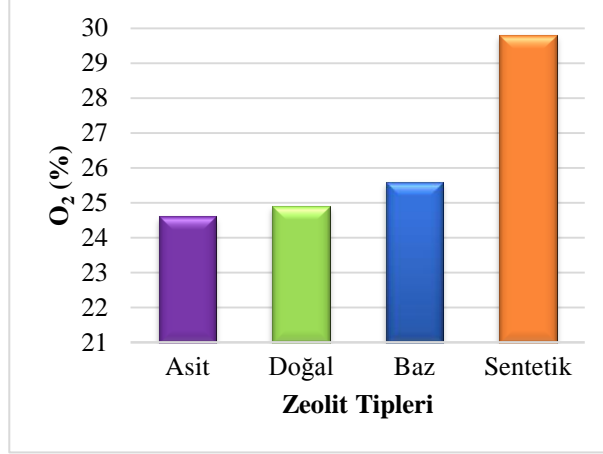
Şekil 5.9. SZ'nin 10.00 K X ölçekli SEM görüntüsü



Şekil 5.10. (a) Bir SZ taneciğinin 500X ve (b) 1.00 K X ölçekli SEM görüntüleri

5.2. ZF'de Kullanılan Zeolitlerin Oksijen Zenginleştirme Kapabiyetleri

ZF'nin temeli, havanın kapalı ortamda basınca maruz kalması ve basınç altında azotun tutulması, dolayısıyla oksijen açığa çıkartılması prensibine dayanmaktadır. ZF'nin farklı zeolit tipleri ile oksijen üretim kapasitelerini test edebilmek amacıyla motor deneyleri başlamadan önce, silindir haznesine SZ, DZ, BMZ ve AMZ tipleri 4 farklı ölçüm alınmak suretiyle yerleştirilmiştir. ZF sisteminde zeolitlerin SDM'ye kıyasla oksijen saflaştırma oranları Şekil 5.11'de gösterilmektedir.



Şekil 5.11. ZF sisteminde SDM'a göre SZ, DZ, BMZ ve AMZ kullanımının O₂ saflaştırma oranları

Yapılan bu deneysel çalışmada silindirik zeolit tüp haznesine yerleştirilen zeolit madde miktarı, silindir hacminin %25, %50 ve %100 kadarını kapsayacak şekilde farklı oranlarda zeolit maddeleri eklenerek oksijen ölçümleri yapılmıştır. Bu şekilde ZF'nin O₂ saflaştırma derecesi zeolit tipleri zeolit tipleri açısından değerlendirilmiştir ve optimum zeolit miktarı bulunmaya çalışılmıştır. Ölçümler sonucunda, bütün zeolit tipleri için geçerli olacak şekilde en yüksekten en düşüğe oksijen zenginleştirme kapasitesi %100, %50, %25 tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile zeolit madde miktarının artması havadaki oksijen yoğunluğunun artması ve azot molekülünün azalması sonucunu ortaya çıkartmıştır. Bu durumun artan zeolit miktarına bağlı olarak moleküler elek görevi göreceğ yüzey alanının artmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

ZF'de zeolit tiplerine bağlı olarak oksijen zenginleştirme kabiliyetleri değerlendirildiğinde, 4 zeolit tipinde de oksijen zenginleştirmesinin olduğu tespit edilmiştir. Deneyin yapıldığı ortamdaki oksijen oranı %21 olarak ölçülmüştür. ZF sisteminin çıkışında havadaki oksijen oranı asit ile muamele edilmiş zeolit kullanımında %24.6, doğal zeolit kullanımında %24.9, baz ile muamele edilmiş zeolit kullanımında %25.6, sentetik zeolit kullanımında ise %29.8 olarak tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile AMZ, DZ, BMZ ve SZ'nin deneyin yapıldığı ortamdaki havaya kıyasla oksijen oranını sırasıyla %17.14, %18.57, %21.90 ve %41.90 oranlarında arttırdığı belirlenmiştir.

AMZ'nin oksijen zenginleştirme kabiliyeti DZ ile kıyaslandığında düşük oranda azalma ölçüldüğü diğer bir ifade ile asit modifikasyonunun DZ üzerinde kaydedeğ bir değışim sağlamadığı yapılan ölçümler sonucu görülmüştür.

DZ ile BMZ'nin oksijen zenginleştirme kapasiteleri karşılaştırıldığında BMZ'de %2.81 oranında oksijen artışı görülmüştür. Literatürde 4N NaOH derişiminin ile modifikasyonun ana yapıyı amorflaştırıldığı ve NaP formuna dönüştürdüğü, modifikasyon sonucu zeolit yüzey alanını arttırdığı ve adsorpsiyon yeteneğini iyileştirdiğı bilinmesine karşın, elde edilen sonuçlara göre

cididi bir artış görülmemiştir (Öter, 2002). Bu duruma modifikasyonun yapıldığı laboratuvar ortamı şartlarının, numunelerin bekleme süresinin ve muhafaza edilme işlemlerinin neden olabileceği düşünülmektedir.

SZ ile DZ'nin oksijen üretim oranları kıyaslandığında, SZ'nin DZ'den % 19.68 daha fazla oksijen üretimi sağladığı görülmüştür. Bu artışın Şekil 8.8 ve Şekil 8.9'daki SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere SZ'nin sahip olduğu mikro ve makro boyutlardaki odacıkların oluşturduğu yüksek gözenekli yapı sayesinde DZ, AMZ ve BMZ'ye kıyasla daha fazla miktarda N₂'yi adsorplayabildiği, dolayısıyla daha fazla oksijen üretebilmesini sağladığı düşünülmektedir.

5.3. ZF Sisteminin Egzoz Emisyon ve Performans Parametreleri Üzerindeki Etkisi

ZF sisteminin egzoz emisyon ve performans değerleri üzerindeki etkisi;

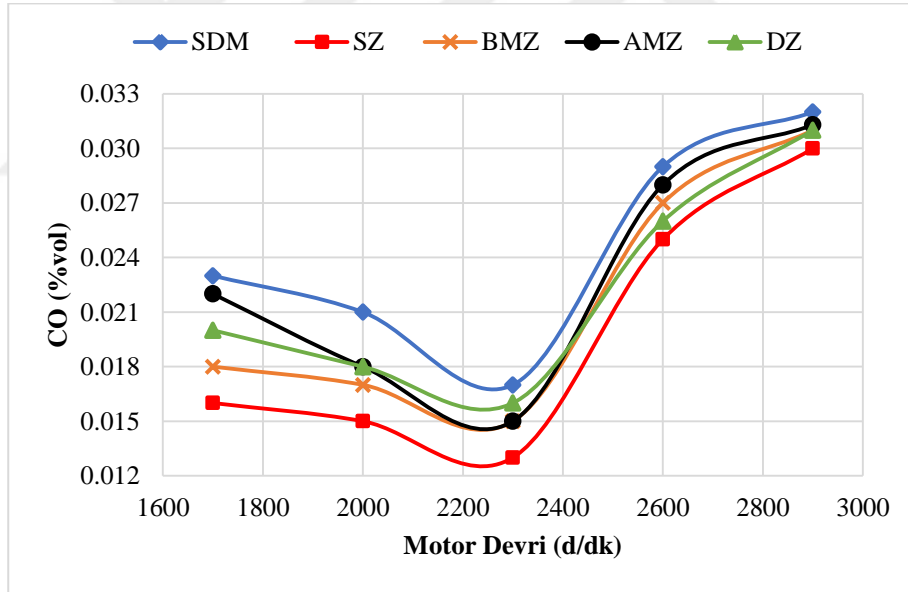
- a. CO emisyonu
- b. CO₂ emisyonu
- c. HC emisyonu
- d. NO_x emisyonu
- e. Duman yoğunluğu
- f. Özgül yakıt tüketimi
- g. Egzoz gaz sıcaklığı
- h. Titreşim
- i. Gürültü
- j. Fren termal verimi olmak üzere 10 başlık altında incelenmiştir.

5.3.1. CO Emisyonlarının Değerlendirilmesi

Hava yakıt oranı, yakıtın kimyasal ve fiziksel özellikleri, oksijen değerleri, motorun hızı ve yükü, motorun enjeksiyon karakteristiği CO oluşumunu etkileyen bazı parametrelerdir. (Donkerbroek, Boot, Luijten, Dam, & ter Meulen, 2011), (Fayyazbakhsh & Pirouzfard, 2017), (Senthur, Asokan, Prathiba, Ahmed, & Puthean, 2018). Yanma odası içerisindeki oksijen yoğunluğunun artması, alev sıcaklığını, dolayısıyla silindir içi sıcaklık ve basıncı arttırmaktadır. Bu duruma bağlı olarak yanma reaksiyonunun süresi kısalmakta ve bu sayede yanma verimi artmaktadır (Baskın, Erkuş, Bulut, Çiçek, & Türköz, 2018). Yanma odasında yeterli oksijen miktarının olması ve yanma reaksiyonunun tamamlanması için yeterli sürenin bulunması durumunda CO oksijen ile ikinci bir kez tepkimeye girmektedir. Reaksiyon sonucunda CO₂ oluşumu artarken CO emisyonunda düşüş görülmektedir. Fakir karışım ile gerçekleşen yanma da ise tam tersi durum gerçekleşmektedir. Silindir içi basınç ve sıcaklığın düşmesi ve CO'nun ikinci kez tepkimeye

girecek yeterli O_2 'yi bulamaması durumunda CO_2 oluşumu azalmakta, dolayısıyla CO miktarı artmaktadır (Sevinç, 2018).

Şekil 5.12'de ZF sisteminde kullanılan zeolit tiplerine göre CO emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimleri görülmektedir. CO emisyon değerleri incelendiğinde, düşük motor devirlerinde silindir içi sıcaklığın az olmasının yanma verimini azalttığı düşünülmektedir. Yanma veriminin kötüleşmesinin, CO'nun oksidasyon reaksiyon verimini olumsuz etkileyerek, CO_2 emisyon oluşumunu azalttığı ve bunun sonucunda CO oluşumunu arttırdığı düşünülmektedir. Orta devirlerde ise silindir içi basınç ve sıcaklığın artmasının, oksidasyon reaksiyonunu hızlandırarak, CO'nun CO_2 'ye dönüşüm oranını arttırdığı düşünülmektedir. Motor devrinin yükselmesi ile CO emisyonlarının tekrar yükseldiği görülmüştür. Bu durumun, silindir içi sıcaklığın artmasına rağmen yanmaya ayrılan sürenin kısalmasına ve CO'nun ikinci bir oksidasyon reaksiyonuna girmesi için kalan yanma süresinin azalmasına bağlı olarak CO emisyon oluşumunu arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürdeki çalışmalarda, CO emisyonlarında benzer değişimler görülmüştür (Wei, Yao, Han, & Pan, 2016) (Hazar & Gül, 2016).



Şekil 5.12. CO emisyonlarının zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri

Şekil 5.12'de, ZF'de kullanılan 4 zeolit tipinin de CO emisyonu oluşumunu azalttığı Şekil 5.12'de görülmektedir. ZF'nin DZ, AMZ, BMZ ve SZ tiplerini kullanarak havadaki azotun bir kısmını absorbe ettiği, bu şekilde havanın oksijen oranını arttırdığı ve kısmen saflaştırılan oksijenin yanma odasına beslenmesi ile CO emisyonunu azalttığı düşünülmektedir. Diğer bir ifade ile ZF sisteminin kullanılması ile SDM'ye kıyasla, yanma sırasında ortamda daha fazla oksijen molekülünün bulunması sağlanmıştır. Yanma odasındaki artan oksijen miktarının CO'nun CO_2 'ye

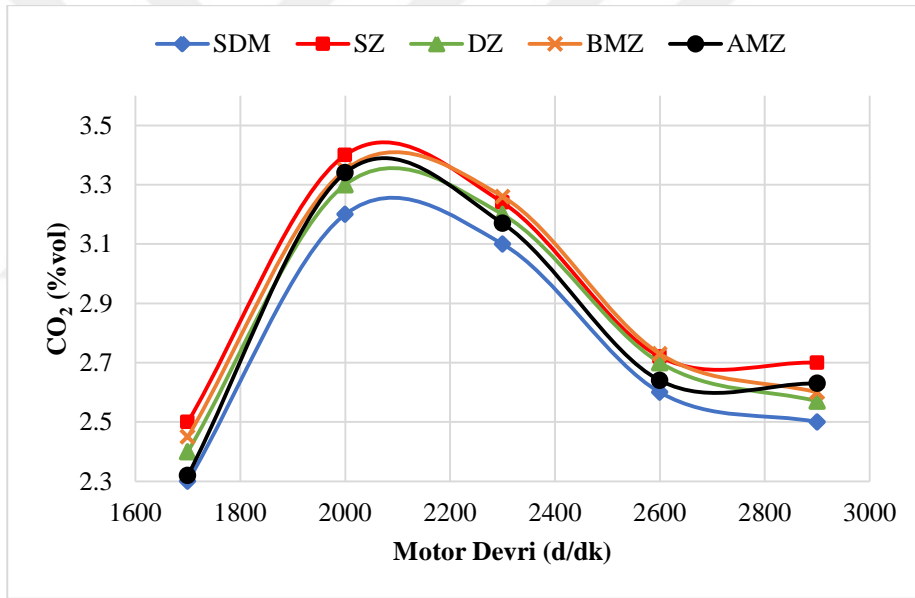
oksidasyon reaksiyonunu arttırdığı düşünülmektedir. Literatürdeki çeşitli oksijen zenginleştirme çalışmalarında benzer sonuçlar görülmüştür (Kumar, Arul, & Sasikumar, 2019) (Kapusuz, 2018).

SDM'ye kıyasla AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımına bağlı olarak CO emisyonlarında sırasıyla %7.21, %9.34, %12.51 ve %20.51 oranlarında azalma tespit edilmiştir. CO emisyonlarındaki azalma oranlarına dikkat edildiğinde, zeolit türlerinin oksijen zenginleştirme kabiliyetleri ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. CO emisyonlarındaki maksimum düşüşün görüldüğü SZ'nin aynı zamanda diğer zeolit tiplerine kıyasla en yüksek saflıkta oksijeni ürettiği tespit edilmiştir. CO emisyonlarında oluşan bu farklılığın zeolitlerin moleküler yapısına bağlı olduğu düşünülmektedir. DZ'nin asit ve baz modifikasyonları yapılarak oksijen zenginleştirme kapasitesi artırılmaya ve CO emisyon değerleri düşürülmeye çalışılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, AMZ'nin CO emisyonunu azaltma yeteneği DZ'ye kıyasla kayda değer bir değişim göstermemiştir. BMZ'de ise, CO emisyonundaki düşüş DZ'ye kıyasla artış göstermiştir. Modifikasyon sonuçları analiz edildiğinde, NH_4NO_3 ve NaOH muamelelerinin HCl ile muameleden zeolitin yüzey alanını, gözenek boyutunu ve hacmini artırma açısından daha etkin olduğu düşünülmektedir. Literatürde zeolitin asit veya baz ile muamele edildiği çalışmalarda benzer değişimler görülmüştür (Akkoca, Yulgun, Ural, Akçin, & Mergen, 2012). En yüksek oksijen zenginleştirme kapasitesine sahip SZ, DZ'ye kıyasla CO emisyonunda %10.81 oranında azalma sağlamıştır. Bu durumun, Şekil 5.8'de verilen SEM görüntüsünde görüldüğü gibi SZ'nin sahip olduğu geniş yüzey alanı ve düşük gözenek boyutuna bağlı olduğu, ayrıca SZ'nin diğer zeolit tiplerine kıyasla en fazla saflaştırılmış oksijeni üretmesinin %20.51 değeri ile CO emisyonu oluşumunu en yüksek kapasitede azalttığı düşünülmektedir.

5.3.2. CO₂ Emisyonlarının Değerlendirilmesi

İçten yanmalı motorlarda hava-yakıt oranı, oksijen değerleri, yanma odasına gönderilen havanın türbülansı, silindir içi basınç ve sıcaklık değerleri, CO₂ oluşumunu etkileyen parametrelerdir. İdeal bir yanma reaksiyonunda, yakıtın tamamen yanması ile ara ürünler oluşmadan önce CO₂ ve su buharı (H₂O) açığa çıkmaktadır. Basınç, yanma odası sıcaklığı, oksijen yoğunluğu, yanma reaksiyon süresi gibi etkenler, yanma sonu ürünlerini ve yanmanın performansını etkilemektedir. CO₂ oluşumu, yanma reaksiyonundaki C ve O atomlarının oksidasyon verimi ile doğrudan ilişkilidir. Yanma odasındaki oksijenin az olması, hava-yakıt karışımının zengin olması, C'nin CO₂'ye oksitlenebilecek yeterli oksijeni bulamaması, karbonun eksik yanmasına ve dolayısıyla CO emisyon oluşumunun artmasına, CO₂'nin ise azalmasına neden olmaktadır. Yanma odasında fazla oksijen bulunması durumunda ise tam tersi olmakta ve CO emisyonu azalırken, CO₂ emisyonu artış göstermektedir (Sevinç, 2018) (Topgül, Yücesu, & Okur, 2005).

Şekil 5.13’de ZF sisteminde kullanılan zeolit tiplerine göre CO₂ emisyonlarının motor devrine bağlı değişimleri görülmektedir. CO₂ emisyonları analiz edildiğinde, düşük motor devirlerinde silindir içi sıcaklığın az olmasının yanma verimini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Yanma verimindeki bu düşüşün, CO’nun oksidasyon hızını yavaşlattığı, CO emisyonu oluşumunu arttırdığı ve bunun sonucunda CO₂ emisyon oluşumunu ise azalttığı düşünülmektedir. Orta devirlerde ise, yüksek silindir içi basınç ve sıcaklığın CO’nun CO₂’ye oksidasyon reaksiyonunu hızlandırdığı, dolayısıyla CO₂ emisyon oluşumunu arttırdığı düşünülmektedir. Yüksek devirlerde ise yanmaya ayrılan sürenin kısalmasından dolayı CO’nun ikinci bir kez oksitlenebilecek yeterli süreyi bulamamasına bağlı olarak CO₂ emisyonu oluşumunun azaldığı düşünülmektedir. Literatürde, motor devirleri ile CO₂ emisyonları arasında benzer değişimler görülmüştür (Wei, Yao, Han, & Pan, 2016) (Noor El-Din, Mishrif, Gad, & Keshhaw, 2019) (Hazar & Gül, 2016).



Şekil 5.13. CO₂ emisyonlarının zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri

ZF sisteminin kullanılması ile CO₂ emisyon değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Yanmaya katılan ilave oksijen ile yanma reaksiyonunun hızlandığı ve bu durumun CO’nun CO₂’ye oksidasyon reaksiyonunu arttırdığı düşünülmektedir. Ayrıca, daha fazla oksidasyon reaksiyonu neticesinde açığa çıkan ısı enerjisi miktarının artması ile birlikte yanma veriminde de artış gerektiği düşünülmektedir. Literatürdeki oksijen zenginleştirme çalışmalarında benzer sonuçlar görülmüştür (Çiçek, 2018) (Baskın, Erkuş, Bulut, Çiçek, & Türköz, 2018) (Li, 2010).

SDM’ye kıyasla AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımına bağlı olarak CO₂ emisyonlarında sırasıyla %2.85, %3.47, %5.07 ve %6.41 oranlarında artış görülmüştür. CO₂ emisyonlarındaki

maksimum artışın görüldüğü SZ'nin aynı zamanda diğer zeolit tiplerine kıyasla en yüksek saflıktaki oksijeni ürettiği tespit edilmiştir. CO₂ emisyonlarında oluşan bu farklılığın zeolitlerin moleküler yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Deneysel sonuçlara göre AMZ'nin, DZ'ye kıyasla CO₂ emisyonunda kayda değer bir değişim göstermezken, BMZ ise DZ'den daha fazla CO₂ emisyonu açığa çıkardığı anlaşılmıştır. Dolayısıyla, baz modifikasyonun, asit ile muameleden zeolit yüzey alanını, gözenek boyutunu ve hacmini artırma açısından daha etkin olduğu anlaşılmıştır. Literatürde zeolit asit veya baz ile modifikasyonları sonucu benzer değişimlerin görüldüğü çalışmalar mevcuttur (Akkoca, Yılın, Ural, Akçin, & Mergen, 2012). En fazla oksijen zenginleştirme kabiliyetine sahip SZ, DZ'ye kıyasla CO₂ emisyonunda dikkat çekici bir artış sağlamıştır. Bu durumun, SZ'nin sahip olduğu mikro gözeneklilikteki iskelet yapısına bağlı olduğu ve diğer zeolit tiplerine kıyasla havanın oksijen zenginleştirilmesinde en yüksek verimi sağlayarak maksimum seviyede CO₂ emisyonunu oluşturduğu düşünülmektedir.

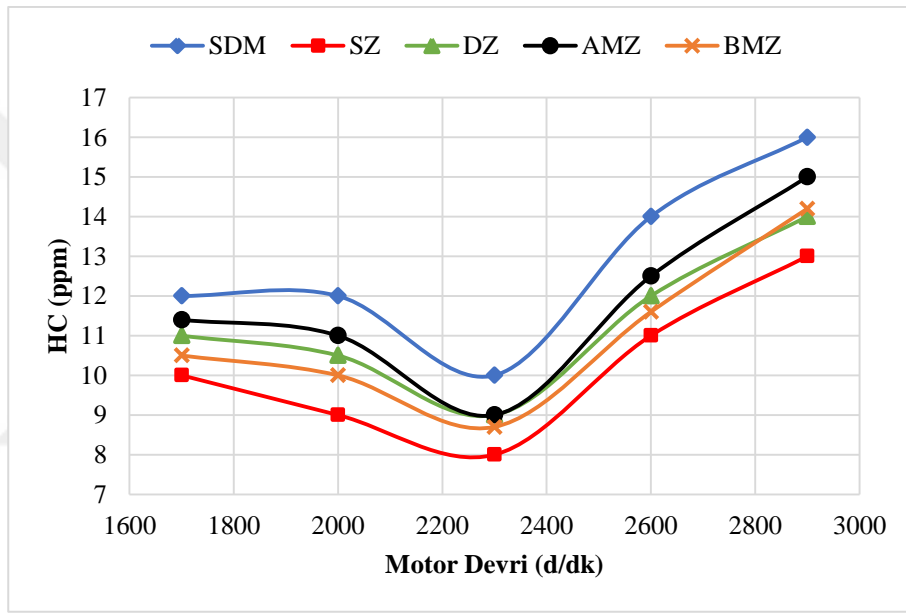
5.3.3. HC Emisyonlarının Değerlendirilmesi

İYM'lerde yanma; yakıtın uzun zincirli HC moleküllerinin termal kraking gerçekleştirerek O₂ eşliğinde oksit bileşenler (CO, NO_x vb.) oluşturması olarak tanımlanmaktadır. İdeal yanma sonucunda oluşan ana yanma ürünleri CO₂, H₂O, NO_x olarak bilinmektedir. İdeal olmayan yanmada ise, CO, HC, ısı ve eksik yanma gerçekleşmesi durumunda ara ürünler açığa çıkmaktadır (İlkılıç & Behçet, 2006). HC emisyonu, yakıtın yanma odasında eksik yanmasının veya tutuşamamasının bir belirtisi şeklinde açıklanabilmektedir. Yanma odasında önceki döngülerden kalan yanmış gazların bulunması, hava-yakıt karışımının homojen olmayışı, yanmanın zengin oksijen ile gerçekleşmesi (Uyar, 2013), yanma odasının şekli ve tipi, silindir içi gaz sıcaklıklarında yakıtın tutuşma ısısına erişememesi (Özsezen & Çanakçı, 2009), yakıtın kükürt, oksijen gibi bileşenleri içermesi, motorun yükü ve gücü (devri) (Kapusuz, 2018) İYM'lerde HC oluşumunu etkileyen parametrelerdir. Yanma odası içerisinde bulunan çok küçük hacimli bölgelere, hava ve atık gazlar girebilmekte iken bu küçük hacimler içerisinde alevin ilerlemesi mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla, bu boşlukların yanmamış HC oluşumunda önemli etkisi bulunmaktadır. HC oluşumunu etkileyen bir başka parametre olarak artan damlacık çapı gösterilmektedir (Atmanlı, İleri, & Yüksel, 2014).

Şekil 5.14'de ZF sisteminde kullanılan zeolit tiplerine göre HC emisyonlarının motor devrine bağlı değişimleri görülmektedir. HC emisyon değerleri incelendiğinde, düşük motor devirlerinde silindir içi sıcaklığın az olmasının, yanma verimini olumsuz etkilediği, dolayısıyla yanma alevinin silindir cidarlarına yakın bölgelerde sönerken HC emisyonunun oluşumunu arttırdığı düşünülmektedir. Ayrıca, düşük motor hızlarında yanma odasına alınan havanın girdap hızının az olmasına bağlı olarak yakıt-hava karışımının yanma odasında homojen bir dağılım

göstermemesinin, HC emisyon oluşumunu arttıran diğer bir faktör olduğuna inanılmaktadır. Orta motor devirlerinde ise, artan gaz sıcaklığı ve girdap hızı sebebiyle HC emisyon oluşumunun azaldığı düşünülmektedir. Motor devrinin yükselmesi ile HC emisyon oluşumu artış göstermiştir. Bu durumun, artan silindir içi sıcaklık ve yüksek basınç sebebiyle piston segman arasındaki boşluklara daha fazla yakıtın girmesinden ve yanmaya ayrılan sürenin azalması ile bir önceki çevrimden kalan yanmamış yakıt miktarının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

ZF’de SZ, DZ, BMZ ve AMZ kullanımlarına bağlı motor emme havasının oksijence zenginleştirilmesi sonucunda, HC emisyon değerlerinde azalma gerçekleştiği görülmüştür. Literatürde emme hattında oksijen zenginleştirme ile HC emisyonunda görülen bu azalmayı destekleyici birçok çalışma mevcuttur (Kapusuz, 2018).



Şekil 5.14. HC emisyonlarının zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri

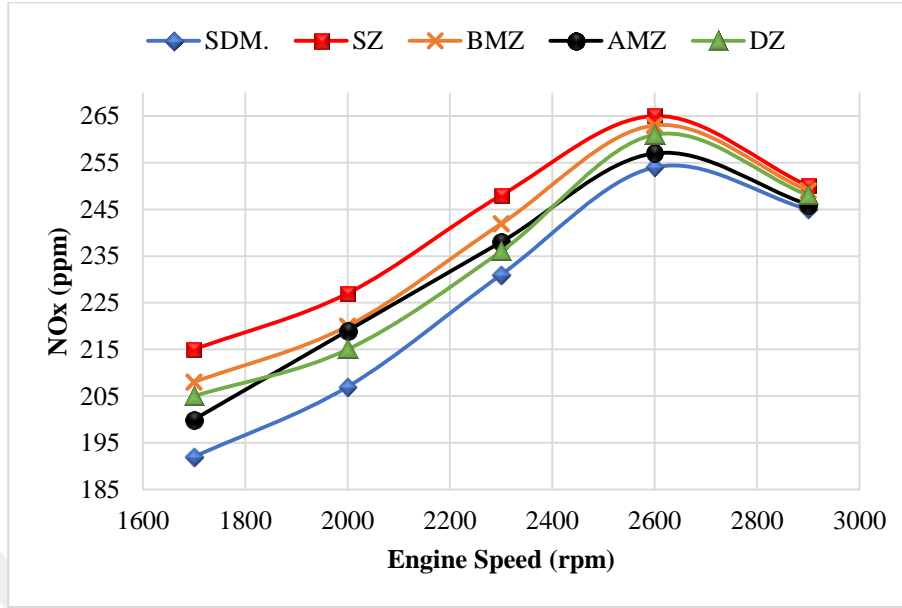
Şekil 5.14’de, ZF’de kullanılan 4 zeolit tipinin de HC emisyonu üzerinde azaltıcı etki gösterdiği görülmektedir. ZF’nin DZ, AMZ, BMZ ve SZ tiplerini kullanarak havadaki azotun bir kısmını absorbe ettiği, bu şekilde havanın oksijen oranını arttırdığı ve kısmen saflaştırılan oksijenin yanma odasına beslenmesi ile HC emisyonunun azaldığı düşünülmektedir. Diğer bir ifade ile ZF sisteminin kullanılmadığı SDM’ye kıyasla, yanma sırasında ortamda daha fazla oksijen molekülünün bulunması sağlanmıştır. Bu şekilde yanma odasında daha fazla HC’nin kimyasal reaksiyona girmesini sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca, oksijence zenginleştirilen havanın yanma reaksiyonuna dahil edilmesi ile yanma sonu sıcaklığının yükseldiği ve buna bağlı olarak yanma veriminin arttığı düşünülmektedir. Literatürdeki oksijen zenginleştirme çalışmalarında da HC emisyonunda benzer sonuçlar görülmüştür (Nagaraja, Nagaraj, & Gn, 2015) (Xiao, Qiao, Li, Huang, & Li, 2007) (Jeevahan, ve diğerleri, 2019) (Kapusuz, 2018).

SDM'ye kıyasla AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımına bağlı olarak HC emisyonlarında sırasıyla %8.06, %11.52, %14.1 ve %20.37 oranlarında azalma görülmüştür. HC emisyonlarındaki azalma oranlarına dikkat edildiğinde, zeolit türlerinin oksijen zenginleştirme kabiliyetleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. HC emisyonlarında maksimum azalmayı sağlayan SZ'nin aynı zamanda diğer zeolit tiplerine kıyasla havayı en yüksek saflıkta oksijence zenginleştirdiği tespit edilmiştir. Her bir zeolit tipinin HC emisyonları üzerinde farklı etkilere sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun zeolitlerin farklı miktar ve boyutlarda gözenek içeren iskelet yapılarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Deney sonuçlarına göre, AMZ'nin HC emisyonunu azaltma yeteneği DZ'ye kıyasla kayda değer bir değişim göstermemiştir. BMZ'de ise, HC emisyonundaki düşüş DZ'ye oranla artmıştır. Bu durumda, amonyum nitrat ve NaOH muamelelerinin HCl ile modifikasyona kıyasla zeolitin yüzey alanını, gözenek boyutunu ve hacmini artırma açısından daha etkin olduğu anlaşılmıştır. Literatürde zeolitin modifikasyonları ile ilgili yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar görülmüştür (Akkoca, Yılın, Ural, Akçin, & Mergen, 2012).

5.3.4. NOx Emisyonlarının Değerlendirilmesi

NOx emisyonu, İYM'lerde yanma odası gaz sıcaklığının 1800 K'i geçmesi üzerine havanın O₂ ve N₂ bileşenlerinin kimyasal reaksiyonu sonucu açığa çıkmaktadır (Liang Y. , Shu, Wei, & Zhang, 2013). Silindir içerisindeki sıcaklık, basınç, oksijen içeriği (Bascar & Senthilkumar, 2016) ve yüksek sıcaklıktaki yanma reaksiyon süresi, NOx emisyonunun oluşumunu etkileyen en önemli faktörlerdir (Milt, Pissarello, Miro, & Querini, 2003). Dizel motorlarda NOx emisyonu oluşumunun, adyabatik alev sıcaklığı, ısı yayılım oranı, stokiyometrik yanma, tutuşma gecikme süresi, önceki devirden kalan karışım gibi diğer faktörlere de bağlı olduğu bilinmektedir (Hazar, 2017). Literatürde İYM'lerde egzoz emisyonunu azaltmak için farklı yöntemler kullanılmış, fakat çok az bir kısmı NOx emisyonunu düşürme açısından başarıya ulaşmıştır (Hazar, 2017) (Bascar & Senthilkumar, 2016).

Şekil 5.15'de ZF sisteminde kullanılan zeolit tiplerine göre NOx emisyonlarının motor devrine bağlı değişimleri görülmektedir. NOx emisyonları incelendiğinde, düşük motor devirlerinde silindir içi sıcaklığın ve yanma sonu sıcaklığının az olması neticesinde bu devirlerde NOx emisyon değerleri daha düşük seviyede ölçülmüştür. Motor devrinin yükselmesi ile artan silindir içi sıcaklık ve yanma sonu sıcaklıklarının daha fazla azotun oksijen ile reaksiyona girmesini sağladığı, buna bağlı olarak NOx emisyon oluşumunun arttığı düşünülmektedir. Yüksek motor devirlerinde ise, silindir içi sıcaklığın daha fazla olmasına rağmen azot ve oksijen atomunun reaksiyonu için ayrılan sürenin kısılması, NOx emisyon değerlerinin bir miktar azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Literatürdeki birçok çalışmada motor devirleri ile NOx emisyon parametresi arasında benzer değişimler görülmüştür (Wei, Yao, Han, & Pan, 2016) (Noor El-Din, Mishrif, Gad, & Keshhawy, 2019) (Hazar & Gül, 2016).



Şekil 5.15. NOx emisyonlarının zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri

Şekil 5.15’de, ZF’de kullanılan 4 zeolit tipinin de NOx oluşumunu arttırdığı görülmektedir. ZF’de kullanılan AMZ, DZ, BMZ ve SZ tiplerinin seçimli olarak kolaylıkla azotu absorbe etmeleri ile havadan daha yüksek saflıkta oksijenin elde edilmesini sağladıkları düşünülmektedir. Diğer bir ifade ile ZF sisteminin motora sağladığı oksijence saflaştırılmış havanın yanma sırasında N_2 ve O_2 nin reaksiyon oranını arttırdığı ve buna bağlı olarak daha fazla NOx emisyonu oluştuğu düşünülmektedir. Oksijence zenginleştirilmiş emme havası, alev başlangıcında yanma reaksiyon hızını arttırdığı, bu nedenle silindir içi sıcaklık ve yanma sonu sıcaklığı yükselttiği düşünülmektedir. Ayrıca, yanmaya katılan ilave oksijen sayesinde adyabatik alev sıcaklığının arttırdığına inanılmaktadır. Literatürdeki çeşitli oksijen zenginleştirme çalışmalarında da NOx emisyonunda benzer değişimler görülmüştür (Çiçek, 2018) (Baskın, Erkuş, Bulut, Çiçek, & Türköz, 2018) (Li, 2010) (Kumar, Arul, & Sasikumar, 2019) (Liang Y. , Shu, Wei, & Zhang, 2013).

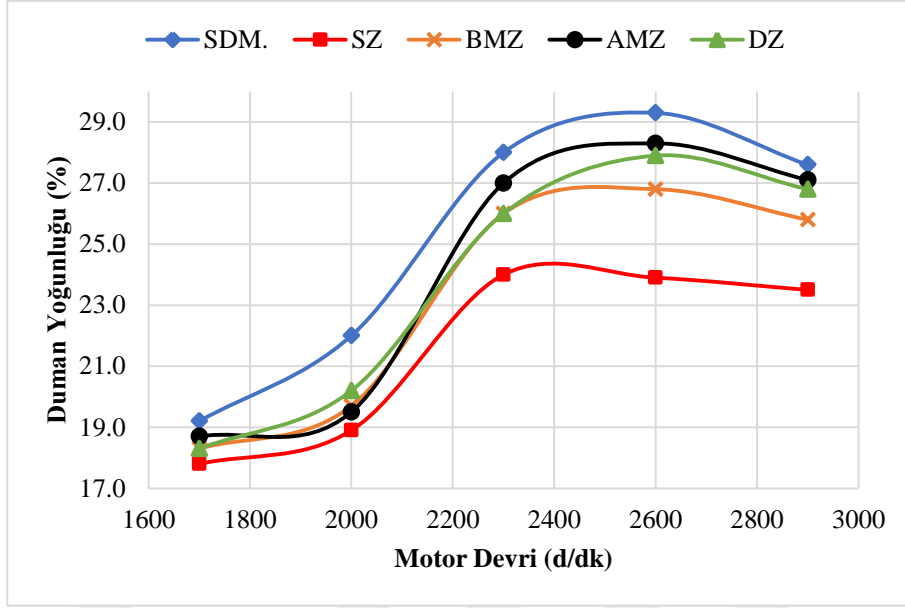
SDM’ye kıyasla AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımına bağlı olarak NOx emisyonlarında sırasıyla %2.92, %3.36, %4.90 ve %7.07 oranlarında artış görülmüştür. Bu oranlara dikkat edildiğinde, NOx emisyonlarındaki artış ile zeolit türlerinin oksijen zenginleştirme kabiliyetlerinin doğru orantılı olduğu görülmektedir. Zeolitlerin oksijen zenginleştirme oranları baz alındığında, NOx emisyon değerlerinin daha yüksek ölçüleceği düşünülmekteydi. Fakat zeolitlerin N_2 molekülünü tutarak (absorbe ederek) havayı oksijence saflaştırmasının NOx oluşumunu sınırladığı ve bu nedenle değerlerin beklenenden az olduğu düşünülmektedir. Literatürdeki birçok çalışmada zeolitlerin N_2 ’yi tutarak havadaki O_2 ’yi saflaştırma yeteneklerinin olduğu bildirilmiştir (Miller) (Mofarahi & Shokroo, 2013). NOx emisyonlarındaki en yüksek değerlerin görüldüğü SZ’nin aynı

zamanda diğ er zeolit tiplerine kıyasla maksimum oranda oksijen saflaşt ırđ ı tespit edilmiştir. NO_x emisyonlarında oluş an bu farklılığ ın zeolitlerin gözenek yapısına bağı lı olduğu düşünölmektedir. DZ'nin asit ve baz modifikasyonu yapılarak oksijen zenginleşt irme kapasitesinin yanında N₂ tutma kabiliyeti arttırılmaya çalışılmış tır. AMZ, DZ'ye kıyasla NO_x emisyonunda düşük oranda bir azalma göstermiştir. BMZ'de ise, NO_x emisyon oluş umu DZ'ye kıyasla artış göstermiştir. Bu durumdan, amonyum nitrat ve NaOH muamelelerinin HCl ile modifikasyona kıyasla zeolitın yüzey alanını, gözenek boyutunu ve hacmini arttırma açısından daha etkin olduğu ve bu şekilde daha yüksek saflıkta oksijen zenginleşt irme sağ lanıld ıđ ı anlaşılmıştır. Literatürde zeolitın modifiye edildiğ i birçok çalış mada benzer sonuçlar görölmüş tır (Akkoca, Yılğ ın, Ural, Akç ın, & Mergen, 2012).

5.3.5. Duman Yoğ unluğ u Sonuçlarının Değ erlendirilmesi

Duman yoğ unluğ u, İYM'lerde silindir iç erisinde oksijenin yetersiz olduğu yanma reaksiyon noktalarında uzun zincirli HC moleküllerinin termal olarak kırılması sonucu oluş maktadır (Özsezen & Çanakç ı, 2009). Duman emisyonu oksijen eksikliğ inde aç ıđ a çıkmaktadır. Oksijen eksikliğ i ise yanma odasında yerel olarak görölebilmekte ve azalan hava-yakıt oranı ile artmaktadır. Motorun çalış ma şartları, yanma odasının tipi, yakıtın fizikokimyasal özellikleri (Emiroğ lu & Ş en, 2018), yanma odasındaki oksijen yoğ unluğ u miktarı, yakıtın cinsi, yakıt-hava karış ım oranı ve homojenliğ i motorda duman emisyonu oluş umunu etkileyen bazı parametrelerdir (Siwale, ve diğ erleri, 2013).

Ş ekil 5.16'da ZF sisteminde kullanılan zeolit tiplerine göre duman yoğ unluklarının motor devrine bağı lı değ iş imleri görölmektedir. Duman yoğ unluğ u değ erleri incelendiğ inde, düşük motor devirlerinde duman yoğ unlukları nispeten daha az ölçölmüş tır. Bu durumun, yanma odasındaki düşük hava sirkölasyon hız ı ve yanma sonu sıcaklığ ından kaynaklandı đ ı düşünölmektedir. Ş ekil 5.16'da göröldüğ ü gibi motor devrinin yükselmesi ile birlikte duman yoğ unluğ u değ erleri artış göstermiştir. Buna bağı lı olarak yanma odasına verilen yakıt miktarının artması, yanma için ayrılan sürenin kısılması, yanmaya dâhil olan oksijen miktarının azalması ve yanma sırasında oluş an yerel zengin karış ım bölgelerinin çoğ alması duman yoğ unluğ u değ erlerinin artmasının ana nedenleri olduğu düşünölmektedir. Literatürdeki çalış malarda benzer sonuçlar görölmüş tır (Hazar, 2010).



Şekil 5.16. Duman yoğunluğunun zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri

Şekil 5.16'da, ZF'de kullanılan 4 zeolit tipinin de duman yoğunluğu değerleri üzerinde azaltıcı etki gösterdiği görülmektedir. ZF'nin DZ, AMZ, BMZ ve SZ tiplerini kullanarak havadaki N_2 'nin bir kısmını absorbe ettiği, bu şekilde havayı oksijence zenginleştirdiği ve kısmen saflaştırılan havanın yanma odasına beslenmesi ile duman yoğunluğunu azalttığı düşünülmektedir. Diğer bir ifade ile ZF sisteminin kullanılmadığı SDM'ye kıyasla, yanma sırasında ortamda daha fazla oksijen molekülünün bulunması, lokal olarak zengin hava-yakıt karışım oranı bölgeleri azaltarak yakıtın tam yanma verimini arttırmaktadır. Bu durumun duman yoğunluğu değerlerinin azalmasını sağladığı düşünülmektedir. Literatürdeki oksijen zenginleştirme çalışmalarında duman yoğunluğu emisyonlarının benzer şekilde azaldığı görülmüştür (Li, ve diğerleri, 2013) (Bascar & Kumar, 2017) (Kumar, Arul, & Sasikumar, 2019) (Kumar, Kerihuel, Belletre, & Tazerout, 2005).

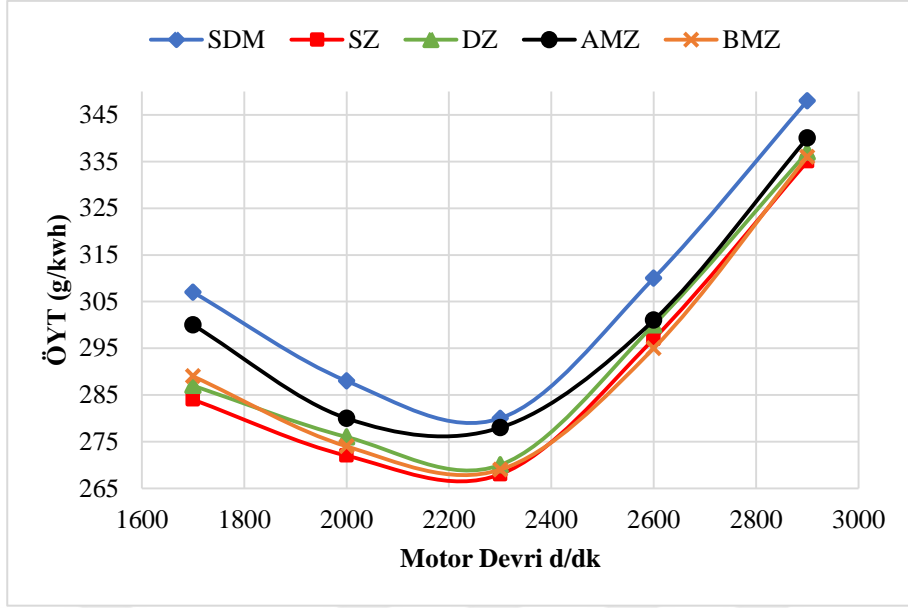
SDM'ye kıyasla AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımına bağlı olarak duman yoğunluklarında sırasıyla %4.55, %5.5, %7.47 ve %13.8 oranlarında düşüş görülmüştür. Bu oranlar incelendiğinde, en yüksek saflıkta oksijen üretimi sağlayan SZ'nin tüm motor devirlerinde minimum duman yoğunluğu değerlerini oluşturduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak SDM'ye kıyasla duman yoğunluklarındaki bu düşüşlerin kullanılan zeolit tiplerine bağlı yanma odasına beslenen farklı saflıklardaki oksijen miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yanma odasına beslenen oksijen miktarındaki artışın lokal zengin karışım bölgelerinin azalmasına neden olarak daha fazla HC'nin yanmasını sağladığı ve yanma reaksiyon ısısını yükselttiği düşünülmektedir. Bu durumun, yanma verimini arttırarak duman yoğunluğu değerlerini azalttığı düşünülmektedir. Literatürdeki oksijen zenginleştirme çalışmalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir (Kumar, Kerihuel, Belletre, & Tazerout, 2005). DZ'ye kıyasla duman yoğunluğu değerleri açısından AMZ tipi belirgin bir

değişim göstermemesine rağmen BMZ'nin motorda daha az duman emisyonu oluşturduğu görülmüştür. Bu sonuçlar ve oksijen zenginleştirme kabiliyetleri dikkate alındığında zeolitin baz modifikasyonunun, asit ile modifikasyona kıyasla daha etkin verim sağladığı ve duman yoğunluğu emisyon değerlerinin de bu doğrultuda değiştiği tespit edilmiştir. SZ'nin yüksek gözenekli moleküler yapısı sayesinde oksijen saflaştırma oranının yüksek olması, en düşük duman yoğunluğu değerlerinin SZ kullanımında elde edilmesini sağlamıştır.

5.3.6. ÖYT Sonuçlarının Değerlendirilmesi

ÖYT, motorun ne kadar verimli olduğunu gösteren önemli bir parametredir. Başka bir ifadeyle, ÖYT kWh başına tüketilen yakıt miktarı olarak belirtilmiştir (Hazar, 2017). ÖYT, motor çalışmasının sıkıştırma oranından ve karışımın termodinamik özelliklerinden etkilenmektedir. Yüksek alev sıcaklığı ve yanma hızı, hava-yakıt karışımındaki oksijen yoğunluğu miktarı ve yüzde yakıt tüketimi düşük frene özgü yakıt tüketiminin başlıca sebepleridir (Baskar & Senthilkumar, 2016).

Şekil 5.17'de ZF sisteminde kullanılan zeolit tiplerine göre ÖYT değerlerinin motor devrine bağlı olarak değişimleri görülmektedir. ÖYT değerleri incelendiğinde, düşük motor devirlerinde silindir içi sıcaklığın düşük olması neticesinde bu devir aralıklarında yanma veriminin düşük olduğu düşünülmektedir. Orta motor devirlerinde ise ÖYT değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Minimum ÖYT değerleri 2300 d/dk civarında gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, motor devrinin yükselmesi ile yanma odasının sıcaklığının artmasına bağlı olarak yanma veriminin iyileşmesi ve yakıt-hava karışımının stokiometrik orana yaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek motor devirlerinde, yanmaya ayrılan sürenin ve volümetrik verimin azalması ile motorun aynı gücü üretebilmesi için daha fazla yakıtın yanma odasına göndermesine sebebiyet vermektedir. Bu durumun, ÖYT değerlerinin artmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Literatürde ÖYT değerlerinde benzer değişimler gözlemlenmiştir (Sevinç, 2018) (Wei, Yao, Han, & Pan, 2016).



Şekil 5.17. ÖYT değerinin zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri

Şekil 5.17’de, ZF’de kullanılan 4 zeolit tipinin de ÖYT motor performans değerleri üzerinde azaltıcı etki gösterdiği görülmektedir. ZF’nin oksijence saflaştırdığı havanın motor yanma odasına beslenmesi ile yanma odasında bulunan ilave oksijenin yerel yakıt açısından zengin bölgeleri azaltarak ve yakıtın tam yanmasını sağlayarak silindir içi sıcaklık ve basıncı yükselttiği düşünülmektedir. Diğer bir ifade ile aynı silindir içi basıncın daha az miktarda yakıtın yakılması ile elde edilebileceği sonucuna varılmaktadır. Ayrıca, oksijen zenginleştirilmesine bağlı olarak yanma veriminin artması ÖYT değerlerindeki azalmanın diğer bir nedeni olarak düşünülmektedir. Literatürdeki oksijence zenginleştirme çalışmalarında ÖYT değerlerinin benzer şekilde azaldığı görülmüştür (Li, ve diğerleri, 2013) (Bascar & Kumar, 2017) (Kumar, Arul, & Sasikumar, 2019) (Kumar, Kerihuel, Belletre, & Tazerout, 2005) (Bascar & Senthilkumar, 2016), (Nidhi, 2019), (Baskar P, 2013).

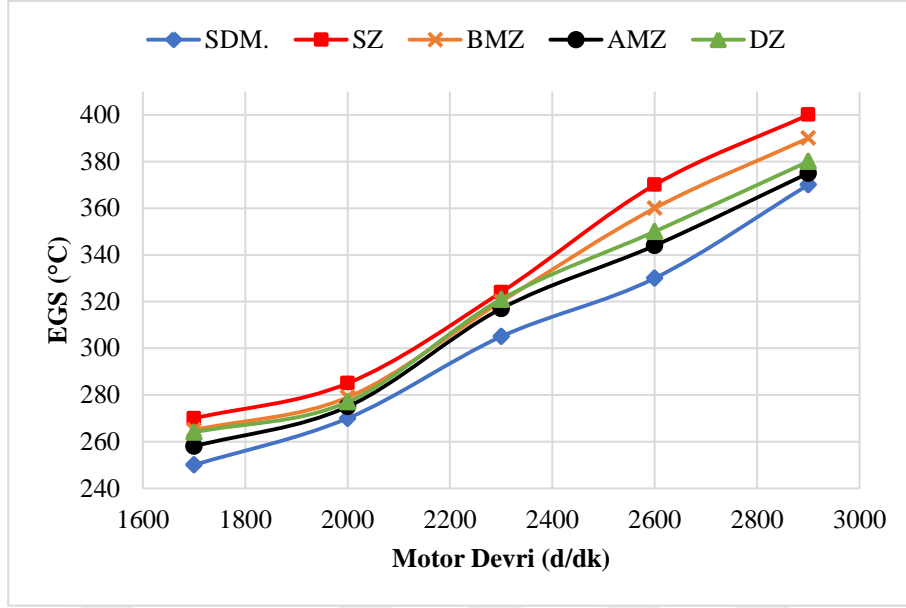
SDM’ye kıyasla AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımına bağlı olarak ÖYT değerlerinde sırasıyla %2.19, %4.13, %4.59 ve %5.05 oranlarında düşüş görülmüştür. ÖYT değerlerindeki düşüş oranlarına dikkat edildiğinde, en yüksek saflıkta oksijen üreten SZ’nin tüm motor devirlerinin ortalaması alındığında en düşük ÖYT değerlerini oluşturduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.17’de düşük motor devirlerinde oksijence zenginleştirme etkisi daha net görülmektedir. Yanmaya ayrılan sürenin düşük devirlerde daha fazla olması oksijence zenginleştirme etkisinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Buna bağlı olarak SDM’ye kıyasla ÖYT değerlerindeki bu düşüşlerin kullanılan zeolit tiplerine bağlı yanma odasına beslenen farklı saflıklardaki oksijen miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. DZ ‘nin asit ile muamele edilmesi sonucu oluşan AMZ’nin ÖYT değerlerinde DZ’ye kıyasla kaydadeğer bir değişiklik görülmemiştir. Fakat DZ’nin baz

modifikasyonu sonucu oluşan BMZ'nin ÖYT değerlerinde DZ'ye kıyasla azalma sağladığı görülmüştür. Bu sonuçlar ve oksijen zenginleştirme kabiliyetleri dikkate alındığında bazı modifikasyonunun, asit modifikasyonuna kıyasla daha verimli olduğu ve ÖYT değerlerinin de bu doğrultuda değiştiği görülmüştür. SZ'nin yüksek gözenekliliğinin neticesinde oksijen saflaştırma oranının yüksek olması, en düşük ÖYT değerlerinin SZ kullanımında elde edilmesini sağlamıştır.

5.3.7. EGS Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Egzoz gaz sıcaklığı (EGS), yanma odası sıcaklığı ve yakıtın özellikleri hakkında yorum yapılabilmesini sağlayan önemli bir parametredir (Öztürk, Hazar, & Arı, 2019). Egzoz gaz sıcaklığı, yakıtta bulunan ısı enerjisinden ne kadar faydalandığını ifade eden bir parametredir. Yüksek egzoz gaz sıcaklığı motorun zayıf termal verimliliğini temsil etmektedir. Yakıtın eksik yanması sonucunda ısıdan gerektiği gibi faydalanılmamakta ve buna bağlı olarak eksik yanan yakıt egzoz gazı içerisinde bulunmaktadır. Bu durum, kısmen yanmış yakıtın egzoz gazı içerisinde yanmasının devam etmesi ile EGS değerlerinin artmasına neden olmaktadır (Deheri, Acharya, Thatoi, & Mohanty, 2020). EGS, diğer bir taraftan, yanma veriminin artması, daha fazla C ve O₂'nin reaksiyona girmesi neticesinde yanma sonu sıcaklığını ve egzoz gaz sıcaklığını arttırmaktadır (Öztürk, Hazar, & Arı, 2019).

Şekil 5.18'de ZF sisteminde kullanılan zeolit tipleri için EGS değerlerinin devir sayısı ile değişimleri görülmektedir. Artan devir ile birlikte SDM ve tüm zeolit tipleri için egzoz gaz sıcaklığındaki artış açıkça görülmektedir. Düşük motor devirlerinde silindir içerisindeki düşük sıcaklığa bağlı olarak yanma verimindeki azalmanın buna neden olduğu düşünülmektedir. Motor devirlerinin artması ile birlikte yanma odasında yakılan yakıt miktarının ve bir önceki çevrimden kalan ısı miktarının artması sonucu EGS değerlerinin yükseldiği düşünülmektedir. Buna ek olarak yüksek devirlerde volümetrik verimin düşmesinden dolayı yanma verimi kötüleşmekte ve egzoz gazları içerisinde kısmen yanmış yakıt miktarının arttığı düşünülmektedir. Bu durumun EGS'yi arttıran diğer bir neden olduğuna inanılmaktadır. Literatürde motor devirleri ile EGS parametresi arasında benzer değişimler görülmüştür (Wei, Yao, Han, & Pan, 2016) (Sevinç & Hazar, 2019).



Şekil 5.18. EGS değerinin zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri

DeneySEL sonuçlara göre, ZF’de kullanılan 4 zeolit tipinin de EGS performans değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durumun, ZF’nin 4 zeolit tipini kullanarak farklı oksijen konsantrasyonlarında saflaştırdığı havanın yanma odasına beslenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Oksijen oranındaki artışa bağlı olarak, reaksiyon oranı, alev hızı ve ısı yayılım oranının artış gösterdiğine inanılmaktadır. Diğer bir ifade ile yanma odasındaki fazla oksijen miktarının, yakıtın oksidasyonunu arttırdığı, buna bağlı olarak yanma verimi yükselttiği ve bu durumun EGS değerlerinin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Literatürdeki çeşitli oksijen zenginleştirme çalışmalarında da EGS performans değerlerinde benzer sonuçlar görülmüştür (Kumar, Arul, & Sasikumar, 2019) (Kapusuz, 2018) (Han & Chu, 2011) (Baskın, Erkuş, Bulut, Çiçek, & Türköz, 2018) (Bascar & Senthilkumar, 2016).

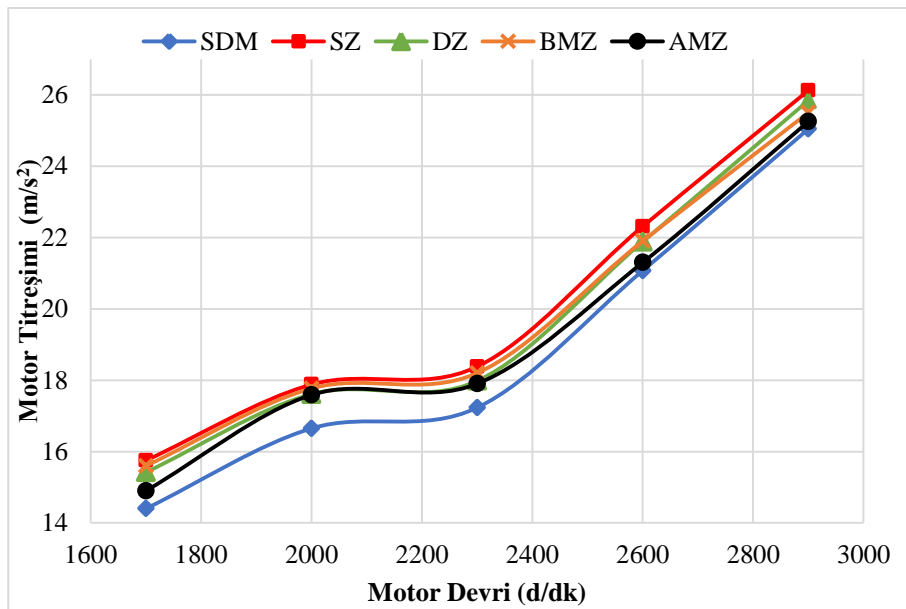
SDM’ye kıyasla AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımına bağlı olarak EGS değerlerinde sırasıyla %2,92, %4,4, %5,75 ve %8 oranlarında artış gözlemlenmiştir. Şekil 5.18. analiz edildiğinde, EGS değerlerindeki artışın zeolit türlerinin oksijen zenginleştirme kabiliyetleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. En yüksek EGS değerlerinin ölçüldüğü SZ’nin, aynı zamanda diğer zeolit tiplerine kıyasla en yüksek saflıkta oksijeni ürettiği tespit edilmiştir. EGS değerlerinde oluşan bu farklılığın zeolitlerin moleküler yapısına bağlı olduğu düşünülmektedir. DeneySEL sonuçlar incelendiğinde, amonyum nitrat ve NaOH muamelelerinin HCl ile muameleden zeoliti yüzey alanı, gözenek boyutu ve gözenek hacmi açısından daha etkin olarak arttırdığı düşünülmektedir. DZ’ye kıyasla AMZ egzoz gaz sıcaklığının daha düşük olduğu, BMZ’de bu oranın arttığı tespit edilmiştir. Bu durumun yapılan modifikasyonlar sonucu zeolit mineralinde oluşan değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde modifikasyonlar sonucu zeolit mineralinde benzer değişimler görülmüştür (Akkoca, Yılın, Ural, Akçin, & Mergen, 2012). En yüksek oksijen zenginleştirme

kapasitesine sahip SZ, DZ'ye kıyasla EGS performans değerlerinde büyük oranda artış sağlamıştır. Bu durumun Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da verilen SZ'ye ait SEM görüntülerinde görüldüğü gibi sentetik zeolitin sahip olduğu düşük gözenek boyutu ve yüksek yüzey alanına bağlı olduğu düşünülmektedir.

5.3.8. Titreşim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İYM'ler farklı frekanslara sahip, rahatsız edici ve mekanik anlamda olumsuz sonuçlar doğurabilecek kuvvetler üretebilmektedir. İçten yanmalı motorların titreşimi; yanma basıncına, piston-krank mekanizmasının hareketine, motorun bağlantı elemanlarının çalışmasından kaynaklanan girişler, motor gövdesinden aktarılan girişler, soğutma elemanının akışı, emme ve egzoz gazları, enjektörden yakıt girişi ve çıkışı, kam ünitesinin parçalarının ataleti gibi parametrelerden etkilenmektedir (Tomaszewski & Szymanski, 2012). Yüksek sıkıştırma oranı ve yanma odası basıncı, titreşim değerlerini etkileyen başlıca faktörlerdir (Alisaraei, Ghobadian, Hashjin, & Mohtasebi, 2012).

Şekil 5.19'da ZF sisteminde kullanılan zeolit tiplerine göre titreşim değerlerinin motor devrine bağlı değişimleri görülmektedir. SDM ve tüm zeolit tipleri için titreşim değerleri artan motor hızına paralel olarak artış göstermiştir. Bu artış, motor hızının artması ile piston ve krank gibi hareketli motor parçalarının atalet kuvvetlerinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde benzer sonuçlar görülmüştür (Uludamar, Tosun, & Aydın, 2016).



Şekil 5.19. Titreşim değerinin zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri

Deneysel sonuçlara göre, ZF’de kullanılan 4 zeolit tipinin de titreşim değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durumun, ZF’de kullanılan farklı oksijen konsantrasyonlarındaki 4 zeolit tipi ile saflaştırılan havanın yanma odasına beslenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Emme havasının oksijence zenginleştirilmesi sonucunda, C ve O₂ oksidasyon reaksiyon oranının arttığı ve yanma sırasında daha fazla ısı enerjisi açığa çıkarak silindir içi tepe sıcaklık ve basıncı arttırdığı düşünülmektedir. Artan silindir içi basınç ise piston ve silindir cidarları üzerinde oluşan kuvvetlerin artmasına sebep olarak motor bloğu titreşimini arttırdığı düşünülmektedir. Titreşim değerlerindeki değişimlerin literatürdeki değerlere paralel olduğu görülmüştür (Satsangi & Tiwari, 2018).

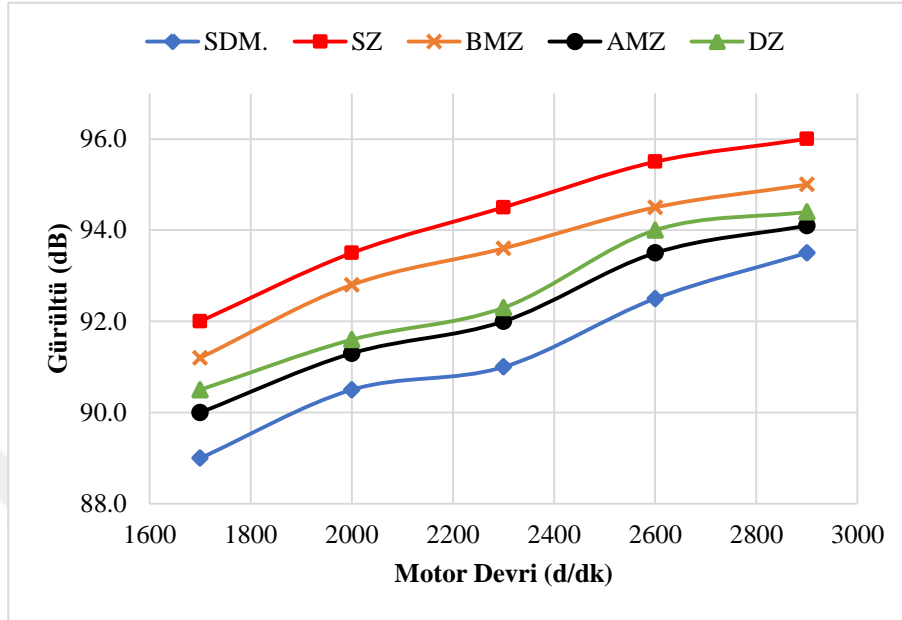
SDM’ye kıyasla AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımına bağlı olarak titreşim değerlerinde sırasıyla %3, %4.85, %5.29 ve %6.73 oranlarında artış gözlemlenmiştir. Şekil 5.19 incelendiğinde, titreşim değerlerindeki artışın zeolit tiplerinin oksijen zenginleştirme kabiliyetleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Titreşim parametresindeki maximum artışın görüldüğü SZ’nin aynı zamanda diğer zeolit tiplerine kıyasla en yüksek saflıkta oksijeni ürettiği tespit edilmiştir. Titreşim değerlerinde oluşan bu farklılığın zeolitlerin moleküler yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. DZ’ye kıyasla AMZ titreşim değerlerinin daha düşük olduğu, BMZ’ de ise bu oranın arttığı tespit edilmiştir. Bu durumun, yapılan modifikasyonlar sonucu zeolit yapısında açığa çıkan gözenek farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. SZ’nin ise diğer zeolit tiplerine kıyasla daha yüksek gözeneklilik göstermesi, en yüksek zenginleştirmenin ve titreşimin SZ kullanımında gerçekleşmesini sağlamıştır.

5.3.9. Gürültü Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İYM’lerde 3 ana gürültü kaynağı vardır. Bunlar; yanma, mekanik, emme ve egzoz gürültüleridir (Patel, Tiwari, & Agarwal, 2019). Yanma gürültüsü motor yanma odasındaki hızlı basınç artışından kaynaklanmaktadır. Mekanik gürültü ise dönen ve hareket eden parçalardan diğer bir ifade ile piston, krank, dişli, subap mekanizmasının parçaları, yakıt enjeksiyon elemanlarından kaynaklanmaktadır (Seifi, Hassan-Beygi, Ghobadian, Desideri, & Antonelli, 2016). Silindir basıncının yükselmesi ve ısı yayılım karakteristiği motordan yayılan gürültüde önemli rol oynamaktadır (Redel-Macias, Pinzi, Leiva, Cubero-Atienza, & Dorado, 2012) (Patel, Tiwari, & Agarwal, 2019).

Şekil 5.20’de ZF sisteminde kullanılan zeolit tipleri için gürültü değerlerinin değişimleri görülmektedir. SDM ve tüm zeolit tipleri için gürültü değerleri motor hızının artması ile artış göstermiştir. Gürültü seviyelerindeki bu artışın ana nedeninin piston ve krank gibi parçaların ataletlerinin artmasına bağlı olarak mekanik gürültünün artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna ek olarak, yanma odasında yakılan yakıt miktarının artması neticesinde silindir içi basıncın

artması, yanma gürültüsü biçiminde artışın diğer bir nedeni olarak düşünülmektedir. Literatürde benzer değişimler görülmüştür (Uludamar, Tosun, & Aydın, 2016).



Şekil 5.20. Gürültü değerlerinin zeolit tiplerine ve motor devrine bağlı değişimleri

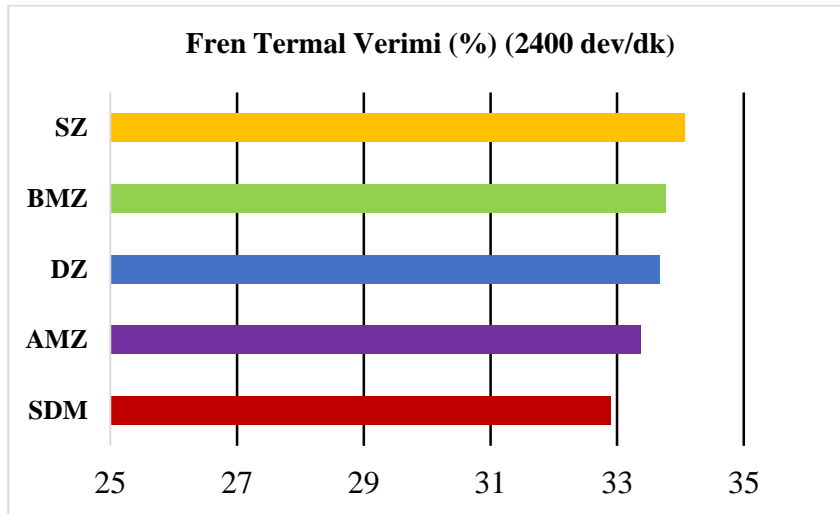
DeneySEL sonuçlara göre, ZF’de kullanılan 4 zeolit tipinin de gürültü değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Emme havasının oksijence zenginleştirilmesinin tutuşma gecikmesini azalttığı ve yanma hızını arttırdığı, bu durumun yanma gürültüsünün artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Buna ek olarak oksijen zenginleştirmeye bağlı, yanma veriminin iyileşmesi yanma sonu açığa çıkan ısı miktarını arttırdığı ve buna bağlı olarak silindiri içi basıncı arttırdığı düşünülmektedir. Literatürde benzer sonuçlar görülmüştür (Kapusuz, 2018; Kumar, Arul, & Sasikumar, 2019).

SDM’ye kıyasla AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımına bağlı olarak gürültü değerlerinde sırasıyla %1, %1.38, %2.33 ve %3.3 oranlarında artış gözlemlenmiştir. Şekil 5.20 analiz edildiğinde, gürültü değerlerindeki artışın zeolit tiplerinin oksijen zenginleştirme kabiliyetleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Gürültü parametresindeki maximum artışın görüldüğü SZ’nin aynı zamanda diğer zeolit tiplerine kıyasla en yüksek saflıkta oksijeni ürettiği tespit edilmiştir. Gürültü değerlerinde oluşan bu farklılığın zeolitlerin moleküler yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. DZ’ye kıyasla AMZ gürültü değerlerinin daha düşük olduğu, BMZ’de ise bu oranın arttığı tespit edilmiştir. Bu durumun, yapılan modifikasyonlar sonucu zeolit yapısında açığa çıkan gözenek farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. En yüksek saflıktaki oksijeni üreten SZ, DZ’ye kıyasla gürültü değerlerinde artış sağlamıştır. Bu durumun, SZ’nin sahip olduğu

daha yüksek gözneklı iskelet yapısından kaynaklandığı düşünölmektedir. Güröltü değerlerindeki değişimler titreşim değerlerindeki değişim trendine benzer şekilde elde edilmiştir.

5.3.10. Fren Termal Veriminin Değerlendirilmesi (FTV)

Fren termal verimi (FTV), içten yanmalı motorların performans değişikliklerini ölçmek için kullanılan önemli parametrelerden biridir. Yanma verimini etkileyen faktörler termal verim üzerinde de etkilidir. Bunlar ateşleme gecikmesi, yanma sonu sıcaklığı, reaksiyonun meydana geldiği ortam sıcaklığı, oksijen miktarı, yakıtın kimyasal ve fiziksel özellikleridir (Hazar & Sevinç, 2019). İdeal bir perspektiften FTV, sıkıştırma oranından ve hava-yakıt karışımının termodinamik özelliklerinden etkilenmektedir. Bu çalışmada sıkıştırma oranı değiştirilmemiştir, bununla birlikte, karışımın termodinamik özellikleri oksijence zenginleştirilmiş havanın beslenmesi nedeniyle değişmiştir. Şekil 5.21' de, SDM ve zeolit tiplerine bağlı olarak ölçölen BTE değerleri görölmektedir. Zeolit yardımıyla oksijence zenginleştirilen havanın motora beslenmesi ile BTE değerlerinde artış görölmüştür. SDM' ye kıyasla, AMZ, DZ, BMZ ve SZ tiplerinin kullanılmasıyla sırasıyla %1.43, %2.34, %2.65 ve %3.56 oranlarında artış görölmüştür. Yanma odasına beslenen ilave oksijen, hidrokarbonların oksidasyon reaksiyonunu arttırarak, yakıtın tamamen yanmasına neden olduğu düşünölmektedir. Bu şekilde yanma veriminin ve buna bağlı olarak FTV' nin arttığına inanılmaktadır. Zeolitlerin BTE değerleri incelendiğinde, en yüksek artışın, yüksek oksijen saflaştırma yeteneğine sahip SZ' de gerçekteştiği, en düşük artışın ise en düşük oksijen saflaştırma kabiliyetine sahip olan AMZ' de gerçekteştiği görölmüştür. Zeolitlerin moleküler yapılarından kaynaklanan farklı oksijen saflaştırma kabiliyetleri, BTE değerlerinde oluşan bu farklılıkların ana nedeni olduğu düşünölmektedir. Baz modifikasyonun, asit modifikasyonuna göre daha verimli olduğu BTE sonuçlarından anlaşılmıştır.



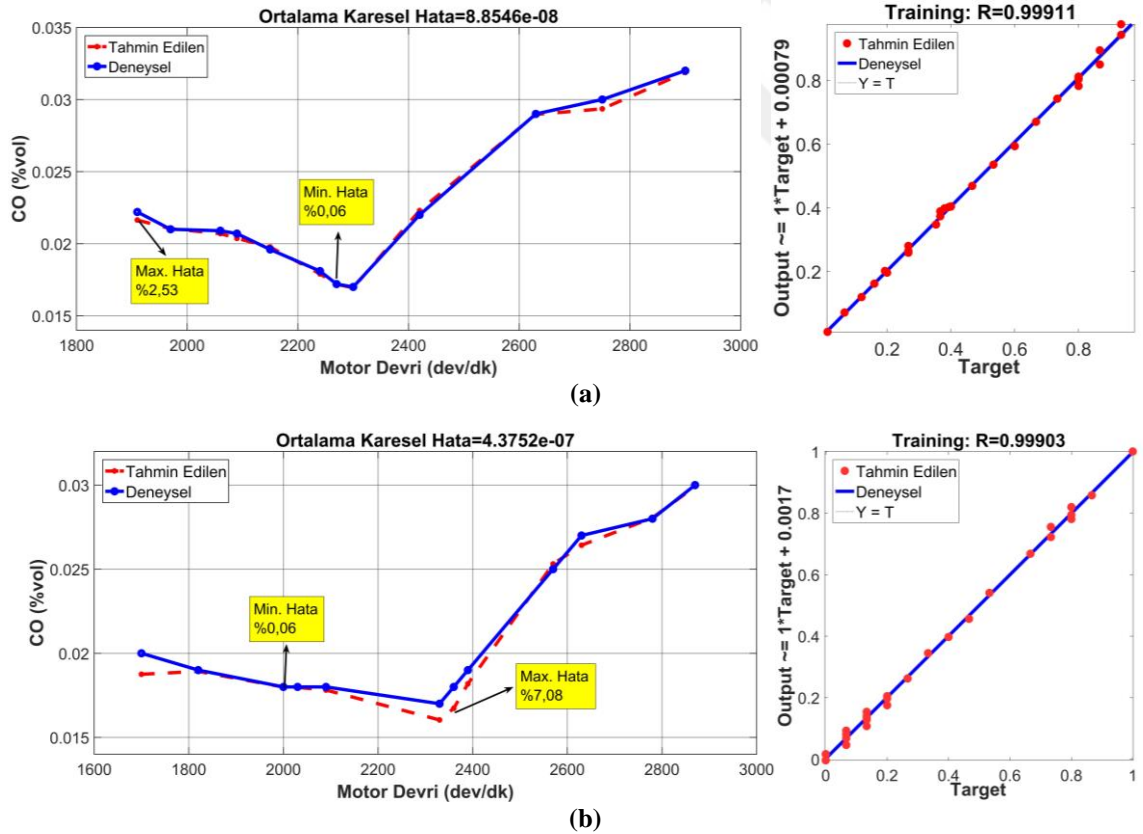
Şekil 5.21. 2400 d/dk'daki fren termal verimi

5.4. YSA Sonuçlarının Değerlendirilmesi

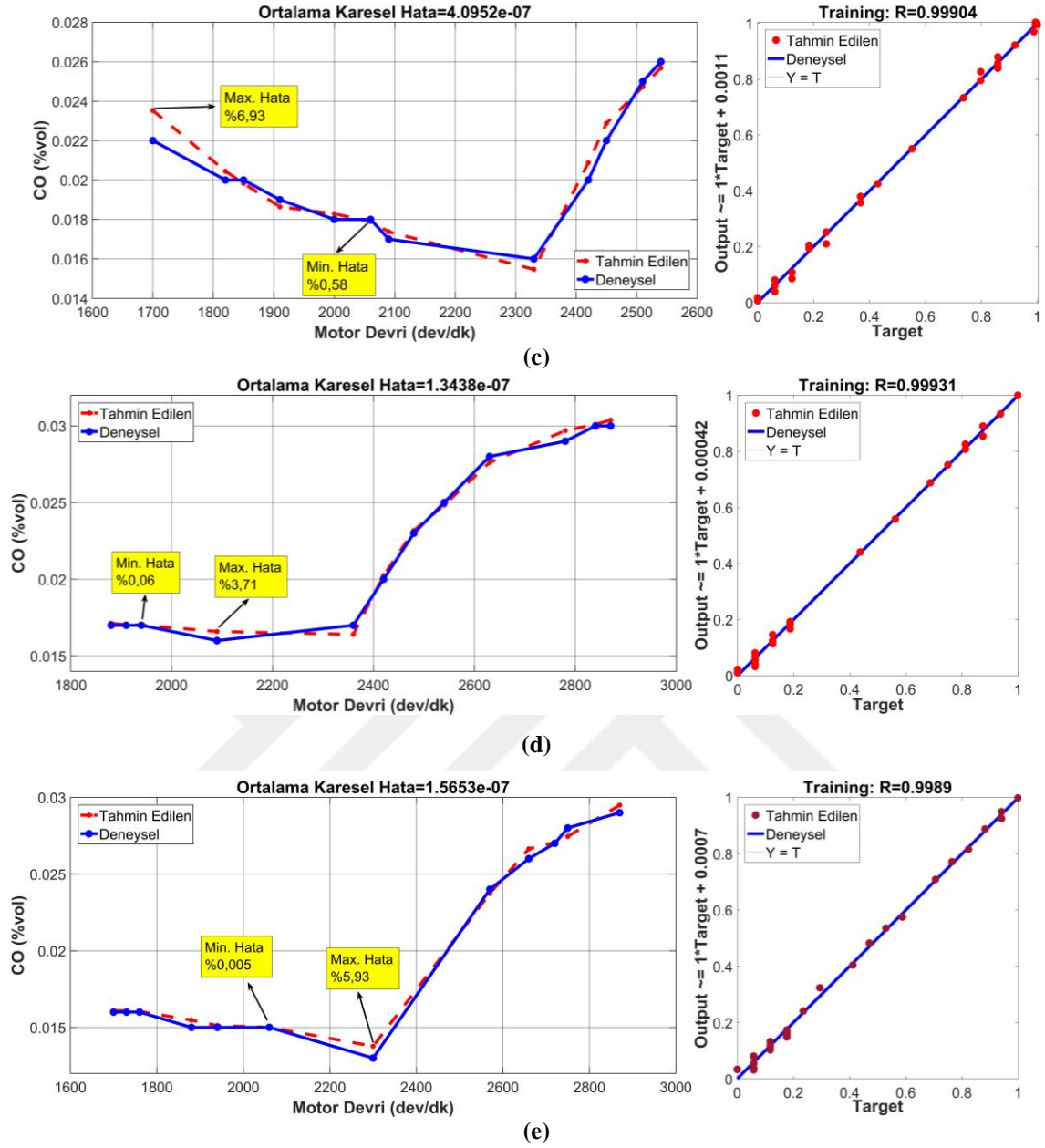
Bu bölümde YSA sonuçları, maksimum-minimum hata oranları, regresyon ve OKH değerleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Her bir motor parametresinin farklı zeolit tipleri için elde edilen grafikler verilerek, örnek tek bir grafiğin açıklaması yapılmıştır. Bölümün sonunda ise bütün parametrelerin YSA sonuçları tablo biçiminde özetlenerek yorumlanmıştır.

• CO Emisyonu YSA Sonuçları

Şekil 5.22’de CO emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafikleri zeolit tiplerine ve SDM’ye bağlı olarak gösterilmektedir. Şekil 5.22 (a)’ya dikkat edildiğinde, SDM tipi için CO emisyonunun motor devrine bağlı olarak deneysel, tahmini ve Regresyon sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. CO emisyonuna ait deneysel ve YSA tarafından tahmin edilen sonuçlar kıyaslandığında 1910 d/dk’ da %2.53 ile max. hata, 2270 d/dk’ da ise %0.06 ile min. hata değerleri elde edilmiştir. YSA, ortalama karesel hata (OKH) değerini $8.8546e-08$, regresyon değerini ise 0.99911 olarak hesaplamıştır.



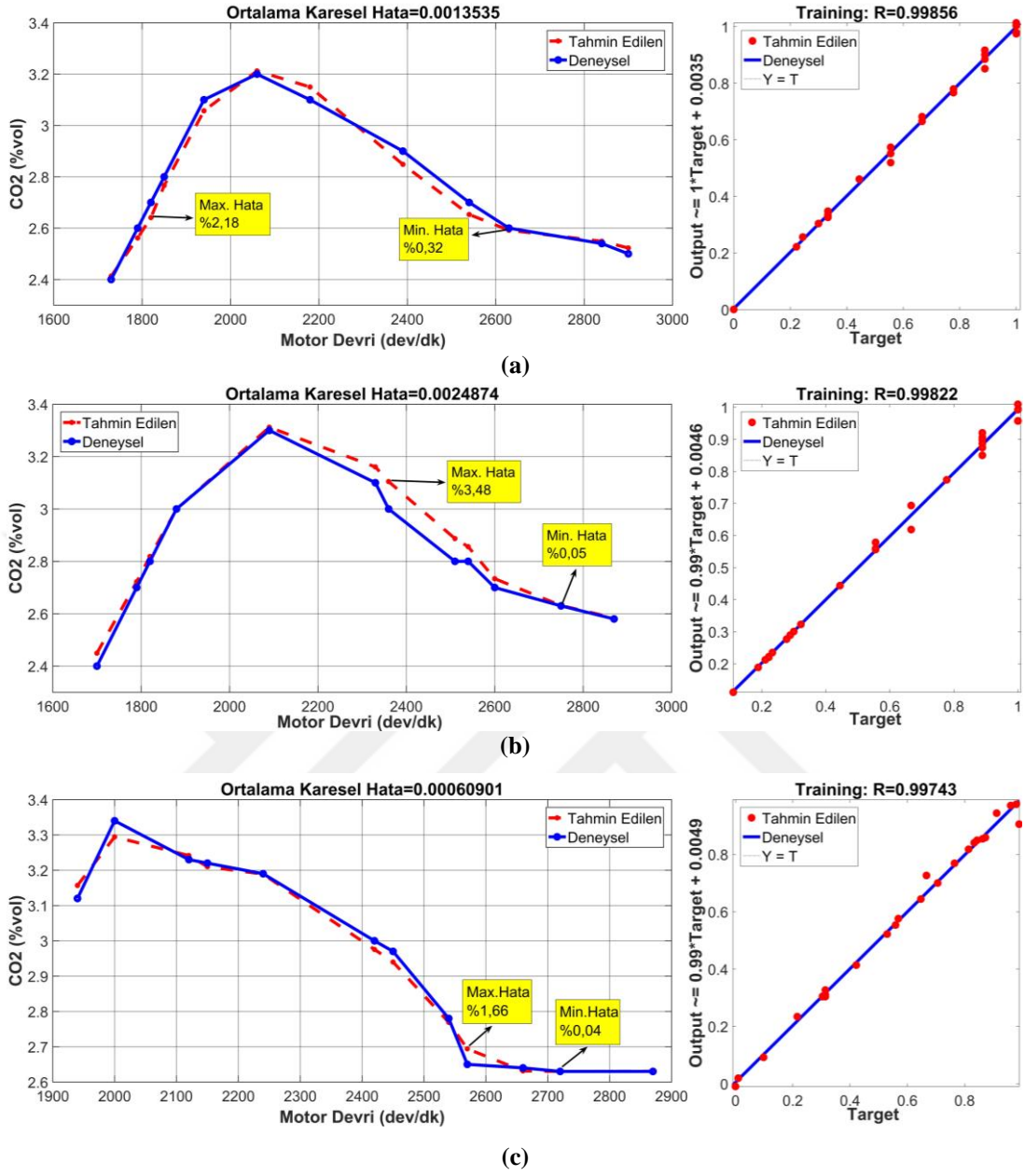
Şekil 5.22. CO emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ (Devamı)



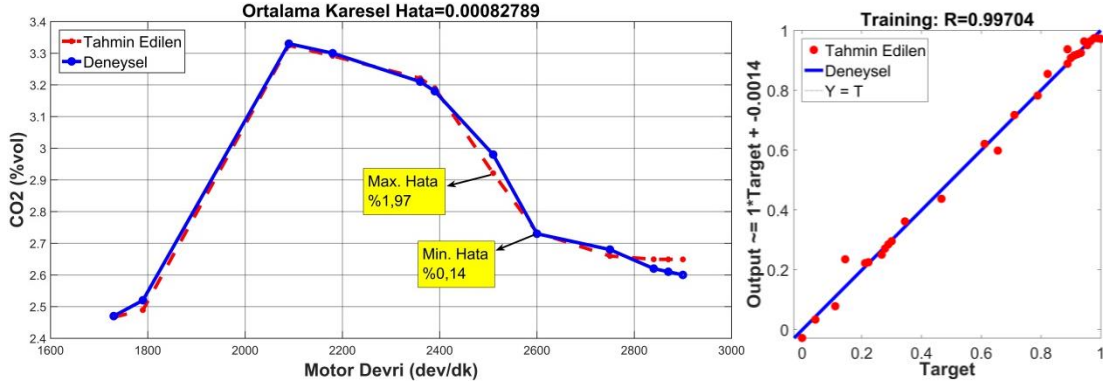
Şekil 5.23. CO emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ

- **CO₂ Emisyonu YSA Sonuçları**

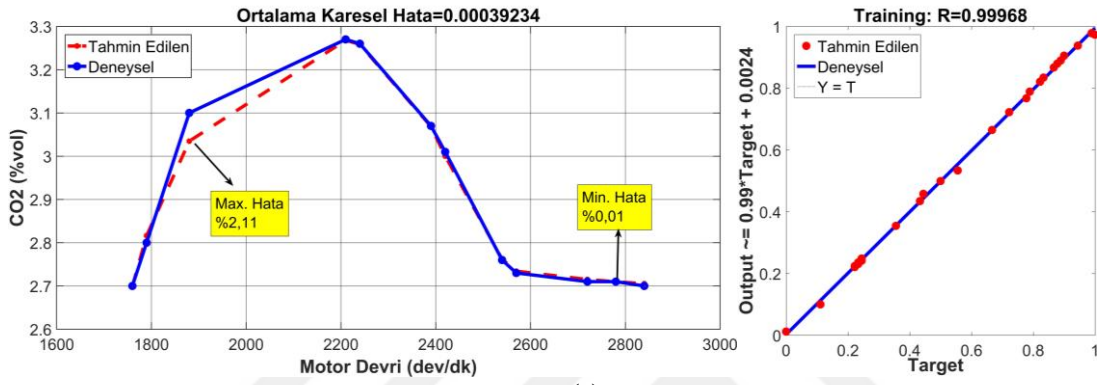
Şekil 5.23'de CO₂ emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafikleri zeolit tiplerine ve SDM'ye bağlı olarak gösterilmektedir. Şekil 5.23 (b)'ye dikkat edildiğinde, DZ tipi için CO₂ emisyonunun motor devrine bağlı olarak deneysel, tahmini, Regresyon sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. CO₂ emisyonuna ait deneysel ve YSA tarafından tahmin edilen sonuçlar kıyaslandığında, 2360 d/dk' da %3,48 ile max. hata, 2750 d/dk'da ise %0,05 ile min. hata değerleri elde edilmiştir. YSA, OKH değerini 0,0024874 olarak, Regresyon değerini ise 0,99822 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.24. CO₂ emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ (Devamı)



(d)

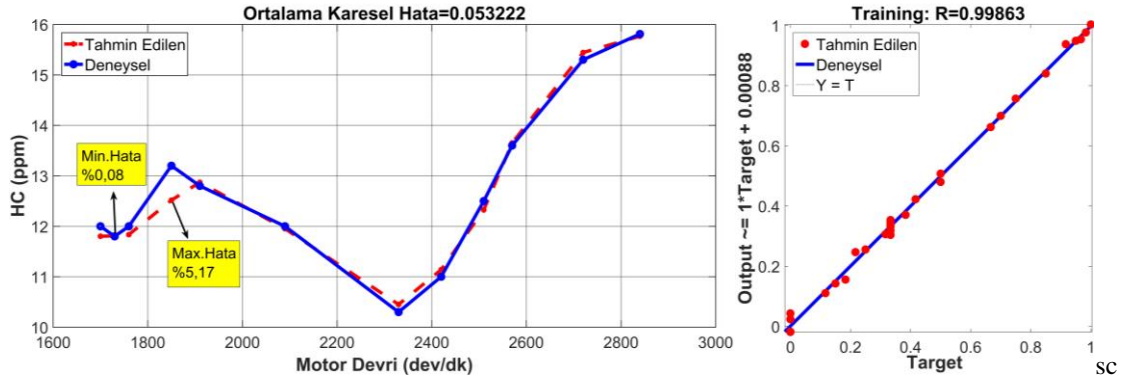


(e)

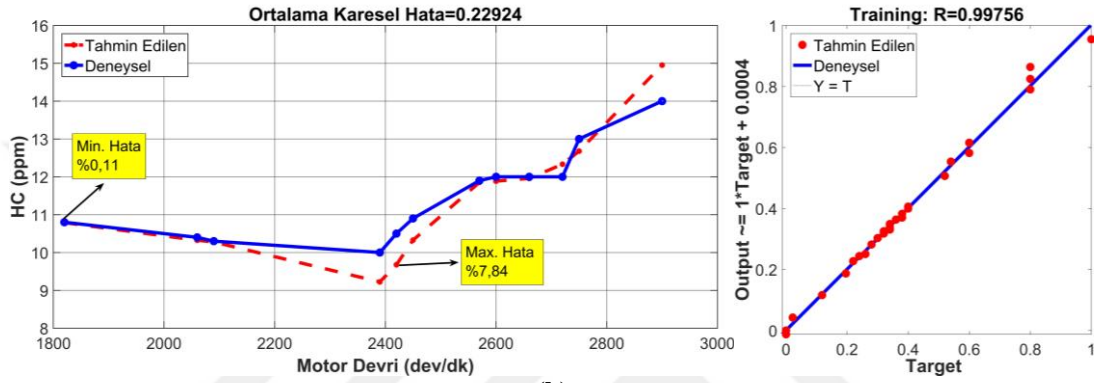
Şekil 5.25. CO₂ emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ

• HC Emisyonlarının YSA Analizi

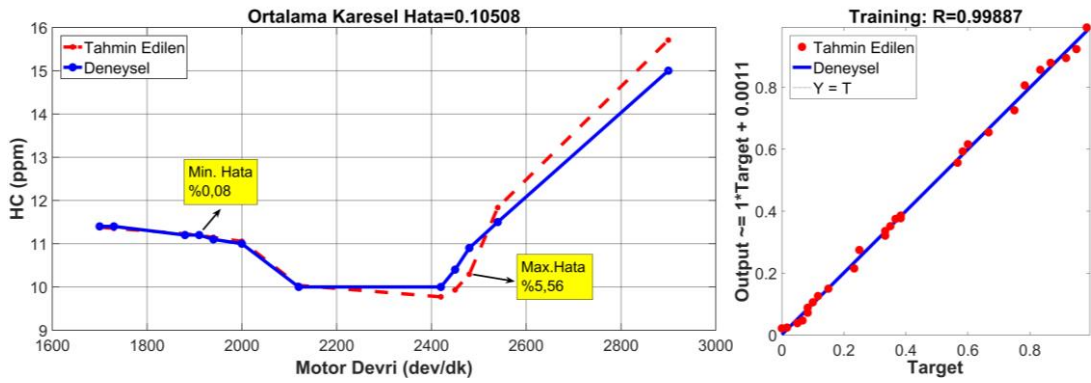
Şekil 5.24'de HC emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grzeolit tiplerine ve SDM'ye bağlı olarak gösterilmektedir. Şekil 5.24 (c)'ye dikkat edildiğinde, AMZ tipi için HC emisyonunun motor devrine bağlı olarak deneysel, tahmini, Regresyon sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. HC emisyonuna ait deney ve YSA sonuçları kıyaslandığında 2480 d/dk' da %5.56 ile max. hata, 1910 d/dk'da ise %0.08 ile min. hata değerleri elde edilmiştir. YSA, OKH değerini 0.10508, regresyon değerini ise 0.99887 olarak hesaplamıştır.



(a)

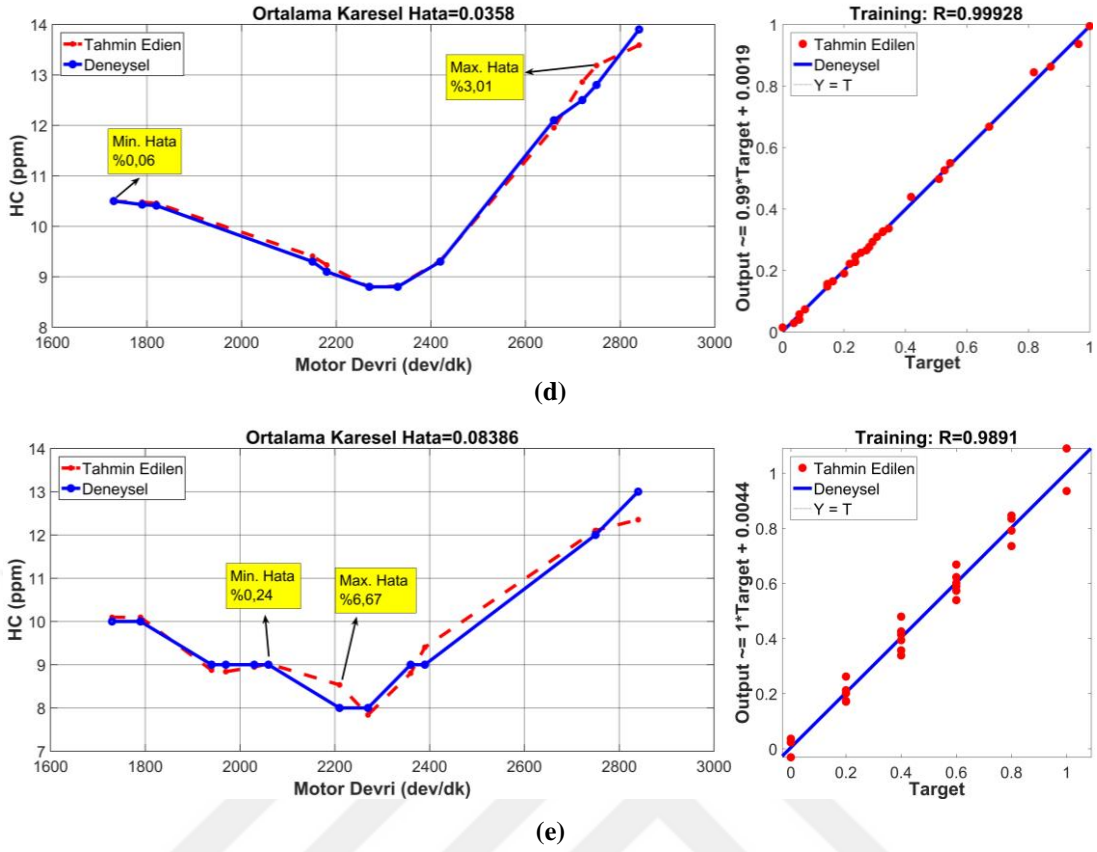


(b)



(c)

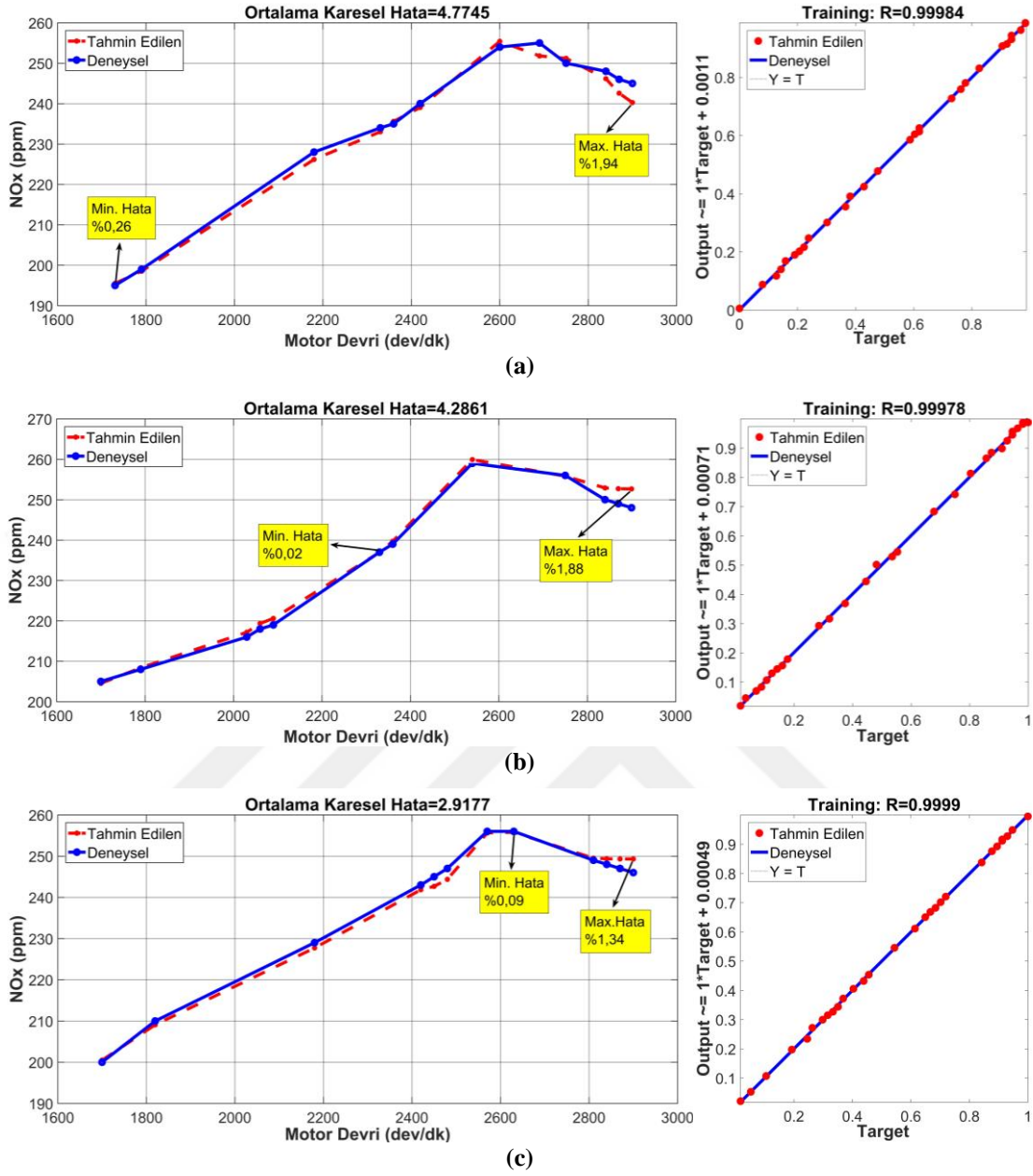
Şekil 5.26. HC emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ (Devamı)



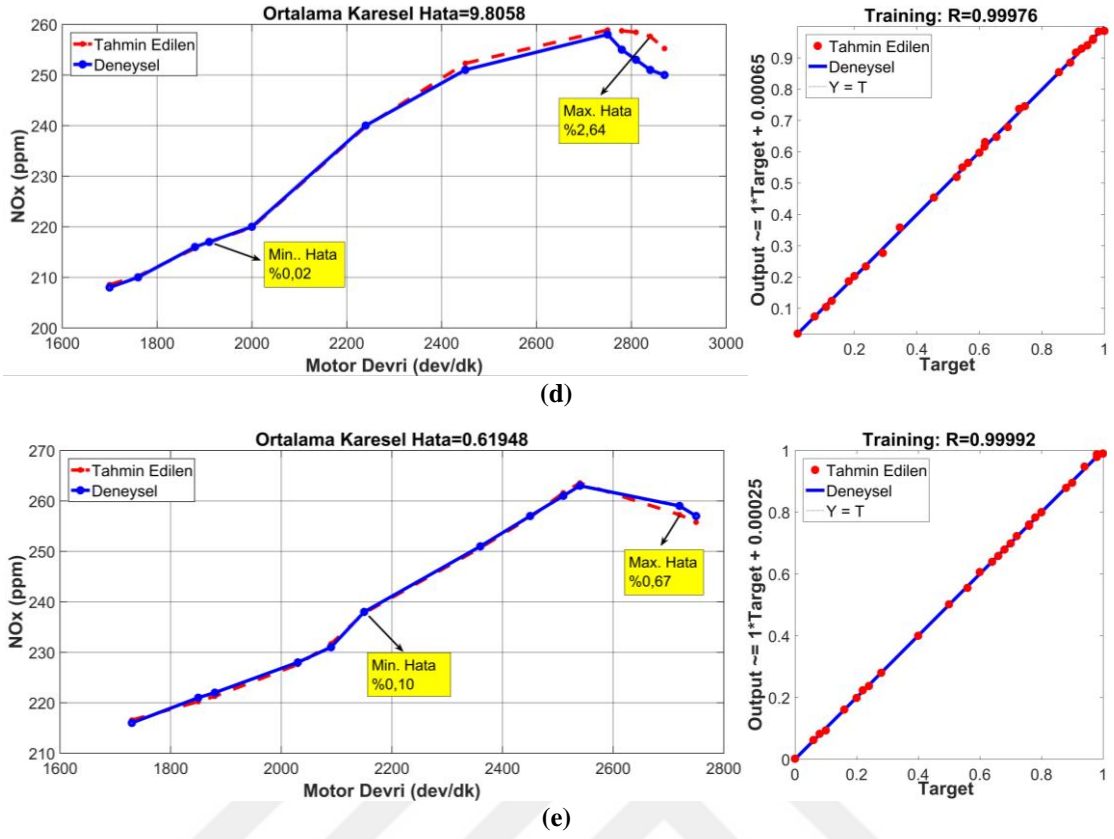
Şekil 5.27. HC emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ

- **NOx Emisyonlarının YSA Analizi**

Şekil 5.25’de NOx emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafikleri zeolit tiplerine ve SDM’ye bağlı olarak gösterilmektedir. Şekil 5.25 (d)’ye dikkat edildiğinde, BMZ tipi için NOx emisyonunun motor devrine bağlı olarak deneysel, tahmini, regresyon sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. NOx emisyonuna ait deneysel ve YSA tarafından elde edilen sonuçlar kıyaslandığında 2840 d/dk’ da %2.64 ile max. hata, 1910 d/dk’da ise %0.02 ile min. hata değerleri elde edilmiştir. YSA, OKH değerini 9.8058, regresyon değerini ise 0.99976 olarak hesaplamıştır.



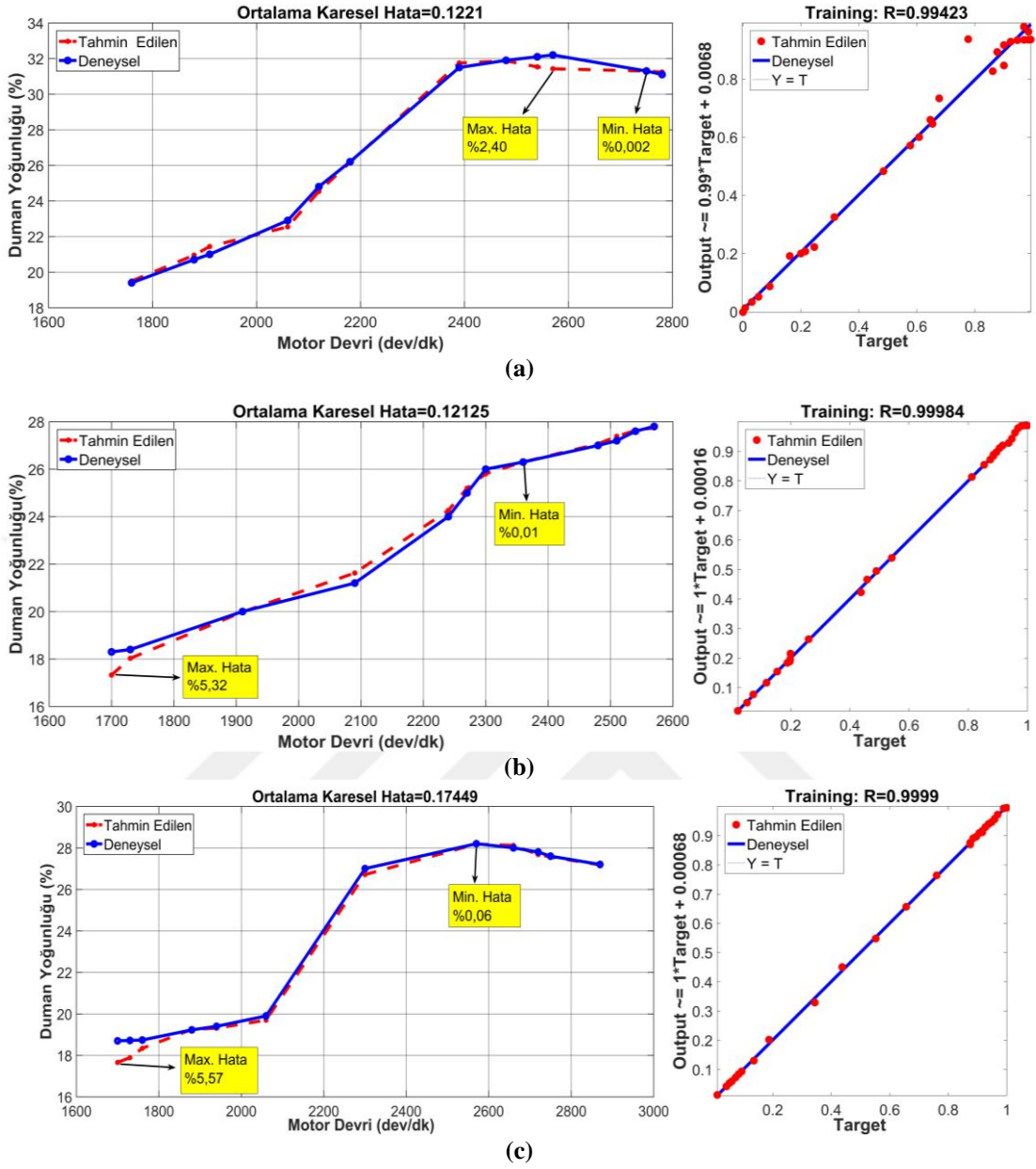
Şekil 5.28. NO_x emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ (Devamı)



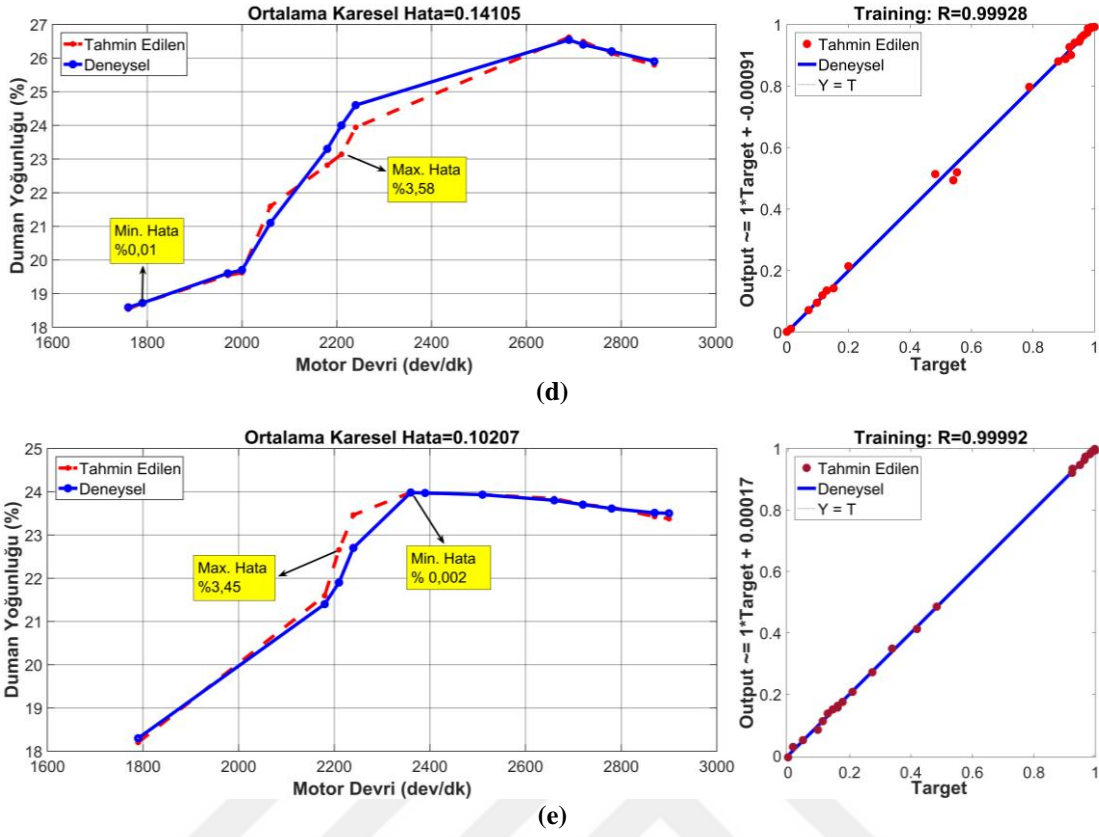
Şekil 5.29. NOx emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ

- **Duman Yoğunluğu'nun YSA Analizi**

Şekil 5.26'de duman yoğunluğu değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafikleri zeolit tiplerine ve SDM'ye bağlı olarak gösterilmektedir. Şekil 5.26 (e)'ye dikkat edildiğinde, SZ tipi için duman yoğunluğunun motor devrine bağlı olarak deneysel, tahmini, Regresyon sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Duman yoğunluğuna ait deneysel ve YSA tarafından tahmin edilen sonuçlar kıyaslandığında 2210 d/dk' da %3.45 ile max. hata, 2360 d/dk'da ise %0.002 ile min. hata değerleri elde edilmiştir. YSA, OKH değerini 0.10207, regresyon değerini ise 0.99992 olarak hesaplamıştır.



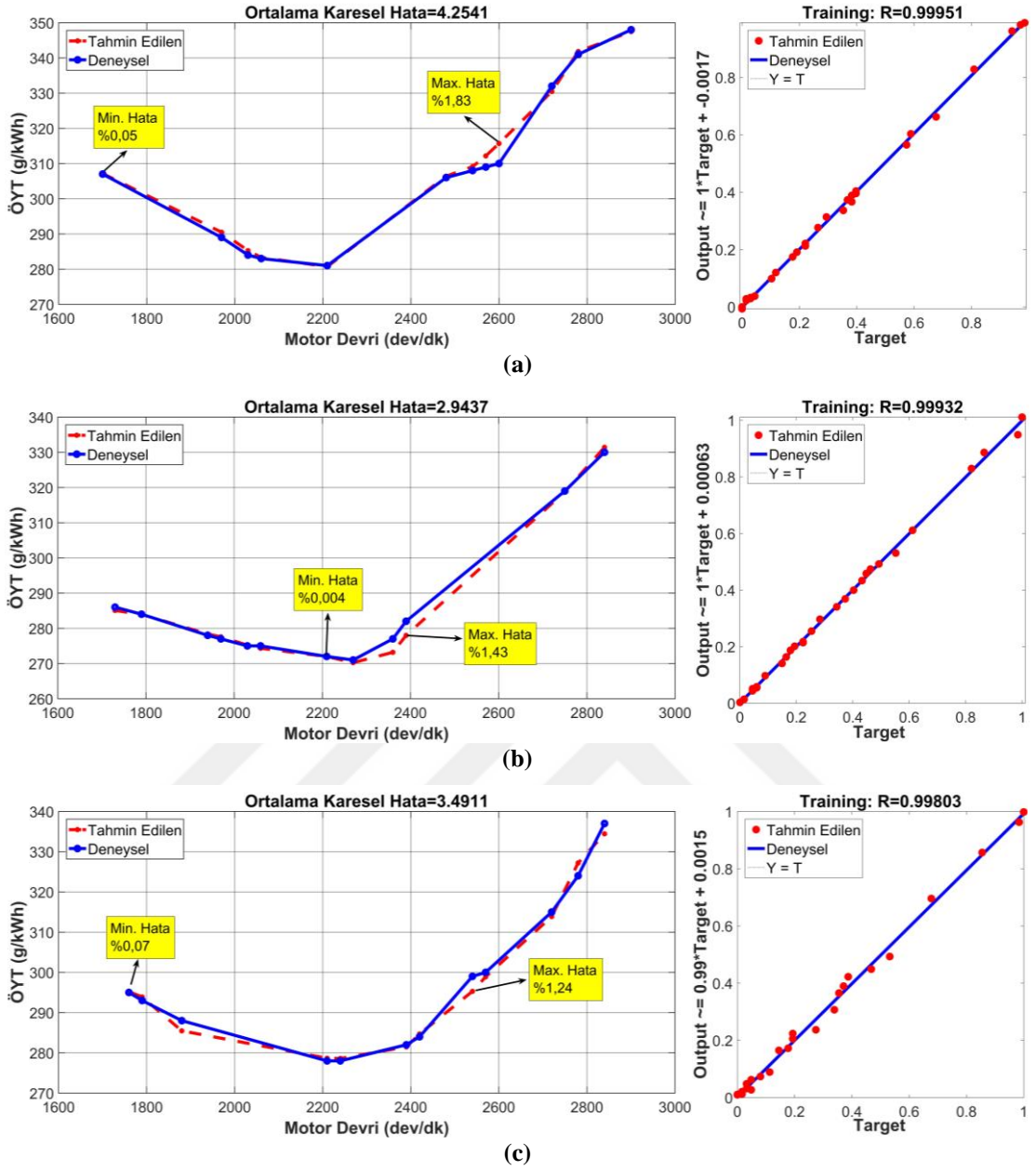
Şekil 5.30. Duman yoğunluğu emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ (Devamı)



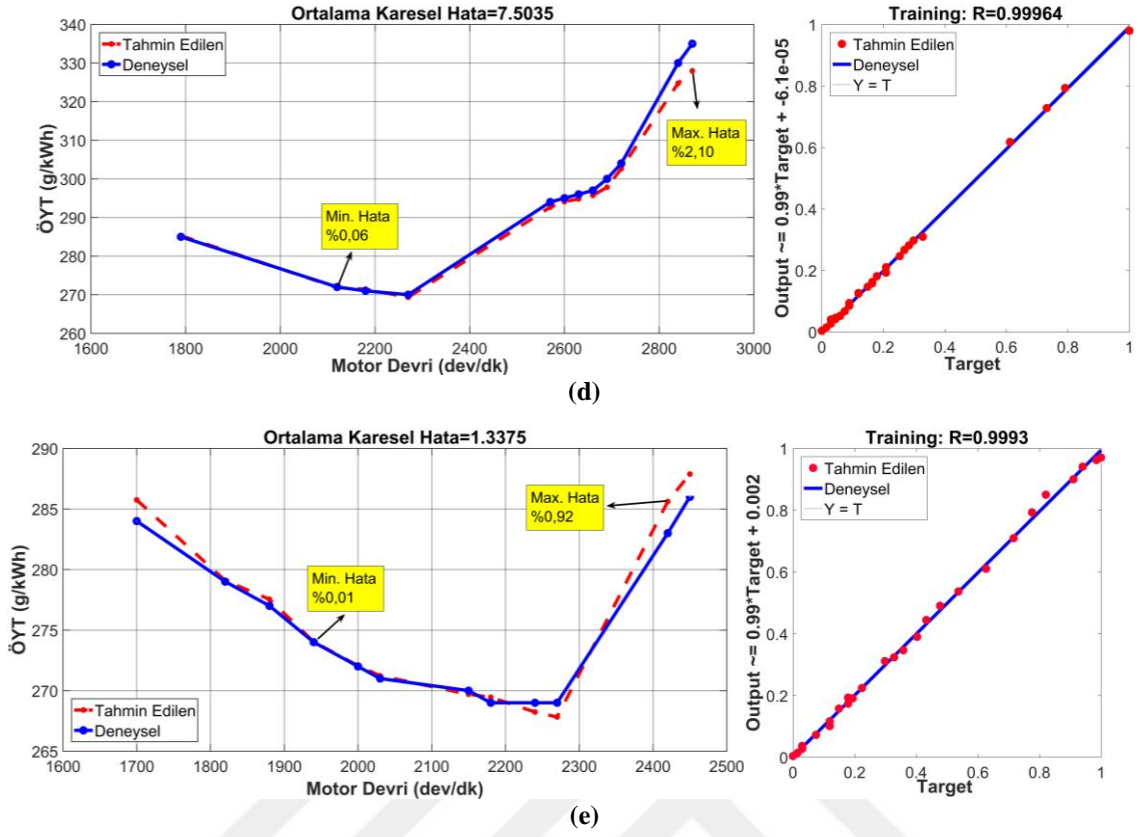
Şekil 5.31. Duman yoğunluğu emisyon değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ

- **ÖYT Değerlerinin YSA Analizi**

Şekil 5.27’de ÖYT değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafikleri zeolit tiplerine ve SDM’ye bağlı olarak gösterilmektedir. Şekil 5.27 (a)’ya dikkat edildiğinde, SDM tipi için ÖYT değerlerinin motor devrine bağlı olarak deneysel, tahmini, regresyon sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. ÖYT parametresine ait deneysel ve YSA tarafından tahmin edilen sonuçlar kıyaslandığında 2600 d/dk’ da %1.83 ile max. hata, 1700 d/dk’ da ise %0.05 ile min. hata değerleri elde edilmiştir. YSA, OKH değerini 4.2541, regresyon değerini ise 0.99951 olarak hesaplamıştır.



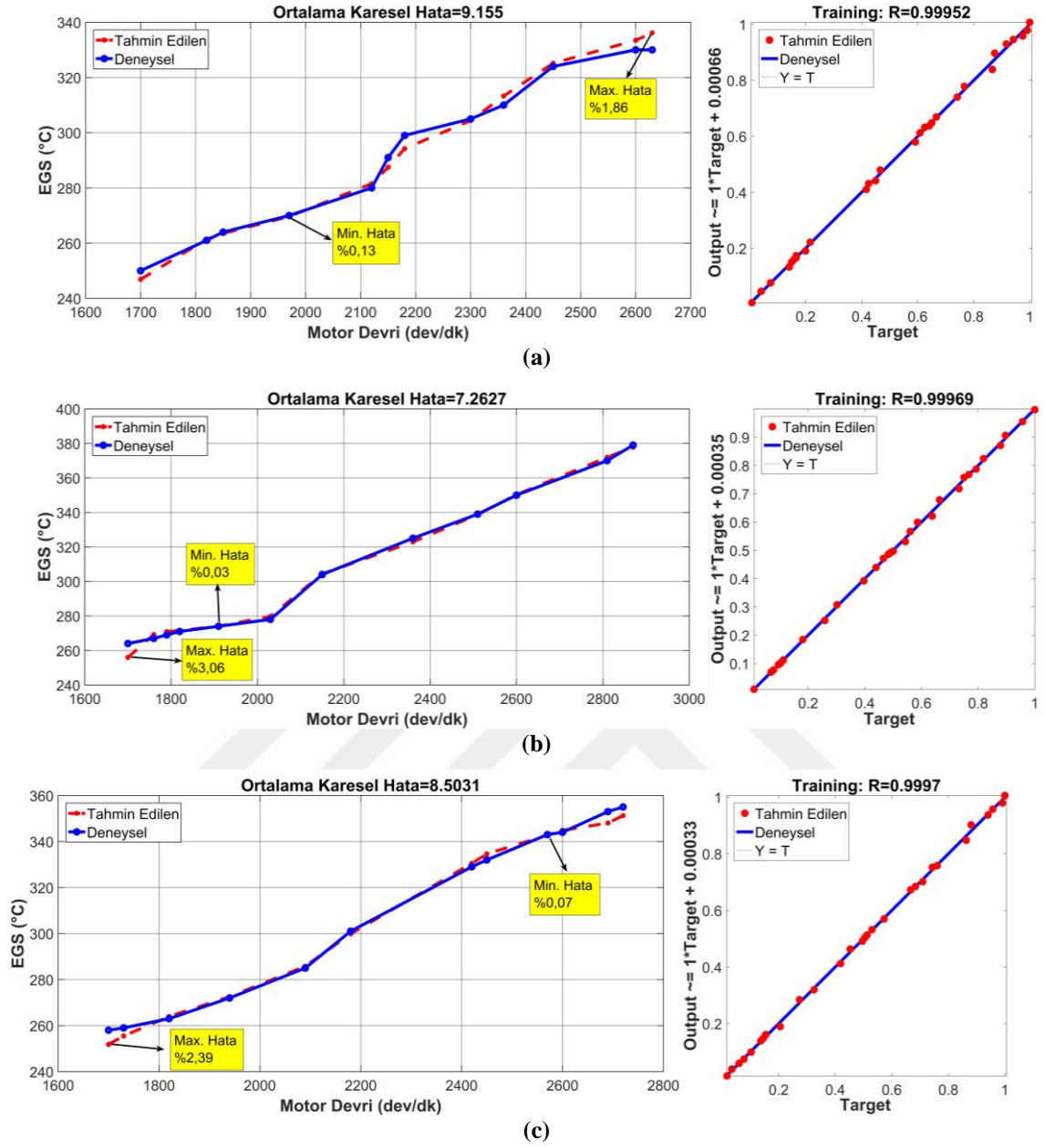
Şekil 5.32. ÖYT değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ (Devamı)



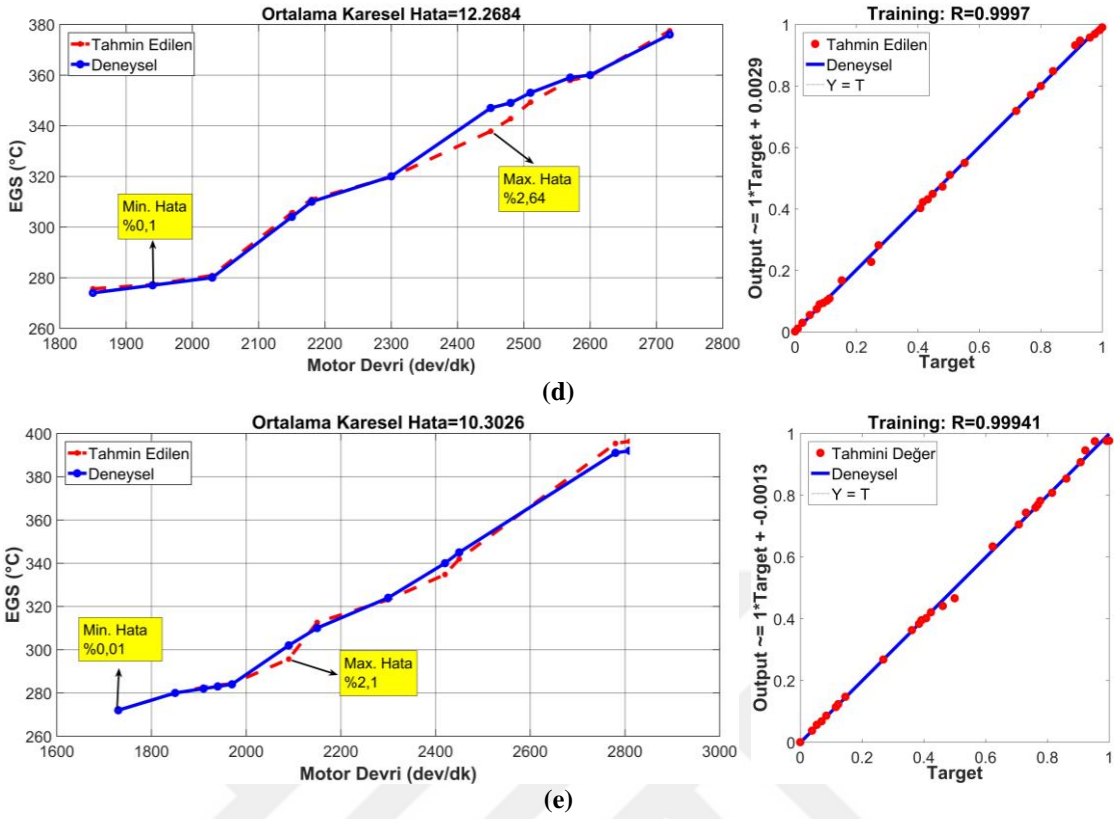
Şekil 5.33. ÖYT değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ

• EGS Değerlerinin YSA Analizi

Şekil 5.28’de EGS değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafikleri zeolit tiplerine ve SDM’ye bağlı olarak gösterilmektedir. Şekil 5.28 (b)’ye dikkat edildiğinde, DZ tipi için EGS değerlerinin motor devrine bağlı olarak deneysel, tahmini, regresyon sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. EGS parametresine ait deneysel ve YSA tarafından tahmin edilen sonuçlar kıyaslandığında 1700 d/dk’ da %3.06 ile max. hata, 1910 d/dk’ da ise %0.03 ile min. hata değerleri elde edilmiştir. YSA, OKH değerini 7.2627, regresyon değerini ise 0.99969 olarak hesaplamıştır.



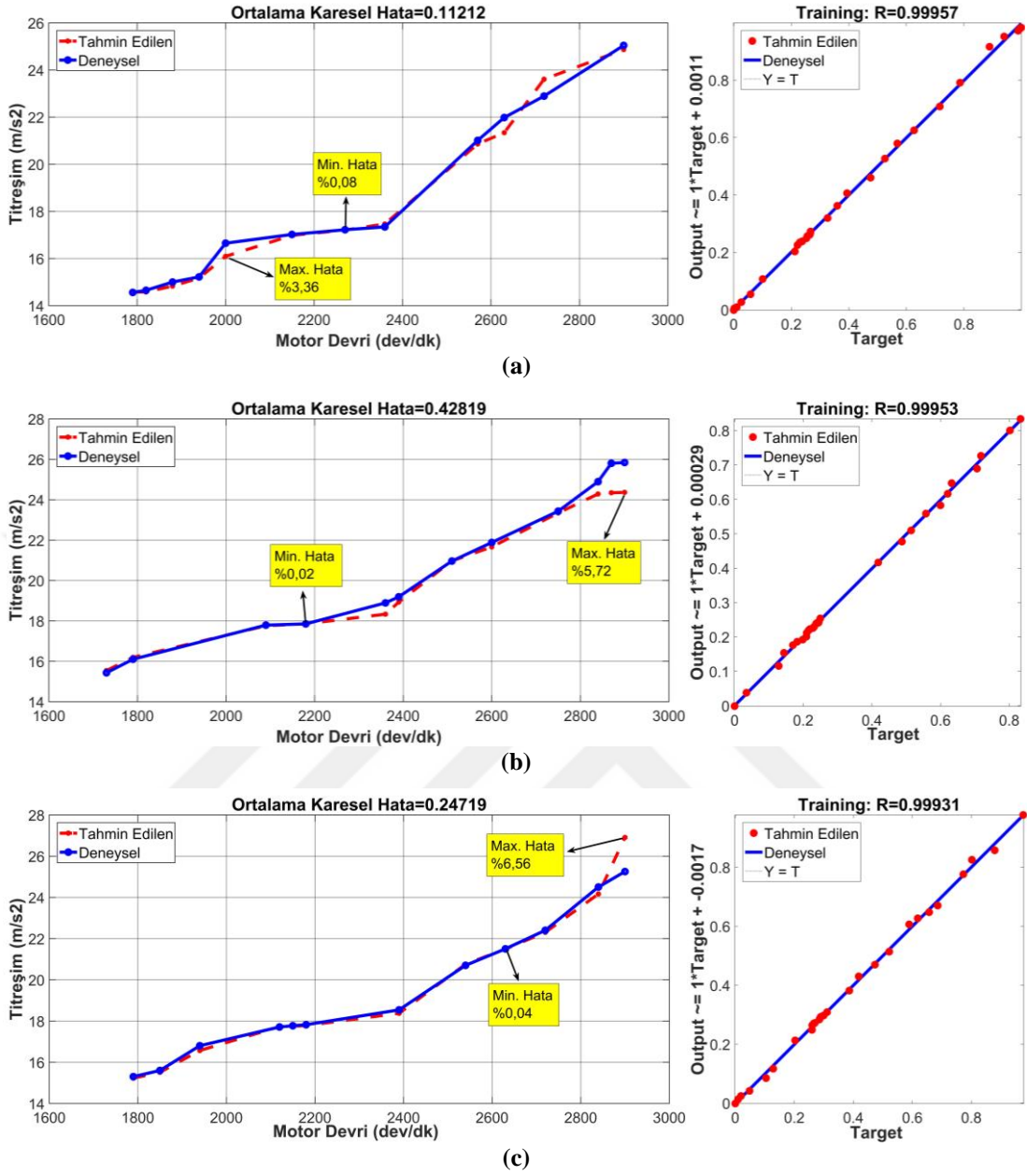
Şekil 5.34. EGS değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ (Devamı)



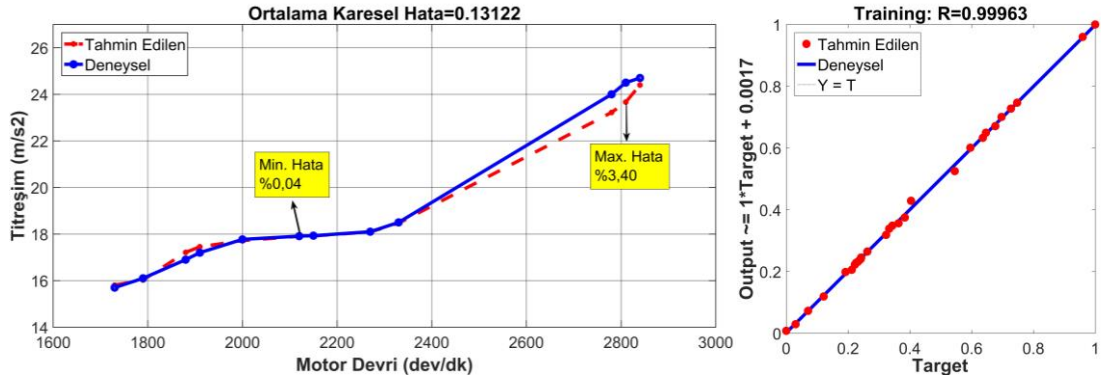
Şekil 5.35. EGS değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ

- **Titreşim Değerlerinin YSA Analizi**

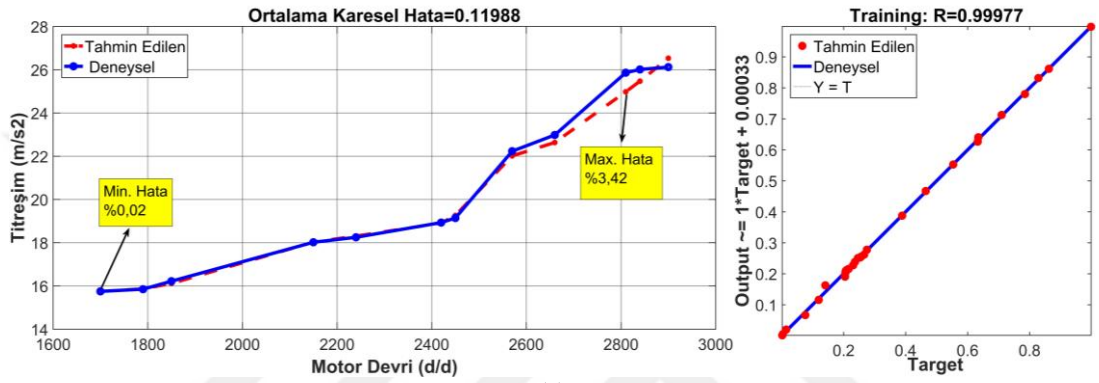
Şekil 5.29’da titreşim değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafikleri zeolit tiplerine ve SDM’ye bağlı olarak gösterilmektedir. Şekil 5.29 (d)’ye dikkat edildiğinde, BMZ tipi için titreşim değerlerinin motor devrine bağlı olarak deneysel, tahmini ve regresyon sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Titreşim parametresine ait deneysel ve YSA tarafından tahmin edilen sonuçlar kıyaslandığında 2810 d/dk’ da %3.40 ile max. hata, 2120 d/dk’ da ise %0.04 ile min. hata değerleri elde edilmiştir. YSA, OKH değerini 0.13122, regresyon değerini ise 0.99963 olarak hesaplamıştır.



Şekil 5.36. Titreşim değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ (Devamı)



(d)

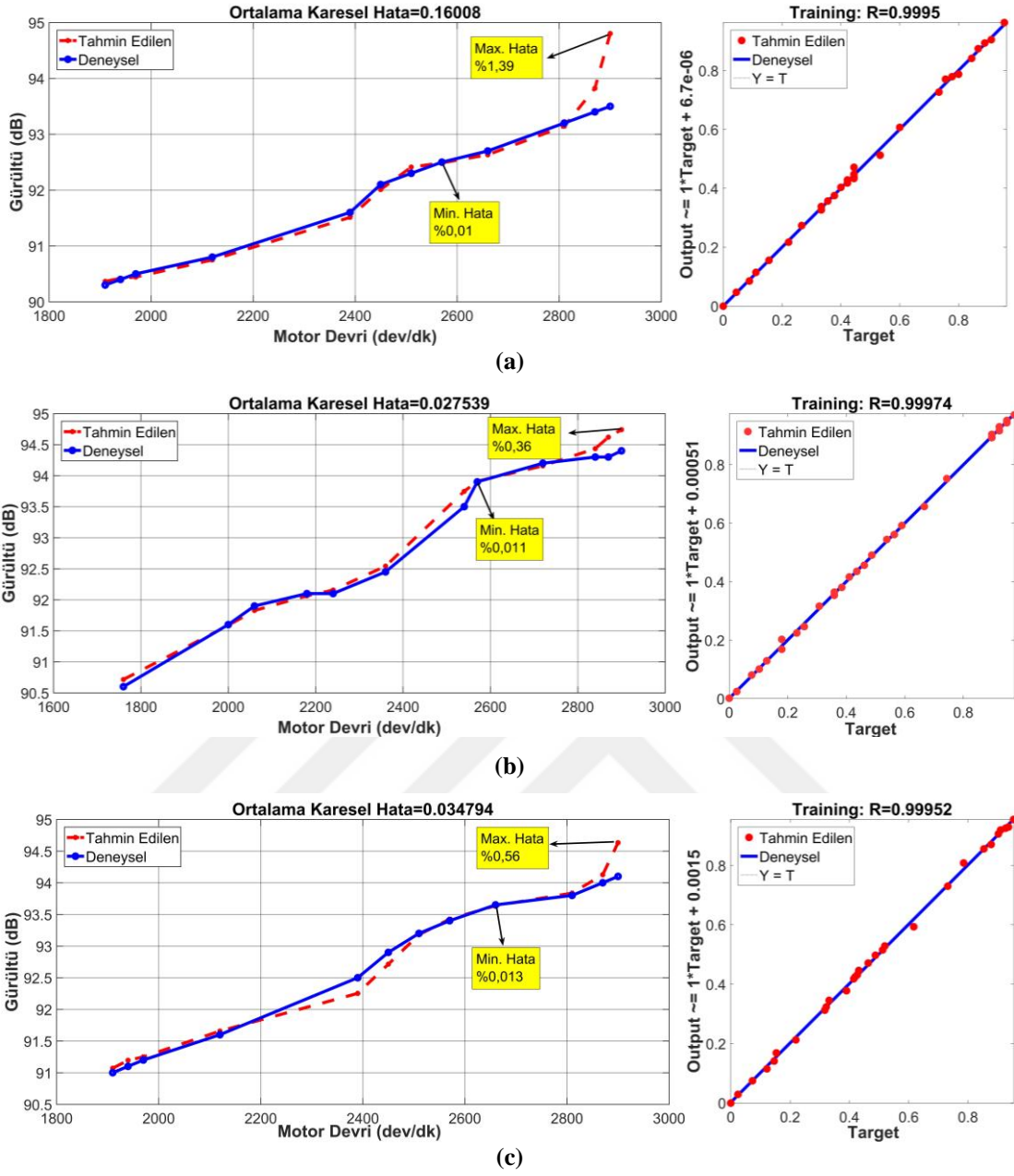


(e)

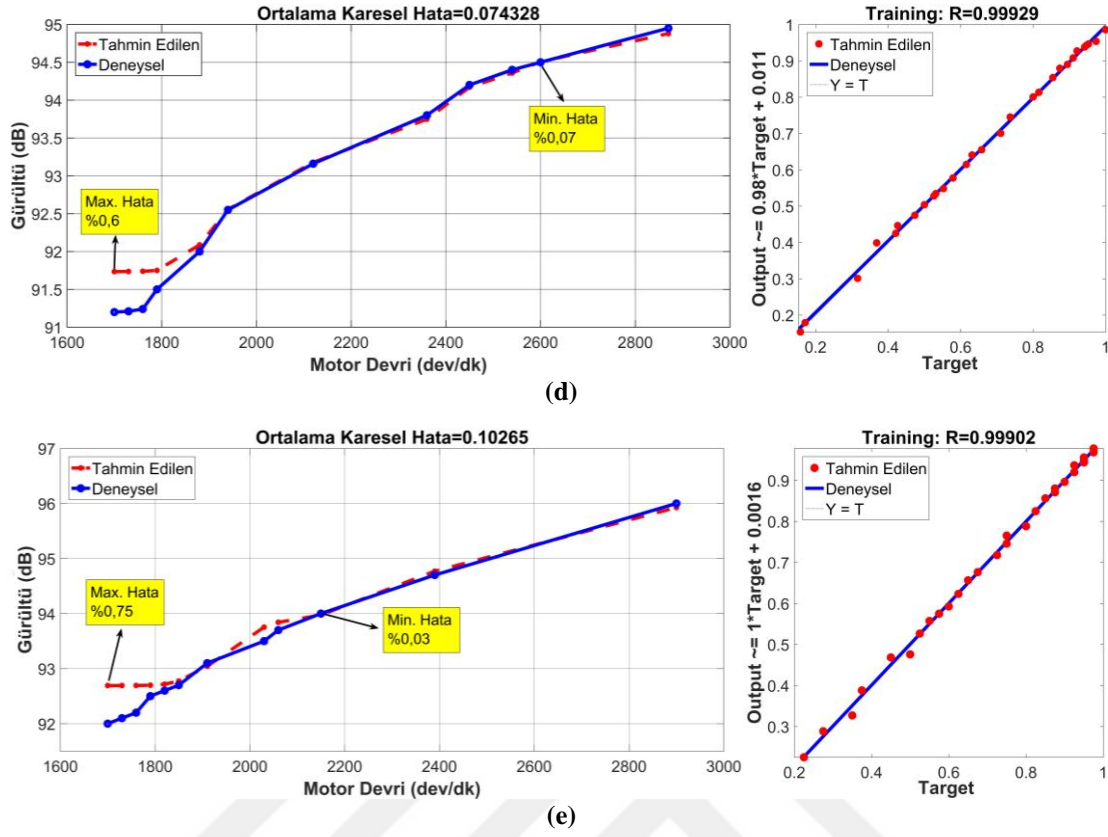
Şekil 5.37. Titreşim değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ

- **Gürültü Değerlerinin YSA Analizi**

Şekil 5.30'da gürültü değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafikleri zeolit tiplerine ve SDM'ye bağlı olarak gösterilmektedir. Şekil 5.30 (c)'ye dikkat edildiğinde, AMZ tipi için gürültü değerlerinin motor devrine bağlı olarak deneysel, tahmini ve regresyon sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Gürültü parametresine ait deneysel ve YSA tarafından tahmin edilen sonuçlar kıyaslandığında 2900 d/dk' da %0.56 ile max. hata, 2660 d/dk' da ise %0.013 ile min. hata değerleri elde edilmiştir. YSA, OKH değerini 0.034794, regresyon değerini ise 0.99952 olarak hesaplamıştır.



Şekil 5.38. Gürültü değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ (Devamı)



Şekil 5.39. Gürültü değerlerinin deneysel, tahmini ve regresyon grafiği, (a) SDM, (b) DZ, (c) AMZ, (d) BMZ, (e) SZ

Tablo 5.1. de ZF’de SDM, DZ, AMZ, BMZ ve SZ kullanımlarına bağlı CO, CO₂, HC, NO_x, duman yoğunluğu, ÖYT, EGS, titreşim ve gürültü performans ve egzoz emisyon değerlerinin YSA ile maximum-minimum hata oranları, regresyon ve OKH değerleri verilmiştir. YSA bütün parametrelerin ortalaması olarak, maksimum hata oranını %3.118, minimum hata oranını %0.074133, OKH değerini 2.04899, regresyon değerini ise 0.99890 olarak tahmin etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hata oranlarının kabul edilebilir aralıkta gerçekleştiği görülmüştür. Elde edilen hata oranlarının, YSA’ya girdi olarak verilen deneysel sonuçlardaki değişkenlik oranlarından etkilendiği düşünülmektedir.

Tablo 5.1. SDM ve 4 zeolit tipinin emisyon ve performans parametrelerine ait YSA tahminleri

		Max. Hata (%)	Min. Hata (%)	O.K.H.	Regresyon
SDM	CO	2.53	0.06	8.85E-08	0.99911
	CO ₂	2.18	0.32	0.0013535	0.99856
	HC	5.17	0.08	0.053222	0.99863
	NO _x	1.94	0.26	4.7745	0.99984
	Duman	2.40	0.002	0.1221	0.99423
	ÖYT	1.83	0.05	4.2541	0.99951
	EGS	1.86	0.13	9.155	0.99952

Tablo 5.2. SDM ve 4 zeolit tipinin emisyon ve performans parametrelerine ait YSA tahminleri (Devamı)

	Titreşim	3.36	0.08	0.11212	0.99957
	Gürültü	1.39	0.01	0.16008	0.9995
DZ	CO	7.08	0.06	4.38E-03	0.99903
	CO₂	3.48	0.05	0.0024874	0.99822
	HC	7.84	0.11	0.22924	0.99756
	NOx	1.88	0.02	4.2861	0.99978
	Duman	5.32	0.009	0.12125	0.99984
	ÖYT	1.43	0.004	2.9437	0.99932
	EGS	3.06	0.03	7.2627	0.99969
	Titreşim	5.72	0.02	0.42819	0.99953
	Gürültü	0.36	0.011	0.027539	0.99974
AMZ	CO	6.93	0.58	4.10E-03	0.99904
	CO₂	1.66	0.04	0.00060901	0.99743
	HC	5.56	0.08	0.10508	0.99887
	NOx	1.34	0.09	2.9177	0.9999
	Duman	5.57	0.06	0.17449	0.9999
	ÖYT	1.24	0.07	3.4911	0.99803
	EGS	2.39	0.07	8.5031	0.9997
	Titreşim	6.56	0.04	0.24719	0.99931
	Gürültü	0.56	0.013	0.034794	0.99952
BMZ	CO	3.71	0.06	1.34E-03	0.99931
	CO₂	1.97	0.14	0.00082789	0.99704
	HC	3.01	0.06	0.0358	0.99928
	NOx	2.64	0.02	9.8058	0.99976
	Duman	3.58	0.01	0.14105	0.99928
	ÖYT	2.1	0.06	7.5035	0.99964
	EGS	2.64	0.10	8.5031	0.9997
	Titreşim	3.40	0.04	0.13122	0.99963
	Gürültü	0.6	0.07	0.074328	0.99929
SZ	CO	5.93	0.005	1.57E-07	0.9989
	CO₂	2.11	0.01	3.92E+00	0.99968
	HC	6.67	0.24	0.08386	0.9891
	NOx	0.67	0.1	0.61948	0.99992
	Duman	3.45	0.002	0.10207	0.99992
	ÖYT	0.92	0.01	1.3375	0.9993
	EGS	2.1	0.01	10.3026	0.9993
	Titreşim	3.42	0.02	0.11988	0.99977
	Gürültü	0.75	0.03	0.10265	0.99902
Ortalama		3.118	0.074133	2.048991672	0.998904889

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, dizel bir motorda yanma verimini arttırmak ve egzoz emisyonlarını azaltmak amacıyla, zeolit mineralinin farklı türevleri olan sentetik, doğal ve modifiye zeolitlerin (klinoptilolit) ZF’de kullanılmaları ile havadaki azotun basınç salınım metoduyla tutularak oksijenin saflaştırılması ve bu oksijenin motor yanma odasına beslenmesi esasına dayalı, oksijen zenginleştirme çalışması uygulanmıştır. Ayrıca, motorun egzoz emisyon ve performans parametrelerini modelleme kabiliyetine sahip bir YSA modeli oluşturulmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir;

- Oluşturulan ZF sisteminde zeolit minerali kullanarak, PSA metodu ile oksijen zenginleştirmesinin ve N₂ adsorpsiyonunun sağlanabildiği görülmüştür.
- Doğal zeolite uygulanan kalsinasyon ve NH₄NH₃ muameleleri, ana yapının neredeyse tamamen açılmasını ve iyon değiştirme, adsorpsiyon gibi özellikleri iyileştirdiği, dolayısıyla O₂ saflaştırma kapasitesini arttırdığı görülmüştür. NaOH bazi ile muamelenin zeolitin iyon değişimi ve adsorpsiyon yeteneklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. HCl muamele işleminin ise DZ’nin adsorpsiyon, desorpsiyon ve iyon değişimi gibi yeteneklerini olumsuz etkilediği, buna bağlı olarak O₂ saflaştırma kapasitesini düşürdüğü görülmüştür. AMZ, DZ, BMZ ve SZ’nin deneyin yapıldığı ortam havasına kıyasla O₂ oranını sırasıyla %17.14, %18.57, %21.90 ve %41.90 değerlerinde arttırdığı belirlenmiştir.
- ZF sisteminin kullanımı ile SDM’ye kıyasla CO, ÖYT, HC ve duman yoğunluğu parametrelerinde düşüş, CO₂, NO_x, EGS, titreşim ve gürültü parametrelerinde ise artış sağlandığı görülmüştür.
- CO emisyonu, SDM’ye kıyasla ZF’de AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımında sırasıyla %7.21, %9.34, %12.51 ve %20.51 oranlarında azalmıştır. YSA, SDM, AMZ, DZ, BMZ ve SZ için CO emisyon değerlerinin maksimum ve minimum hata oranını %5.24-%0.15 aralığında, ortalama OKH ve regresyon değerini ise sırasıyla 0.00196, 0.99908 olarak hesaplamıştır.
- CO₂ emisyonu, SDM’ye kıyasla ZF’de AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımında sırasıyla %2.85, %3.47, %5.07 ve %6.41 oranlarında artış göstermiştir. YSA, SDM, AMZ, DZ, BMZ ve SZ için CO₂ emisyon değerlerinin maksimum ve minimum hata oranını %2.28-%0.11, ortalama OKH ve regresyon değerini ise sırasıyla 0.78573556, 0.99819 olarak hesaplamıştır.
- HC emisyonu, SDM’ye kıyasla ZF’de AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımında sırasıyla %8.06, %11.52, %14.1 ve %20.37 oranlarında azalma eğilimi göstermiştir. YSA, SDM, AMZ, DZ, BMZ ve SZ için HC emisyon değerlerinin maksimum ve minimum hata oranını %5.65-%0.11 aralığında, ortalama OKH ve regresyon değerini ise sırasıyla 0.10144, 0.99669 olarak hesaplamıştır.

- NOx emisyonu, SDM'ye kıyasla ZF'de AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımında sırasıyla %2.92, %3.36, %4.90 ve %7.07 oranlarında artış göstermiştir. YSA, SDM, AMZ, DZ, BMZ ve SZ için NOx emisyon değerlerinin maksimum ve minimum hata oranını %1.69-%0.10 aralığında, ortalama OKH ve regresyon değerini ise sırasıyla 4.48072, 0.99984 olarak hesaplamıştır.
- Duman yoğunluğu, SDM'ye kıyasla ZF'de AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımında sırasıyla %4.55, %5.5, %7.47 ve %13.8 oranlarında düşüş göstermiştir. YSA, SDM, AMZ, DZ, BMZ ve SZ için duman yoğunluğu değerlerinin maksimum ve minimum hata oranını %4.06-%0.02 aralığında, ortalama OKH ve regresyon değerini ise sırasıyla 0.132192, 0.998634 olarak hesaplamıştır.
- ÖYT değeri, SDM'ye kıyasla ZF'de AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımında sırasıyla %2.19, %4.13, %4.59 ve %5.05 oranlarında düşüş göstermiştir. YSA, SDM, AMZ, DZ, BMZ ve SZ için ÖYT değerlerinin maksimum ve minimum hata oranını %1.50-%0.04 aralığında, ortalama OKH ve regresyon değerini ise sırasıyla 3.90598, 0.99916 olarak hesaplamıştır.
- EGS değeri, SDM'ye kıyasla ZF'de AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımında sırasıyla %2.92, %4.4, %5.75 ve %8 oranlarında artış göstermiştir. YSA, SDM, AMZ, DZ, BMZ ve SZ için EGS değerlerinin maksimum ve minimum hata oranını %2.41-%0.07 aralığında, ortalama OKH ve regresyon değerini ise sırasıyla 8.7453, 0.99958 olarak hesaplamıştır.
- Gürültü değeri, SDM'ye kıyasla ZF'de AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımında sırasıyla %1.1.38, %2.33 ve %3.3 oranlarında artış göstermiştir. YSA, SDM, AMZ, DZ, BMZ ve SZ için gürültü değerlerinin maksimum ve minimum hata oranını %0.73-%0.03 aralığında, ortalama OKH ve regresyon değerini ise sırasıyla 0.07988, 0.99941 olarak hesaplamıştır.
- Titreşim değeri, SDM'ye kıyasla ZF'de AMZ, DZ, BMZ ve SZ kullanımında sırasıyla %3, %4.85, %5.29 ve %6.73 oranlarında artış göstermiştir. YSA, SDM, AMZ, DZ, BMZ ve SZ için titreşim değerlerinin hata oranını %4.49-%0.04 aralığında, ortalama OKH ve regresyon değerini ise sırasıyla 0.20772, 0.99956 olarak hesaplamıştır.

ÖNERİLER

Bu deneysel çalışma ile teknolojinin gelişmesine imkan sağlanmasının ve beraberinde bilime kazandırılan yeniliklerin, farklı metaryeller veya metotlar kullanılarak arttırılabileceği düşünülmektedir. Yapılabilecek bazı değişimler ve dikkat edilmesi gereken önemli hususlar şu şekilde özetlenebilmektedir.

- ✓ Kimyasal modifikasyonlar ile zeolit yapısında değişiklikler yaratılabilir. Zeolit modifikasyon öncesinde kalsine edilerek veya amonyumnitrat ile işleme tabi tutularak, mineralin tanecik boyutu küçültülebilir, yüzey gözenekliliği, iyon değişim kapasitesi arttırılabilir. Kimyasal çözeltilerin yoğunlukları azaltılarak, daha düşük molar derişimlerde, farklı miktarda zeolit kullanarak, değişik asit-baz çözeltileri ile yüzey aktifleştirme çalışmaları yapılabilir, mineralin bu duruma gösterdiği tepkiler incelenebilir.
- ✓ Zeolit minerali genellikle kimya biliminde kullanılmasına karşın, farklı zeolit tipleri ve doğal zeolit türevleri ile multidisipliner olarak birçok farklı amaç ve işlev ile kullanılabilir.
- ✓ Zeolit minerali kolaylıkla nem aldığı ve koku çektiği için bozunabilmektedir. Mineral yapısının bozunmadan, deney için ideal şekilde kalabilmesi adına desikatörde, serin ve kuru, kapalı ortam şartlarında muhafaza edilebilir.
- ✓ ZF sisteminin geliştirilmesi ile yanma odasına beslenen oksijen miktarı arttırılabilir. Tasarlanan sistemin kompresör gücü arttırılarak basıncı yükseltilebilir ve yanma odasına daha fazla saflaştırılmış hava gönderilmesi sağlanabilir.
- ✓ ZF sistemindeki zeolit tüp sayısı arttırılarak, tankın dolum süresi kısaltılabilir, daha hızlı oksijen üretilmesi sağlanabilir.
- ✓ Zeolitler yardımı ile oksijen zenginleştirmenin NO_x emisyonunu arttırmasına rağmen enjeksiyon karakteristiğinin değiştirilmesi, EGR kullanılması, emme havasının nemlendirilmesi gibi metodlar uygulanabilir.
- ✓ Zeolitlerin sahip olduğu gözenekli yapısından dolayı yanma sonucu oluşan egzoz emisyonlarının azaltılmasında kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akkoca, D. B., Yılmaz, M., Ural, M., Akçin, H., & Mergen, A. (2013). Hydrothermal and thermal treatment of natural clinoptilolite zeolite from Bigadiç, Turkey: An experimental study. *Geochemistry International*, Volume 51, Issue 6, pp 495–504.
- Aktaş, A., & Şahin, Ö. (2009). Dizel/Biyodizel Karışımı İle Çalışan Bir Motorun Performans ve Emisyonlarını İyileştirmek İçin Hidrojen Kullanılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 14, Sayı 1, ss. 87-97.
- Albayrak, M., Çubukçu, A., & Acar, A. (2007). Keşan – Enez Arasındaki Zeolit İçeren Birimlerin Mineralojik Özellikleri. *J. Fac.Eng.Arch. Selcuk Univ.*, v.23, n.3,, ss. 16-28.
- Alisaraei, A. T., Ghobadian, B., Hashjin, T. T., & Mohtasebi, S. S. (2012). Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends. *Fuel*, Pages 414-422.
- Atmanlı, A., İleri, E., & Yüksel, B. (2014). Experimental investigation of engine performance and exhaustemissions of a diesel engine fueled with diesel–n-butanol–vegetableoil blends. *Energy Conversion and Management*, pp. 312-321.
- Baran, E. (2012). Tekli ve İkili Sistemde Zeolit Yüzeyine Malachite Green ve Rhomine B'nin Adsorpsiyonunun Araştırılması. *Kilis: 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Bascar, P., & Kumar, A. S. (2017). Experimental investigation on performance characteristics of a diesel engine using diesel-water emulsion with oxygen enriched air. *Alexandria Engineering Journal*, Volume 56, Issue 1, Pages 137-146, doi.org/10.1016/j.aej.2016.09.014.
- Baskar , P., & Senthilkumar , A. (2016). Effects of oxygen enriched combustion on pollution and performance characteristics of a diesel engine. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Volume 19, Issue 1, Pages 438-443, https://doi.org/10.1016/j.jestch.2015.08.011.
- Baskar P, J. M. (2013). Experimental investigation of oxygen enrichment on performance of twin cylinder diesel engine with variation of injection pressure. *2013 Int Conf Energy Effic Technol Sustain ICEETS 2013*, 682–7. doi:10.1109/I.
- Baskın, N., Erkuş, B., Bulut, E., Çiçek, A., & Türköz, N. (2018). LPG Yakıtlı Buji Ateşlemeli Motorun Isınma Periyodunda Oksijen İle Zenginleştirilmiş Emme Havaasının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Olan Etkilerinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, , Cilt 23, Sayı 1, ss. 403-416.
- Bilgin, Ö. (2009). Gördes Zeolitlerinin Hammaddesel Özelliklerinin İncelenmesi ve Değişik Sektörlerde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *İzmir: DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Bilgin, Ö., & Kantarcı, S. (2018). Bigadiç (Balıkesir, Türkiye) civarında gözlünen höylandit/klinoptilolit zeolit oluşumlarının teknolojik özelliklerinin incelenmesi. *J. Baun Inst. Sci. Technology*, 20(1), Cilt 20, Sayı 1, ss. 589-601.
- Bilgin, Ö., & Koç, E. (2013). Doğal Zeolitlerin Çevre Kirliliği Kontrolünde Kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 6 (1), ss. 169-174.
- Cacua, K., Amell, A., & Cadavid, F. (2012). Effects of oxygen enriched air on the operation and performance of a diesel-biogas dual fuel engine. *Biomass and Bioenergy*, Volume 45, Pages 159-167, https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.003.

- Castro , N., Toledo , M., & Amador , G. (2019). An experimental investigation of the performance and emissions of a hydrogen-diesel dual fuel compression ignition internal combustion engine. *Appl Therm Eng.*
- Cinalioğlu, P. Titreşim Ölçümü ve Çözümlemesi. [www.emo.org.tr > ekler: http://www.emo.org.tr/ekler/06f50d1f89bd8b2_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/06f50d1f89bd8b2_ek.pdf) adresinden alındı
- Çiçek, A. (2018). Oksijen İle Zenginleştirilmiş Emme Havaının LPG Yakıtlı Buji Ateşlemeli Bir Motorun Performans ve Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Bursa: Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çoğalan, F. (2003). Buji Ateşlemeli Motorlarda Türbülanslı Yanma Mekanizması Kullanılarak Azot Oksit Emisyonlarının Belirlenmesi. İstanbul: Thesis (M.Sc.) İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology.
- Çuhadar, M., Güngör, İ., & Göksu, A. (2009). Forecasting Tourism Demand By Artificial Neural Networks and Time Series Methods: A Comparative Analysis In Inbound Tourism Demand to Antalya. *Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences Vol.14, No.1, ss. 99-114.*
- Damla Kimya Mühendislik ve Mümesillik San. Tic. LTD.ŞTİ. (2017). Moleküler Sieve 13X. Moleküler Sieve 13X APG | Damla Kimya | [molekulersieve.com](https://www.molekulersieve.com/): <https://www.molekulersieve.com/> adresinden alındı
- Damodharan , D., Sathiyagnanam , A., Rana , D., Saravanan , S., Kumar, B. R., & Sethuramasamyraja , B. (2018). Effective utilization of waste plastic oil in a direct injection diesel engine using high carbon alcohols as oxygenated additives for cleaner emissions. *Energy Conversion and Management, Volume 166, 15 , Pages 81-97, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.04.006.*
- Deheri, C., Acharya, S. K., Thatoi, D. N., & Mohanty, A. P. (2020). A review on performance of biogas and hydrogen on diesel engine in dual fuel mode. *Fuel, Volume 260, 116337, https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116337.*
- Demirci, A., Gümüş, M., Sayın, C., Atmaca, M., Binark, A. K., & Işıkan, M. O. (2011). Sıkıştırma ile Ateşlemeli Bir Motorda Biyodizel-Dizel Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına Etkisi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11) (s. ss. 25-27). Elazığ: Fırat Üniversitesi.
- Demirel, D. Ő., Demirel, R., & Doran, İ. (2010). Doğal Zeolitlerin Hayvancılıkta Kullanım Olanakları. *J.Agric. Fac. HR.U., 14(2), ss. 13-20.*
- Donkerbroek, A., Boot, M., Luijten, C., Dam, N., & ter Meulen, J. (2011). Flame lift-off length and soot production of oxygenated fuels in relation with ignition delay in a DI heavy-duty diesel engine. *Combustion and Flame, Volume 158, Issue 3, Pages 525-538, https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2010.10.003.*
- Emiroğlu, A. O., & Ően, M. (2018). Combustion, performance and emission characteristics of various alcohol blends in a single cylinder diesel engine. *Fuel, Volume 212, Pages 34-40, doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.016.*
- Ertan , A. (tarih yok). CO₂, N₂ and Ar Adsorption on Zeolites. İzmir: İzmir Institute of Technology.
- Fayyazbakhsh, A., & Pirouzfard, V. (2017). Comprehensive overview on diesel additives to reduce emissions, enhance fuel properties and improve engine performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 74, Pages 891-901, https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.046.*
- Güçoğlu, M. (2018). 2-(2'-Hİidroksifenil) Benzotiyazol ile Modifiye Edilmiş Silika Partiküller Kullanılarak Metal İyonlarının Adsorpsiyonu. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Gülen, J., Zorbay, F., & Arslan, S. (2012). Zeolitler ve Kullanım Alanları. *Karaelmas Science and Engineering Journal* Vol. 2, No. 1, ss. 63-68 doi: <http://dx.doi.org/10.7212%2Fzkufbd.v2i1.80>.
- Günal, A. (2018). Klinoptilolit ve Şabazitin Doğal ve Modifiye Formlarının Yapısal ve Termal Özelliklerinin ve Amonyak Adsorpsiyonunun İncelenmesi. Eskişehir: Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Han, B., & Chu, J. (2011). Study on emission control of gasoline engines during cold-start period based on oxygen-enriched combustion. *International Conference of Chinese Transportation Professionals* (s. 3814-3819). Chinese: doi: 10.1061/41186(421)380.
- Hansen, P. M. SystemsWorldwide Manufacturer of PSA gas generators with long-term experiencewithin O2 and N2Specialist in on site PSA. Oxygen and Nitrogen Generator Systems.
- Hazar, H. (2008). Investigations On The Performance and Exhaust Emmissions Of A Diesel Engine Using Sunflower Methyl Ester Oil As Fuel. *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı 15, ss. 109-122.
- Hazar, H. (2010). Cotton methyl ester usage in a diesel engine equipped with insulated combustion chamber. *Applied Energy*, Volume 87, Issue 1, Pages 134-140, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.024>.
- Hazar, H. (2017). Investigation of the effects of tripropylene glycol addition to diesel fuel on combustion and exhaust emissions at an isolated diesel engine. *Energy Convers Manag*, 142:62–8. doi:10.1016/j.enconman.2017.02.082.
- Hazar, H., & Gül, H. (2016). Modeling analysis of chrome carbide (Cr₃C₂) coating on parts of combustion chamber of a SI engine. *Energy*, ss. 76-87.
- Hazar, H., & Öner, C. (2007). CrN Kaplamanın Dizel Motor Silindir Gömleği Aşınmasına Etkisi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 575(48), ss. 14-18.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Education.
- Huang, H., Liu, Q., Teng, W., Pan, M., Liu, C., & Wang, Q. (2018). Improvement of combustion performance and emissions in diesel engines by fueling n-butanol/diesel/PODE₃₋₄ mixtures. *Applied Energy*, Volume 227, Pages 38-48.
- İlkılıç, C., & Behçet, R. (2006). Effect of Air Pollution on People Health and Environment. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, ss. 66-72.
- İraz, N. (2018). Çevre Kirliliği ve Motorlu Taşıtlar Vergisi'nin Çevre Kirliliği Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ, Tekirdağ, Türkiye: Namık Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Jeevahan, J., Poovannan, A., Sriram, V., Durai Raj, R. B., Maghwaran, G., & Joseph, B. G. (2019). Effect of intake air oxygen enrichment for improving engine performance and emissions control in diesel engine. *International Journal of Ambient Energy*, Volume 40- Issue 1.
- Kapusuz, M. (2018). Egzoz Emisyonlarının Azaltılması İçin Silindir Öncesi Yöntemlerin Araştırılması ve Optimizasyonu. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karaatlı, M., Helvacıoğlu, Ö. C., Ömürbek, N., & Tokgöz, G. (2012). An Artificial Neural Network Based Automobile Sales Forecasting. *Journal of Management Economics and Business*, Vol. 8, No. 17, ss. 87-100.
- Karamangil, M. İ. (2003). Buji Ateşlemeli Motorlarda Hidrokarbon Emisyon Kaynakları. *Mühendis ve Makina Dergisi*, Cilt:44, Sayı:523, ss. 36-43.
- Kelen, F. (2014). Effects of Motor Vehicle Emissions on Human Health and Environment. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/ Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences*, ss. 81.

- Keskin, T. İ. (2017, Aralık 30). Taşıt Titreşimleri ve Tekerlek Askı Sistemleri. Devis'So makes an energy: <https://devisso.com/muhendislik-teknik-bilgiler/makine-muhendisligi-tezler/tasit-titresimleri-ve-tekerlek-aski-sistemleri/> adresinden alındı
- Keskiner, M. (2019). Azur A'nın Doğal ve Modifiyeli Klinoptilolit Üzerine Adsorbsiyonu. Bingöl: Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kök, F. (2018). Kentlerde Hava Kirliliğini Önleyecek ya da Azaltacak Yöntem İçin Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 1(3), ss. 145-157.
- Kumar, M. S., Arul, K., & Sasikumar, N. (2019). Impact of oxygen enrichment on the engine's performance, emission and combustion behavior of a biofuel based reactivity controlled compression ignition engine. Journal of the Energy Institute, Volume 92, Issue 1, Pages 51-61, <https://doi.org/10.1016/j.joei.2017.12.001>.
- Kumar, M., Kerihuel, A., Belletre, J., & Tazerout, M. (2005). Experimental investigation on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine. Renewable Energy, Volume 30, Issue 9, Pages 1443-1456, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.11.003>.
- Kuran, G. (2011). Kardiyoloji Anabilim Dalı Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Programı. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Küçükylıdırım, E. (2013). Investigation on Pozzolanic Activity of Chemically or Thermally Treated Clinoptilolite Zeolite and ITS Performance in Blende Cements. Niğde: Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- Labeckas, G., Slavinskas, S., & Kanapkiene, I. (2017). The individual effects of cetane number, oxygen content or fuel properties on performance efficiency, exhaust smoke and emissions of a turbocharged CRDI diesel engine- Part 2. Energy Conversion and Management, 149, Page Number: 442-466.
- Lestari, D. Y. (2010). Kajian modifikasi dan karakterisasi zeolit alam dari berbagai negara. prosiding seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia.
- Li, H., Biller, P., Hadavi, S. A., Andrews, G. E., Przybyla, G., & Langton, A. L. (2013). Assessing combustion and emission performance of direct use of SVO in a diesel engine by oxygen enrichment of intake air method. Biomass and Bioenergy, Volume 51, Pages 43-52, doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.12.039.
- Li, S. (2010). Emissions performance study of oxygen-enriched combustion on spark-ignition engine at cold-start, In Intelligent Computation Technology and Automation. 2010 Uluslararası Akıllı Hesaplama Teknolojisi ve Otomasyon Konferansı (s. Page: 204-207, doi: 10.1109/ICICTA.2010.536). Changsha, Çin: IEEE.
- Liang, Y., Shu, Wei, H., & Zhang, W. (2013). Effect of oxygen enriched combustion and water-diesel emulsion on the performance and emissions of turbocharged diesel engine. Energy Conversion and Management, Volume 73, Pages 69-77, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.04.023>.
- Magee, M. H. Nitrogen Gas Adsorption in Zeolites 13X and 5A.
- Merlab. SEM. Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope) (SEM) cihazı. Fırat Üniversitesi Nanoteknoloji Laboratuvarı (MERLAB), merlab.firat.edu.tr, Elazığ.
- Miller, G. W. A 99% Purity Molecular Sieve Oxygen Generator. Crew Technology Division Armstrong Laboratory Brooks AFB, San Antonio, Texas 78235-5301: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19920013240> 2017-12-05T21:25:54+00:00Z adresinden alındı
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). Egzoz Emisyon Kontrolü. Ankara: MEB.

- Milt, V. G., Pissarello, M. L., Miro, E. E., & Querini, C. A. (2003). Abatement of diesel-exhaust pollutants: NOx storage and soot combustion on K/La2O3 catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, Volume 41, Issue 4, Pages 397-414, [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(02\)00175-3](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(02)00175-3).
- Mofarahi, M., & Shokroo, E. J. (2013). Comprasion of two pressure swing adsorption processes for air separation using zeolite 5A and zeolite 13X. *Petroleum & Coal*, 55 (3) 216-225.
- Momani, W. (2009). Aşırı oksijenin karışıma etkisi, benzinli bir motorun gaz emisyonları üzerine olan etkileri. *Amerikan Uygulamalı Bilimler Dergisi*, Cilt 6, Sayı 6, ss. 1122-1125.
- Nagaraja, S. S., Nagaraj, C., & Gn, K. (2015). Computational and experimental study on oxygen enriched intake of a spark ignition engine. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, ISSN 1733-4381, vol. 17,p. 27-40.
- Nidhi, S. K. (2019). Experimental investigation on effects of oxygen enriched air on performance, combustion and emission characteristics of a methanol fuelled spark ignition engine. *Appl Therm Eng*, 147:501–8. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.10.06.
- Noor El-Din, M. R., Mishrif, M. R., Gad, M. S., & Keshhawy, M. (2019). Performance and exhaust emissions of a diesel engine using dieselnanoemulsions as alternative fuels. *Egyptian Journal of Petroleum*, 197-204.
- Öter, Ö. (2002). Zeolitın Asit ve Baz Modifikasyonu ve Modifiye Zeolitın Çevre Koruma Uygulamaları. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öz, B. (2012). Doğal Zeolitlerin Modifiye Edilmesiyle Elde Edilen Anyonik Reçinelerin Sulardaki Bazı Metal İyonlarının Gideriminde Kullanımı. Çorum: Hitit Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özen, A., & Onural, A. Ş. (2001). Egzoz Emisyon Sistemlerinin Neden Olduğu Çevre Kirliliği. *Standart: Teknik ve Ekonomik Dergi*, Sayı: 469, ss. 56-61.
- Özsezen, A. N., & Çanakçı, M. (2009). Analysis of Performance and Emmissions in a Diesel Engine Fueled with Biodiesel and Blends. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 15, Sayı 2,, ss. 173-180.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Öztürk, U., Hazar, H., & Arı, Y. S. (2019). Investigation of using pumpkin seed oil methyl ester as a fuel in a boron coated diesel engine. *Energy*, Volume 186, 115871,<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115871>.
- Pala, A. (2006). Doğal Zeolitlerin Atıksuda Kurşun Gideriminde Kullanılması. Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Patel, C., Tiwari, N., & Agarwal, A. K. (2019). Experimental investigations of Soyabaen and Rapeseed SVO and biodisels on engine noise, vibrations, and enginecharacteristics. *Fuel*, pages: 86,97.
- Patterson, D. J., & Henein, N. A. (1972). *Emission from combustion engines and their control*. United States: Ann Arbor Science Publishers.
- Redel-Macias, M. D., Pinzi, S., Leiva, D., Cubero-Atienza, A. J., & Dorado, M. P. (2012). Air and noise pollution of a diesel engine fueled with olive pomace oil methyl ester and petrodiesel blends. *Fuel*, pages: 615-621.
- Sakızıcı, M., & Yörükoğulları, E. (2007). Gördes Yöresindeki Klinoptilolit (Doğal ve Modifiye) Su Buharı Adsorpsiyonu. *Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi C.XX*, s.1.
- Sarıdemir, S., & Tekin, M. (2016). Influence of Canola Oil Methyl Ester and Diesel Fuel. *Journal of Polytechnic*, 19 (1) pages: 53-59.
- Sarıdemir, S., Polat, F., & Kılınçel, M. (2016). Motor Devir ve Yükünün Titreşim ve Gürültü Emisyonuna Olan Etkisininin. *ECJSE*, 459-466.

- Satsangi, P. D., & Tiwari, N. (2018). Experimental Investigation on Combustion, Noise, Vibrations, Performance and Emmissions Characteristics of Diesel/n-Butanol Blends Driven Genset. *Fuel*, pages: 44-60.
- Seifi, M. R., Hassan-Beygi, S. R., Ghobadian, B., Desideri, U., & Antonelli, M. (2016). Experimental investigation of a diesel engine power, torque and noise emission using water-diesel emulsions. *Fuel*, pages: 392-399.
- Senthil Kumar, M., Arul, K., & Sasikumar, N. (2019). Impact of oxygen enrichment on the engine's performance, emission and combustion behavior of a biofuel based reactivity controlled compression ignition engine. *Journal of the Energy Institute*, Volume 92, Issue 1, Pages 51-61, <https://doi.org/10.1016/j.joei.2017.12.001>.
- Senthur, P. S., Asokan, M., Prathiba, S., Ahmed, S., & Puthean, G. (2018). Effect of additives on performance, combustion and emission behavior of preheated palm oil/diesel blends in DI diesel engine. *Renewable Energy*, Volume 122, Pages 196-205, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.068>.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., & Ocak, S. (2018). Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 1(2), ss. 91-103.
- Sevinç, H. (2018). Determination Of Diesel Engine Performance and Emission Values Using Pistons and Valves Cr2o3 Coated and Different Fuel Additives Using Artificial Neural Networks. *Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Sevinç, H., & Hazar, H. (2019). Determining the effects of 2-ethyhexyl nitrate blend on isolated diesel engine attributes using the experimental and ANN approaches. *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*.
- Sinir Sistemi <https://acikders.ankara.edu.tr>
https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/19311/mod_resource/content/1/4.%20S%C4%B0N%C4%B0R%20S%C4%B0STEM%C4%B0.pdf adresinden alındı.
- Sinir Sisteminin Yapısı ve İşlevleri (2013, 11 7). /dev/null Web Günlüğü:
<http://www.ibrahimbayraktar.net/2013/11/sinir-sisteminin-yapısı-ve-islevleri.html> adresinden alındı.
- Siwale, L., Kristof, L., Adam, T., Bereczky, A., Mbarawa, M., Penninger, A., & Kolesnikov, A. (2013). Combustion and emission characteristics of n-butanol/diesel fuel blend in a turbo-charged compression ignition engine. *Fuel*, Volume 107, Pages 409-418, doi.org/10.1016/j.fuel.2012.11.083.
- Soylu, M., & Gökkuş, Ö. (2017). Türkiye'deki Doğal Zeolitler ve İyon Değişimi Uygulamaları. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, Volume 6, Number 1, ss. 11-20.
- Subramanian, N. (2019). KA. Experimental investigation on effects of oxygen enriched air on performance, combustion and emission characteristics of a methanol fuelled spark ignition engine. *Appl Therm Eng*, 147-501.
- Sugözü, İ., Aksoy, F., & Baydır, Ş. A. (2009). "The Effects On Engine Performance And Emissions Usage Of The Sunflower Methyl Ester At A Diesel Engine,". *Electron. J. Mach. Technol.*, vol. 6, no. 2., pp. 49-5649.
- Şahin, M. B. Zeolitler. zeolitler - MTA:
http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2014_17/17_53-74.pdf adresinden alındı
- Tecer, L. H. (2011). Hava Kirliliği ve Sağlığımız. *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim Dergisi*, ss. 15-29.

- Teoh, Y., Masjuki, H., How, H., Kalam, M., Yu, K., & Alabdulkarem, A. (2018). Effect of two-stage injection dwell angle on engine combustion and performance characteristics of a common-rail diesel engine fueled with coconut oil methyl esters-diesel fuel blends. *X-MOL Academic*.
- Tomaszewski, F., & Szymanski, M. G. (2012). Frequency Analysis of Vibrations of the Internal Combustion Engine Components in the Diagnosis of Engine Processes. *Archives of Transport*, 24 (1), pages: 117,125.
- Topgül, T., Yücesu, H. S., & Okur, M. (2005). Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Çalışma Parametrelerinin Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Journal of Polytechnic*, Vol: 8 No: 1 pp. 43-47.
- Uludamar, E., Tosun, E., & Aydın, K. (2016). Experimental and regression analysis of noise and vibration of a compression ignition engine fuelled with various biodiesels. *Fuel*, Volume 177, Pages 326-333.
- Uyar, M. (2013). Transesterifikasyon Yöntemiyle Üretilen Biyodizel Yakıtlarının Üzerine MnO₂, Dodekanol, Propilen Glikol Katkı Maddelerinin Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wei, L., Yao, C., Han, G., & Pan, W. (2016). Effects of methanol to diesel ratio and diesel injection timing on combustion, performance and emissions of amethanol port premixed diesel engine. *Energy* 95, pages: 223-232.
- Xiao, G., Qiao, X., Li, G., Huang, Z., & Li, L. (2007). Investigation of running behaviors of an LPG SI engine with oxygen-enriched air during start/warm-up and hot idling. *International journal of automotive technology*, Vol.8 No.4, pp. 437-444.
- Yalçın, H., & Demir, E. (2015). A Critical Review Upon Distinguishing of Heulandite Group of Zeolite Minerals. *International Refereed Journal of Engineering And Sciences (UHMFĐ)*, Period: 5, doi: 10.17366/UHMFĐ.2015514485.
- Yeter, B., & Gökçe, G. (2018). Yemlerine Farklı ve Artan Miktarlarda Doğal Zeolit (Klinoptilolit) Katılan Etlik Piliçlerin Besi Performanslarının Belirlenmesi. *KSU J. Agric Nat* 21(5), 745-750.
- Yılmaz, N., Vigil, F. M., Donaldson, A. B., & Darabseh, T. (2014). Investigation of CI engine emissions in biodiesel-ethanol-diesel blends as a function of ethanol concentration. *Fuel*, Volume 115, Pages 790-793, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.012>.
- Zhang, S., Duan, X., Liu, Y., Huo, G., Zeng, H., Liu, J., . . . Yuan, Z. (2019). Experimental and numerical study the effect of combustion chamber shapes on combustion and emissions characteristics in a heavy duty lean burn SI natural gas engine coupled with detail combustion mechanism. *Fuel*, 258, ss. 1-13.
- Zhou, H., Li, X., Zhao, W., & Liu, F. (2019). Effects of separated swirl combustion chamber geometries on the combustion and emission characteristics of DI diesel engines. *Fuel* 2019, ss. 488-500.

ÖZGEÇMİŞ

Remziye TEKDOĞAN

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri : Tarsus
Doğum Yılı : 01.01.1993
Uyruğu : T.C.
Adres : Sümer Mh. 28/4 sk. No:18 Kardeşler Ap. Zeytinburnu/İSTANBUL
E-posta : r.tekdogan34@hotmail.com
Yabancı Diller : İngilizce(Düzey: B1)

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans : “Bir Dizel Motorda Zeolit Maddesinin Emisyon ve Performans Üzerine Etkisinin Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Araştırılması”
Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Anabilim Dalı, 2019
Danışman: Prof. Dr. Hanbey HAZAR
Lisans : Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Bölümü, 2016
Lise : İhsan Mermerci Lisesi, İSTANBUL, 2011

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

- ✓ C++, MATLAB,Solidworks, CATIA, AUTOCAD
- ✓ Microsoft Office, Excel, Power Point

İŞ DENEYİMİ

B. YIL – S. YIL : 1,5 yıl Vodafone Çağrı Merkezi

AKADEMİK FAALİYETLER

Bildiriler:

1. Investigation of oxygen enrichment effect on specific fuel consumption and vibration of a diesel engine with zeolite filter, International Symposium On Automotive Science And Technology 5-6 September 2019 Ankara, Turkey
2. Evaluation of oxygen enrichment effect on exhaust emissions of a diesel engine with the help of base modified zeolite, International Symposium On Automotive Science And Technology 5-6 September 2019 Ankara, Turkey