



TARSUS
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**HC-SCR SİSTEMİNDE GÜMÜŞ ZİRKONYUM DİOKSİT
KATALİSTİNE ANTİMON İLAVESİNİN FOSFOR
ZEHİRLENMESİNE ETKİSİ**

ÖZKAN KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2023

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**HC-SCR SİSTEMİNDE GÜMÜŞ ZİRKONYUM DİOKSİT KATALİSTİNE
ANTİMON İLAVESİNİN FOSFOR ZEHİRLENMESİNE ETKİSİ**

ÖZKAN KAYA

Danışman: Prof. Dr. Uğur EŞME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2023

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Uğur EŞME

(Danışman)

Üye: Prof. Dr. Ali KESKİN

Üye: Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../2023 tarih ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.

.../.../2023

Prof. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. / /2023

İMZA

Özkan KAYA

ÖZET

HC-SCR SİSTEMİNDE GÜMÜŞ ZİRKOYUM DİOKSİT KATALİSTİNE ANTİMON İLAVESİNİN FOSFOR ZEHİRLENMESİNE ETKİSİ

ÖZKAN KAYA

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Uğur EŞME

Ağustos 2023, 113 sayfa

Bu çalışmada, emdirme yöntemi kullanılarak Ag/ZrO₂, Ag-P/ZrO₂, Ag-P-Sb(%1)/ZrO₂, Ag-P-Sb(%3)/ZrO₂, bazlı olmak üzere toplam dört ayrı katalizör üretilmiştir. Katalizörlerden numuneler alınarak XRD, BET ve SEM analizleri yapılmış, kimyasal ve yapısal durumları incelenmiştir. Katalizörler, indirgeyici maddesi etanol olan HC-SCR sisteminde test edilmiştir. Testlerde, her bir katalizör için 170 °C ile 240 °C arasında her 10 °C'de bir 8 adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bütün testlerde alan hızı sabit 30000 h⁻¹'de tutulmuştur. Testler her bir katalizör için 2 kW ve 4 kW motor yükünde, 2 silindirli V tipi su soğutmalı motorda ve sabit motor hızında(3000 dev/dak) gerçekleştirilmiştir. Motor yüklerini ayarlama toplam 10 kW yükleme kapasiteli, her bir rezidansı 1 kW yükleme kapasitesine sahip toplam 10 rezidanslı güç yükleme ünitesi kullanılmıştır. Yapılan testlerde, üretilen katalizörlerin HC-SCR sisteminde NO_x dönüşüm oranı üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Sonuç olarak maksimum NO_x dönüşüm oranı Ag-P/ZrO₂ katalizöründe, 4 kW yükte 240 °C sıcaklıkta %92,46 olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: NO_x, SCR, Emisyon, Dizel Motorlar, Katalizör

ABSTRACT

THE EFFECT OF ANTIMONY ADDITION TO SILVER ZIRCONIUM DIOXIDE CATALYST ON PHOSPHORUS POISONING IN HC-SCR SYSTEM

ÖZKAN KAYA

Master Thesis, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Uğur EŞME

August 2023, 113 pages

In this study, Ag/ZrO₂, Ag-P/ZrO₂, Ag-P-Sb(% 1)/ZrO₂, Ag-P-Sb(% 3)/ZrO₂ based a total of four different catalysts were produced using the impregnation method. By taking samples from the catalysts, XRD, BET and SEM analyzes were made and their chemical and structural conditions were examined. The catalysts were tested in the HC-SCR system with ethanol as the reducing agent. In the tests, 8 measurements were made for each catalyst at every 10 °C between 170 °C and 240 °C. The space velocity was kept at a constant 30000 h⁻¹ in all tests. The tests were carried out for each catalyst at 2 kW and 4 kW engine load, a 2-cylinder V-type water-cooled engine and a constant engine speed (3000 rpm). In order to adjust the motor loads, 10 resistance power loading units with a loading capacity of 10 kW and each resistor with a loading capacity of 1 kW were used. In the tests, the effects of the produced catalysts on the NO_x conversion rate in the HC-SCR system were determined. As a result, the maximum NO_x conversion rate was measured as % 92,46 in Ag-P/ZrO₂ catalyst at 240 °C at 4 kW load.

Keywords: NO_x, SCR, Emission, Diesel Engines, Catalyst

ÖNSÖZ

Özel, iş ve akademik hayatımda bana her türlü desteği veren ve her zaman yanımda olan canım hayat arkadaşım Arife Kuzu KAYA'ya, biricik oğullarım Furkan Mete KAYA ve Mustafa Mert KAYA'ya teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, beni büyütüp yetiştiren, tüm desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım babam Yılmaz KAYA ve canım annem Fatma KAYA'ya, sevgili kız kardeşlerim Nur Nefise KAYA ile Nurseli KAYA'ya teşekkür ederim.

İş hayatımı sürdürürken akademik hayatımı da sürdürmemde bana her türlü desteği veren şu anda görev yaptığım kurumumdaki genel müdürüm Sn. Naci MENTEŞ'e, genel müdür yardımcım Sn. Erkan DİNÇ'e, insan kaynakları müdürüm Sn. Hakan KILIÇ'a ve satın alma müdürüm Sn. İrfan GÜLER'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim ve tez sürecimde daima yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Uğur EŞME'ye, değerli hocalarım Sn. Prof. Dr. Ali KESKİN'e, Sn. Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ'ye, Sn. Dr. Öğrt. Üyesi Himmet ÖZARSLAN'a ve Sn. Arş. Gör. Ali Cem YAKARYILMAZ'a teşekkür ederim.

Özkan KAYA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR VE SİMGELER	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

BÖLÜM I

DİZEL MOTORLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ VE EMİSYONLARI

1.1. Dizel Motorların Tarihi ve Gelişim Süreci	4
1.2. Dizel Motorların Çalışma Prensibi	6
1.2.1. Emme Zamanı	6
1.2.2. Sıkıştırma Zamanı	6
1.2.3. Yanma ve İş Zamanı	6
1.2.4. Egzoz Zamanı	6
1.3. Dizel Motorların Avantajları ve Dezavantajları	7
1.3.1. Dizel Motorların Avantajları	7
1.3.2. Dizel Motorların Dezavantajları	7
1.4. Günümüzde Dizel Motorların Kullanım Alanları.....	8
1.5. Dizel Motorlarından Çevreye Yayılan Emisyonlar ve Bunların Etkileri	8
1.5.1. Hidrokarbon(HC).....	9
1.5.2. Karbonmonoksit(CO)	10

1.5.3. Partikül Madde(PM)	11
1.5.4. Nitrojen Oksit(NO _x)	13
1.5.5. Kükürt Dioksit(SO ₂)	14

BÖLÜM II

DİZEL MOTORLARINDA EMİSYON STANDARTLARI VE EMİSYON KONTROL SİSTEMLERİ

2.1. Dizel Motorlarında Emisyon Standartları	16
2.2. Dizel Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Emisyon Kontrol Teknikleri	18
2.2.1. Dizel Oksidasyon Katalizörü(DOC)	18
2.2.2. Dizel Partikül Filtresi(DPF)	20
2.2.3. Egzoz Gaz Resirkülasyonu(EGR)	23
2.2.4. Seçici Katalitik İndirgeme(SCR)	26
2.2.4.1. Üre SCR(NH ₃ – SCR)	26
2.2.4.2. Hidrokarbon SCR(HC – SCR)	28
2.2.4.2.1. HC – SCR Sisteminde Kullanılan İndirgeyiciler	29
2.2.4.2.2. HC – SCR Sisteminde Kullanılan Katalizörler	30
2.2.4.3. Katalizör Zehirlenmesi	31

BÖLÜM III

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3.1. Katalizör Üretimi ve NO _x Dönüşümü İle İlgili Önceki Çalışmalar	33
---	----

BÖLÜM IV

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Katalizörlerin Üretiminde Kullanılan Kordiyerit Yapılar	40
4.2. Katalizörlerin Üretim Aşamaları	40

4.3. Katalizörlerin Üretiminde ve İndirgeyici Olarak Kullanılan Kimyasal Maddeler ..	48
4.3.1. Oksalik Asit Dihidrat ($C_2H_2O_4$)	48
4.3.2. Gümüş Nitrat ($AgNO_3$)	48
4.3.3. Zirkonyum Dioksit(ZrO_2)	49
4.3.4. Antimon Trioksit (Sb_2O_3)	49
4.3.5. Fosfor (P)	50
4.3.6. Silisyum Dioksit(SiO_2)	50
4.3.7. Etanol (CH_3CH_2OH)	51
4.4. Katalizörlerin Üretiminde Kullanılan Cihazlar	51
4.4.1. Hassas Tartı	51
4.4.2. Manyetik Karıştırıcı	52
4.4.3. Etüv Fırını	53
4.4.4. Sinterleme Fırını	54
4.5. Katalizörlerin Analizinde Kullanılan Cihazlar	55
4.5.1. XRD(X – Işını Difraktometresi) Analiz Cihazı	55
4.5.2. BET(Yüzey Alanı ve Gözeneklik) Analiz Cihazı	56
4.5.3. SEM(Taramalı Elektron Mikroskobu) Analiz Cihazı	57
4.6. Test Ekipmanları ve Deney Düzeneği	58
4.7. Test Ekipmanlarının Teknik Özellikleri	60
4.7.1. Katalizörlerin Egzoz Sistemine Yerleştirilmesi	60
4.7.2. NO_x Sensörleri	60
4.7.3. Elektronik Kontrol Ünitesi ve Arayüz	61
4.7.4. Pompa ve Enjektör	63
4.7.5. Rezidanslar, Sıcaklık Kontrol Ünitesi ve Sıcaklık Sensörleri	64
4.7.6. Orifis Plaka, U Manometre ve Egzoz Gazı Yönlendirme Vanaları	66
4.7.7. Deney Motoru	68
4.7.8. Güç Yükleme Ünitesi	69

BÖLÜM V

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Katalizör Karakterizasyonu Test Sonuçları	71
5.1.1. XRD(X – Işını Difraktometresi) Analiz Sonuçları	71
5.1.2. BET(Yüzey Alanı ve Gözeneklik) Analiz Sonuçları.....	75
5.1.3. SEM(Taramalı Elektron Mikroskobu) Analiz Sonuçları.....	75
5.1.4. SEM-EDS(Enerji Dispersiv Spektrum) Analiz Sonuçları	79
5.2. Deney Sonuçları.....	90
5.2.1. Motor Yüklerinin NO _x Dönüşüm Oranına Etkisi.....	94
5.2.2. Sıcaklık Değerlerinin NO _x Dönüşüm Oranına Etkisi.....	94
5.2.3. Maksimum ve Minimum NO _x Dönüşüm Oranları	95
5.2.4. Fosfor(P) ve Antimon(Sb) İlavesinin NO _x Dönüşüm Oranlarına Etkisi.....	95
SONUÇ ve ÖNERİLER	97
KAYNAKÇA.....	99
ÖZGEÇMİŞ	113

KISALTMALAR VE SİMGELER

Ag/ZrO₂: Ag/ZrO₂ içerikli katalizör

Ag: Gümüş

AgNO₃: Gümüş nitrat

Ag-P/ZrO₂: Ag-P/ZrO₂ içerikli katalizör

Ag-P-Sb(%1)/ZrO₂: Ag-P-Sb(%1)/ZrO₂ içerikli katalizör

Ag-P-Sb(%1)/ZrO₂: Ag-P-Sb(%1)/ZrO₂ içerikli katalizör

Al₂O₃: Alüminyum oksit

BET: Yüzey Alanı ve Gözeneklik

C₁₇H₃₄: Motorin

C₂H₂O₄: Oksalik asit dihidrat

C₃H₆: Propilen

CeO₂: Seryum oksit

CH₃CH₂OH: Etanol

CO: Karbon monoksit

CO₂: Karbon dioksit

Cu: Bakır

Dev/dak: Devir / Dakika

DOC: Dizel Oksidasyon Katalizörü

DPF: Dizel Partikül Filtresi

EGR: Egzoz Gaz Resirkülasyonu

H₂O: Su

HC: Hidrokarbon

HC-SCR: Hidrokarbon SCR

Katalist: Katalizör

kW: Kilowatt

NH₃ – SCR: Üre SCR

NH₃: Amonyak

NO: Azot monoksit

NO₂: Azot dioksit

NO₃: Nitrat

NO_x: Azot oksit

O₂: Oksijen

P: Fosfor

Pd: Paladyum

PM: Partikül madde

Pt: Platin

Sb: Antimon

Sb₂O₃: Antimon trioksit

SCR: Seçici Katalatik İndirgeme

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

SEM-EDS: Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dispersiv Spektrum

SiO₂: Silisyum dioksit

SO₂: Kükürt dioksit

SO_x: Sülfür oksit

TiO₂: Titanyum dioksit

XRD: X – Işını Difraktometresi

ZrO₂: Zirkonyum dioksit

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1. Rudolf Diesel'in Patenti	4
Şekil 1. 2. 1906 Yılında Üretilen Tek Silindirli Dizel Motoru.....	5
Şekil 1. 3. Dizel Motorların Dört Zaman Çevrimi	7
Şekil 1. 4. Dizel Egzoz Gazı Bileşimi	9
Şekil 1. 5. Hidrokarbon.....	10
Şekil 1. 6. Karbonmonoksit	11
Şekil 1. 7. Dizel Partikülleri	13
Şekil 1. 8. Nitrojen Oksitler.....	14
Şekil 1. 9. Kükürt Dioksit.....	15
Şekil 2. 1. Dünya'daki Emisyon Standartları.....	16
Şekil 2. 2. Dizel Oksidasyon Katalizörü.....	19
Şekil 2. 3. Farklı Yapı, Şekil ve Geometrilerdeki Dizel Oksidasyon Katalizörleri.....	20
Şekil 2. 4. Duvar Akışlı Dizel Partikül Filtresinin Yapısı.....	21
Şekil 2. 5. Silisyum Karbür Yapılı Dizel Partikül Filtresi.....	22
Şekil 2. 6. EGR'nin Çalışma Prensibi	25
Şekil 2. 7. Seçici Katalatik İndirgeme(SCR) Sistemi.....	26
Şekil 4. 1. Kordiyerit Yapılar.....	40
Şekil 4. 2. Asitle Karıştırma İşlemi	41
Şekil 4. 3. Asitle Muamele İşlemi	41
Şekil 4. 4. Kurutma İşlemi.....	41
Şekil 4. 5. Kalsine İşlemi.....	41
Şekil 4. 6. Buharlaştırma İşlemi	42
Şekil 4. 7. Kimyasal maddeler.....	42
Şekil 4. 8. Kurutma İşlemi.....	42
Şekil 4. 9. Kimyasal Maddeler	42
Şekil 4. 10. Kalsine İşlemi.....	43
Şekil 4. 11. Toz Haline Getirme İşlemi	43
Şekil 4. 12. SiO ₂ İlave Etme İşlemi.....	43
Şekil 4. 13. Karıştırma İşlemi.....	43
Şekil 4. 14. Her Yönü İle Daldırma İşlemi.....	44
Şekil 4. 15. Kurutma İşlemi.....	44

Şekil 4. 16. Kalsine İşlemi.....	44
Şekil 4. 17. Deney Düzeni Katalistleri.....	45
Şekil 4. 18. Numune Katalistleri	45
Şekil 4. 19. Deney Sonrası Katalistler.....	45
Şekil 4. 20. Oksalik Asit Dihidrat.....	48
Şekil 4. 21. Gümüş Nitrat	48
Şekil 4. 22. Zirkonyum Dioksit	49
Şekil 4. 23. Antimon Trioksit	49
Şekil 4. 24. Fosfor.....	50
Şekil 4. 25. Silisyum Dioksit	50
Şekil 4. 26. Etanol.....	51
Şekil 4. 27. Hassas Tartı	51
Şekil 4. 28. Manyetik Karıştırıcı	52
Şekil 4. 29. Etüv Fırını.....	53
Şekil 4. 30. Sinterleme Fırını.....	54
Şekil 4. 31. XRD Analiz Cihazı	55
Şekil 4. 32. BET Analiz Cihazı	56
Şekil 4. 33. SEM Analiz Cihazı.....	58
Şekil 4. 34. Test Ekipmanları ve Deney Düzeneği Şematik Gösterimi.....	59
Şekil 4. 35. Katalizörlerin Egzoz Sistemine Yerleştirilmesi	60
Şekil 4. 36. NO _x Sensörü	61
Şekil 4. 37. Elektronik Kontrol Ünitesi	62
Şekil 4. 38. Arayüz	63
Şekil 4. 39. Pompa.....	63
Şekil 4. 40. Enjektör	64
Şekil 4. 41. Rezizdans Bağlantıları.....	64
Şekil 4. 42. Sıcaklık Kontrol Ünitesi.....	65
Şekil 4. 43. Sıcaklık Sensörü	66
Şekil 4. 44. Orifis Plaka.....	66
Şekil 4. 45. U Manometre.....	67
Şekil 4. 46. Egzoz Gazı Yönlendirme Vanaları.....	67
Şekil 4. 47. Deney Motoru.....	68
Şekil 4. 48. Güç Yükleme Ünitesi	70

Şekil 5. 1. Birinci Katalizöre Ait XRD Analiz Grafiği	71
Şekil 5. 2. İkinci Katalizöre Ait XRD Analiz Grafiği	72
Şekil 5. 3. Üçüncü Katalizöre Ait XRD Analiz Grafiği	73
Şekil 5. 4. Dördüncü Katalizöre Ait XRD Analiz Grafiği.....	74
Şekil 5. 5. Birinci Katalizöre Ait 5000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri.....	76
Şekil 5. 6. Birinci Katalizöre Ait 10000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri.....	76
Şekil 5. 7. İkinci Katalizöre Ait 5000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri	77
Şekil 5. 8. İkinci Katalizöre Ait 10000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri	77
Şekil 5. 9. Üçüncü Katalizöre Ait 5000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri	78
Şekil 5. 10. Üçüncü Katalizöre Ait 10000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri	78
Şekil 5. 11. Dördüncü Katalizöre Ait 5000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri.....	79
Şekil 5. 12. Dördüncü Katalizöre Ait 10000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri.....	79
Şekil 5. 13. Birinci Katalizöre Ait SEM-EDS Görüntüleri	81
Şekil 5. 14. İkinci Katalizöre Ait SEM-EDS Görüntüleri	83
Şekil 5. 15. Üçüncü Katalizöre Ait SEM-EDS Görüntüleri	86
Şekil 5. 16. Dördüncü Katalizöre Ait SEM-EDS Görüntüleri	89
Şekil 5. 17. 2 kW Motor Yüklemesinde NO _x Dönüşüm Oranları Grafiği.....	92
Şekil 5. 18. 4 kW Motor Yüklemesinde NO _x Dönüşüm Oranları Grafiği.....	93

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2. 1. Dizel Motorlu Ağır Vasıtalar İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları	17
Tablo 2. 2. Dizel Motorlu Hafif Araçlar İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları.....	17
Tablo 2. 3. NO _x ve PM Emisyonlarına EGR'nin Etkisi	24
Tablo 2. 4. HC-SCR Sistemi İndirgeyicileri ve Formülleri	30
Tablo 2. 5. HC-SCR İçin Çeşitli Zeolit Katalizörlerin Aktivitesi.....	31
Tablo 4. 1. Katalizör Üretiminde, Analizinde ve Deneyinde İşlem Basmakları.....	46
Tablo 4. 2. Katalizör Üretiminde Kullanılan Kimyasal Maddelerin Ağırlıkça Yüzdeler Oranları	47
Tablo 4. 3. Hassas Tartının Teknik Özellikleri	52
Tablo 4. 4. Manyetik Karıştırıcının Teknik Özellikleri	53
Tablo 4. 5. Etüv Fırınının Teknik Özellikleri	54
Tablo 4. 6. Sinterleme Fırınının Teknik Özellikleri.....	55
Tablo 4. 7. XRD Analiz Cihazının Teknik Özellikleri	56
Tablo 4. 8. BET Analiz Cihazının Teknik Özellikleri	57
Tablo 4. 9. SEM Analiz Cihazının Teknik Özellikleri.....	58
Tablo 4. 10. Elektronik Kontrol Ünitesinin Teknik Özellikleri	62
Tablo 4. 11. Sıcaklık Kontrol Ünitesinin Teknik Özellikleri.....	65
Tablo 4. 12. Deney Motorunun Teknik Özellikleri.....	69
Tablo 5. 1. Birinci Katalizöre Ait XRD Analiz Sonuçları.....	72
Tablo 5. 2. İkinci Katalizöre Ait XRD Analiz Sonuçları.....	73
Tablo 5. 3. Üçüncü Katalizöre Ait XRD Analiz Sonuçları.....	74
Tablo 5. 4. Dördüncü Katalizöre Ait XRD Analiz Sonuçları	75
Tablo 5. 5. BET(Yüzey Alanı ve Gözeneklik) Analiz Sonuçları.....	75
Tablo 5. 6. Birinci Katalizöre Ait Elementlerin Ağırlık ve Atomik Yüzdeleri.....	81
Tablo 5. 7. İkinci Katalizöre Ait Elementlerin Ağırlık ve Atomik Yüzdeleri	84
Tablo 5. 8. Üçüncü Katalizöre Ait Elementlerin Ağırlık ve Atomik Yüzdeleri	87
Tablo 5. 9. Dördüncü Katalizöre Ait Elementlerin Ağırlık ve Atomik Yüzdeleri.....	90
Tablo 5. 10. 2 kW Motor Yüklemesinde NO _x Dönüşüm Oranları	91
Tablo 5. 11. 4 kW Motor Yüklemesinde NO _x Dönüşüm Oranları	92

GİRİŞ

İnsanlar, buldukları ortamlarla daima etkileşim içerisinde ve yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için çevre kirliliği oluşturup yaşadıkları ortama olumsuz etkilerini yansıtmaktadırlar. Oluşturulan çevre kirliliği doğal kaynakları yok etmekte, canlıların yaşamını devam ettirmede önemli rol oynayan havanın, toprağın ve suyun kalitesinin bozulmasına sebebiyet vermektedir. Çevre kirliliği toprakların verimini düşürmekte, su kaynaklarını azaltmakta ve gıda kıtlığının oluşması gibi sonuçlar doğurmaktadır. Hava kirliliği, aynı zamanda çevre kirliliğini de oluşturmaktadır ve zararlı maddelerin canlıların sağlığı için tehlike oluşturacak düzeylere ulaşması anlamına gelmektedir. Motorlu taşıtların egzoz sisteminden çıkan zararlı gazlar, kükürt oranı yüksek olan kömürlerin yakılması sonucu oluşan zararlı gazlar ve sanayi tesislerinin oluşturduğu zararlı gazlar hava kirliliğini oluşturan ana etmenlerdir (Keskin,2019:1).

Hava kirliliği küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Dünya atmosferine salınan zararlı gazlar sera etkisi yaratarak güneş sıcaklığının atmosferden çıkışını engellemekte ve Dünya'nın ortalama sıcaklığını arttırarak küresel ısınmaya sebebiyet vermektedir. Fosil yakıt kullanımı, tarımsal faaliyetler, sanayi tesisleri ve ulaştırma faaliyetleri sera etkisine sebep olmaktadır. Yapılan araştırmalar Dünya atmosferindeki sera gazı konsantrasyonunun son 50 yıllık dönemde iki katına çıktığını göstermektedir. Bu nedenle küresel ısınma meydana gelerek iklim değişiklikleri oluşmuş, buzullar eriyerek deniz seviyesi yükselmiş ve hava şartları sertleşmiştir. Yaşadığımız son asırda, Dünya ortalama sıcaklığı 0,4 °C ile 0,8 °C derece artmıştır (Climate Change,2007).

Motorlu taşıtların egzoz sisteminden atmosfere yayılan kirletici gazlar hava kirliliğini oluşturmaktadır. Dünyada her yıl ortalama 60 milyon taşıt üretimi yapılmaktadır ve 2030 yılına kadar taşıt sayısının 1,3 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Piumetti vd.,2015:155-173). Motorlu taşıtların sayısındaki artış, özellikle şehirlerde hava kirliliğine sebep olmaktadır (Franco vd.,2013:84-37).

Dizel motorlar karayolu ve arazi taşıtları için önemli bir güç sistemi olup, bu motorlar güvenilirlik ve dayanıklılık konusunda kendisini ispatlamıştır. Ayrıca düşük yakıt sarfiyatı, tork çıkışının yüksek olması, onarımının kolay olması ve ileri derecede dayanıklılığı bu motorların en büyük avantajlarından. Dolayısıyla dizel motorlar, Dünya'da ihtiyaç duyulan bir çok kullanım alanında tercih edilmekte ve kullanılan sektör

sayısı her geçen gün artmaktadır. (Reşitoğlu vd.,2015:15-27). Dizel motorların benzinli motorlara göre avantajlarının yanı sıra, kirletici emsiyon yayılımı konusunda dezavantajları da mevcuttur. Kirletici emisyonların oluşmasında hava yakıt oranı, tutuşma gecikmesi, yanma odası tasarımı, yanma odası hava hareketleri ve yanmanın şekli önemli rol oynamaktadır. Dizel motorların ilk üretiminden bu yana kirletici emisyonların azaltılması konusunda çalışmalar yapılmaktadır (Reşitoğlu vd.,2015:15-27; Sitshebo,2010). Dizel motorların en büyük dezavantajları, atmosfere yüksek miktarlarda partikül madde (PM) ve nitrojen oksit (NO_x) salmalarıdır. Bilim insanları yaptıkları çalışmalarda, dizel motor emisyonlarının asit yağmurlarına sebebiyet verdiği ve bu nedenle insan sağlığı üzerinde olumsuz etkisinin olduğu sonucuna varmıştır. Bundan dolayı NO_x emisyonunu kontrol altına almak için çalışmalar ve araştırmalar halen yapılmaktadır. Dizel motorlarda NO_x emisyonunun azaltılması için bir çok yöntem denenmiştir ancak, NO_x emisyonunun azaltılması konusunda kayda değer bir gelişme bir süre kat edilememiştir (Şahbaz,2022:1).

Motorlu taşıtların meydana getirdiği kirletici gazları sınırlandırmak ve azaltmak amacıyla Dünya genelinde kabul edilen ve zorunlu olan egzoz gazı emisyon normları mevcuttur. Bu normlarla ilgili ilk kanun 1970'li yıllarda Avrupa'da çıkarılmıştır. Sürekli artan araç sayıları nedeniyle bu kanunlar daha sıkı hale getirilmiş ve yeni düzenlemelere gidilmiştir. Bu kanunlara uyulması kapsamında, dizel motorlarda emisyonları azaltmak amacıyla Seçici Katalitik İndirgeme Sistemi (SCR), Dizel Oksidasyon Katalizörü (DOC), Egzoz Gaz Resirkülasyonu(EGR) ve Dizel Partikül Filtresi (DPF) sistemleri de mevcuttur. DOC sisteminin amacı CO ve HC emisyonlarını azaltmak iken, SCR ve EGR sisteminin amacı ise NO_x emisyonlarını azaltmaktadır. DPF sisteminin amacı ise partikül emisyonlarını kontrol altına almaktır. Dizel motorlarında emisyon kontrol sistemlerinden Seçici Katalitik İndirgeme Sistemi (SCR) NO_x standartlarının sağlanabilmesi için en etkili sistem olup, son zamanlarda üzerinde en çok araştırma yapılan sistem olmuştur (Keskin,2019:2). SCR sisteminde egzoz gazına enjekte edilen indirgeyiciler, katalizör yardımıyla NO_x dönüşüm performansını arttırmaktadır. SCR sisteminde indirgeyici olarak en çok amonyak kullanılmaktadır. Egzoz gazına doğrudan amonyak sulu çözeltisi olan Adblue enjekte edilerek amonyak elde edilir. En yaygın katalizörler V₂O₅-WO₃/TiO₂ yapısına sahip katalizörlerdir. NO_x emisyon miktarını azaltılmak için kullanılan Amonyak ve V₂O₅-WO₃/TiO₂ katalizörü, 300 °C ile 400 °C sıcaklık aralığında en verimli seviyesine ulaşır (Şahbaz,2022:1).

Bu çalışmanın amacı, Dünya ve canlılar için tehlike arz eden NO_x emisyonunun HC-SCR sisteminde dönüşüm oranlarını incelemek ve verimliliğini arttırmaktır. NO_x emisyonları dizel motorlardan kaynaklanmaktadır. Çalışmada, daldırma sonucu emdirme yöntemi kullanılarak kordiyerit yapılarla elementler bir araya getirilecek ve katalistler üretilen katalistlerin XRD, BET ve SEM analizi yapılacaktır. Ardından HC-SCR sisteminde deneye tabi tutularak farklı motor yüklerinde ve farklı sıcaklıklarda NO_x dönüşüm oranları incelenerek verimliliği test edilecektir.



BÖLÜM I

DİZEL MOTORLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ VE EMİSYONLARI

1.1. Dizel Motorların Tarihi ve Gelişim Süreci

Dizel motor çevrimini 1892 yılında Alman mühendis Rudolf Diesel keşfetmiş olup, patentini 23 Şubat 1893'te almıştır. Rudolf Diesel, kömür yatakları konusunda zengin madenlere sahip olan Almanya'da petrole bağımlık konusunu çözmek için yakıtı kömür olan bir motor icat etmek istemiştir. Ancak kömür tozunun yanması nedeniyle açığa çıkan kül büyük bir probleme neden olmuş ve sonralarda yakıtla çalışan bir motor üretimine yönelmiştir. Çalışmalar sonucunda yer fıstığı yağı(Biodizel) ile çalışan dizel motorunu icad etmiştir. Şekil 1.1.'de Rudolf Diesel'in patenti görülmektedir.



Şekil 1.1. Rudolf Diesel'in Patenti

Kaynak: Web-1 Vikipedi,2023:a.g.i.s.

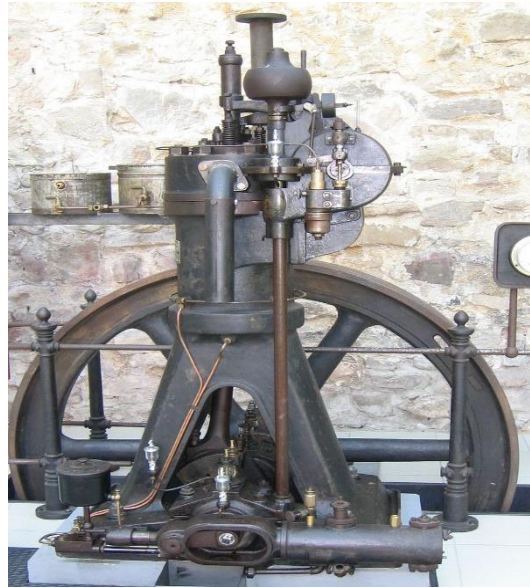
Rudolf Diesel'in makinesinde hava atmosferden alınmakta ve yüksek sıcaklık ve basınca ulaşıncaya kadar sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılan havanın içerisine yakıt püskürtülerek yanma oluşmakta ve oluşan basınç neticesinde genleşme sağlanarak iş elde edilmektedir. Rudolf Diesel tarafından 1895 yılında çalışır duruma getirilen 4 zamanlı motorun motorun özellikler şu şekildedir:

- Soğutma, silindirler etrafında dolaşan su ile sağlanıyordu.
- Sıkıştırma zamanı sonunda 35-40 atmosfer basınca ulaşan havanın içerisine 70 atmosfer basıncındaki hava ile yakıt püskürtmesi yapılıyordu.

- Termik verim, % 24 seviyelerine kadar çıkarılmıştı.
- Yanma sonucunda oluşan gazlar, basınçla silindir dışına atılmaktaydı.

Rudolf Diesel 1897 yılında MAN firması ile iş birliği yapmış ve günümüzde kullanılan dizel motorların örneği üretilmiştir. Günümüze kadar dizel motorlar üzerinde bir çok geliştirme yapılmıştır ancak, ana prensip olarak Rudolf Diesel'in oluşturduğu esaslar değişmediği için bu motorlar dizel motor adını almıştır.

Dizel motorlar, kuvvetle sıkıştırılmış hava içerisine yakıt püskürtülmesiyle iş üreten içten yanmalı motorlardır. Bu motorlar yüksek güçlere ve torklara ihtiyaç duyulması nedeniyle icat edilmiş ve Alman şirketler bu motorların gelişimine büyük katkıda bulunmuştur. 1906 yılında ilk tek silindirli dizel motoru üretilmiş olup Şekil 1.2.'de görülmektedir. Kara taşımacılığında kullanılan ilk dizel motorlar 1922 yılında üretilmiştir. Deniz taşımacılığında kullanılan ilk dizel motorlar 1910 yılında üretilmiş olsa da, gerçek anlamda küçük teknelerde kullanılan tip dizel motorlar 1929 yılında üretilmiştir. Yine 1929 yılından itibaren kara taşımacılığında kullanılan 40-50 beygir gücündeki motorlar üretilmeye başlanmıştır. İkinci dünya savaşının başlangıcına kadar dizel motorlar inşaat makinelerinde, demiryolu taşımacılığında, denizyolu taşımacılığında, traktörlerde ve sanayinin çeşitli alanlarında kullanılmış olsa da, düşük güce ihtiyaç duyulan yerlerde benzinli motorlar tercih edilmiştir (Akbal,2013:6).



Şekil 1.2. 1906 Yılında Üretilen Tek Silindirli Dizel Motoru

Kaynak: Web-2 Vikipedi,2023:a.g.i.s.

1.2. Dizel Motorların Çalışma Prensibi

1.2.1. Emme Zamanı

Piston üst ölü noktadan alt ölü noktaya doğru hareket etmeye başlamadan önce emme subabı açılır. Bu nedenle silindir içerisinde hacim büyümesi nedeniyle vakum oluşur ve atmosferdeki 1 bar basınçtaki hava emme manifoldu ve emme subabı vasıtasıyla silindir içerisine dolar. Piston alt ölü noktaya geldiğinde silindir içerisindeki basınç 0,7-0,9 bar, sıcaklık ise 80-120 °C düzeyindedir. Böylece silindir içerisine sadece hava alınan birinci zaman, yani emme zamanı tamamlanmış olur.

1.2.2. Sıkıştırma Zamanı

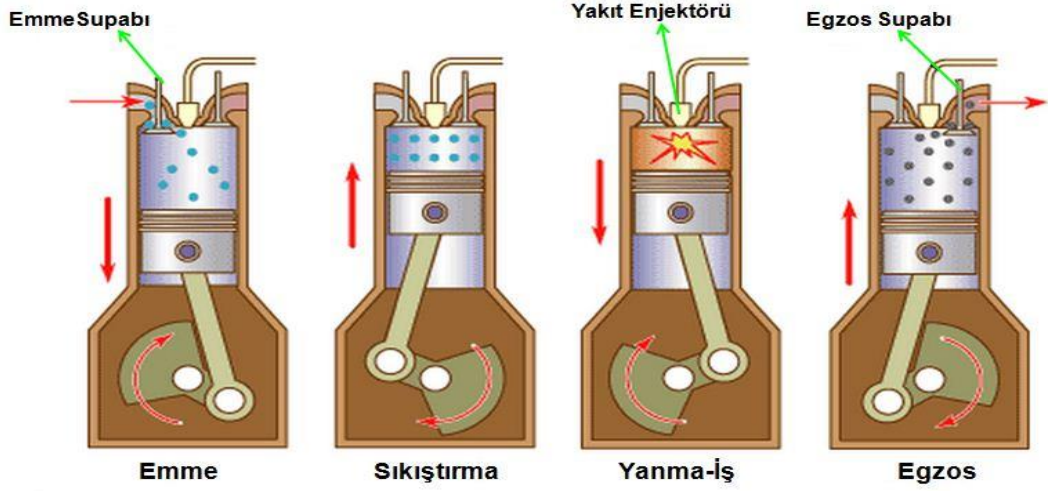
Piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket ettiğinde emme subabı kapanır ve egzoz subabı da kapalı olduğundan, silindir içerisindeki hava sıkıştırılır. Bu nedenle havanın basınç ve sıcaklığı artar. Piston üst ölü noktaya yaklaştığında sıkıştırılmış havanın basıncı 30-45 bara, sıcaklığı ise 600-900 °C 'ye yükselir ve ikinci zaman olan sıkıştırma zamanı tamamlanmış olur.

1.2.3. Yanma ve İş Zamanı

Piston üst ölü noktaya yaklaşırken basıncı ve sıcaklığı artmış hava içerisine enjektör ile yakıt püskürtülür ve yanma prosesi başlar. Yanma esnasında silindir içerisindeki basınç 60-80 bar, sıcaklık ise 2000 °C'dir. Yanma sonunda açığa çıkan basınçla piston alt ölü noktaya doğru itilerek genişleme oluşur ve bunun sonucunda da iş elde edilir. Piston alt ölü noktaya yaklaştığında üçüncü zaman olan iş zamanı tamamlanmış olur.

1.2.4. Egzoz Zamanı

Piston alt ölü noktaya yaklaştığında egzoz subabı açılır ve üst ölü noktaya hareket etmesiyle yanma sonucu oluşan egzoz gazları egzoz subabı ve egzoz manifoldu vasıtasıyla atmosfere atılır. Piston üst ölü noktaya yaklaştığında silindir içerisindeki basınç 3-4 bar, sıcaklık ise 80-120 °C'dir. Böylece dördüncü zaman olan egzoz zamanı tamamlanmış olur ve tekrar emme zamanı ile yeni bir çevrime başlanır. Şekil 1.3.'te dizel motorların dört zaman çevrimi görülmektedir.



Şekil 1.3. Dizel Motorların Dört Zaman Çevrimi

Kaynak: Web-3 Çeyrek Mühendis,2023:a.g.i.s.

1.3. Dizel Motorların Avantajları ve Dezavantajları

1.3.1. Dizel Motorların Avantajları

- Termal verimleri yüksek olduğu için düşük yakıt sarfiyatına sahiptir ve benzinli motorlardan daha ekonomiktir.
- Elektriksel bir ateşleme sistemi olmadığı için, bu sistemden kaynaklanan problemler teşkil etmez ve benzinli motora göre daha dayanıklıdır.
- Geniş hız aralığında motor torku sabit kalır ve bu nedenle uyumlu olup, işletimi daha kolaydır.
- Dizel motorlar yanma sistemi ve şekli gereği daha büyük boyutlarda üretilmektedir.
- Aynı özellikteki benzinli motora göre torku daha yüksektir.

1.3.2. Dizel Motorların Dezavantajları

- Yanma şekli difüzyon şeklinde olduğu için partikül madde oluşumu oldukça fazladır.
- Yanma sonundan oluşan basınç benzinli motora göre yaklaşık iki kat olduğu için, benzinli motora göre titreşimleri daha yüksektir ve gürültülü çalışırlar.
- Maksimum yanma basınçları çok yüksek olduğu için daha dayanıklı malzemelerden imal edilir. Beygir gücü başına düşen ağırlık benzinli motora göre daha yüksektir ve bu nedenle üretim maliyetleri de daha yüksektir.

- Yakıt püskürtme sistemleri kusursuz ve hassas çalışması gerektiği için daha fazla bakım ve servis maliyeti gerektirir.
- Sıkıştırma oranı yüksek olduğu için ilk harekette tahrik kuvveti yüksek olması gerekir. Bu nedenle daha yüksek kapasiteli batarya ve marş motoru gerektirir.

1.4. Günümüzde Dizel Motorların Kullanım Alanları

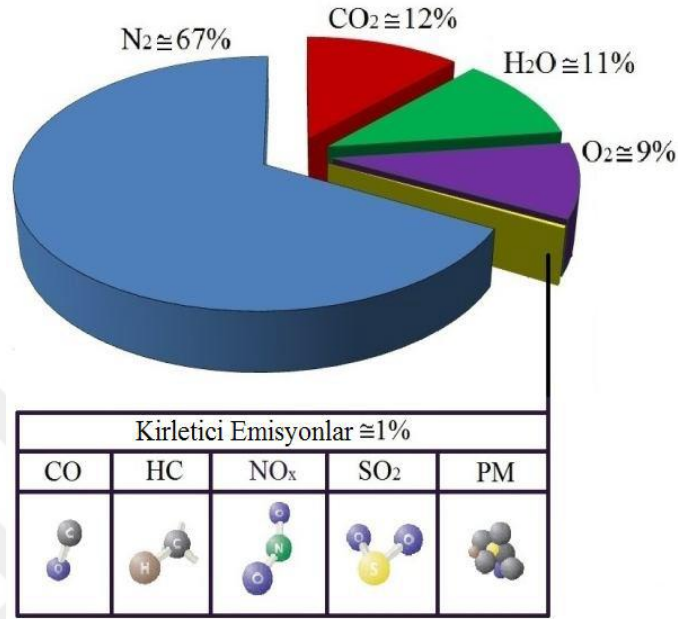
- Hava taşımacılığı
- Kara taşımacılığı
- Deniz taşımacılığı
- Raylı sistemler taşımacılığı
- Sabit güç makineleri
- İş makineleri
- Jeneratörler
- Tarımsal faaliyetler

1.5. Dizel Motorlarından Çevreye Yayılan Emisyonlar ve Bunların Etkileri

Yakıtın oksijenle birleşmesi sonucu büyük bir enerji açığa çıkarması işlemine yanma adı verilmektedir. Yanma için gerekli oksijen, atmosferdeki havadan temin edilmektedir. Yakıt ile oksijenin karışması sonucu yanma işleminden sonra yanma ürünleri açığa çıkmaktadır. Dizel motorlar da yakıt olarak kullanılan motorin $C_{17}H_{34}$ bileşimine sahip olup yaklaşık %85 karbon ile %15 hidrojen içeriklidir ve eğer yanma tam olarak gerçekleşirse CO_2 ve H_2O açığa çıkmaktadır. Ancak hava yakıt oranı, tutuşma gecikmesi, yanma odası hava sirkülasyonları, yanmanın ne şekilde olduğu, yanma odası tasarım şekli, yakıt enjekte etme geometrisi, yakıt kalitesi, yanmanın sıcaklığı gibi değişik parametreler nedeniyle yanmanın tam olarak gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Bu sebeple yanma sonucu CO_2 ve H_2O açığa çıkarken bunların dışında, karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), partikül madde (PM), kükürt oksitler (SO_x), aldehitler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve metaller gibi maddelerde açığa çıkmaktadır (Pietikäinen vd.,2015:377-385; Keskin ve Sağıroğlu,2010:606).

Dizel motorların çevreye yaydığı egzoz gazı içerisinde zararlı emisyonların oranı %1'in altında olup, azot oksitlerin(NO_x) oranı ise %50'den fazladır. Azot oksitlerden(NO_x) sonra en zararlı emisyonlar partikül maddelerdir(PM) (Reşitoğlu vd., 2015). Dizel motorlarda yakıt içerisindeki kükürt yanma esnasında oksijen ile reaksiyona

girerek SO_x emisyonlarını oluşturur ve oluşumun miktarı yakıtın içerisinde bulunan kükürtün oranıyla ilgilidir. Sülfürik asit, SO_x emisyonlarının su ile reaksiyona girmesi sonucu oluşmaktadır (Keskin,2019:5). Şekil 1.4.'te dizel egzoz gaz bileşimi görülmektedir.



Şekil 1.4. Dizel Egzoz Gazı Bileşimi

Kaynak: Reşitoğlu vd.,2015

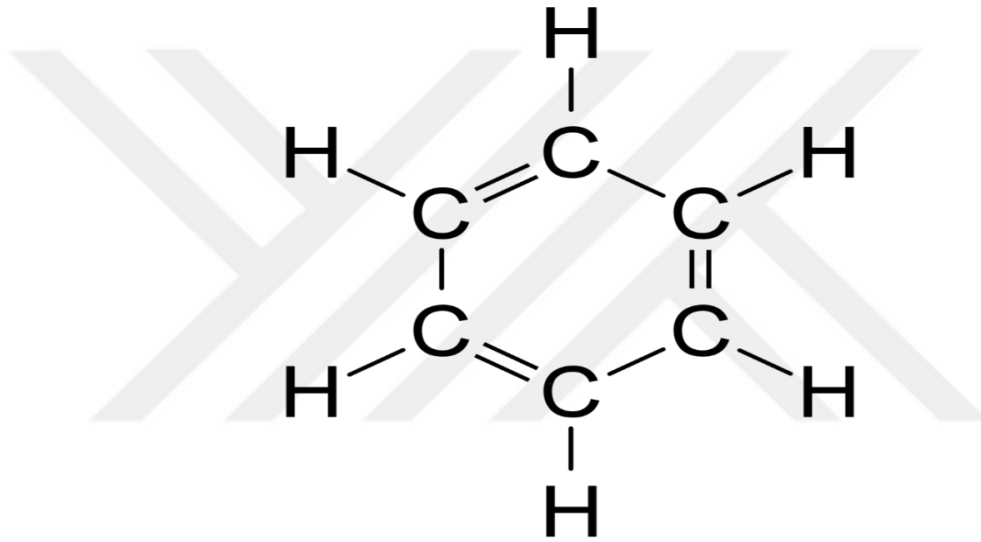
1.5.1. Hidrokarbon(HC)

Yanma esnasında düşük sıcaklık ve oksijen miktarının az olması nedeniyle eksik bir yanma ürünü olarak HC emisyonları oluşur. Bunun nedeni karışım oranının çok zengin ya da fakir olması nedeniyle oksidasyon reaksiyonunun yavaş meydana gelmesi ve ısı kayıpları sebebiyle alevin sönmesi, yanma odasının bazı kısımlarında yüzey/hacim oranının yüksek olması nedeniyle oluşan ısı kayıpları sonucu sıcaklığın düşmesi ve yanmanın istenilen verimde oluşmaması, yanma odasının ısı çok düşük cıdarlarına yakın konuma gelen alevin sönmesi, segman boşluklarında ve köşe kısımlarda biriken yakıt, tutuşma gecikmesinin zamanı, yakıt kalitesi, motor ayarları (yakıt pompası ve enjektör gibi) ve çalışma şartları gibi parametreler kabul edilebilir (Reşitoğlu vd.,2015:15-27; Dayı ve Çelikten,2018).

Alkanlar, alkenler ve aromatikler gibi hidrokarbon çeşitleri HC emisyonlarını oluşturur. Egzoz gazı içeriğindeki hidrokarbonlar, yüksek sıcaklıklarda ancak yeterli

oksijen bulunabilirse reaksiyon sonucu H₂O ve CO₂'e dönüşebilir (Reşitoğlu vd.,2015:15-27).

Yapılan çalışmalar HC emisyonlarının kanserojen etkiye sahip olduğunu göstermekte olup, solunum yolları ve gözlerde tahrişe sebebiyet vermektedir. Güneş ışığında NO_x ile reaksiyona giren hidrokarbonlar, fotokimyasal sis olarak bilinen sis tabakasının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu sis tabakasının gözler ve akciğerde ciddi zararlara yol açmasının dışında bitkilere de zarar verdiği tespit edilmiştir (Reşitoğlu vd.,2015:15-27; Sitshebo,2010; Sivaloganathan,1998:138-139; Payri vd.,2009:1273-1279). Şekil 1.5.'te hidrokarbon görülmektedir.



Şekil 1.5. Hidrokarbon

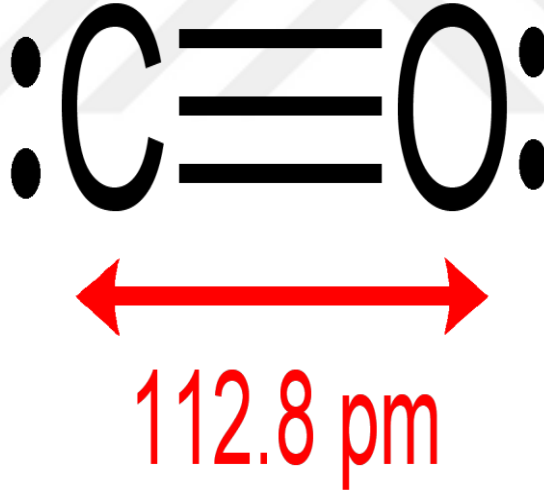
Kaynak: Web-4 Vikipedi,2023:a.g.i.s.

1.5.2. Karbonmonoksit(CO)

Oksidasyon sürecinin istenilen seviyede olmadığı eksik yanmanın neticesinde CO emisyonları oluşur. Hava-yakıt karışımının oranı bu emisyonun meydana gelmesinde büyük rol oynadığı ve hava-yakıt karışım oranının (λ) 1.0'den daha düşük olduğu zengin karışımlarda artış gösterdiği görülmüştür (Wu vd.,2004:7093-7100). En çok, zengin karışıma ve ilk ivmelenmeye ihtiyacın olduğu motorun ilk harekete geçiş zamanlarında oluşmaktadır. Hava miktarının düşük miktarda olduğu zengin karışımlarda reaksiyona giren karbonun tamamı CO₂'ye dönüşmemekte ve CO'nun oluşumuna sebep olmaktadır. CO'nun oluşumunun daha çok zengin karışımlarda olduğu tespit edilsede, azda olsa kinetik etkiler sebebiyle fakir karışımlarda da oluştuğu tespit edilmiştir (Faiz vd.,1996).

Dizel motorlarda hava-yakıt oranı daima yüksek oranlardadır($\lambda > 1$) ve bu motorlar fakir karışımlıdır. Bundan dolayıdır ki dizel motorların oluşturduğu CO miktarı benzinli motorlara nazaran daha azdır. Ancak dizel motorlarında yanma odasına püskürtülen yakıt damlacıklarının boyutunun büyük olduğu ve gerekli hava türbülansının sağlanamadığı zamanlar da yanma tam olarak gerçekleşemez ve CO emisyonları oluşur (Demers ve Walters,1999).

CO tatsız, renksiz ve kokusuz bir gazdır. CO emisyonunu havadan solunma yoluyla istemeden de olsa akciğerlerine ulaştıran insanlar, bunu kan dolaşımına ileterek CO'nun kandaki hemoglobine bağlanmasına ve kanın oksijen taşıma özelliğinin engellenmesine sebep olmaktadır. Bundan dolayı havadaki CO miktarına da bağlı olarak boğulmaya, bu sebeple organların yaşam fonksiyonlarının zarar görmesine, reflekslerin yavaşlamasına ve konfüzyona sebep olmaktadır (Kampa ve Castanas,2008:362-367; Raub,1999:331-351; Strauss vd.,2004; Walsh,2011:803-809). Şekil 1.6.'da karbonmonoksit görülmektedir.



Şekil 1.6. Karbonmonoksit

Kaynak: Web-5 Vikipedi,2023:a.g.i.s.

1.5.3. Partikül Madde(PM)

Yanma işleminden sonra egzoz gazından çevreye yayılan bir diğer zararlı ürünlerde partikül maddelerdir (Demers ve Walters, 1999). Çoğu kez partikül madde yakıtın ve motor yağındaki hidrokarbonların eksik yanması sonucu oluşur. Yapılan araştırmalarda, özellikle ağır hizmette kullanılan dizel motorlarının parçacık bileşimi

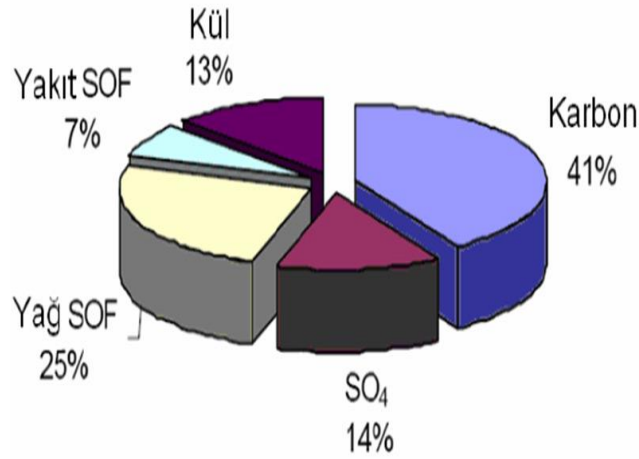
%41 C, %14 sülfat ve su, %7 yanmamış yakıt, %25 yanmamış yağ ve %13 kül olduğu tespit edilmiştir (Kittelton, 1998:575-588).

Dizel partikül maddeler 15-40 nm çapında küre yapı şeklindedir ve partikül maddelerin %90'ından fazlası 1 µm çapından daha küçüktür. Yanma ve genişlemenin faktörü, yakıtın ve yağın kalitesi ve ne miktarda tüketildiği, yanma sıcaklığı ve egzoz gazından ısının transfer edilmesi gibi birden fazla parametre ile bağlantılıdır (Burtscher, 2005:896-932).

Partikül maddelerin kütle miktarı çok önemlidir. Kütle miktarı, emisyon standartlarının belirlenmesinde ana kriterdir. Egzoz gazından ısı transferinin gerçekleştirilmesi ve seyredilmesi esnasında basitçe buharlaşan çekirdeklenme mod parçacık çapları 5-50 nm arasındadır. Bunlar sayıca çok fazladır ancak kütle miktarı olarak azdır. Partikül maddelerde kütle büyük bir kısmını birikim mod partikülleri oluşturur. Karbon parçacıkların kümeleşmesi sonucu oluşan birikim mod parçacıklarının çapları 30-500 nm'den büyüktür ancak sayıları daha azdır. Partikül madde çapı azaldıkça sağlık açısından tehlikesi bir o kadar artmaktadır. Çapları 2,5 µm'den az olan küçük parçacıklar solunabilir olanlardır ve partikül maddelerin % 90'ını oluşturmaktadır (Sitshebo,2010; Gill,2012).

Partikül Maddeler insanlar tarafından solunum yoluyla vücuda alındığı zaman ciddi etkilerinin ve zararlarının olduğu yapılan araştırmalarda tespit edilmiştir. En çokta solunum yolu hastalıklarına sebep olduğu görülmüştür. Bu hastalıklardan bahsedecek olursak kalp hastalıkları, astım, damar tıkanıklığı ve akciğer kanseridir. Ayrıca partikül maddeler toprak su ve hava kirliliğine sebep olmanın yanı sıra, küresel iklim değişikliğine ve tarımsal verimin düşmesine de neden olmaktadır (Englert,2004:235-242; Michael ve Kleinman,2000:93-105).

Dizel motorlarının egzozundan atılan partikül maddeler karbon ve hidrojen zincirinden oluşmaktadır ve bünyesinde bulunan yanmamış hidrokarbonlar, oksitlenmiş hidrokarbonlar, polinükler aromatikler, kükürtdioksit, azaotoksit ve sülfirik asit gibi inorganik bileşenler mevcuttur. Şekil 1.7.'de dizel partikülleri görülmektedir.



Şekil 1.7. Dizel Partikülleri

Kaynak: Akbal,2013:15

1.5.4. Nitrojen Oksit(NO_x)

Dizel motorlarda, yakıtın tutuŐması için yüksek basınçta ve sıcaklıktaki hava gereklidir. Daha çok oksijen ve nitrojenden oluşan hava silindirlere alınmakta, yanma odasında sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı arttırılmakta ve bu havaya yakıt püskürtülerek yanma meydana gelmektedir. Yanma sonucuda ısı açığa çıkmaktadır. Normalde nitrojen yanma odası içerisinde oksijen ile reaksiyona girmemekte ve doğrudan motor dışına atılmaktadır. Fakat yanma odasındaki sıcaklık 1600  C'nin üzerine çıktığı zaman nitrojen ile oksijen reaksiyona girmekte ve bunun sonucu olarakta NO_x emisyonları meydana gelmektedir. Dolayısıyla yüksek sıcaklıkta nitrojen ile oksijenin reaksiyona girmesi sonucu NO_x emisyonları açığa çıkmaktadır (Reşitoğlu,2016:9).

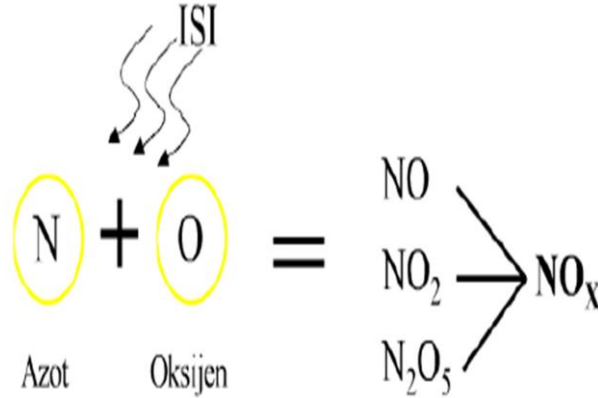
NO_x emisyonunun oluşumunda yanma odasındaki en yüksek sıcaklık miktarı, oksijen konsantrasyonu ve yanma zamanının fonksiyonu önemli bir yere sahiptir. NO_x emisyonu maksimum sıcaklık değerine ulaŐılan iş stroğunda ve pistonun üst ölü noktaya en yakın olduğu konumda gerçekleşir. Yanma sıcaklığı arttıkça NO_x emisyonunun miktarı da bununla doğru orantılı olarak artmaktadır. Yanma sonu sıcaklığındaki her 100  C artış, NO_x emisyon miktarında üç kat artıŐa neden olmaktadır (Bosch,2005; Lee vd.,2013:461-462,377-385).

Dünya genelindeki kara ulaŐımı NO_x emisyonu oluşumunun % 40 - %70'ine neden olmaktadır. Kara taŐıtlarının içerisinde büyük bir bölümü oluşturan dizel motorlu

taşıtlar NO_x emisyonunun oluşumunda en büyük paya sahiptir. Dizel motorlarda hava sıkıştırılarak yanma kendiliğinden gerçekleştiği için, benzinli motorlardan daha yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Dizel motorlu taşıtlar, öncelikle NO emisyonu olmak üzere NO_x emisyonlarının % 85'lik kısmına sebep olmaktadır (Lee vd.,2013:461-462,377-385; Wang vd.,2012:101-109).

Motorlu taşıtların yaydığı NO_x emisyonları çoğu kez çevre ve sağlık problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu emisyonlar Dünya'daki bir çok ülkede önemli bir sorun olarak kabul görmüş olan asit yağmurlarına, ozon ve sis oluşumu gibi önemli problemlere neden olmaktadır. Dünya atmosferindeki NO_x emisyonları diğer zararlı emisyonlarla kimyasal reaksiyona girerek, troposferiz ozonuna ve diğer zararlı emisyonların oluşumuna neden olmaktadır (Grewe vd.,2012:102-107; Hoekman ve Robins,2012:237-249).

NO_x, nitrojen oksit(NO) ve nitrojen dioksit(NO₂) olarak kabul edilmektedir. NO ve NO₂ zehirleyici gazlardır ve NO₂'nin NO'ya göre beş kat daha zehirleyici olduğu bilinmektedir. NO₂ gazı insan akciğerinde ciddi tahrişe yol açmaktadır. NO_x emisyonları Dünya'nın ekositemine ciddi zarar veren asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Atmosferdeki NO₂ gazı görüş mesafesini azaltan sislere yol açmaktadır (Hoeft vd.,2012:34-43; Kagawa,2002:349-353). Şekil 1.8.'de nitrojen oksitler görülmektedir.



Şekil 1.8. Nitrojen Oksitler

Kaynak: Akbal,2013:14

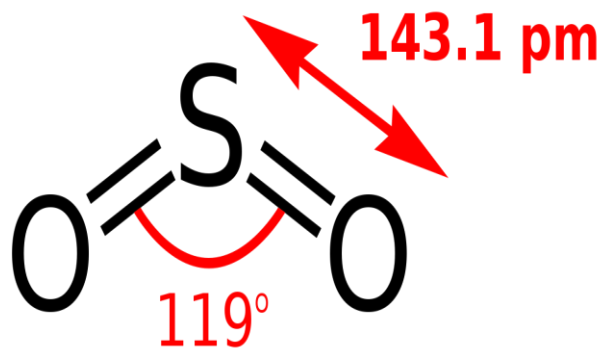
1.5.5. Kükürt Dioksit(SO₂)

Dizel motorlarda kullanılan yakıtların içerisinde bir miktar kükürt bulunmaktadır ve bu kükürt elementleri yanma esnasında oksijen ile tepkimeye girerek SO₂

oluşturmaktadır. SO₂ renksiz, keskin ve yanıcı olmayan bir gaz olup, atmosferde salındığında su ile tepkimeye girerek sülfirik asidi meydana getirmekte ve asit yağmurlarının oluşmasına sebep olmaktadır.

Dizel yakıtlarının içerisinde 500 ppm'e kadar kükürt bulunmaktadır. ABD başta olmak üzere bir çok ülkede dizel yakıtı içerisindeki kükürt sınırlandırılmıştır (Pulkrabek, 2004). Dizel motorlarındaki yakıtın içerisinde bulunan kükürt seviyesi % 0.05'in altına indirilerek kullanılmaktadır (Utell, 1994:157-178). Ancak dizel yakıtlarındaki kükürt belli bir seviyenin altına indirildiği zaman yeni bir problem ortaya çıkmaktadır. Bu problem, dizel yakıtı yağlama özelliğini yitirmesi ve yakıt pompası ile enjektörlere zarar vermesi şeklindedir (Caprotti,1999:84-88). Bunun dışında silindir gömleklerinde aşınmaya ve partikül filtrelerinde basınç artışına neden olmaktadır. Bu sorunun çözülmesi için düşük sülfürlü yakıtta bazı katkı maddeleri ilave edilmektedir (Pulkrabek, 2004). SO₂ emisyonlarının düşürülmesi için yakıt içerisindeki kükürt miktarı düşürüldüğü için bu emisyonların düşürülmesi amacıyla motor sonrası emisyon kontrol sistemleri yoktur.

SO₂ doğrudan canlıların solunum yollarına zarar vermektedir ve solunması durumunda % 90'dan fazlası üst solunum yollarında absorbe olmaktadır. Bu sebeple bronşit, amfizem ve diğer akciğer semptomları oluşmaktadır. Ayrıca SO₂ emisyonları direk temasla neden olduğu sağlık problemlerine ilaveten, havadaki maddelerle etkileşime girerek partikül madde oluşumu sonucunda kanser, solunum yolu hastalıkları ve erken ölüme sebep olmaktadır. Yapılan en son çalışmalar, SO₂ ve partikül maddelere uzun süreli maruz kalınması kalp hastalıklarını da tetiklediği tespit edilmiştir. Şekil 1.9.'da kükürt dioksit görülmektedir.



Şekil 1.9. Kükürt Dioksit

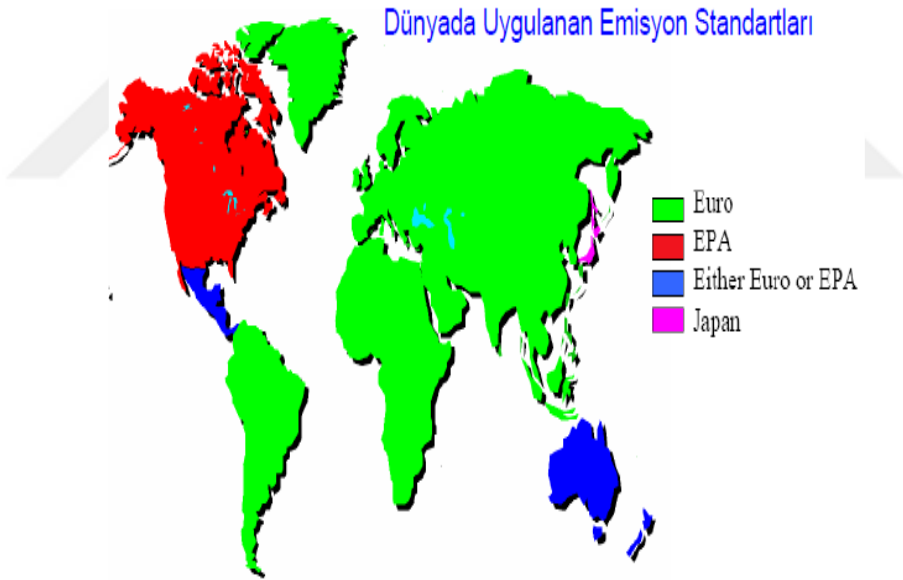
Kaynak: Web-6 Vikipedi,2023:a.g.i.s.

BÖLÜM II

DİZEL MOTORLARINDA EMİSYON STANDARTLARI VE EMİSYON KONTROL SİSTEMLERİ

2.1. Dizel Motorlarında Emisyon Standartları

Motorlu taşıtların atmosfere yaydığı zararlı emisyonlar sadece yeryüzündeki canlılara değil, canlılar için gerekli olan unsurlara da zarar vermektedir. Bundan dolayıdır ki Dünya genelinde motorlu taşıtların çevreye yaydığı zararlı egzoz emisyonlarına bazı sınırlandırmalar getirilmiş ve normlar oluşturulmuştur (Reşitoğlu,2016:11). Dünya’da emisyonlarla ilgili ilk düzenleme 1968 yılında California’da yapılmıştır. Günümüzde tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çeşitli standartlarla(EEC/ECE , EPA, JIS) egzoz emisyonlarına denetimler uygulanmaktadır (MEB,2011:10-11). Şekil 2.1.’de Dünya’daki Emisyon Standartları görülmektedir.



Şekil 2.1. Dünya’daki Emisyon Standartları

Kaynak: MEB, 2011:10

Avrupa ülkelerinde emisyonlarla ilgili ilk sınırlama 1972 yılında ECE R 15.00 regülasyonu ve EEC 72/220 yönetmeliği ile başlamıştır (MEB, 2011:10). Yine Avrupa ülkelerinin 1993 yılından beri uygulamaya aldığı Euro normlarına bir çok dernek ve özel kuruluşlar da destek olmuştur. Bu kapsamda ülkemiz, Avrupa Birliği normlarını kabul etmiş ve halen uygulamaktadır (Reşitoğlu,2016:11).

Tablo 2.1. Dizel Motorlu Ağır Vasıtalar İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)
Euro I	4,5	1,1	8,0	0,61
Euro II	4	1,1	7,0	0,15
Euro III	2,1	0,66	5,0	0,13
Euro IV	1,5	0,46	3,5	0,02
Euro V	1,5	0,46	2,0	0,02
Euro VI	1,5	0,13	0,4	0,01

Kaynak: Web-7 European Comission,2023:a.g.i.s.

Tablo 2.2. Dizel Motorlu Hafif Araçlar İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları

	CO (g/kWh)	HC+NO _x (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)
Euro I	3,16	1,13	-	0,18
Euro II	1	0,7	-	0,08
Euro III	0,64	0,56	0,50	0,05
Euro IV	0,50	0,30	0,25	0,025
Euro V	0,5	0,230	0,180	0,005
Euro VI	0,5	0,170	0,080	0,005

Kaynak: Web-7 European Comission,2023:a.g.i.s.

Tablo 2.1.'de ağır vasıta için egzoz emisyon standartları, Tablo 2.2.'de ise hafif araçlar için egzoz emisyon standartları belirtilmiştir. Tablo 2.1.'de Euro I ve Euro VI karşılaştırıldığı zaman CO, HC, PM, ve NO_x emisyonlarında sırayla % 66,67, %88,18, %98,36 ve %95 oranlarında azalmaya gidildiği görülmüştür. Tablo 2.2.'de ise CO, HC+NO_x, PM ve NO_x emisyonlarında sırayla %84,18, %84,96,%97,22 ve %84 oranlarında azalmaya gidildiği görülmüştür.

Tablolarda da görüldüğü gibi zaman geçtikçe düşürülen emisyon standartları, taşıt motoru üreticilerini de emisyonları düşürücü çalışmalara yönlendirmiştir. Bu çalışmaların içerisinde motorun tasarım şeklinin geliştirilmesi, yakıt sistemlerinde elektronik kontrollü sistemlerinin kullanılması, elektronik ateşleme sisteminin

kullanılması, yakıt kalitesinin geliştirilmesi gibi özellikler üzerinde bir çok çalışma yapılmış ancak standartların gerekliliğini karşılayacak kadar verim alınamamıştır. Yapılan araştırma ve çalışmalarda, motor sonrası emisyon kontrol sistemleri ile standart emisyon değerlerinin sağlanacağı sonucuna varılmıştır. Motor sonrası emisyon kontrol sistemleri egzoz manifoldu çıkışından sonra, havaya salınım yapılmadan önce kirletici emisyonları elimine etmektedir (Bosch,2005; Prasad ve Bella,2010:69-86).

2.2. Dizel Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Emisyon Kontrol Teknikleri

Dizel motorlarda HC ve CO emisyonlarını azaltmak için Dizel Oksidasyon Katalizörü(DOC), partikül emisyonlarını azaltmak için Dizel Partikül Filtresi(DPF), NO_x emisyonlarını azaltmak için Egzoz Gaz Resirkülasyonu(EGR) ve Seçici Katalitik İndirgeme(SCR) gibi motor sonrası emisyon kontrol sistemleri kullanılmaktadır (Nakajima,1991:1-20; Hsieh ve Wang,2011:409-422; Casapu vd.,2011:79-84).

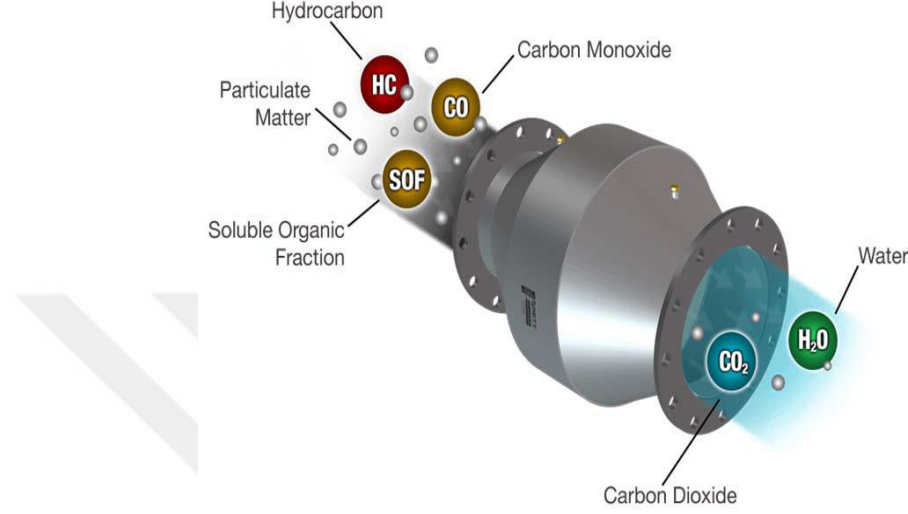
2.2.1. Dizel Oksidasyon Katalizörü(DOC)

Dizel Oksidasyon Katalizörü CO ve HC ile HC'den türeyen alhedit, polinükleer aromatik hidrokarbon-PAH, çözünür organik organik partikül parçacıkları-SOF emisyonlarını okside etmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca karbon partiküllerine absorbe olan hidrokarbon oksidasyonunuda sağlayarak dizel partikül filtresine destek olmaktadır (Chen ve Schirmer,2003; Wang vd.,2008:2528-2537). Bunun dışında SCR sistemi ile de ortak çalışması sonucu NO emisyonlarını NO₂'ye dönüştürüp, NO₂: NO_x oranını arttırmaktadır. DOC'de 3 temel reaksiyon gerçekleşmektedir (Zheng ve Banerjee,2009:3021-3035).



CO ve HC emisyonlarının oksidasyon sonucu CO₂ ve H₂O dönüştüğü denklem 2.1 ve 2.2'de görülmektedir. Yanma odası içerisinde reaksiyona girmemiş olan % 2 ile % 7 oranındaki oksijen dizel motor egzoz gazının içeriğini oluşturmaktadır. Bu oksijen DOC'un çalışmasında önemli bir yere sahiptir (Yu ve Kim,2013:152-158). Propilen

(C₃H₆) bileşimi HC dönüşüm denkleminde belirtilmiştir. Egzoz gazında bulunan HC'nin içeriğinde %80 oranında mevcut olan propilen (C₃H₆), kolayca oksitlenebilir özelliğe sahip hidrokarbonlardır. Propilen hidrokarbanlarının dışında %20 lik kısımda ise metan ve doymuş hidrokarbonlar bulunmaktadır (Hiroyuki vd.,2011:2859-2902). Şekil 2.2.'de Dizel Oksidasyon Katalizörü görülmektedir.



Şekil 2.2. Dizel Oksidasyon Katalizörü

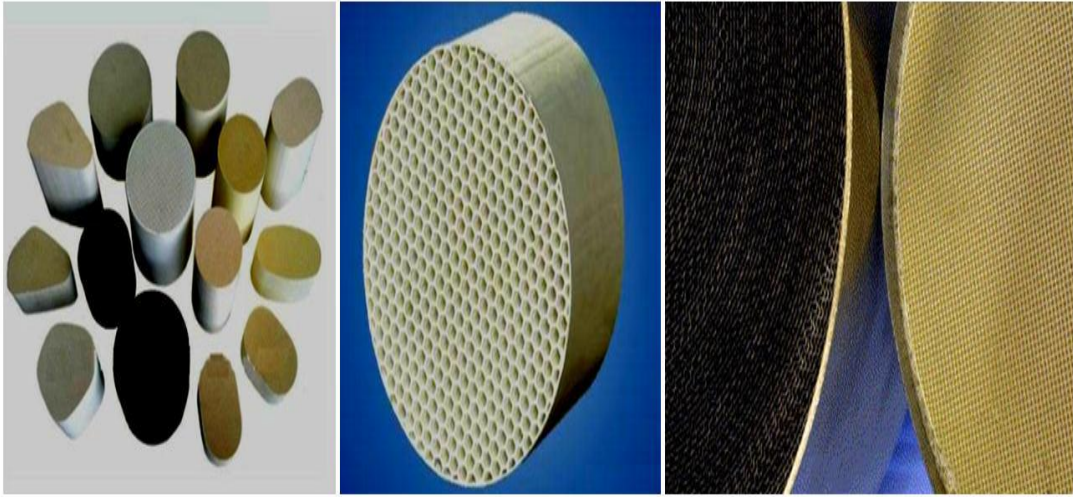
Kaynak: Çalışkan, 2021:16

DOC'de meydana gelen bir diğer reaksiyon ise denklem 2.3'tedir. İlgili denklemde de görüldüğü gibi NO emisyonlarının NO₂'ye dönüşmektedir. DOC'den sonra gelen DPF ve SCR sistemleri için NO_x içeriğindeki NO₂ konsantrasyonu önemli bir yere sahiptir. Çünkü NO_x içeriğindeki NO₂ konsantrasyonunun oranı ne kadar yüksekse DPF ve SCR'nin verimi bir o kadar artmaktadır. Egzoz gazı içerisinde bulunan NO_x emisyonunda %10 civarında NO₂ bulunmaktadır. NO₂:NO oranı termodinamik denge aracılığıyla DOC'nin bir fonksiyonu olarak yükselmektedir (Lee vd.,2008:0-11; Sampara vd.,2007:7993-8003).

CO ve HC emisyonlarının oksidasyonunda ısı açığa çıkması sonucu DOC, katalitik ısıtıcı olarak görev yapmaktadır. Bu ısı DOC'nin çıkışında egzoz gaz sıcaklığını arttırmakta ve bu artışta DPF'nin rejenerasyonuna destek olmaktadır. Egzoz gazı sıcaklığındaki her + 90 C'lik artış, katalizörde hacimsel olarak %1'lik CO oksidasyonu sonucu meydana gelmektedir (Bosch,2005). Katalizördeki bir takım sıcaklık gradyanlarının oluşması sıcaklık artışının çok hızlı bir şekilde artması sebebi ile

oluşur. Sıcaklık artışı 200 ile 250 °C'den fazla olmamalıdır, çünkü bu katalizör seramiklerinde gerilmelere yol açmaktadır (Bosch,2005).

Dizel oksidasyon katalizörü seramik veya metal yapıda olup bal peteği geometrisindedir. Katalizörlerin ana yapısı (Al_2O_3), seryum oksit (CeO_2), zirkonyum dioksit (ZrO_2) gibi oksit karışımı ile aktif katalitik soy metaller içeren platin (Pt), paladyum (Pd) ve rodyum (Rh)'dan oluşur (Doleisch vd.,2004; Sampara, 2008). Şekil 2.3.'te farklı yapı, şekil ve geometrilerdeki Dizel Oksidasyon Katalizörleri görülmektedir.



Şekil 2.3. Farklı Yapı, Şekil ve Geometrilerdeki Dizel Oksidasyon Katalizörleri

Kaynak: Web-8 Chem,2023:a.g.i.s.; Twigg, 2011:33-41

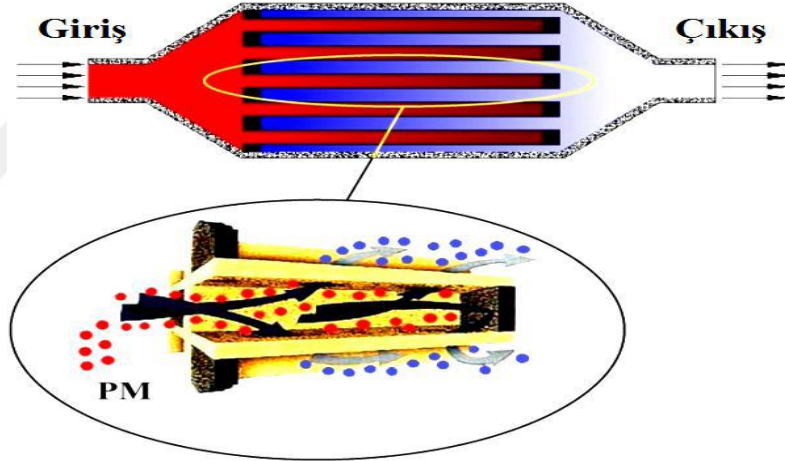
Light-off sıcaklığı, toksik etkisi, dönüştürme verimliliği, sıcaklık dayanımı ve üretim maliyeti dizel oksidasyon katalizörünün(DOC) seçiminde en önemli kriterlerdir. Cpsi bir inç karedeki gözenek sayısını vermekte olup bu da kanal yoğunluğunu oluşturur. Dizel oksidasyon katalizörünün(DOC) niteliğinin belirlenmesinde kanal yoğunluğu, gözenekler arası duvar kalınlığı ve dış ölçüler önemli kriterlerdir. Katalizörün mekanik özellikleri ile sıcaklığa duyarlılığını ve egzoz gazı geri basınç miktarını, gözenek sayısı ve duvar kalınlığı belirlemektedir (Zervas,2008:962-966).

2.2.2. Dizel Partikül Filtresi(DPF)

Dizel Partikül Filtresi 2000 yılından itibaren dizel motorlarda kullanılmakta olup, egzoz gazında bulunan sıvı ve katı partikül madde emisyonlarını indirgemektedir(Biswas vd.,2009:1917-1925; Keskin, 2011:54-61; Martirasyon vd., 2010:42-46). Mekanik dayanım, korozyona dayanım, yüksek sıcaklık dayanımı ve termal gerilmelere karşı aşırı

dirençli olma gibi özellikler Dizel Partikül Filtresi(DPF) malzemelerinin seçiminde en önemli kriterlerdir. Bu kriterleri sağlayan kordiyerit ($2MgO-2Al_2O_3-5SiO_2$), silikon karpit(SiC) veya metal yapılar Dizel Partikül Filtresinin(DPF) üretildiği malzemelerdir ve bu yapılar içerisinde en çok kullanılanı ise silikon karpit(SiC)'dir (Mutlu ve Keskin,2011).

Dizel Partikül Filtrelerinin yapısı kısmi akışlı ve duvar akışlı şeklindedir. Kanal sonları kapalı olmayan kısmi akışlı filtreler metal olup, filtreleme verimi %50-85 oranındadır. Malzemeleri ise alüminyum titanat'tır. Daha yaygın olarak kullanılan filtreler ise monolit yapılı olan duvar akışlı(Wall-flow) filtrelerdir. Silikon karpit ya da kordiyeritten yapılan bu filtrelerin gözenekli duvarlarında egzoz gazı için sonları tıkanmış kanallar mevcuttur ve %95-98 oranında filtrasyon ile verimliliği yüksektir (Sitshebo, 2010; Gill,2012). Şekil 2.4.'te Duvar Akışlı Dizel Partikül Filtresinin Yapısı görülmektedir.



Şekil 2.4. Duvar Akışlı Dizel Partikül Filtresinin Yapısı

Kaynak: Reşitoğlu vd., 2015:15-27

Egzoz gazına ait sıvı ve katı partiküller dizel partikül filtresinin gözeneklerinden geçerken burada toplanmaktadır ve partikül emisyonlar belli bir miktara ulaştığı zaman egzoz geri basıncı yükselmektedir. Dolayısıyla filtrede gerilimler artmakta ve bunun neticesinde yakıt sarfiyatı artarak motor parçaları zarar görmektedir. Bundan dolayı partikül maddelerin uzaklaştırılması şarttır (Gill,2012). Aktif ve pasif olmak üzere partikül maddelerin uzaklaştırmasına rejenerasyon adı verilmektedir (Keskin,2019:13).

Aktif rejenerasyonda 550 °C ve daha üzerindeki sıcaklıklarda filtrede biriken is partikülleri oksijenle oksidasyonu sağlanmaktadır (Jeguirim vd.,2005:1949-1956). Partikül maddeler belirli periyotlarda elektrikli ısıtıcı ya da alev esaslı yakıcı gibi farklı kaynaklar aracılığıyla yakılmaktadır. Pariküllerin yakılma işlemi dizel partikül filtresindeki birikim sonucu %45' lik basıncın oluşması durumunda başlar. Aktif rejenerasyonun en büyük dezavantajları, ısının oluşması için yüksek miktarlarda enerji harcanması ve rejenerasyon sıcaklıklarının yüksek olmasıdır. Aktif rejenerasyon kompleks bir sistemdir. Bunun nedeni ise filtrenin erime noktasına kadar sıcaklığın artması filtrede arıza oluşmasına neden olabilmesi ve ısınmayı oluşturacak enerji nedeniyle imalat maliyetlerinin yüksek olmasıdır (Reşitoğlu,2016:16).

Pasif rejenerasyonda, katalitik özellikteki demir ve seryum gibi yakıt katkı maddeleri vasıtasıyla partikül maddelerin alevlenme sıcaklığı egzoz gazı sıcaklığına kadar düşürülür. Bunun sonucu olarak katalitik reaksiyonla yakma işlemi yapılmış olur (Keskin,2011:54-61). Pasif rejenerasyon, basit ve etkili olmasının yanı sıra düşük yakıt sarfiyatıda sağlamaktadır. Motor kontrol ünitesinin ve taşıt operatörünün dizel partikül filtresi rejenerasyonu için gerçekleştirdiği herhangi bir işlem yoktur. Pasif rejenerasyonda silisyum karbür filtreler kullanılır. Motor sonrası emisyon kontrol sistemlerinde dizel oksidasyon katalizörü dizel partikül filtresinden önce gelmektedir ve egzoz gazı içeriğinde bulunan NO₂/NO oranını yükseltip, partikül maddelerin oksidasyon sıcaklığını azaltmaktadır. Pasif rejenerasyondan maksimum verimin alınması, NO₂'nin O₂'den daha etkili bir oksidasyon sağlamasıyla oluşur (Johansen vd., 2007). Şekil 2.5.'te Silisyum Karbür Yapılı Dizel Partikül Filtresi görülmektedir.



Şekil 2.5. Silisyum Karbür Yapılı Dizel Partikül Filtresi

Kaynak: Reşitoğlu,2016:17

2.2.3. Egzoz Gaz Resirkülasyonu(EGR)

Egzoz Gaz Resirkülasyonu, motora alınan havanın miktarı ve sıcaklığı, motor devri ve pulvarizasyon miktarı gibi etkenlere bağlı kalarak görevini yerine getirmektedir. Çevrim, egzoz manifoldundaki yanmış gazların soğutulmuş bir kısmının by-pass edilip emme manifolduna gönderilmesi ile gerçekleşir. Emme manifoldundan silindir içerisine gönderilen yanmış egzoz gazı yanma esnasındaki yanma verimini ve sıcaklığını düşürüp, NO_x oluşumunu %50'nin üzerinde azaltır. NO_x emisyonları yüksek sıcaklıklarda oluştuğu için EGR'de prensip, sıcaklığın düşürülmesi sonucu NO_x emisyonlarının düşürülmesi şeklindedir. EGR sistemi sayesinde yanma reaksiyonu ve motor gürültüsü azalmaktadır.

EGR uygulama şekline göre sıcak, bütünüyle soğutulmuş ve kısmen soğutulmuş EGR olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Sıcak EGR'de egzoz gazları soğutulmadan silindirlere tekrar verilir ve dolgu sıcaklığının artışı ile sonuçlanır. Bütünüyle soğutulmuş EGR'de havaya karıştırılmadan önce egzoz gazı tamamen soğutulur ve nem egzoz gazında yoğunlaşarak oluşan su damlacıkları silindirlere istenmeyen etkilere sebep olur. Kısmen soğutulmuş EGR'de ise yoğunlaşmadan kaçınmak amacıyla egzoz gazı sadece çığlaşma sıcaklığında tutulur (Soylu,2009).

EGR sisteminde NO_x'in azaltılması daha çok seyreltme etkisi ile sağlanmakta olup, kimyasal ve termal etki NO_x'in azaltılmasına daha az katkı sağlamaktadır. Seyreltme, kimyasal ve termal etki Tablo 2.3'de görülmektedir.

Tablo 2.3. NO_x ve PM Emisyonlarına EGR'nin Etkisi

EGR Etkisi	Tekrardan yanma odasına gönderilen gazların türleri	Yanma odasına gönderilen gazların durumu ve etkileri	NO _x 'e etkisi	PM'e etkisi
Seyreltme	O ₂	Oksijen konsantrasyonunda azalma	%80-90 azalma	%80-90 artma
Kimyasal	CO ₂	Termal ayrışma ve onun ürünlerinin yanmaya katılması	%5-10 azalma*1	%5-10 azalma*1
	H ₂ O			%5-10 artma*1
Termal	CO ₂	O ₂ ve N ₂ 'den daha yüksek özgül ısı kapasitesi	%5'den daha az azalma*1	Çok düşük
	H ₂ O			
Giriş Sıcaklığı*2 (Sıcak EGR)	--	Yüksek giriş sıcaklığı ve düşük volümetrik verim	Artma*3	Artma*3

1*-Motor çalışma moduna bağlı olarak, 2*-Sabit kütleli dolgu debisi ve kompozisyonunda, 3*- Dolgu giriş sıcaklığı ile orantılı

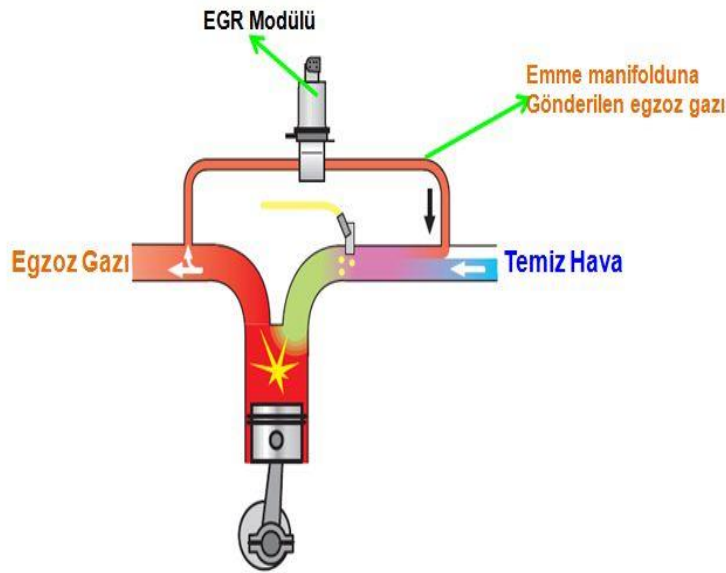
Kaynak: Gill, 2012

Seyreltme etkisi: Egzoz gazlarının bir kısmı tekrar yanma odasına gönderilerek, egzoz gazları seyreltilmekte ve oksijen konsantrasyonu azaltılmaktadır (Sitshebo,2010).

Termal etki: Havadan daha fazla özgül ısı kapasitelerine sahip H₂O ve CO₂ egzoz gazının içerisinde çoğunlukla bulunmaktadır. Bu nedenle silindir gazlarının özgül ısı kapasiteleri yüksektir. Ayrıca sıcak EGR kullanıldığı zaman emme manifoldundan silindirlere giren dolgu sıcaklığında yükselme olur ve bunun sonucunda da motorun hacimsel verimliliği düşer (Sitshebo,2010).

Kimyasal etki: Yanma esnasında kimyasal reaksiyonlara aktif olarak katılan veya ayrışan seyreltici EGR gazlarını içerir. Silindir içerisinde maksimum sıcaklıkta düşüş meydana gelmesi, CO₂ ve H₂O ayrışması gibi endotermik reaksiyonlar yoluyla ısının tüketilmesinin etkisiyle oluşmaktadır (Sitshebo,2010).

Basit bir yapısının olması ve düşük maliyeti nedeniyle EGR sistemi çok tercih edilmektedir. Ayrıca bu sistemin kullanımı kolay olup, oldukça popülerdir. Bu nedenle dizel motorlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak EGR'nin bazı dezavantajları da mevcut olup hava fazlalık katsayısı azaldığı için is ve partikül madde ile silindir içerisindeki oksijen azaldığı için HC ve CO emisyonlarında artış meydana gelmektedir. Bu nedenle emisyon standartlarına uyum sağlamak için daha etkin emisyon sistemleri kullanılmaktadır. Ayrıca EGR'nin kullanımı yakıt sarfiyatı artışı ile motor gücünün düşmesi gibi sonuçlar doğurmakta ve EGR'de bulunan sülfirik asit ile yoğuşmuş su korozyon oluşturmaktadır. EGR'nin kullanımının özellikle ağır hizmet taşıtlarında motor ömrü üzerinde olumsuz etkileri vardır (Jothithirumal ve Jamesgunasekaran, 2012:1457-1466). Şekil 2.6.'da EGR'nin Çalışma Prensibi görülmektedir.



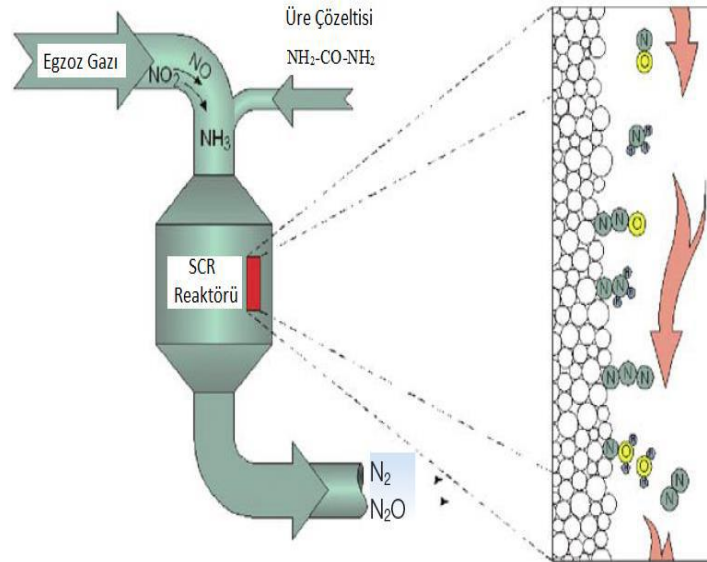
Şekil 2.6. EGR'nin Çalışma Prensibi

Kaynak: Web-9 Otomobil Teknolojisi,2023:a.g.i.s

2.2.4. Seçici Katalatik İndirgeme(SCR)

Seçici katalatik indirgeme(SCR) 1970' lerden bu yana enerji santralleri ve diğer sabit uygulamalarda kullanılmaktadır. SCR'de Amonyak (NH_3), üre $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ veya hidrokarbonlar indirgeyici olarak kullanılmaktadır. Mobil uygulamalar için SCR sistemi, ilk olarak denizcilik uygulamaları için 1990'larda geliştirildi. 2004 ise üre-SCR sistemine sahip ticari ağır vasıtalar piyasaya sürüldü (Reşitoğlu vd., 2015:15-27).

Daha çok büyük ve sabit dizel motorlarında kullanılan SCR, emisyon standartlarının daha da katı hale getirilmesi nedeniyle son zamanlarda küçük dizel motorlarında da kullanılmaya başlanmıştır. SCR sisteminin amacı NO_x emisyonlarını H_2O ve N_2 'ye dönüştürmektir. Bu görevini yapısında bulunan katalizör ve sisteme enjekte edilen indirgeyici ile gerçekleştirir (Forzatti, 2001; Reşitoğlu vd., 2015:15-27). Şekil 2.7.'de Seçici Katalatik İndirgeme(SCR) Sistemi görülmektedir.



Şekil 2.7. Seçici Katalatik İndirgeme(SCR) Sistemi

Kaynak: Selas,2010

2.2.4.1. Üre SCR(NH_3 – SCR)

Egzoz gazı içerisindeki NO_x emisyonları, katalizör içerisinde amonyak(NH_3) ile reaksiyon işlemi sonucu minimum seviyeye düşürülmektedir (Biswas vd.,2009:1917-1925). Bu reaksiyon sonucunda N_2 ve H_2O açığa çıkmaktadır. Gerek amonyağın toksik etkisinden, gerekse yüksek sıcaklıktaki reaksiyon öncesinde yanmasını önlemek amacıyla

NH₃ sulu üre çözültisi sonucu elde edilmektedir (Hamada ve Haneda, 2012:1-13; Moreno-Tost vd.,2008:608-615). Bu solüsyonun kütsel olarak %33'ü üre çözültisi CO(NH₂)₂ ve %67'si ise saf sudur. Sulu üre çözültisinin ticari adı AdBlue'dur.

SCR'den maksimum verimin alınması için katalizörde biriken amonyağın kontrol altında tutulması gerekmektedir. Eğer bu sağlanamazsa katalizörde istenilmeyen NH₃ birikmesi oluşur. Reaksiyonun gerektirdiği kadar amonyak püskürtülerek bu birikim kontrol altına alınabilir ve minimum seviyelerde tutulabilir (Majewski ve Khair,2006). Egzoz gazına üre solüsyonu püskürtülerek, saf su yüksek sıcaklık nedeniyle buharlaşmakta ve katı üre parçacıklarının erimesiyle ısıl çözünme reaksiyonu oluşmaktadır ve bu oluşum denklem 2.4'te belirtilmiştir (Koebel vd.,2000:335-345; Yim vd.,2004:4856-4863).



Isıl çözünme sonucu izosiyamik asit ve NH₃ açığa çıkmaktadır. İzosiyamik asit hidroliz reaksiyonunun ise su ile reaksiyona girmesi sonucu NH₃ ve CO₂ oluşmaktadır ve bu oluşum denklem 2.5'te belirtilmiştir (Reşitoğlu,2016:18).



Isıl çözünme ve hidroliz reaksiyonları diğer reaksiyonlarla kıyaslandığında çok daha hızlıdır. Her iki reaksiyonda da iki molekül amonyak bir molekül üreden üretilmektedir (Chi ve DaCosta,2005). Egzoz gazı sıcaklığı, üre çözültisinden amonyak üretiminde kullanılan reaksiyonların verimliliğini büyük miktarda etkilemektedir. Üre çözültisinin erime sıcaklığının 133 °C olduğu bilinse de, yapılan çalışmalar ısıl çözünme başlangıç sıcaklığının 143, 152, 160 °C olduğunu göstermiştir (Calabrese vd.,2000; Linde,2007; Oh vd.,2004:87-92; Schaber vd.,2004:131-142; Sun vd.,2001). Enjektörden sulu üre çözültisinin püskürtülmesiyle NH₃ oluşumu başlamakta olup, katalizör girişine kadar NH₃ oluşum işlemi tam olarak bitmemektedir ve toplam NH₃ oluşumunun yarısı katalizör girişine kadar bitmiş olmaktadır. Bundan dolayıdır ki, katalizörden önce dönüşüm verimliliğinin teorik olarak %50 olduğu söylenebilir. Katalizör öncesi, gaz fazındaki hidroliz reaksiyonları egzoz gazı sıcaklığıyla bağlantılı olarak dönüşüm verimliliğini arttırmaktadır (Chi ve Dacosta, 2005; Koebel vd., 2000:335-345). SCR

katalizöründe aşağıda belirtilen reaksiyonlar, ısı çözünme ve hidroliz reaksiyonlarından sonra gerçekleşen reaksiyonlardır.

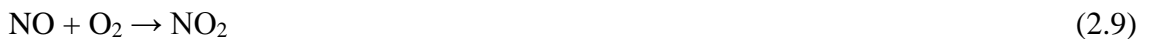


2.7 no lu denklemin reaksiyon hızı diğer denklemlere göre daha yüksek olup, sıralanacak olursa “2.7 > 2.6 > 2.8” şeklindedir. Emisyon sisteminde SCR’den önce oksidasyon katalizörü bulunmuyorsa, yani SCR’ye giren NO_x emisyonu doğrudan motordan NO olarak geliyorsa denklem 2.6’da belirtilen reaksiyon gerçekleşir. SCR’den önce normalden büyük boyuta ve verimliliğe sahip bir oksidasyon katalizörü bulunuyorsa, yani SCR’ye giren NO_x emisyonu NO₂ olarak geliyorsa denklem 2.8’de belirtilen reaksiyon gerçekleşir. Yani reaksiyon hızı düştüğü için NO_x emisyonlarının dönüşüm oranı azalmaktadır. SCR’den önce kullanılan oksidasyon katalizörünün yükleme miktarı ile boyutu optimize edildiği zaman denklem 2.7’de belirtilen reaksiyon gerçekleşir. Kaliteli bir NO_x emisyon dönüşümü, reaksiyon hızının yüksek olması ile doğrudan bağlantılıdır. SCR sistemi maksimum performansa NO:NO₂ oranı 1 olduğunda ulaşmaktadır (Devarakonda vd.,2008; Shost vd.,2008; Sluder.,2005).

2.2.4.2. Hidrokarbon SCR(HC – SCR)

SCR sisteminde amonyak veya sulu üre çözültisi(abBlue) zor elde edildiği, maliyetinin yüksek olduğu, düşük sıcaklıklarda verim alınmadığı ve depolamasının zor olduğu gibi dezavantajlarından dolayı HC bazlı indirgeyiciler kullanımı üzerinde uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır (Willi,1996).

HC-SCR sisteminde önce NO, NO₂'ye (denklem 2.9) okside olmakta, ardından HC ile NO₂ reaksiyonu sonucunda N₂, CO₂ ve H₂O (denklem 2.10) ürünleri oluşur.



Kısmen oksitlenen ara ürünlerinin yapıları, HC-SCR sisteminde kullanılan indirgeyiciye göre değişkenlik göstermektedir ve NO_x emisyonlarının azaltılmasında oldukça farklı etkilere sahiptir (Yu vd.,2013:103-111).

Egzoz gazına hidrojen (H₂) ilavesi, SCR katalizöründeki (denklem 2.9) ve (denklem 2.10)'daki reaksiyonların kinetiklerine yardımcı olmakla birlikte çok sayı da ara reaksiyonlarda bulunmaktadır. Daha çok kabul edilen, NO + O₂ reaksiyonunun da NO₃ gibi yüzey nitrat türlerinin üretimine yol açmaktadır (Yu vd.,2013:103-111).

2.2.4.2.1. HC – SCR Sisteminde Kullanılan İndirgeyiciler

HC-SCR sisteminde, düşük karbon içerikli hidrokarbonlar, yüksek karbon içerikli hidrokarbonlar, oksijenli hidrokarbonlar, dizel yakıtlar ve alkoller indirgeyici olarak kullanılmaktadır.

Hidrokarbonlar(ethanol, propanol ve toluen v.s.) uygun katalizörlerde ve geniş sıcak aralığında indirgeyici olarak kullanıldığında NO_x emisyonlarını azaltılmaktadır. Özellikle düşük sıcaklıklardaki NO_x dönüşüm performansları yüksektir. Tablo 2.4'te bazı önemli hidrokarbonlar görülmektedir.

AgAl₂O₃ katalizörlerinde indirgeyici olarak etanol kullanılması NO_x dönüşümü açısından son derece verimlidir. Ayrıca Ag-Al bazlı katalizörlerde propan, oktan, dekan, dodekan gibi alkanların indirgeyici olarak ileri seviyede performans alınmıştır. Katalizörün düşük sıcaklıklarda (<350 °C) dizel ve sentetik dizel yakıtların NO_x dönüşümüne katkı sağladığı görülmüştür ancak, katalizör içerisinde bazı olumsuz etkilerle karşılaşmaktadır. Yapılan başka bir çalışmada ise alümina destekli gümüş katalizör ile NO_x dönüşüm oranı, 350 °C'de 2-propanol> aseton> etanol> 1-propanol >>metanol şeklinde sıralanmıştır (Sawatmongkhon, 2011; Sitshebo, 2010).

Yapılan diğer bir çalışma da ise aynı karbon numarasında NO_x dönüşüm oranı i-parafinler (alkanlar) <aromatikler <n-parafinler <olefinler (alkenler) ≈ alkoller olarak sıralanmıştır (Keskin, 2019; Sawatmongkhon, 2011).

Tablo 2.4. HC-SCR Sistemi İndirgeyicileri ve Formülleri

İndirgeyici Olarak Kullanılan Bazı	Formülü
Hidrokarbonlar	
Metan	CH ₄
Etan	C ₂ H ₆
Propan	C ₃ H ₈
n-Bütan	C ₄ H ₁₀
n-Pentan	C ₅ H ₁₂
n-Heksan	C ₆ H ₁₄
n-Heptan	C ₇ H ₁₆
Sikloheksan	C ₆ H ₁₂
n-Oktan	C ₈ H ₁₈
Propen	C ₃ H ₆
Metilsikloheksan	C ₇ H ₁₄
Benzen	C ₆ H ₆
Toluen	C ₇ H ₈
Kümen	C ₉ H ₁₂

Kaynak: Guangyan vd.,2017:60-71

2.2.4.2.2. HC – SCR Sisteminde Kullanılan Katalizörler

HC-SCR sisteminde katalizörlerin, katalitik reaksiyonların gerçekleşmesinde önemli bir yeri vardır. Normal şartlarda NO_x' in indirgenmesi, 800-900 °C'de reaksiyonu aktive eden herhangi bir katalizör kullanılmadan gerçekleşir.

Çalışma yapılan ilk katalist, 1990 yılında iyon-zeolit (Cu-ZSM-5) katalistidir. Bu katalist üzerinde yapılan çalışmalar, yüksek oksijen koşullarında NO_x dönüşüm performanslarının ve geniş sıcaklık aralığı kabiliyetlerinin olduğu tespit edilmiştir. İyon zeolit değişimli katalizörler NO_x dönüşümünde oldukça verimli olup, sistemde kullanılan indirgeyiciden önemli miktarda etkilenmemektedir. Ancak iyon zeolit değişimli katalizörlerin hidrotermal kuşullarda kararsızlığa sahip olduğu tespit edilmiştir (Keskin, 2019; Sawatmongkhon, 2011). Literatürde birkaç farklı zeolit katalizörden bahsedilmiş olup, tablo 2.5.'te katalizörlerin farklı koşullarda NO_x indirgeme performansları gösterilmektedir (Müller vd.,2003). Üç ana zeolit türü vardır ve bu türler için 20 yıldan fazladır araştırmalar yapılmaktadır (Mrad vd.,2015:542-548).

HC-SCR sisteminde çalışmalarda kullanılan diğer katalizörler ise bakır ve alüminyum bazlı katalizörlerdir. Yapılan bir çalışmada %16 Cu içerikli katalizör Al_2O_3 ile Cu-ZSM-5 katalizörü karşılaştırılmış ve arasında ne gibi farklılıklar olduğu incelenmiştir. Alüminyum bazlı katalizörün diğer katalizörlerden daha iyi performans sergilediği, düşük sıcaklık yeteneği ve hidrotermal kararlılık koşullarında tespit edilmiştir (Sawatmongkhon, 2011).

HC-SCR sisteminde yapılan bir başka çalışma da ise, gümüş yüklü alüminyum esaslı katalizörün NO_x indirgemesinde bir çok avantajı olduğu tespit edilmiştir. Bu katalizörün, düşük sıcak aralığında kendi kendisini zehirlenmesi en büyük dezavantajdır. Bu nedenle düşük sıcaklıkta dizel egzoz gazında daha düşük NO_x indirgeme özelliği sergilemektedir (Gill, 2012). Tablo 2.5.'te HC-SCR İçin Çeşitli Zeolit Katalizörlerinin Aktivitesi görülmektedir.

Tablo 2.5. HC-SCR İçin Çeşitli Zeolit Katalizörlerinin Aktivitesi

Catalyst	Reaction conditions				T_{max} (°C)	NO reduction efficiency	
	NO (ppm)	O ₂ (%)	Reducing agent	H ₂ O (%)		NO conversion (%)	N ₂ selectivity (%)
Beta-11-194	750	2.4	470 ppm C ₃ H ₈		350	na	75
ZSM5-17-195	750	2.4	470 ppm C ₃ H ₈		350	na	70
CuSiBEA	1000	2	1000 ppm C ₂ H ₆ O		380	40	78-90
CuSiBEA	1000	2	2000 ppm C ₃ H ₈		380	20	90-100
Co/MFI WIE	1600	2.5	1000 ppm CH ₄		450	na	31
Co/MFI SUB-Cl-a	1600	2.5	1000 ppm CH ₄		400	na	29
Co/MFI SUB-Br-a	1600	2.5	1000 ppm CH ₄		425	na	34
Co/MFI WIE	2000	3	2000 ppm iso-C ₄ H ₁₀		475	na	95
Co/MFI SUB-Cl-a	2000	3	2000 ppm iso-C ₄ H ₁₀		400	na	99
Co/MFI SUB-Br-a	2000	3	2000 ppm iso-C ₄ H ₁₀		425	na	99
Pd-SBA-imp	150	7	1500 ppm CH ₄		300	98	na
HAIBEA (700)	1000	2	1000 ppm C ₂ H ₆ O		450	62	98
Pt-MFI-97	1000	2	1000 ppm C ₂ H ₆		212	na	19.8
Co(0.91)ZSM-5	900	2	1000 ppm C ₃ H ₈		450	50	na
Co(1.13)+Ca/ZSM-5	900	2	1000 ppm C ₃ H ₈		500	54	na
Co(1.28)+Ba/ZSM-5	900	2	1000 ppm C ₃ H ₈		500	76	na
Co(imp)-Pd(WIE)-ZSM-5	500	5	2500 ppm CH ₄	5	450	90	na
2% Pt/MCM-41	1000	14	3000 ppm C ₃ H ₆		200	94	na
2% Pt/B-MPS	1000	14	3000 ppm C ₃ H ₆		160	100	na
2% Pt/MPS	1000	1	10,000 ppm C ₃ H ₆		400	100	na
Ag/Al-SBA-15 (6)	500	10	2500 ppm C ₂ H ₆ O		350	35	100

Kaynak: Mrad vd.,2015

2.2.4.3. Katalizör Zehirlenmesi

Herhangi bir katalizörün herhangi bir kimyasal bileşik tarafından kısmen ya da tamamen dektivasyon olması katalizör zehirlenmesi olarak adlandırılmaktadır. Bu durum, termal ayrışma ya da fiziksel hasarın dışında kimyasal dektivasyon şeklindedir.

Sodyum(Na), Potasyum(K), Magnezyum(Mg) ve Kalsiyum(Ca) gibi değişik toksik metaller aktiviteyi düşürmekte ve katalizörün dektivasyon olmasına neden

olmaktadır. Bu nedenle katalizör zehirlendiği için NO_x dönüşüm verimliliği düşer ve beklenen çalışma ömründen daha erken sürede ömrünü tamamlar.

Kalsiyum metallere kaynaklı zehirlenmeler incelendiğinde özellikle vanadyum(V) ve tungsten(W) bazlı katalizörlerde, yüksek miktarlarda kalsiyumoksit (CaO), CaWO₄ oluşumuna neden olduğu görülmüştür. CaWO₄ tungstenin aktivitesini etkisiz hale getirip, katalistlerin asitliğini ön plana çıkarmaktadır. SCR sisteminde indirgeme verimliliği CaO nedeniyle düşmektedir. Farklı kalsiyum türlerinin zehirlenme üzerindeki etkisi incelendiğinde CaCO₃ > CaO > CaSO₄ şeklinde olduğu görülmüştür (Li vd.,2017:16-24).

Kül içerisindeki kalsiyum tuzları katalizör üzerinde deaktivasyon özelliğine sahiptir. Yapılan deneylerde, kalsiyumun seryum(Ce) bazlı katalizörlerle reaksiyon sıcaklığı arttıkça zehirlenmesinde arttığı tespit edilmiştir. NH₃-SCR sistemlerinde 200 °C sıcaklık altında, kalsiyumun zehirlenmeye etkisinin daha az olduğu görülmüştür. 200 °C sıcaklık altında NH₃ emilimi ve NO oksidasyonunun düşük ölçüde kısıtlanması sebebiyle katalizör deaktivasyonu düşüktür. Ancak 200 °C üzerinde NH₃ emilimi ve aktivasyonu daha çok kısıtlandığı için zehirlenme etkisinin arttığı gözlemlenmiştir (Liu vd.,2017:290-298).

BÖLÜM III

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3.1. Katalizör Üretimi ve NO_x Dönüşümü İle İlgili Önceki Çalışmalar

Shan ve arkadaşları CeO₂-TiO₂ bazlı katalizörleri üretip, kalsinasyon ve öğütme işlemlerinden geçirdiği elementleri kordiyerit yapı üzerine homojen olarak yaymışlardır. Kalsinasyon işlemine tabi tutulan katalizörlerle karşılaştırma yapmak amacıyla V₂O₅-WO₃ / TiO₂ ve FeZSM-5 katalizörlerini de ayrıca üretmişlerdir. Deneyle sonuçunda CeO₂-TiO₂ katalizörlerinin 250 - 400 °C sıcaklık aralığında % 90'nın üzerinde NO_x dönüşümü sağladığını tespit etmişlerdir. Aynı deneyler V₂O₅-WO₃ / TiO₂ ve FeZSM-5 katalizörlerinde de yapıldığında ve değerler karşılaştırıldığında, CeO₂-TiO₂ katalizörlerinin NO_x dönüşümünde V₂O₅-WO₃ / TiO₂ ve FeZSM-5 katalizörlerinden daha verimli olduğu görülmüştür (Shan vd.,2012).

Xie ve arkadaşları dizel motorlarda egzoz gazında fosfor zehirlenmesi sonucu, Cu-SSZ-13'ün deaktivasyon davranışını tespit etmek amacıyla fosforun Cu-SSZ-13 katalizörleri üzerindeki etkisini tespit etmek için çalışma yapmışlardır. Cu-SSZ-13 katalizörleri (NH₄)₂HPO₄ sulu solüsyonu ile emdirme yöntemi kullanılarak işlenmiş ve fosfor zehirlenmesi simüle edilmiştir. Fosforun NO oksidasyonunu ve amonyak oksidasyonunu büyük oranda bastırdığı, standart SCR reaksiyonudaki etkisinin 300 °C altında ihmal edilebilir seviyede olduğu gözlemlenmiştir. NO_x dönüşümünün yüksek sıcaklıklarda artmasıyla sonuçlanan amonyak oksidasyon reaksiyonlarının zehirlenmesi maksimum seviyede olduğu tespit edilmiştir (Xie vd.,2017).

More ve arkadaşları NO_x dönüşümü amacıyla HC-SCR sistemi geliştirmek istemiş ve bu sistemde Ag-Au/Al₂O₃ katalizörü kullanmıştır. Yapılan deneyde karşılaştırma yöntemi kullanılmış ve Ag-Au/Al₂O₃ katalizörünün dışında %1Ag / Al₂O₃ ve %1Au/ Al₂O₃ katalizörleri de kullanılmıştır. Maksimum NO_x dönüşüm oranları incelendiğinde %1Au/ Al₂O₃ katalizöründe % 70, %1Ag / Al₂O₃ % 83 ve Ag-Au/Al₂O₃ katalizöründe ise % 95 olduğu tespit edilmiştir. En yüksek NO_x dönüşümüne sahip olan Ag-Au/Al₂O₃ katalizöründe % 95'lik dönüşüm, 353 °C sıcaklıkta elde edilmiştir (More vd.,2015).

Chen ve arkadaşları düşük miktarda fosfor emdirmesinin ardından, Cu-SSZ-13 katalizöründe fizikokimyasal özelliklerde hafif şekilde değişiklik tespit etmişlerdir. Bu tespitle birlikte fosfor yüklemesi 0.40 mmol/g'ı aştığı zaman, NO_x dönüşümünün yüksek sıcaklık değerlerinde artmasına neden olan bakır oksitleri azalttığı, asit bölgelerindeki ve izole edilmiş Cu⁺² iyonlarındaki büyük oranda azalan sıcaklık aralığındaki Cu-SSZ-13'ün SCR aktivitesini kısıtladığı tespit edilmiştir (Chen vd.,2018).

Thomas tarafından yapılan çalışmada, HC-SCR sisteminde Ag/Al₂O₃ katalizöründe NO_x dönüşümü sağlamak amacıyla hidrojen kullanılmıştır. H₂ kullanımı sonucu düşük sıcaklıklarda dahi NO_x dönüşümünde artış olduğunu gözlemlenmiştir. Hidrojen kullanımında 120 °C gibi düşük sıcaklıklar da bile nitratların ayrıştığı tespit edilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla hidrojen kullanılmadan yapılan deneyde ise nitratların 300 °C'de ayrıştığı gözlemlenmiştir (Thomas,2015).

Zheng ve arkadaşları NH₃-SCR sisteminde CO, H₂ ve C₃H₆'nın etkilerini araştırmak amacıyla Cu-SSZ-13 katalizörünü kullanmışlardır. Üç indirgeyicide standart SCR (NO+NH₃+O₂), hızlı SCR (NO+NH₃+NO₂) ve yavaş SCR'ye (NH₃+NO₂) etkilerinin farklı olduğu gözlemlenmiştir. SCR' de H₂'nin, NO_x indirgemesini katalize ettikten sonra Cu⁺ katyonlarının Cu⁰'a indirgenmesini sağladığı ve 2.durumun düşük O₂ miktarında ve yüksek sıcaklıklarda oluştuğunu tespit etmişlerdir. NH₃-SCR reaksiyonlarında propilenin NO₂'yi NO'ya dönüştürerek, NO/NO_x oranını yükselttiği tespit edilmiştir (Zheng vd.,2016).

Lee ve arkadaşları bakır bazlı ZSM-5 katalizörünün performansını incelemişlerdir. Yapılan çalışma da 2Cu/ZSM-5 katalizörünün çeşitli SiO₂/Al₂O₃ oranlarında karşılaştırmaları incelenmiştir. Bu oranlar 30, 75 ve 90'dır. Ayrıca katalizörlere farklı metaller(Pt, Ce, Sn ve Mn) ilave edilerekte NO_x dönüşümleri incelenmiştir. NO_x dönüşüm ve efektif dönüşüm sıcaklık aralığını farklı(30, 75 ve 90) SiO₂/Al₂O₃ oranlarının etkilediği gözlemlenmiştir. Farklı metallerin eklenmesi, 2Cu/ZSM-5 katalizörünün NO_x dönüşüm oranını arttırdığını göstermiştir. Yapılan çalışmada en etkili NO_x dönüşümünün 2Cu/Sn/ZSM-5 katalizöründe olduğu sonucuna varılmıştır (Lee vd.,2020).

Hasan ve arkadaşları SCR sisteminde CH₄, H₂ ve konvansiyonel dizel yakıtları kullanarak oluşan parametreleri incelemişlerdir. Öncelikle egzoz gazı parametrelerini, yanma karakteristiklerini ve NO_x dönüşümlerini farklı yakıt karışım oranlarında incelemişlerdir. Çalışma, farklı sıcaklık ve makine yüklerinde 1 Pt/ Al₂O₃ katalizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüksek makine yükünde CH₄ oranı fazla olan yakıt kullanıldığında NO_x dönüşüm oranının azaldığı görülmüştür. Hidrojen yakıt oranının fazla olduğu testte ise PM oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. Yakıt karışım oranı % 50:50 olduğu testte makine veriminin ve 180 – 280 °C sıcaklık aralığında 1 Pt/ Al₂O₃ katalizörü kullanıldığında NO_x dönüşümünün en yüksek seviyede olduğunu görmüşlerdir (Hasan vd.,2017).

More ve arkadaşları magnezyum katkılı Ag/Al₂O₃ katalizörünü emdirme yöntemi kullanarak hazırlamışlardır. Katalizörler hazırlandıktan sonra, karakterize edilip NO_x dönüşümünü ölçmek için kullanılmıştır. İndirgeyici madde olarak propan kullanılmış olup, katalizörlerlere magnezyum katkısının düşük sıcaklıkta kükürt toleransını iyileştirdiğini ve NO_x dönüşüm oranını arttırdığını gözlemlemişlerdir. NO_x dönüşüm oranının % 98 olduğu değere, Ag/Al₂O₃ katalist karışımına % 7 Mg katkısıyla 350 °C’ de ulaşmışlardır. Ag/Al₂O₃’e magnezyum ilavesi sonucu azalan asitlik nedeniyle, düşük sıcaklıkta NO_x dönüşümünün ve kükürt tolerans değişiminin olduğunu gözlemlemişlerdir (More vd., 2014).

Gu ve arkadaşları farklı indirgeyici kullanarak düşük sıcaklıklardaki NO_x dönüşüm oranlarını incelemişlerdir. Ağırlıkça %2,5 Ag/Al₂O₃ katalizörü kullanarak 315 °C sıcaklık altında testlerini yapmışlardır. Hidrojen katkılı indirgeyicileri, düşük sıcaklıktaki NO_x dönüşüm verimliliğini arttırmak kullanmışlardır. İndirgeyici olarak propan, heptan ve dodekan kullanarak farklı yapılarıdaki etkilerini belirlemek için kullanmışlardır. Ayrıca hidrojenin indirgeyici olarak gaz fazındaki etkisini araştırmışlardır. İndirgeyici maddeye hidrojen ilavesi yapıldığında NO_x dönüşüm oranı veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Doyma derecesi yüksek ve daha uzun zincir yapıları indirgeyicilerin daha avantajlı olduğunu görmüşlerdir. Dizel yakıtın indirgeyici olarak kullanıldığı 315 °C’de maksimum % 79 ve 245 °C’de ise maksimum % 74 NO_x dönüşümünün elde edildiği tespit edilmiştir (Gu vd.,2015).

Hamill ve arkadaşları altın-paladyum bimetalik katalistinin toluen ile oksidasyona girmesiyle NO_x dönüşüm oranının performansını incelemiştir. Çalışmanın sonunda altın-paladyum bazlı üretilen bimetalik katalistin NO_x dönüşüm oranının performansının, nano-metalik bazlı üretilen katalizörlerden daha iyi seviyede olduğunu görmüşlerdir. NO_x dönüşüm tepkimelerinde Au-Pd katalizörlerinin, toluen türevi olan benzaldehit ve benzonitril kullanılmasının daha etkili olacağını önermişlerdir. Toluenin HC-SCR sistemi reaksiyonlarında ara maddelerini incelemiştir. Benzonitril içeriğindeki hidrojen atomu ile NO'nun etkileşiminde N₂ ve N₂O nun açığa çıktığı görülmüş ve bu ara maddelerin bimetalik katalizörlerin NO_x dönüşüm oranına etkilerini karşılaştırmışlardır (Hamill vd.,2014).

Keskin ve arkadaşları NO_x dönüşüm oranlarını incelemek için gümüş nitrat(AgNO₃) – paladyum nitrat (Pd(NO₃)₂.4NH₃) solüsyonu ile titanyumoksit (TiO₂) bazlı katalizör üretmişlerdir. İndirgeyici olarak 2-propanol ile propanolun farklı karışımlarını kullanmışlardır. Üretilen katalizörlerin SEM, BET ve XRD analizlerini incelemişler, deneyleri 170 - 300 °C aralığında ve 30000 h⁻¹ alan hızında gerçekleştirmişlerdir. Her 10 °C' de NO_x dönüşüm oranını kayıt etmişler ve en yüksek NO_x dönüşüm oranını tespit etmişlerdir. Deneyler V tipi ve 2 silindri dizel motorda 3000 rpm sabit devirde 1, 2, 3 ve 4 kW motor yüklerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Maksimum NO_x dönüşüm oranını 2-propanol indirgeyici madde ve 4 kW motor yükünde %68.1 olarak tespit etmişlerdir (Keskin vd.,2020).

Zahaf ve arkadaşları aerosol sprey proliz yöntemi ile silika destekli platinyum (Pt/SiO₂) ve alüminyum destekli platinyum (Pt/Al₂O₃) katalizörlerini üretmişlerdir. SEM, XRD ve XPS analizlerini gerçekleştirdikten sonraki karakterizasyonda kristal ve metalik Pt nanopartiküllerinin silika ve alüminyum destekli katalizörlere iyi bir şekilde yayıldığını tespit edilmişlerdir. Al₂O₃ katalizörü üzerindeki Pt partiküllerinin daha belirgin hale gelmesi, yüksek sıcaklıktaki sinterleme işleminden sonra gerçekleşmiştir. Dolayısıyla Pt partikülleri ve SiO₂ arasındaki etkileşimin güçlü seviyede olduğunu gözlemlemişlerdir. Propan kullanılan deneyde 250 °C sıcaklıkta Pt/SiO₂ için NO_x dönüşüm oranını %29.8 ve Pt/ Al₂O₃ için NO_x dönüşüm oranının da %55.8 olduğu tespit edilmiştir (Zahaf vd., 2015).

Zheng ve arkadaşları fosfor katkılı TiO₂'yi, CeO₂'yi desteklemek amacıyla hidroliz yöntemiyle hazırlamışlardır. Yapılan çalışmada TiO₂ ye P katkısı NH₃-SCR performansı ve yCeTi-Px katalisti yCeTi katalistinden daha fazla indirgeyici etkisinde bulunduğu tespit edilmiştir (Zheng vd.,2020).

Liu ve arkadaşları indirgeyici olarak etilen (C₂H₄) kullanılan mangan bazlı katalizörlerde çalışma yapmışlar, NO_x dönüşüm oranının Mn konsantrasyonuna ve çalışma sıcaklığına bağımlılığını parametrik olarak incelemişlerdir. Mn(NO₃)₂.4H₂O çözeltisiyle, ağırlıkça %3, %5 ve %7 mangan karıştırılmış, bu çözeltilerde yıkanan kordiyeritler daha sonra kurutulup ardından 400 °C'de kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Test sırasında %3 Mn konsantrasyonundaki katalizör aktivitesinin 130 °C > 150 °C > 180 °C olduğunu gözlemlemişler, konsantrasyon ve sıcaklıktan bağımsız şekilde zamanla NO_x dönüşümünün % 20 - % 30 gibi seviyelere kadar düştüğünü tespit etmişlerdir. Çıkan sonuçları iki etkene bağlamışlardır. Birinci etken; MnO₂'nin zaman geçtikçe az aktif durumdaki Mn₂O₃'e dönüşümü, ikinci etken; zaman geçtikçe mangan boyutlarının ve kristalliğinin artması şeklinde tespit etmişlerdir (Liu vd., 2019).

Xie ve arkadaşları Cu-SSZ-13 NH₃- SCR katalizörlerinin fosforla deaktivasyonunu gözlemek amacıyla, katalizörleri sırasıyla H₃PO₄ buharına maruz bırakmışlardır. Zehirlenme koşullarının farklı olduğu fosfor zehirlenmesinden önceki ve sonraki katalitik aktivitler, Cu-SZZ-13 üzerindeki fosforun etkisinin değerlendirmek amacıyla karşılaştırma yapmışlardır. P/Cu oranı ve yüksek P/Cu oranlarındaki seviyelerle, NH₃ oksidasyonunun etkisizleştirilmesi ve NO oksidasyonu büyük oranda yükselmiştir. Zehirlenmeden sonra standart SCR reaksiyonu düşük iken, uzun süreli maruz kalma sonucunda SCR fonksiyonlarında büyük miktarda deaktivasyon tespit edilmiştir (Xie vd.,2019).

Deng ve arkadaşları emdirme, ıslatma ve susuz öğütme yöntemlerini kullanmışlar ve alümina ile birlikte gümüş katalizörler üretmişlerdir. NO_x indirgemesi büyükten küçüğe sırayla ıslak emdirme ve yarı ıslatma metodu kullanılarak üretilen Ag/Al₂O₃ katalizöründe görülmüştür. Ag/Al₂O₃ katalizörünün üretiminde yöntemlerin ve su etkisinin analizini yapmak için XRD, BET, XAS, DRIFTS ve NMR analizleri yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde ıslak emdirme ve yarı ıslatma metodu ile üretilen Ag/Al₂O₃

katalizörünün daha geniş yüzeyinin olduğu, katalistin yüzeyindeki Ag nin y dağılımının iyi seviyede olduğu ve okside olduğu tespit edilmiştir (Deng vd., 2016).

Can ve arkadaşları NO_x indirgemelerini araştırmak için Ag/Al₂O₃ katalizöründe etanol kullanmışlardır. Çalışmada beş adet alümina kullanılmış olup üç adeti hazır olarak temin edilmiş, iki adetinin labaratuvar ortamındaki üretimin de çökertme ya da sol gel yöntemi kullanılmıştır. Destek maddeleri % 2 Ag ile kaplanarak etanol ile test edilmiş ve kullanılan alüminaya bağlı olarak Ag/Al₂O₃ katalizörünün aktivitesinin değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir (Can vd., 2011).

Casabu ve arkadaşları nobiya-seriya katalizörü üzerinde araştırma yaparak, dizel motorunda NO_x emisyonunun indirgenmesi ve partikül emisyonunun azaltılmasını hedeflemişlerdir. İlgili katalizör, 250 °C sıcaklıkta NO_x emisyonunu % 72 oranında dönüştürmüş, 350 °C - 400 °C sıcaklık aralığında ise tam NO_x dönüşümü gerçekleştirmiştir. Ayrıca partikül emisyonlarında ciddi azalmalar olduğu görülmüştür. Nobiya-seriya katalizörü TiO₂ katalizörü ile kıyaslanmış ve üre hidrolizi yönünden benzerlik gösterdiği görülmüştür (Casapu vd.,2011).

Rauch ve arkadaşları V₂O₅-WO₃ içeren TiO₂ katalizörü ile seçici katalatik indirgemede NO_x dönüşümünü incelemek için, farklı konsantrasyonlardaki amonyak ile 200 °C - 400 °C sıcaklık aralığında deneyler yapmıştır. En fazla NO_x dönüşümünü CNO:CNO₂=1 olduğunda gerçekleştirmiştir. NO₂ oranının %50 olması durumunda ve 300, 350, 400 °C sıcaklıklarda NO_x dönüşümü % 90 seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. NO₂ konsantrasyonu arttığı ya da azaldığı zaman, NO_x dönüşüm verimliliğinde düşüş gerçekleşmiştir (Rauch vd., 2015).

Komatsu ve arkadaşları platin grubundan oluşan katalizörlerle HC-SCR sisteminde düşük sıcaklıklarda NO_x dönüşümünü incelemişlerdir. Ana yapı olarak mezopor materyal kullanılan çalışmada, 150 °C - 200 °C sıcaklıkta katalizörlerin çok aktif olduğu ve SO_x deaktivasyonu ile hidrotermal yaşlanmaya rastlanmadığı gözlemlenmiştir (Komatsu vd., 2006).

Moreno-Tost ve arkadaşları emdirme yöntemi kullanarak bakır esaslı PPH katalizörlerini hazırlamışlardır. İndirgeyici olarak üre kullanılan katalizörlerde ağır

hizmet taşıtlarında bulunan dizel motorlarının NO_x dönüşümü incelenmiştir. Katalizörler, %14 H₂O ve 100ppm SO₂ varlığında yüksek verimli NO_x dönüşümü sağlamış ve CuZSM5 katalizörüyle kıyaslandığından daha iyi performans sergilemiştir (Moreno-Tost vd.,2008).



BÖLÜM IV

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Katalizörlerin Üretiminde Kullanılan Kordiyerit Yapılar

Katalizörlerin üretimi için ($2Al_2O_3 - 5SiO_2 - 2MgO$) kimyasal yapısındaki $\varnothing 103 \times 130$ mm boyutlarında inç karede 400 adet gözeneğe sahip olan kordiyerit yapılar kullanılmıştır. Kordiyerit yapılar deney ortamına uygun şekildeki ölçülerle kesimi yapılarak hazır hale getirilmiştir. Ayrıca üretimi yapılan katalizörlerin XRD, BET ve SEM analizlerinin yapılması için numune amacıyla kullanılmak üzere 4 adet kordiyerit malzemede uygun ölçülerde kesimi yapılarak hazır hale getirilmiştir. Bu nedenle deney ortamında kullanılan katalizörlerle analizi yapılan numune katalizörler aynı üretim aşamalarına tabi tutulmuştur. Katalizörlerin üretimi Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümüne ait laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1.'de kordiyerit yapılar görülmektedir.



Şekil 4.1. Kordiyerit Yapılar

4.2. Katalizörlerin Üretim Aşamaları

Katalizörlerin üretimindeki ilk aşama asitle muamele işlemidir. Asitle muamele işlemi kordiyerit malzemelerin yüzey alanını arttırmak amacıyla yapılmıştır. Kordiyerit malzemeler 500 ml saf su ve 150 gr oksalik asit ile karıştırılarak, 95-100 °C sıcaklık aralığında 4 saat boyunca asitle muamele işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 4.2.'de asitle karıştırma işlemi ve Şekil 4.3.'te asitle muamele işlemi görülmektedir.



Şekil 4.2. Asitle Karıştırma İşlemi



Şekil 4.3. Asitle Muamele İşlemi

Asitle muamele işleminin ardından kordiyerit yapılar saf su ile yıkanmış ve bu işlem PH değeri nötr olana kadar tekrarlanmıştır. Bu işlemin amacı kordiyerit yapıları asitten arındırmaktır. Asitten arındırılan kordiyerit yapılar, etüv fırınında 120 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile kurutulmuş ve ardından sinterleme fırınında 550 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile kalsine edilmiştir. Oksalik asitle karıştırma, asitle muamele, saf su ile yıkama, kurutma ve kalsine işlemlerinin ardından kordiyerit yapılar kaplamaya hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.4.'de kurutma işlemi ve Şekil 4.5.'te kalsine işlemi görülmektedir.



Şekil 4.4. Kurutma İşlemi



Şekil 4.5. Kalsine İşlemi

Kaplamada kullanılacak solüsyonların hazırlanması için, hassas tartıda tartılmış olan farklı oranlardaki kimyasal maddeler 200 ml saf su içerisinde karıştırılarak, çözündürme işlemi sonucu manyetik karıştırıcıda ısı verilerek saf suyun buharlaşması sağlanmış ve kimyasal maddeler çamur kıvamına gelmiştir. Şekil 4.6.'da buharlaşma işlemi ve Şekil 4.7. 'de kimyasal maddeler görülmektedir.



Şekil 4.6. Buharlaştırma İşlemi



Şekil 4.7. Kimyasal maddeler

Çamur kıvamına gelen kimyasal maddeler etüv fırınında 120 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile kurutma işlemine tabi tutulmuş ve porselen bir kaba sıyrılmıştır. Şekil 4.8.'de kurutma işlemi ve Şekil 4.9.'da kimyasal maddeler görülmektedir.



Şekil 4.8. Kurutma İşlemi



Şekil 4.9. Kimyasal Maddeler

Porselen kaba sıyrılan kimyasal maddeler sinterleme fırınında 550 °C sıcaklıkta 3 saat süre ile kalsine edilmiş ve plastik bir kaba sıyrılarak havan ile ezilip, incelti olarak toz haline getirilmiştir. Şekil 4.10.'da kalsine işlemi ve Şekil 4.11.'de toz haline getirme işlemi görülmektedir.



Şekil 4.10. Kalsine İşlemi

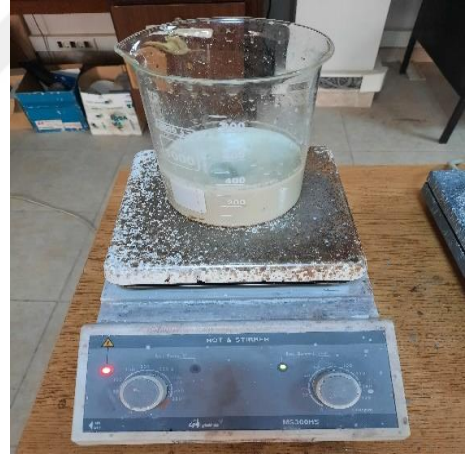


Şekil 4.11. Toz Haline Getirme İşlemi

Toz haline getirilen 4 ayrı kimyasal madde karışımı hassas tartıda tartılıp her birinin ağırlığının % 1'i kadar SiO_2 ilave edilmiş ve kimyasal maddeler 300 ml saf su ile karıştırılarak manyetik karıştırıcıda 1 saat süre ile karıştırılmıştır. Şekil 4.12.'de SiO_2 ilave etme işlemi ve Şekil 4.13.'de karıştırma işlemi görülmektedir.



Şekil 4.12. SiO_2 İlave Etme İşlemi



Şekil 4.13. Karıştırma İşlemi

Karıştırma işleminden sonra kordiyerit yapılar bu karışıma her yönü ile bir çok kez daldırılmıştır. Şekil 4.14.'de her yönü ile daldırma işlemi görülmektedir.



Şekil 4.14. Her Yönü İle Daldırma İşlemi

Solüsyona daldırılan kordiyerit yapılar etüv fırından 120 °C’de 1 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra etüv fırından çıkarılan kordiyerit yapılar solüsyona ikinci kez daldırılmış ve ardından ikinci kez etüv fırında 120 °C’de 1 saat süre ile kurutulmuştur. Yani 1 saat süre ile yapılan solüsyonun manyetik karıştırıcıda karıştırılması, daldırma işleminin her yönü ile yapılması ve 1 saat süre ile yapılan etüv fırında kurutma işleminin her biri ikişer kez yapılmıştır. Kurutma işleminin ardından kordiyerit yapılar sinterleme fırınında 550 °C sıcaklıkta 3 saat süre ile kalsine edilmiştir. Şekil 4.15.’de kurutma işlemi ve Şekil 4.16.’da kalsine işlemi görülmektedir.

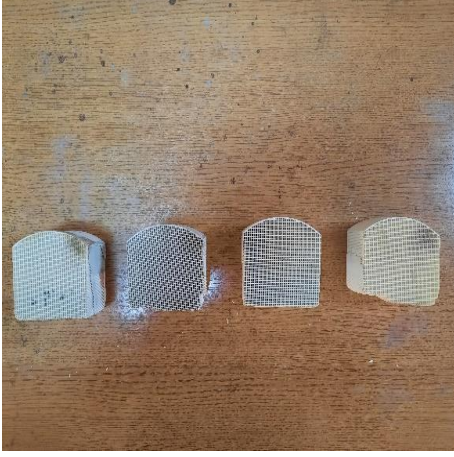


Şekil 4.15. Kurutma İşlemi



Şekil 4.16. Kalsine İşlemi

Kalsine işleminin ardından XRD, BET, SEM analizlerinde numune olacak ve HC-SCR sistemi deney düzeninde kullanılacak katalizörlerin üretim süreçleri tamamlanmıştır. Şekil 4.17.’de deney düzeni katalizörleri, Şekil 4.18.’de numune katalizörleri ve Şekil 4.19.’da deney sonrası katalizörler görülmektedir.



Şekil 4.17. Deney Düzeni Katalizörleri

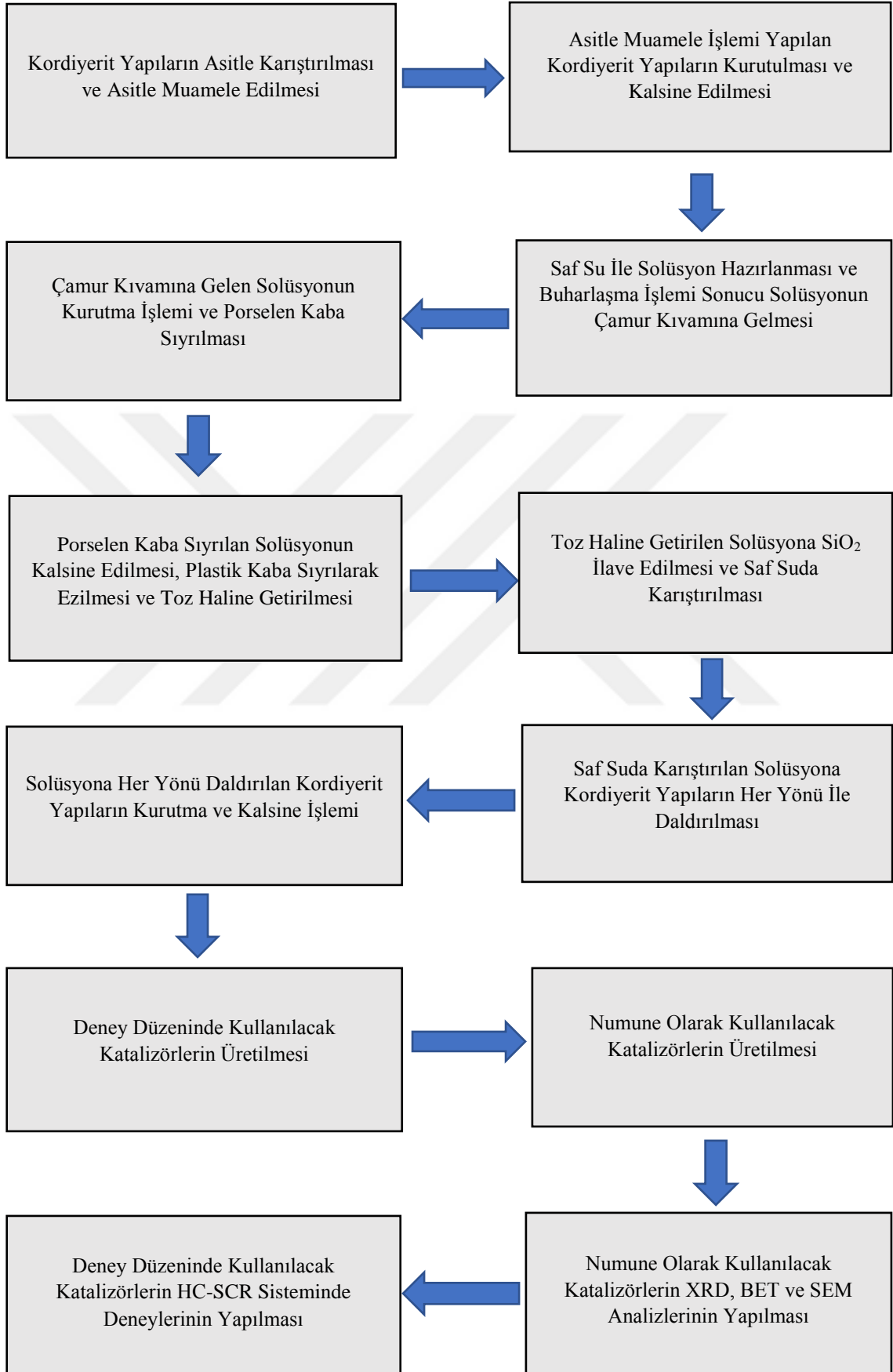


Şekil 4.18. Numune Katalizörleri



Şekil 4.19. Deney Sonrası Katalizörler

Tablo 4.1. Katalizör Üretiminde, Analizinde ve Deneyinde İşlem Basmakları



Bu çalışmada yukarıda üretim aşamaları detaylandırılmış dört ayrı katalizör üretimi gerçekleştirilmiştir. Yani üretim aşamaları dört ayrı katalizöre de ayrı ayrı uygulanmıştır. Kordiyerit yapıların daldırıldığı solüsyona ait kimyasal maddelerin oranı ve katalizör çeşitleri Tablo 4.2.'de belirtilmiş olup, detayları şu şekildedir:

Birinci katalizörde, solüsyona ait kimyasal maddelerin toplam ağırlığının % 3'ü AgNO_3 ve % 97'si ZrO_2 dir.

İkinci katalizörde, solüsyona ait kimyasal maddelerin toplam ağırlığının % 3'ü AgNO_3 , % 95'i ZrO_2 ve % 2'si P'dir.

Üçüncü katalizörde, solüsyona ait kimyasal maddelerin toplam ağırlığının % 3'ü AgNO_3 , % 94'ü ZrO_2 , % 2'si P ve % 1'i Sb_2O_3 'dir.

Dördüncü katalizörde, solüsyona ait kimyasal maddelerin toplam ağırlığının % 3'ü AgNO_3 , % 92'si ZrO_2 , % 2'si P ve % 3'ü Sb_2O_3 'dir.

Üretim aşamalarında da belirtildiği gibi, karıştırıcıda saf suyu buharlaştırma, etüv fırınında kurutma, sinterleme fırınında kalsine edilme ve havan ile ezilerek toz haline getirme işlemlerinden sonra ve daldırma işlemlerinden önce, her katalizör için hazırlanan kimyasal karışımlar, hassas tartıda tartılarak ağırlığının % 1'i kadar SiO_2 eklenmiştir.

Tablo 4.2. Katalizör Üretiminde Kullanılan Kimyasal Maddelerin Ağırlıkça Yüzdeler Oranları

Katalizör/Kimyasal Madde	1.Katalizör	2.Katalizör	3.Katalizör	4.Katalizör
Gümüş Nitrat(AgNO_3)	% 3	% 3	% 3	% 3
Zirkonyum Dioksit(ZrO_2)	% 97	% 95	% 94	% 92
Fosfor(P)	-	% 2	% 2	% 2
Silisyum Trioksit(Sb_2O_3)	-	-	% 1	% 3

4.3. Katalizörlerin Üretiminde ve İndirgeyici Olarak Kullanılan Kimyasal Maddeler

4.3.1. Oksalik AsitDihidrat ($C_2H_2O_4$)

Oksalik asitdihidrat 98-100 °C erime noktasına, 149-160 °C kaynama noktasına, 1,65 g/cm³ yoğunluğa ve 126,07 g/mol kütleyle sahiptir. Şekil 4.20.'de Oksalik Asit Dihidrat görülmektedir.



Şekil 4.20. Oksalik Asit Dihidrat

4.3.2. Gümüş Nitrat ($AgNO_3$)

Gümüş Nitrat 212 °C erime noktasına, 440 °C kaynama noktasına, 4,35 g/cm³ yoğunluğa ve 169,87 g/mol kütleyle sahiptir. Şekil 4.21.'de Gümüş Nitrat görülmektedir.



Şekil 4.21. Gümüş Nitrat

4.3.3. Zirkonyum Dioksit(ZrO_2)

Zirkonyum dioksit 2715 °C erime noktasına, 4300 °C kaynama noktasına, 5,68 g/cm³ yoğunluğa ve 123,21 g/mol kütleyle sahiptir. Şekil 4.22.'de Zirkonyum Dioksit görülmektedir.



Şekil 4.22. Zirkonyum Dioksit

4.3.4. Antimon Trioksit (Sb_2O_3)

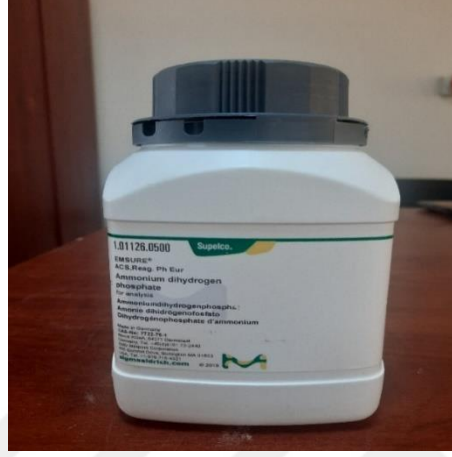
Antimon trioksit 656 °C erime noktasına, 1425 °C kaynama noktasına, 5,2 g/cm³ yoğunluğa ve 291,52 g/mol kütleyle sahiptir. Şekil 4.23.'de Antimon Trioksit görülmektedir.



Şekil 4.23. Antimon Trioksit

4.3.5. Fosfor (P)

Fosfor 44,5 °C erime noktasına, 280,5 °C kaynama noktasına, 1,82 g/cm³ yoğunluğa ve 30,97 g/mol kütleyle sahiptir. Şekil 4.24.'de Fosfor görülmektedir.



Şekil 4.24. Fosfor

4.3.6. Silisyum Dioksit(SiO₂)

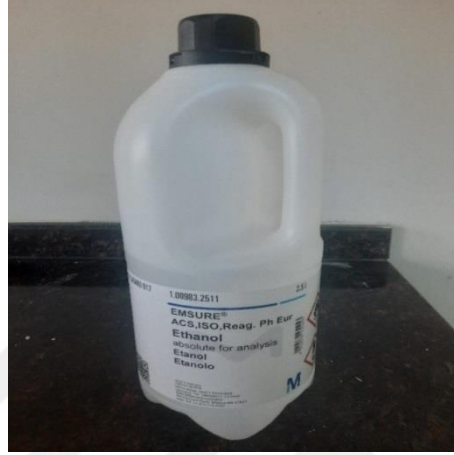
Silisyum dioksit 1710 °C erime noktasına, 2230 °C kaynama noktasına, 2,65 g/cm³ yoğunluğa ve 60,08 g/mol kütleyle sahiptir. Şekil 4.25.'de Silisyum Dioksit görülmektedir.



Şekil 4.25. Silisyum Dioksit

4.3.7. Etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)

Etanol $-114,5\text{ }^\circ\text{C}$ erime noktasına, $78,3\text{ }^\circ\text{C}$ kaynama noktasına, $0,790 - 0,793\text{ g/cm}^3$ yoğunluğa ve $46,07\text{ g/mol}$ kütleyle sahiptir. Şekil 4.26.'de Etanol görülmektedir.

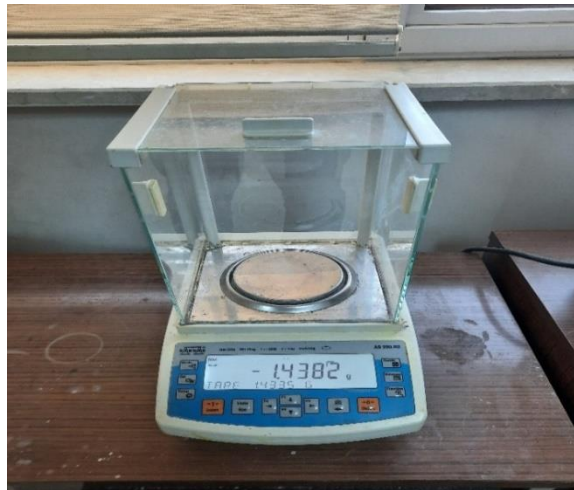


Şekil 4.26. Etanol

4.4. Katalizör Üretiminde Kullanılan Cihazlar

4.4.1. Hassa Tartı

Solüsyon hazırlanmasında kullanılan kimyasal maddelerin kütle oranlarının belirlenmesi için RADWAG AS 220. R2 marka hassas tartı kullanılmıştır. Kullanılan hassas tartı Şekil 4.27.'de görülmektedir ve teknik özellikleri Tablo 4.3.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.27. Hassas Tartı

Tablo 4.3. Hassas Tartının Teknik Özellikleri

Maksimum Kapasite	220 g
Minimum Kapasite	10 mg
Hassasiyet	0,1 mg
Tekrarlanabilirlik	0,1 mg
Çalışma Sıcaklığı	10 °C 40 °C
Güç kaynağı	12 / 16 V DC
Tepki Süresi	3,5 s
Kalibrasyon Tipi	Otomatik
Net Ağırlık	5,6 kg

4.4.2. Manyetik Karıştırıcı

Asitle muamele ve solüsyonların hazırlanması için MTOPS MS300 HS marka ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan manyetik karıştırıcı Şekil 4.28.'de görülmektedir ve teknik özellikleri Tablo 4.4.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.28. Manyetik Karıştırıcı

Tablo 4.4. Manyetik Karıştırıcının Teknik Özellikleri

Sıcaklık Aralığı	Max. 380 °C
Sıcaklık Göstergesi	Ayarlanabilir
Sıcaklık Kontrolü	Elektronik Enerji Regülatörü
Isıtıcı Güç	680 W
Karıştırma Hızı	100... 1500 rpm
Karıştırma Hız Göstergesi	Ayarlanabilir
Karıştırma Kapasitesi	5 L (H2O)
Hız Kontrolü	Geri bildirim Kontrolü
Isıtıcı Tabla	Seramik Kaplı Alüminyum
Tabla Ölçüleri	180 x 180 mm
Karıştırıcı Ölçüleri	200 x 310 x 107 mm
Güç	220 Volt 50/60 Hz
Ağırlık	2.9 Kg

4.4.3. Etüv Fırını

Solüsyon ve kordiyerit yapıların kurutulması için MEMMERT BAIC UNB 500 marka etüv fırını kullanılmıştır. Kullanılan etüv fırını Şekil 4.29.'da görülmektedir ve teknik özellikleri Tablo 4.5.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.29. Etüv Fırını

Tablo 4.5. Etüv Fırınının Teknik Özellikleri

Oda Genişliği	5,60 cm
Oda Yüksekliği	4,80 cm
Oda Derinliği	4 cm
Fırın Genişliği	7,10 cm
Fırın Yüksekliği	7,60 cm
Fırın Derinliği	5,50 cm
Oda Hacmi	108 lt
Ağırlık	50 kg
Güç	2000 W
Ayar Hassasiyeti	0,5

4.4.4. Sinterleme Fırını

Solüsyon ve kordiyerit yapıların kalsine edilmesi için PROTHERM PLF 110/6 marka sinterleme fırını kullanılmıştır. Kullanılan sinterleme fırını Şekil 4.30.'da görülmektedir ve teknik özellikleri Tablo 4.6.'da belirtilmiştir.



Şekil 4.30. Sinterleme Fırını

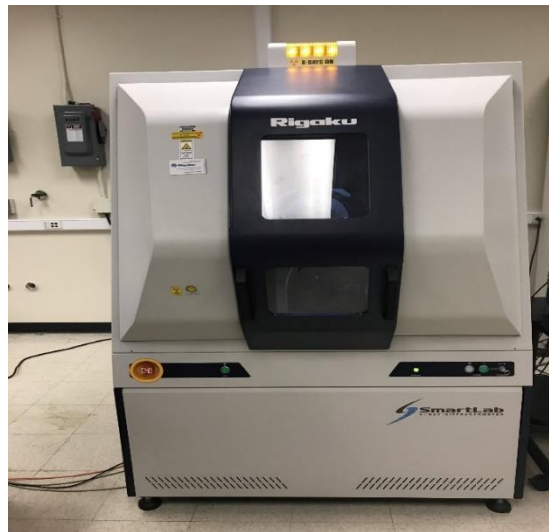
Tablo 4.6. Sinterleme Fırınının Teknik Özellikleri

Kategori:	PLF Serisi Kamara Fırını
Max. Sıcaklık:	1100 °C
Max. Çalışma Sıcaklığı:	1050 °C
Max. Sıcaklığa Ulaşma Süresi:	45 dk.
İç Boyutları (YxGxD):	15x21x20
İç Hacim (Lt):	6.3
Dış Boyutları (YxGxD):	65x55x58
Max. Güç (KW) / Faz:	2/1

4.5. Katalizör Analizinde Kullanılan Cihazlar

4.5.1. XRD(X – Işın Difraktometresi) Analiz Cihazı

X ışını kırınım yöntemi, her bir kristal fazın kendine özgü anatomik dizinimlerine bağlı kalınarak X ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırma esasına dayalıdır. X ışınları numunede bulunan kristal yapılara gönderilerek, X ışını kırılmalarının oluşturduğu şekillere göre malzemenin analizi yapılır ve malzemenin özelliklerine göre bu şekiller yer yer farklılık göstermektedir. XRD analizi Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezinde yapılmış olup, analizde RİGAKU SIMARTLAB marka cihaz kullanılmıştır. Cihaz, Şekil 4.31.'de görülmektedir ve teknik özellikleri Tablo 4.7.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.31. XRD Analiz Cihazı

Tablo 4.7. XRD Analiz Cihazının Teknik Özellikleri

Maksimum Çıkış Gücü	3 kW
Tüp Voltaj ve Akımı	20-60 kV; 2 - 60 mA
Stabilite	10% güç değişimi için $\pm 0.005\%$
Odak büyüklüğü	0.4 x 12 mm hat/nokta
Radyasyon koruması	Tam güvenli kalkan koruma (hata güvenli açık/kapalı mekanizmalı)
Tarama Modu	θ/θ , θ_s , θ_d
Gonyometre yarıçapı	300 mm
Minimum adım	0.0001°

4.5.2. BET(Yüzey Alanı ve Gözeneklik) Analiz Cihazı

Katı veya toz numunelerin yüksek çözünürlük ve düşük basınçta gözenek boyutu, gözenek dağılımı ve yüzey alanı analiz edilmektedir. Cihaz, katı ve toz numunelerin doğru, hassas ve hızlı bir şekilde yüzey alanı ve gözenek boyutlarını analiz etmektedir. BET analizi Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezinde yapılmış olup, analizde MICROMETRICS TRISTAR II marka cihaz kullanılmıştır. Cihaz Brunauer, Emmet ve Teller (BET) yöntemini kullanarak sıvı nitrojen ortamında nitrojen(N_2) gaz adsorpsiyon tekniği ile ölçüm gerçekleştirmektedir. Cihaz, Şekil 4.32.'de görülmektedir ve teknik özellikleri Tablo 4.8.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.32. BET Analiz Cihazı

Tablo 4.8. BET Analiz Cihazının Teknik Özellikleri

Voltaj	100/120, 220/240 VAC
Güç	Maksimum 150 VA
Sıklık	50 / 60 Hz
Keskinlik	±0.25 °C
Çözünürlük	0.1 °C içinde
Yükseklik	74 cm
Genişlik	40 cm
Derinlik	51 cm

4.5.3. SEM(Taramalı Elektron Mikroskobu) Analiz Cihazı

Numunenin görüntüsünün büyütülmesi için elektron ışınıyla tarama yapılır ve numuneden yüksek çözünürlükte görüntüler elde edilerek, özellikleri hassas bir şekilde ölçülür. Cihazda, numune yüzeyinin elektron demeti ile yaptığı etkileşimler sonucunda oluşan sinyallerin toplanması ve incelemesiyle görüntü elde edilmektedir. Analizde numunenin elementel analizi nitel ve nicel olarak tespit edilebilmekte ve yüzey özellikleri, morfolojisi, topografisi, şekli, boyutu, kristal yapısı ile ilgili önemli bilgiler elde edilebilmektedir. Ayrıca SEM-EDS(Enerji Dispersiv Spektrum) analizinde haritalama yöntemi kullanılmakta, elementlerin enerjilerinden faydalanılarak kantitatif kimyasal analiz yapılmakta, elementlerin ağırlık ve atomik yüzdeleri tespit edilmektedir. SEM analizi Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında yapılmış olup, analizde FEI QUANTA 650 FIELD EMISSION marka cihaz kullanılmıştır. Cihaz, Şekil 4.33.'de görülmektedir ve teknik özellikleri Tablo 4.9.'da belirtilmiştir.



Şekil 4.33. SEM Analiz Cihazı

Tablo 4.9. SEM Analiz Cihazının Teknik Özellikleri

30 kV Yüksek vakumda	1.2 nm (SE)
1 kV Yüksek vakumda	2.3 nm (SE)
1 kV Yüksek vakumda (elektron yavaşlatma olmadan)	3.0 nm (SE)
30 kV Düşük Vakumda	2.0 nm (SE)
Dedektör	SE ve BSE
Hızlandırma Voltajı	100V-30 kV
Probe Akımı	100 nA
Büyütme	6-1.000.000 x

4.6. Test Ekipmanları ve Deney Düzenegi

Üretimin ardından katalizörler Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında NO_x dönüşümü için test edilmiştir. Test ekipmanları ve deney düzeneginin şematik gösterimi Şekil 4.34.'de görülmektedir.

4.7. Test Ekipmanlarının Teknik Özellikleri

4.7.1. Katalizörün Egzoz Sistemine Yerleştirilmesi

Katalizör ile egzoz borusu iç kısmı arasına cam elyaf yerleştirilerek egzoz gazının katalizör dışından geçişi engellenmiş ve tüm egzoz gazının katalizör kanallarından geçmesi sağlanmıştır. Katalizörün egzoz sistemine yerleştirilmesi Şekil 4.35.'te görülmektedir.



Şekil 4.35. Katalizörün Egzoz Sistemine Yerleştirilmesi

4.7.2. NO_x Sensörleri

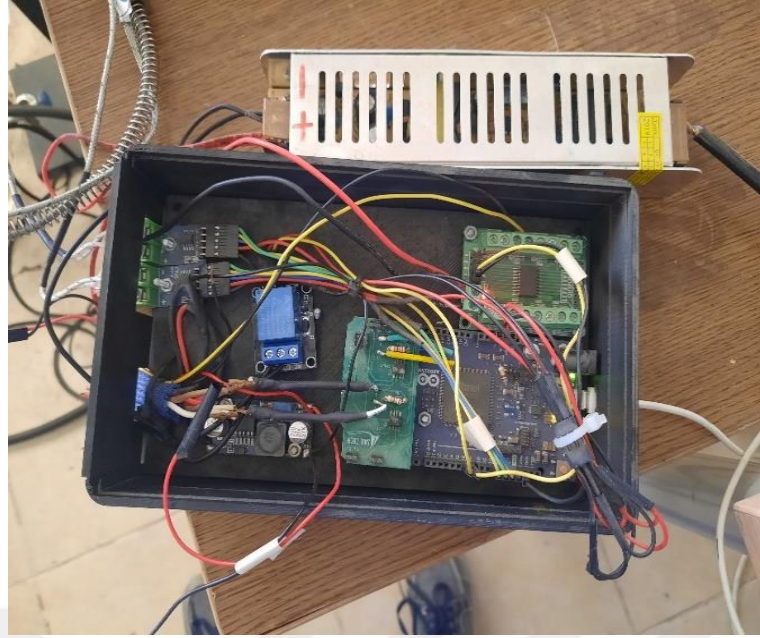
Deney sırasındaki amaç NO_x dönüşüm oranlarını tespit etmektir. Sistemdeki NO_x dönüşüm oranları, NO_x sensörlerinin tespit ettiği değerler doğrultusunda belirlenmektedir. Sistemin sıcaklık değerlerine ve motorun yükleme koşullarına göre NO_x dönüşüm oranları değişmektedir. Deney düzeneğinde SCR'nin öncesinde ve sonrasında iki adet Continental UniNOX marka NO_x sensörü mevcut olup, her iki sensörden gelen veriler doğrultusunda SCR sisteminin verimliliği tespit edilmektedir. NO_x sensörü Şekil 4.36.'da görülmektedir.



Şekil 4.36. NO_x Sensörü

4.7.3. Elektronik Kontrol Ünitesi ve Arayüz

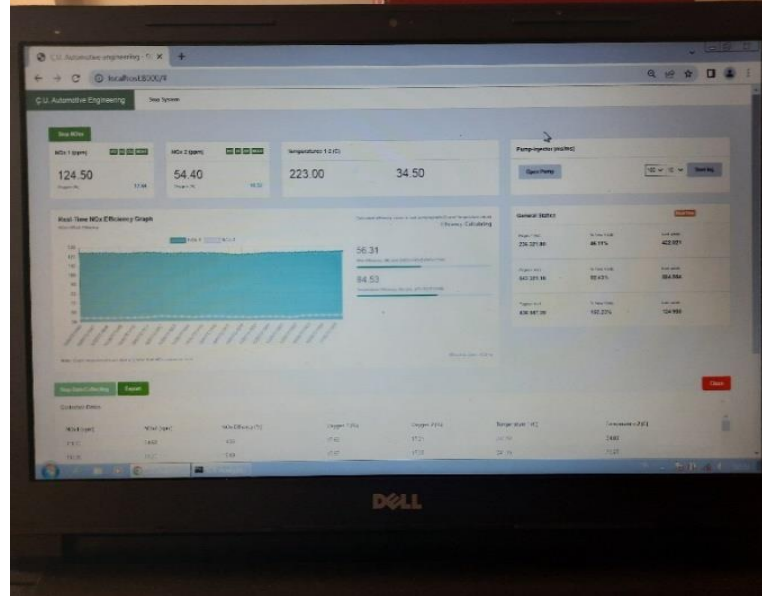
İndirgeyici pompaya komut verilmesi, enjektöre komut verilerek püskürtme miktarının ayarlanması, ölçüm yapılacak egzoz gaz sıcaklığının tespiti, ayrıca tüm NO_x verilerinin alınarak sisteme kayıt edilmesi ARDUİNO MEGA 2560 marka elektronik kontrol ünitesi ve bu kartla entegre bir şekilde çalışan yazılımı C++ ile NODE JS programlama dilleri ile hazırlanan arayüzle gerçekleştirilmektedir. Elektronik kontrol ünitesi, Şekil 4.37.'de görülmektedir ve teknik özellikleri Tablo 4.10.'da belirtilmiştir. Arayüz Şekil 4.38.'de görülmektedir.



Şekil 4.37. Elektronik Kontrol Ünitesi

Tablo 4.10. Elektronik Kontrol Ünitesinin Teknik Özellikleri

Mikrodenetçi	Atmega 2560
Çalışma voltajı	5 V
Giriş voltajı (önerilen)	7-12 V
Giriş voltajı (limit değerler)	6-20 V
SRAM	8 KB
Saat Hızı	16 MHz
I/O Başına DC Akım	40 mA
3.3V Pin için DC akım	50 mA
Flash bellek	256KB (8 KB'ı bootloader tarafından kullanılır)
EEPROM	4 KB



Şekil 4.38. Arayüz

4.7.4. Pompa ve Enjektör

Katalizörle birlikte etanolün NO_x indirgeme performansını test etmek için katalizörün bulunduğu kısımdan önceki hazneye etanol püskürtülmektedir. Bu işlem, 5 bar basınca kadar basma kapasitesi olan bir adet pompa ve buna bağlı bir adet hidro elektronik enjektör ile gerçekleştirilmiştir. Pompa Şekil 4.39.'da, enjektör Şekil 4.40.'ta görülmektedir.



Şekil 4.39. Pompa



Şekil 4.40. Enjektör

4.7.5. Rezizdanslar, Sıcaklık Kontrol Ünitesi ve Sıcaklık Sensörleri

Egzoz borusunun içerisine yerleştirilen rezizdanslar vasıtasıyla egzoz gazı sıcaklığı arttırılmıştır. Gaz sıcaklığının istenilen değerlere yükseltilmesi, istenilen değer tutulması ve düşürülmesi gibi işlemler için opak kapaklı pano içerisine yerleştirilen GEMO AT961 marka, 0 °C ile 400 °C arası ölçüm aralığı olan sıcaklık kontrol ünitesi kullanılmıştır. Ayrıca bu sıcaklık kontrol ünitesine ve Elektronik Kontrol Ünitesine sıcaklık değerleri gönderen, -200 °C ile 1370 °C sıcaklık aralığında ölçüm yapabilen dört adet K tipi termokapıl sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Rezizdans bağlantıları Şekil 4.41.'de, sıcaklık kontrol ünitesi Şekil 4.42.'de ve sıcaklık sensörü Şekil 4.43.'de görülmektedir. Ayrıca sıcaklık kontrol ünitesine ait teknik özellikler Tablo 4.11.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.41. Rezizdans Bağlantıları



Şekil 4.42. Sıcaklık Kontrol Ünitesi

Tablo 4.11. Sıcaklık Kontrol Ünitesinin Teknik Özellikleri

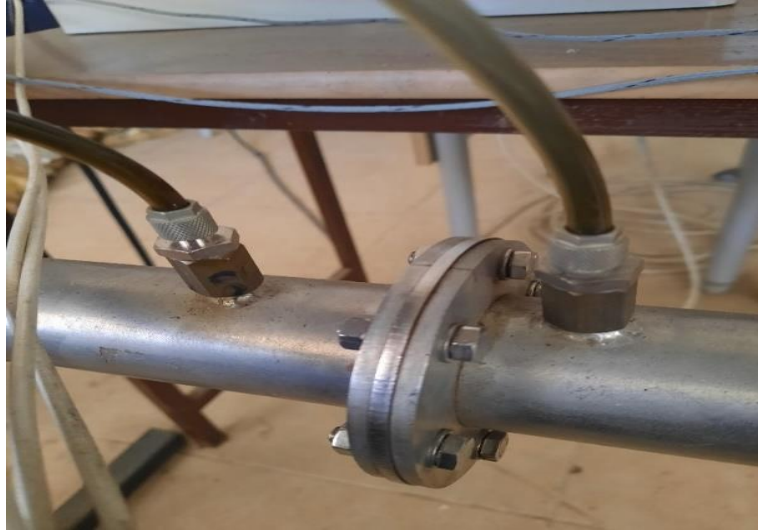
Ebat	96 mm x 96 mm
Tuş	Mikro switch
Gösterge	3 hane 7 segment
Giriş	Fe-const, J tipi T/C
Ölçme skalası	0 - 400 °C
Çalışma sıcaklığı	0 - 50 °C
Güç tüketimi	< 6 VA
Besleme voltajı	100 - 240 VAC, 50 - 60 Hz
Oransal zaman	10 - 240 sn
Duyarlık	± 1 °C



Şekil 4.43. Sıcaklık Sensörü

4.7.6. Orifis Plaka, U Manometre ve Egzoz Gazı Yönlendirme Vanaları

Deney sistemine gönderilen egzoz gazının alan hızının ayarlanmasında 10000 h^{-1} alan hız ile 50000 h^{-1} alan hız arasında ölçüm yeteneği olan orifis plaka ve buna bağlı U manometre kullanılmıştır. Ayarlamalar egzoz gazının deney sistemine ve doğrudan atmosfere gönderildiği iki adet vana ile sağlanmış, bernolli kanununa göre hesaplamalar yapılarak deney 30000 h^{-1} alan hızında gerçekleştirilmiştir. Orifis plaka Şekil 4.44.'de, U manometre Şekil 4.45.'de ve egzoz yönlendirme vanaları Şekil 4.46.'da görülmektedir.



Şekil 4.44. Orifis Plaka



Şekil 4.45. U Manometre



Şekil 4.46. Egzoz Gazı Yönlendirme Vanaları

4.7.7. Deney Motoru

Deney için AKSA A2CRX08 marka, 3000 RPM sabit devirde çalışan, V tipi, iki silindirli, su soğutmalı ve 50 Hz frekanslı dizel motor kullanılmıştır. Deney motoru Şekil 4.47.'de görülmektedir ve teknik özellikleri Tablo 4.12.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.47. Deney Motoru

Tablo 4.12. Deney Motorunun Teknik Özellikleri

Model	A2CRX08
Silindir sayısı	2
Motor Tipi	V Tip
Elektrik Sistem	12 V DC
Yakıt Tipi	Dizel
Sıkıştırma oranı	23/1
Hız	3000 rpm
Frekans	50 Hz
Prime Güç	9,6 kW
Stanby Güç	8,8 kW
Yakıt Tüketimi	4 L/h
Yakıt Depo Kapasitesi	15 L
Soğutma Tipi	Su
Su Kapasitesi	6,4 L
Hacim	79 mm
Ölçüler	1152 mm / 776 mm / 890 mm
Ağırlık	270 kg

4.7.8. Güç Yükleme Ünitesi

Deney motoruna farklı güçler yüklenerek NO_x dönüşüm oranlarını tespit edilmiştir. Güçleri yüklemek amacıyla 10 kW yükleme kapasitesine sahip güç yükleme ünitesi kullanılmıştır. Güç yükleme ünitesi içerisinde her biri 1 kW yükleme kapasitesine sahip 10 adet rezizdans ısıtıcı bulunmaktadır. Yüklenecek güç kadar rezizdans aktif duruma getirilerek yükleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Güç yükleme ünitesi Şekil 4.48.'de görülmektedir.



Şekil 4.48. Güç Yükleme Ünitesi

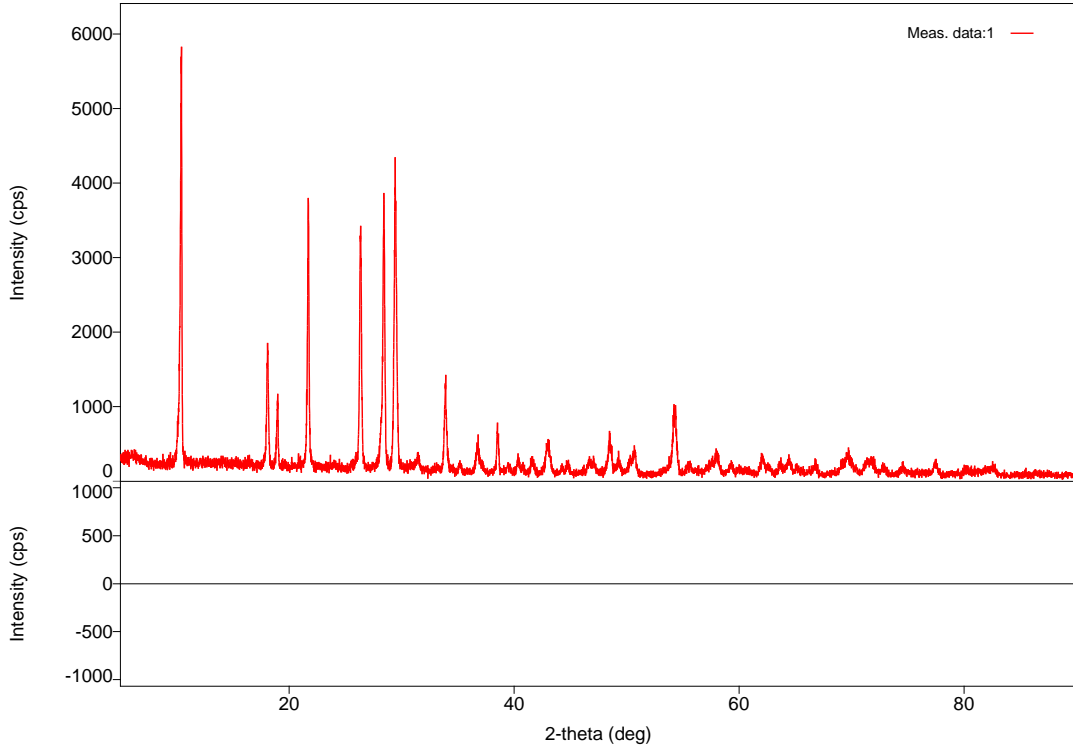
BÖLÜM V

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Katalizör Karakterizasyonu Test Sonuçları

5.1.1. XRD(X – Işın Difraktometresi) Analiz Sonuçları

Birinci katalizöre ait XRD analiz grafiği Şekil 5.1.'de, analiz sonuçlarına ait veriler ise Tablo 5.1.'de belirtilmiştir.

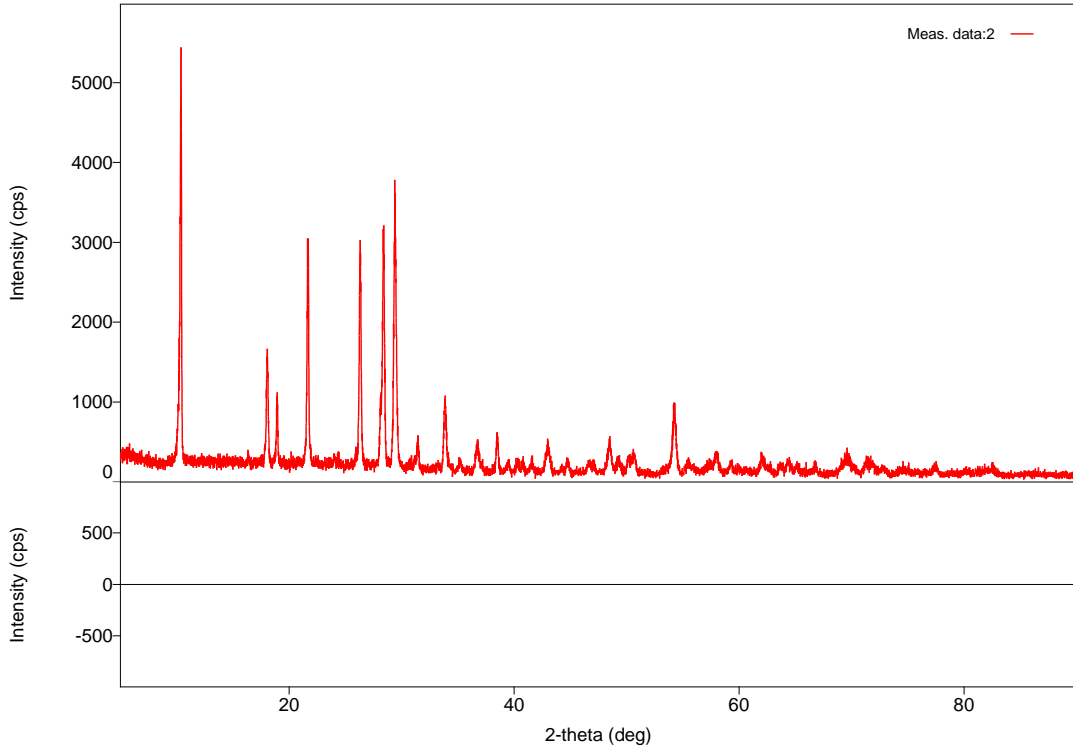


Şekil 5.1. Birinci Katalizöre Ait XRD Analiz Grafiği

Tablo 5.1. Birinci Katalizöre Ait XRD Analiz Sonuçları

Faz Adı	Formül	Referans Numarası
Kordiyerit[Kurutulmuş, (CO ₂) taşıyan]	(CO ₂) _{0.45} Na _{0.05} (Mg _{1.91} Fe _{0.09}) (Al ₄ Si ₅ O ₁₈)	01-087-1994
Baddeleyit, sin	ZrO ₂	01-080-0966

İkinci katalizöre ait XRD analiz grafiği Şekil 5.2.'de, analiz sonuçlarına ait veriler ise Tablo 5.2.'de belirtilmiştir.

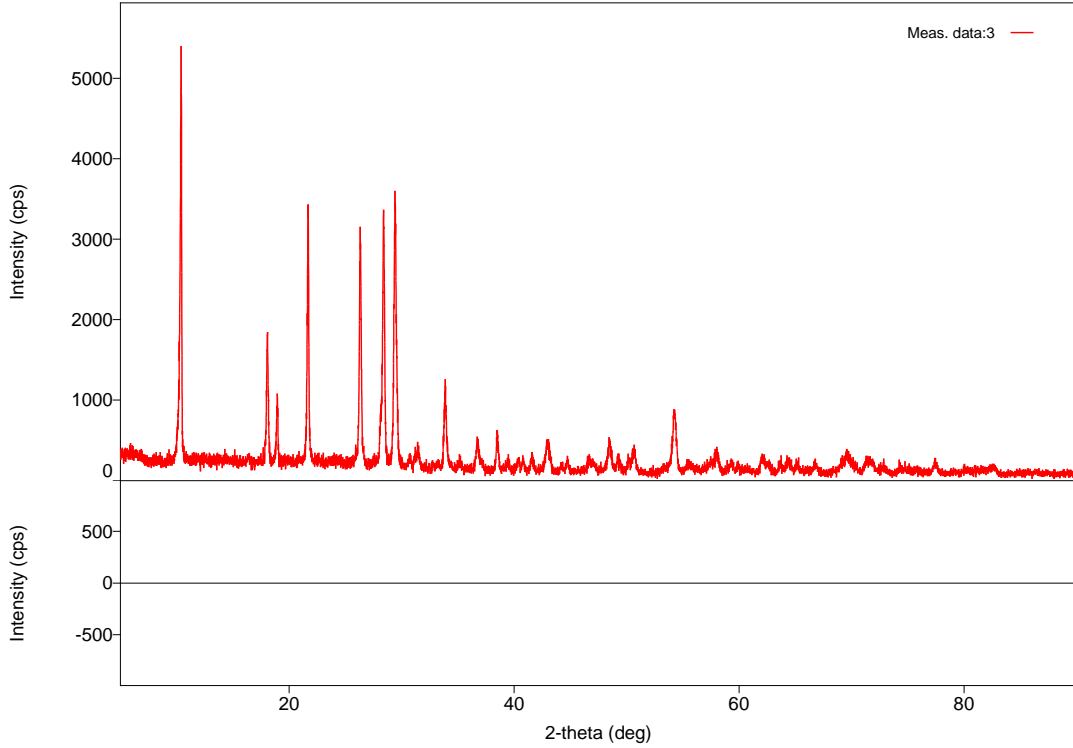


Şekil 5.2. İkinci Katalizöre Ait XRD Analiz Grafiği

Tablo 5.2. İkinci Katalizöre Ait XRD Analiz Sonuçları

Faz Adı	Formül	Referans Numarası
Kordiyerit, ısıtmalı, altıgen	$Mg_2 Al_4 Si_5 O_{18}$	01-084-1222
Baddeleyit, sin	ZrO_2	01-075-9454
Gümüş, fosfor, sülfür	$Ag_7 P S_6$	01-082-5000

Üçüncü katalizöre ait XRD analiz grafiği Şekil 5.3.'de, analiz sonuçlarına ait veriler ise Tablo 5.3.'de belirtilmiştir.

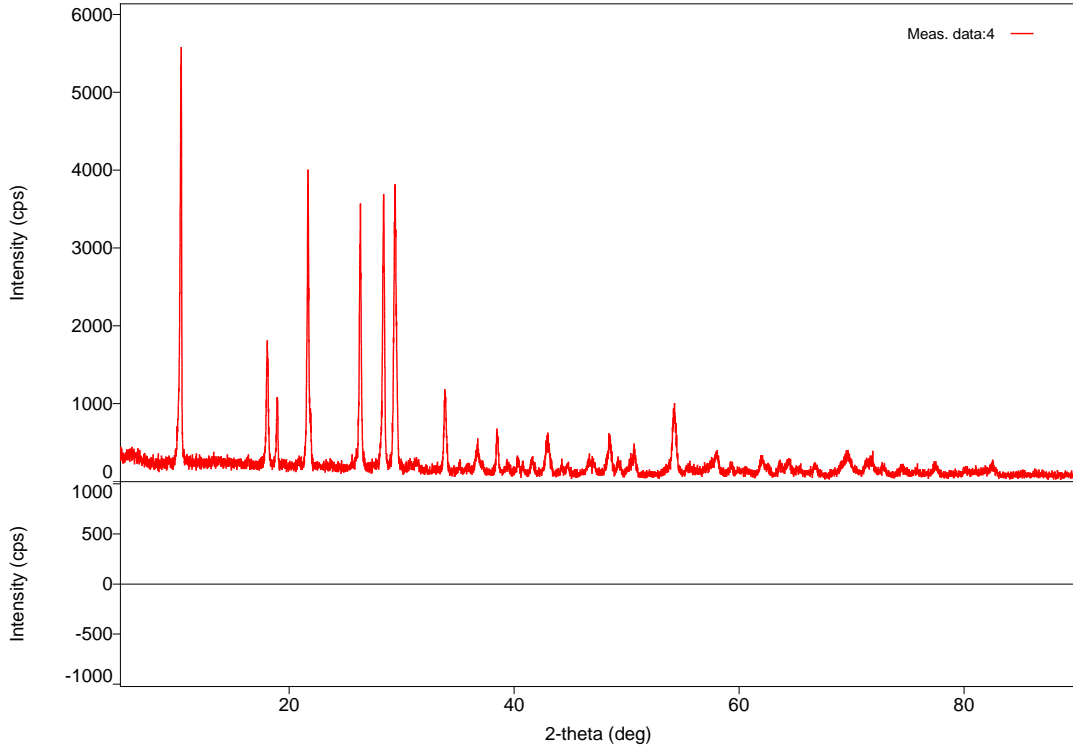


Şekil 5.3. Üçüncü Katalizöre Ait XRD Analiz Grafiği

Tablo 5.3. Üçüncü Katalizöre Ait XRD Analiz Sonuçları

Faz Adı	Formül	Referans Numarası
Kordiyerit, ferroan, lithian	Na.36 (Mg1.06 Fe.58 Li.36) Al ₄ Si ₅ O ₁₈ (H ₂ O).85	01-084-0986
Stronsiyum, zirkonomolibdat	Sr (Zr Mo O ₆)0.5	01-089-3135

Dördüncü katalizöre ait XRD analiz grafiği Şekil 5.4.'de, analiz sonuçlarına ait veriler ise Tablo 5.4.'de belirtilmiştir.



Şekil 5.4. Dördüncü Katalizöre Ait XRD Analiz Grafiği

Tablo 5.4. Dördüncü Katalizöre Ait XRD Analiz Sonuçları

Faz Adı	Formül	Referans Numarası
Gümüş, Antimon, Kurşun, Tellür	(Ag _{0.33} Sb _{0.33} Pb _{0.34}) Te	01-071-9227
Kordiyerit, ferroan, lithian	Na _{3.6} (Mg _{1.06} Fe _{5.8} Li _{3.6}) Al ₄ Si ₅ O ₁₈ (H ₂ O) _{.85}	01-084-0986

5.1.2. BET(Yüzey Alanı ve Gözeneklik) Analiz Sonuçları

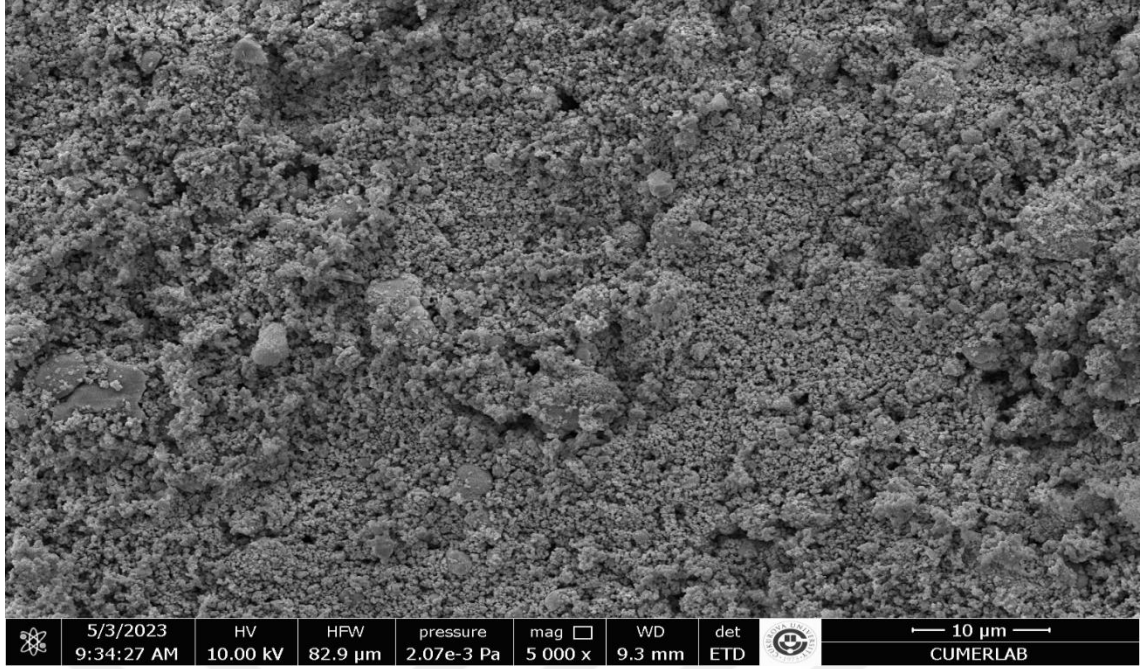
Saf halde bulunan kordiyerit yapı ve üretilen dört adet katalizöre ait BET(Yüzey Alanı ve Gözeneklik) Analiz Sonuçları Tablo 5.5.'te belirtilmiştir.

Tablo 5.5. BET(Yüzey Alanı ve Gözeneklik) Analiz Sonuçları

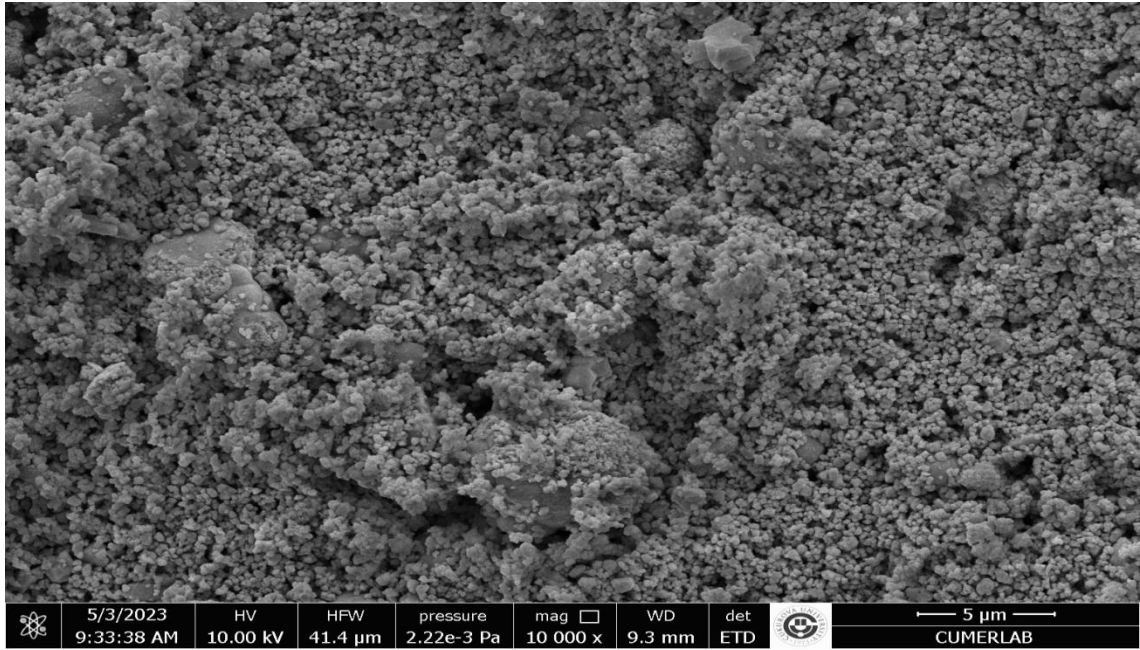
Katalizör	Yüzey Alanı
Saf Halde Bulunan Kordiyerit Yapı	0.5 m ² /g
1.katalizör	7,8746 m ² /g
2.katalizör	32,8497 m ² /g
3.katalizör	32,2364 m ² /g
4.katalizör	19,0578 m ² /g

5.1.3. SEM(Taramalı Elektron Mikroskobu) Analiz Sonuçları

Birinci Katalizöre ait SEM görüntülerini incelediğimizde, katalizör yüzey görünümü hakkında bilgiler verdiği görülmektedir. Şekil 5.5.'te 5000x ölçeğindeki, Şekil 5.6.'da ise 10000x ölçeğindeki SEM görüntüleri mevcuttur. Yapılan incelemede kordiyerit yapının gözenekli yapısının olduğu ve kümelenmelerin olduğu görülmektedir.

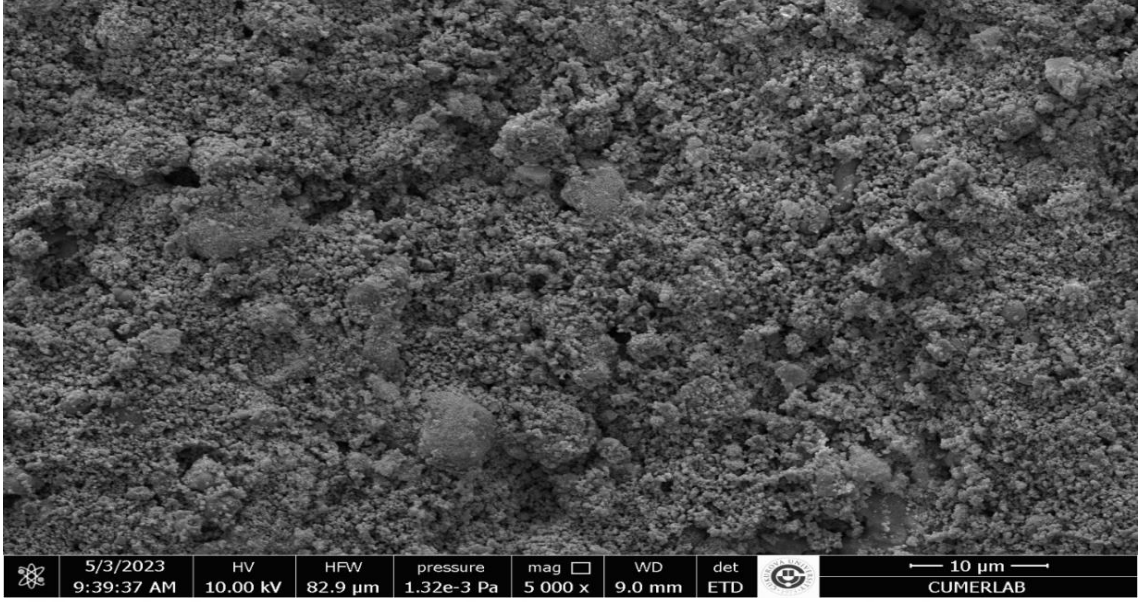


Şekil 5.5. Birinci Katalizöre Ait 5000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri

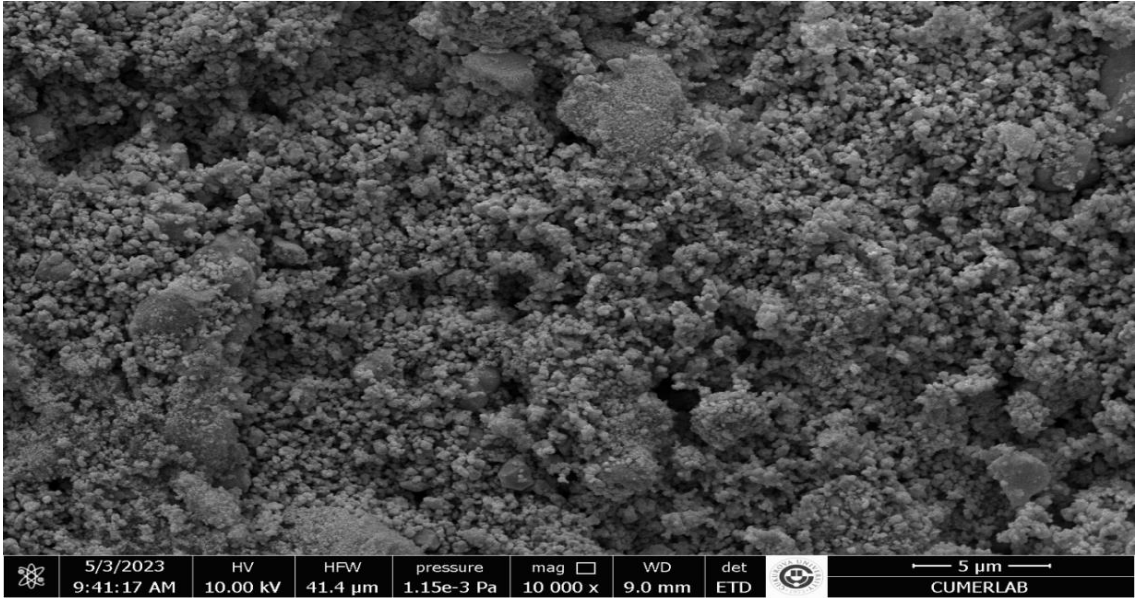


Şekil 5.6. Birinci Katalizöre Ait 10000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri

İkinci Katalizöre ait SEM görüntülerini incelediğimizde, katalizör yüzey görünümünü hakkında bilgiler verdiği görülmektedir. Şekil 5.7.'de 5000x ölçeğindeki, Şekil 5.8.'de ise 10000x ölçeğindeki SEM görüntüleri mevcuttur. Yapılan incelemede kordiyerit yapının gözenekli yapısının korunduğu, ancak birinci katalizörün SEM görüntüleri ile karşılaştırıldığında gözeneklerde kapanmalar olduğu görülmektedir. Ayrıca kümelenmelerde artış olduğu görülmektedir.

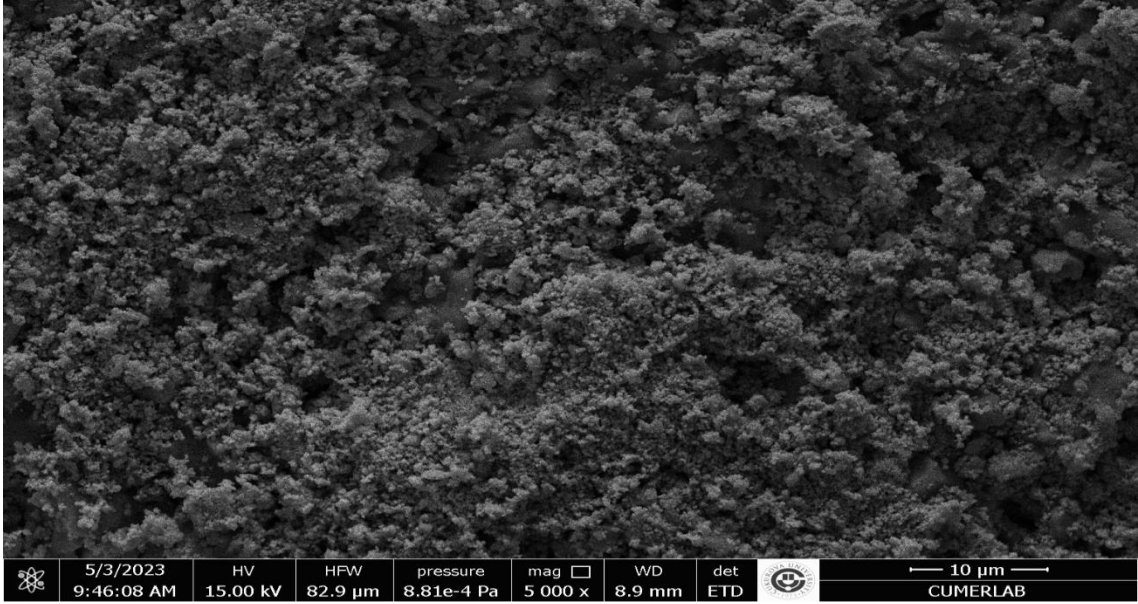


Şekil 5.7. İkinci Katalizöre Ait 5000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri

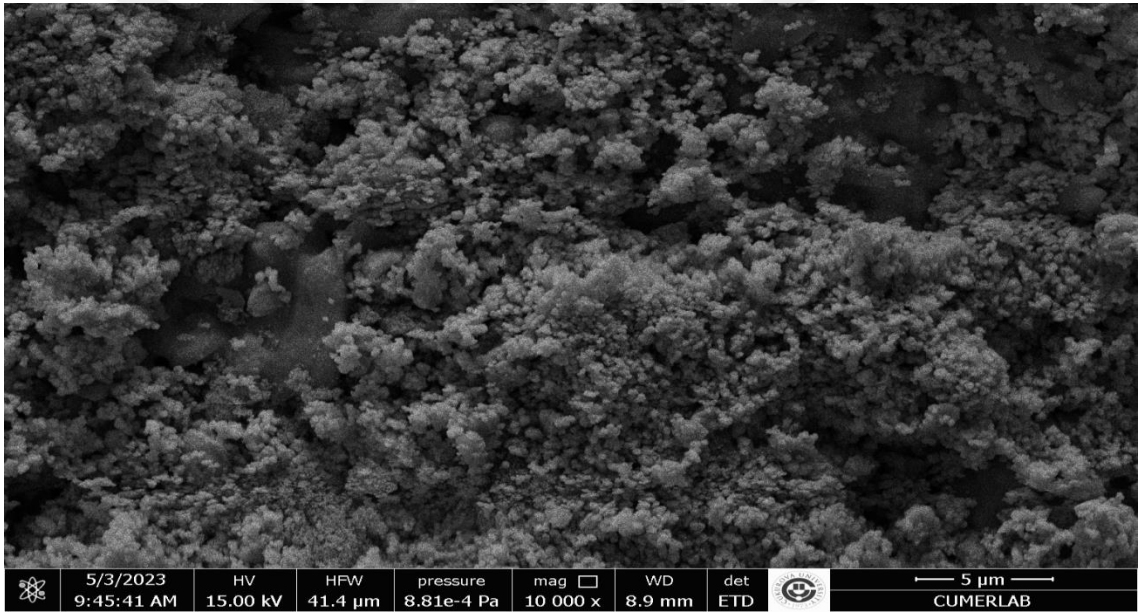


Şekil 5.8. İkinci Katalizöre Ait 10000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri

Üçüncü Katalizöre ait SEM görüntülerini incelediğimizde, katalizör yüzey görünümü hakkında bilgiler verdiği görülmektedir. Şekil 5.9.'da 5000x ölçeğindeki, Şekil 5.10.'da ise 10000x ölçeğindeki SEM görüntüleri mevcuttur. Yapılan incelemede kordiyerit yapının gözenekli yapısının korunduğu fakat ikinci katalizörün SEM görüntüleri ile karşılaştırıldığında gözenekli yapı genişliklerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca kordiyerit yapı üzerine eklenen element sayısı arttığı için, kümelenmelerin daha yoğun olduğu görülmektedir.

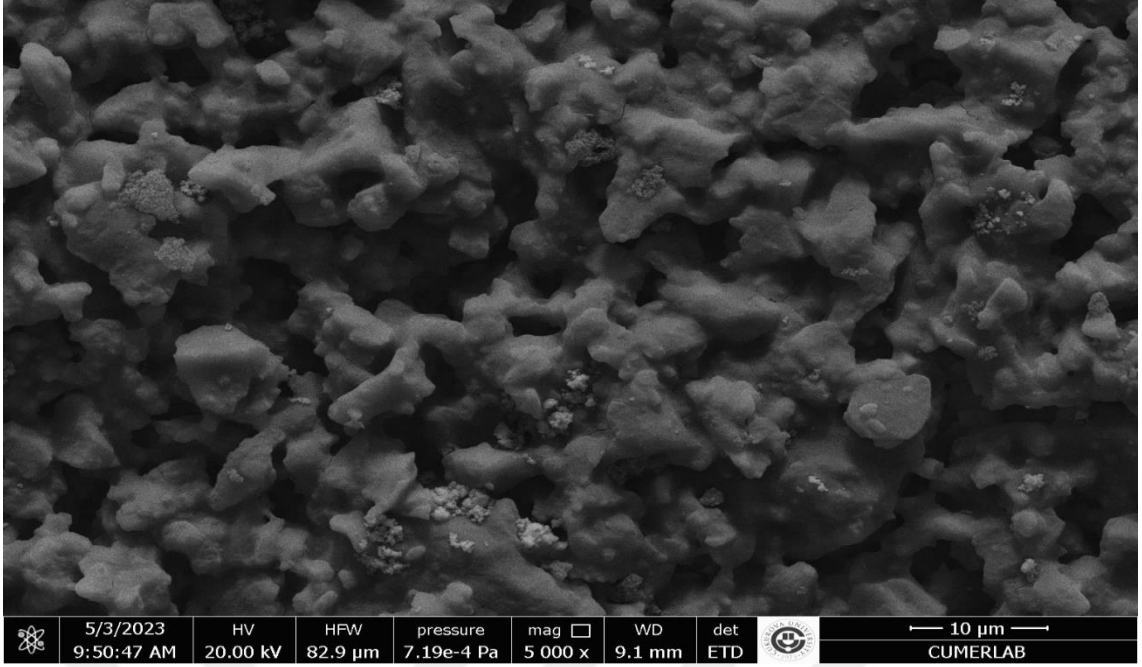


Şekil 5.9. Üçüncü Katalizöre Ait 5000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri

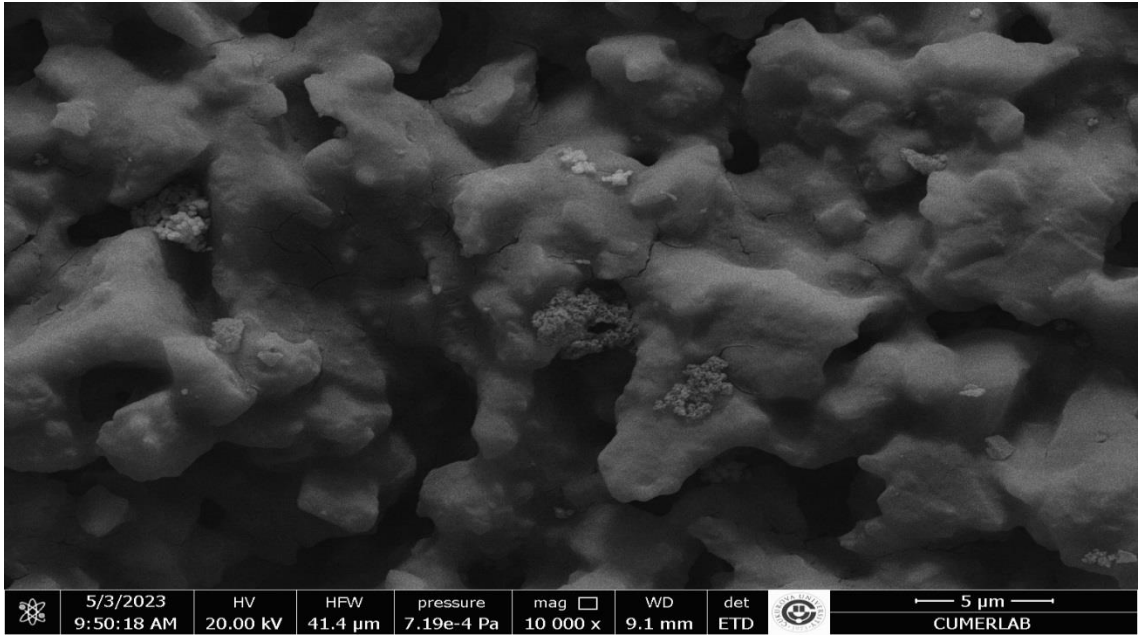


Şekil 5.10. Üçüncü Katalizöre Ait 10000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri

Dördüncü Katalizöre ait SEM görüntülerini incelediğimizde, katalizör yüzey görünümü hakkında bilgiler verdiği görülmektedir. Şekil 5.11.'de 5000 x ölçeğindeki, Şekil 5.12.'de ise 10000 x ölçeğindeki SEM görüntüleri mevcuttur. Yapılan incelemede kordiyerit yapının gözenekli yapısının korunduğu fakat üçüncü katalizörün SEM görüntüleri ile karşılaştırıldığında gözenekli yapı genişliklerinin daha da azaldığı görülmektedir. Ayrıca kordiyerit yapı üzerine eklenen element sayısı arttığı için, kümelenmelerin daha da yoğun olduğu görülmektedir.



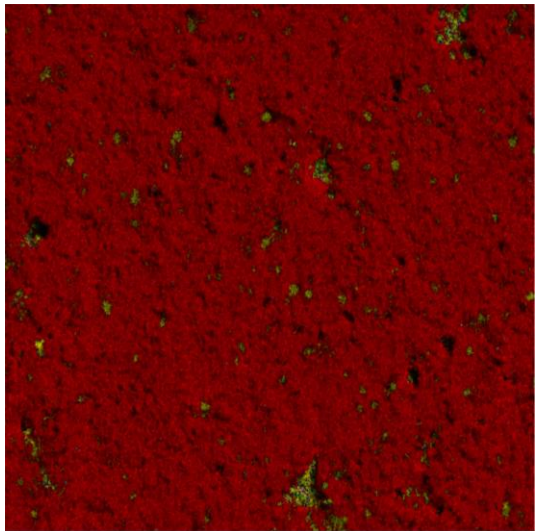
Şekil 5.11. Dördüncü Katalizöre Ait 5000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri



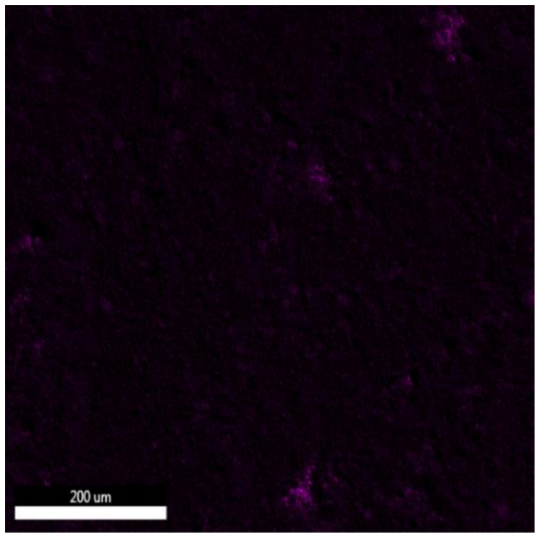
Şekil 5.12. Dördüncü Katalizöre Ait 10000 x Ölçeğindeki SEM Görüntüleri

5.1.4. SEM-EDS(Enerji Dispersiv Spektrum) Analiz Sonuçları

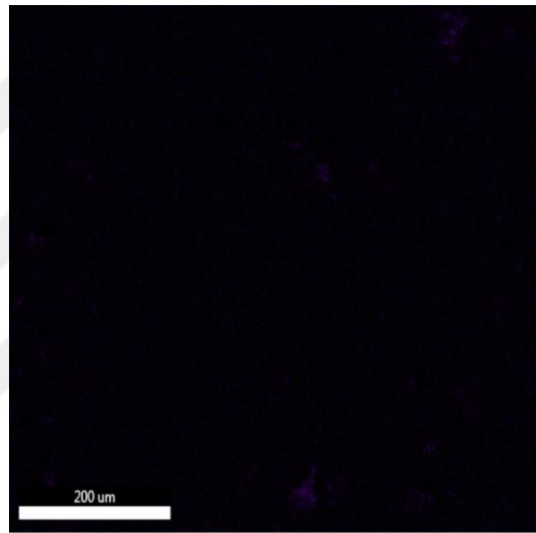
Birinci katalizöre ait SEM-EDS görüntüleri Şekil 5.13.'te belirtilmiştir. Şekilde katalizörün genel haritası, element oranları ve element haritaları görülmektedir. Analize göre kordiyerit malzeme üzerinde bulunan ve sonradan eklenen elementlerin, homojen bir şekilde yayıldığı görülmektedir. Tablo 5.6.'da ise birinci katalizöre ait elementlerin ağırlık ve atomik yüzdeleri belirtilmiştir.



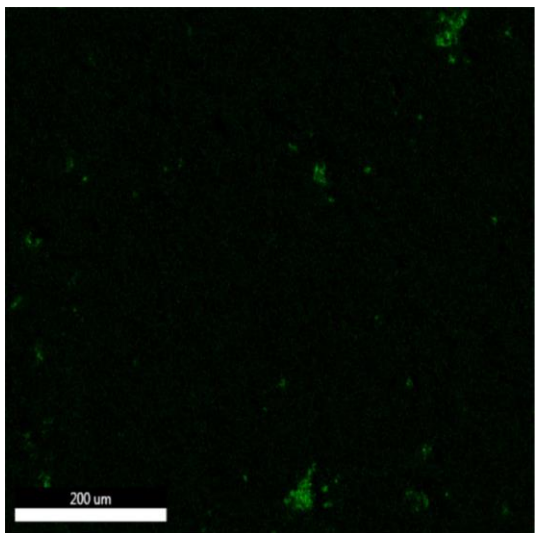
- 7% O K
- 3% MgK
- 4% AlK
- 9% SiK
- 74% ZrL
- 3% AgL



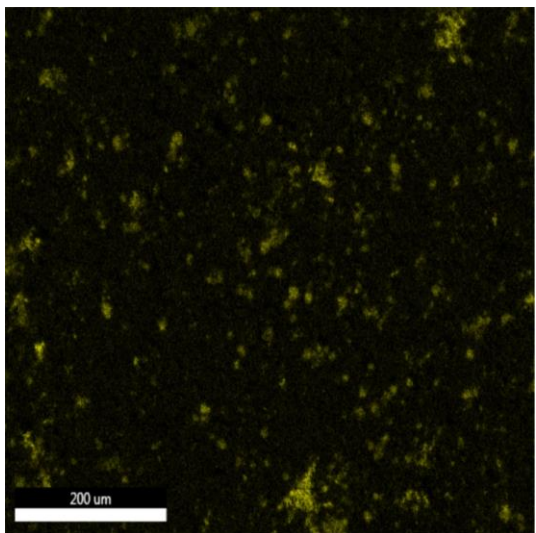
O K_ROI (39)



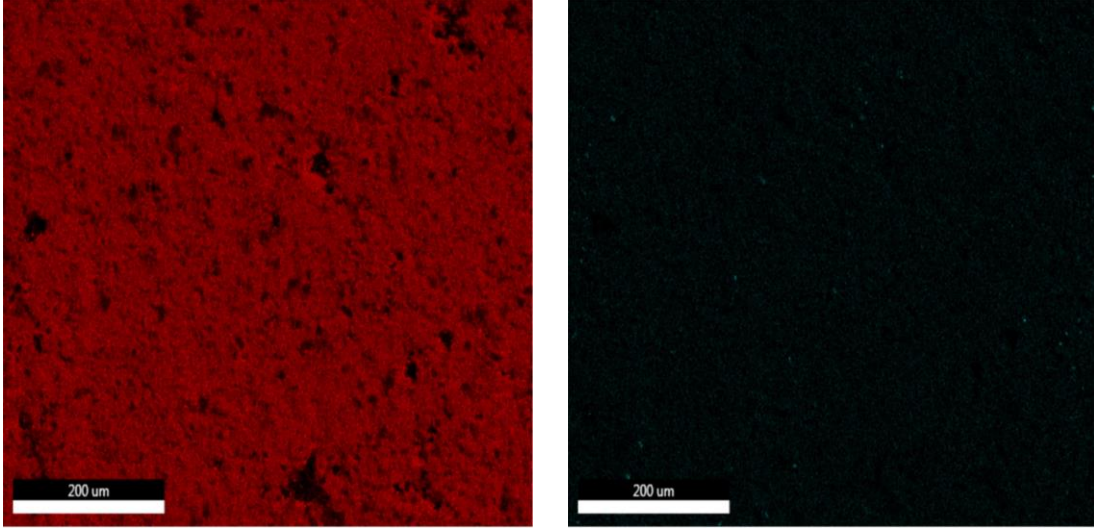
MgK_ROI (15)



AlK_ROI (35)



SiK_ROI (45)



ZrL_ROI (61)

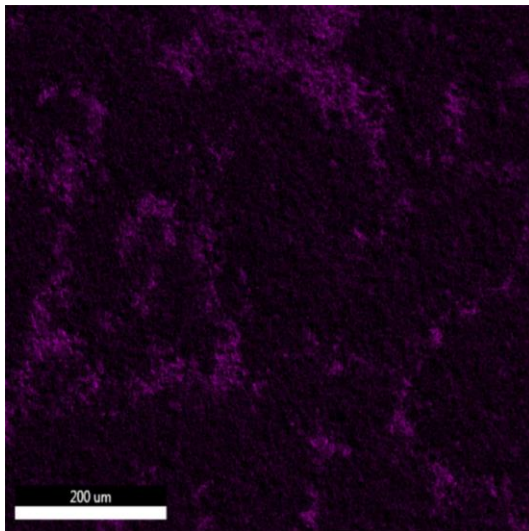
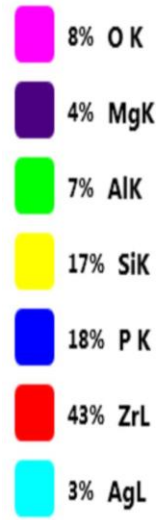
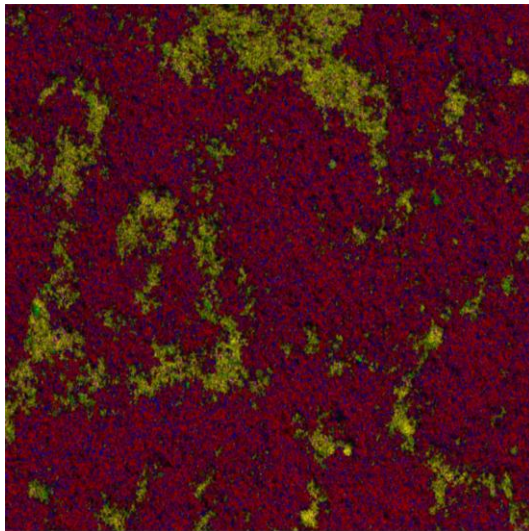
AgL_ROI (25)

Şekil 5.13. Birinci Katalizöre Ait SEM-EDS Görüntüleri

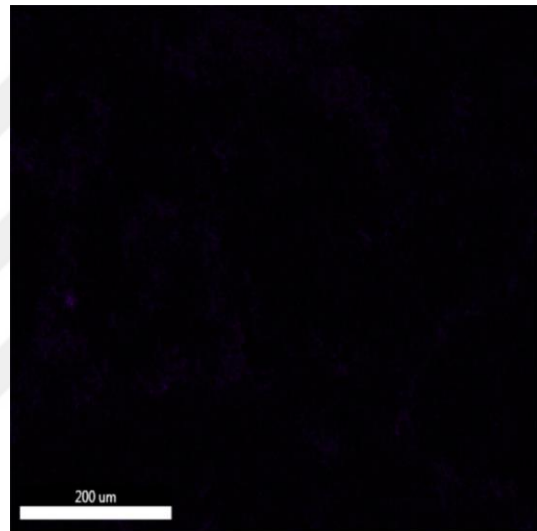
Tablo 5.6. Birinci Katalizöre Ait Elementlerin Ağırlık ve Atomik Yüzdeleri

Element	Ağırlık %	Atomik %
O K	32.19	63.06
MgK	1.74	2.24
AlK	4.46	5.19
SiK	10.87	12.13
ZrL	49.95	17.16
AgL	0.79	0.23

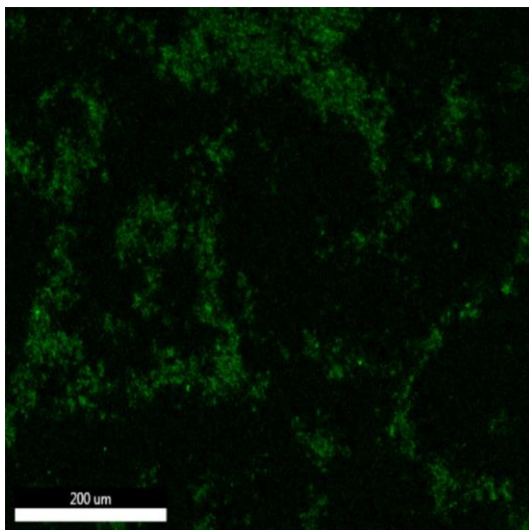
İkinci katalizöre ait SEM-EDS görüntüleri Şekil 5.14.'te belirtilmiştir. Şekilde katalizörün genel haritası, element oranları ve element haritaları görülmektedir. Analize göre kordiyerit malzeme üzerinde bulunan ve sonradan eklenen elementlerin, homojen bir şekilde yayıldığı görülmektedir. Tablo 5.7.'de ise ikinci katalizöre ait elementlerin ağırlık ve atomik yüzdeleri belirtilmiştir.



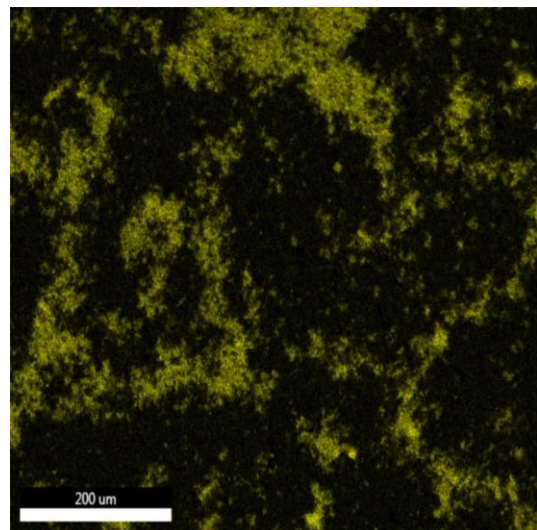
O K_ROI (26)



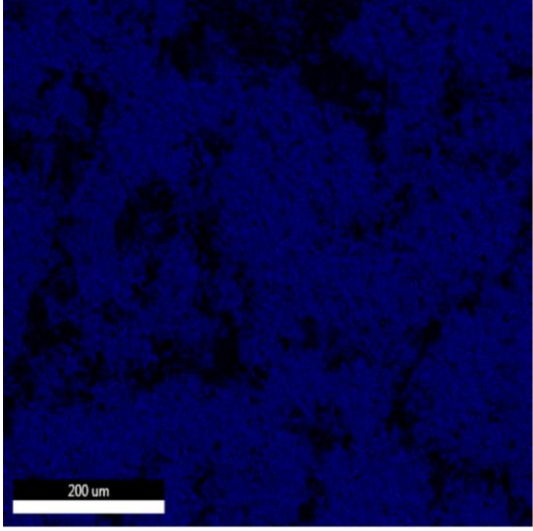
MgK_ROI (30)



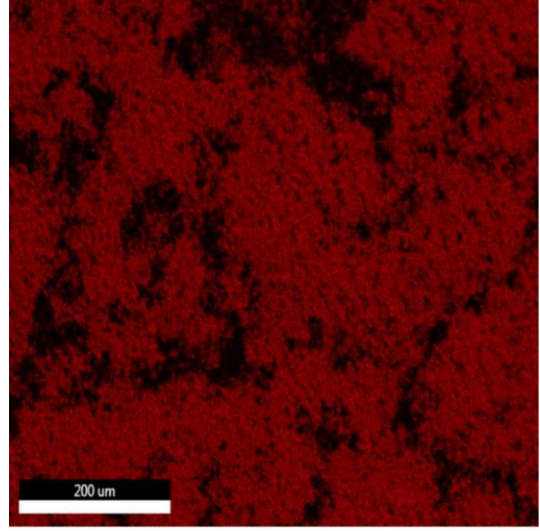
AlK_ROI (36)



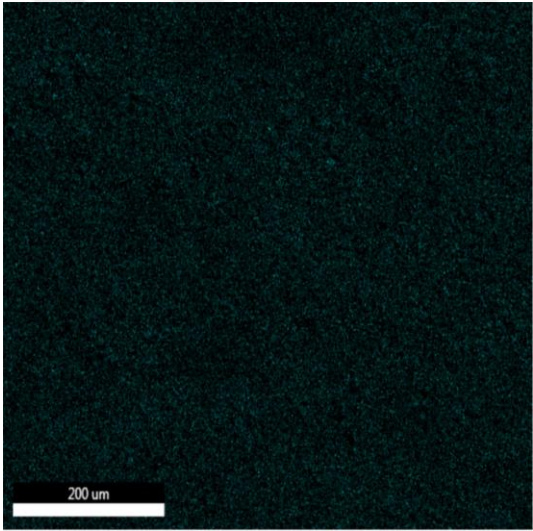
SiK_ROI (46)



P K_ROI (29)



ZrL_ROI (49)



AgL_ROI (10)

Şekil 5.14. İkinci Katalizöre Ait SEM-EDS Görüntüleri

Tablo 5.7. İkinci Katalizöre Ait Elementlerin Ağırlık ve Atomik Yüzdeleri

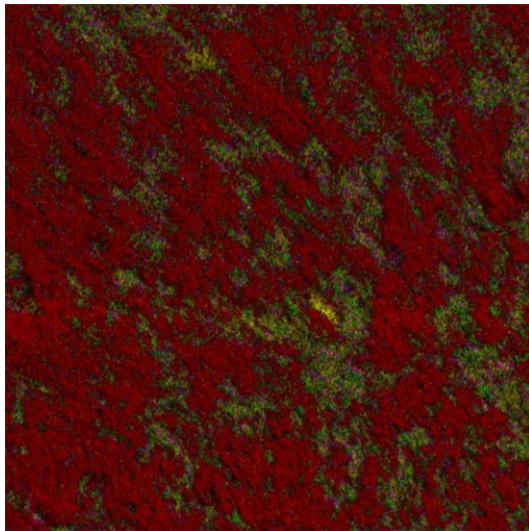
Element	Ağırlık %	Atomik %
O K	30.83	65.74
MgK	0.63	0.88
AlK	1.98	2.5
SiK	7.15	8.69
ZrL	58.87	22.02
AgL	0.55	0.17

ZrL içerikli olan, P K içermeyen ağırlık ve atomik yüzdeler

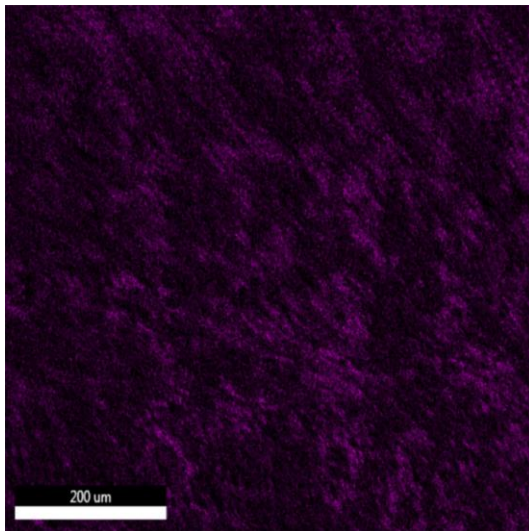
Element	Ağırlık %	Atomik %
O K	33.08	48.48
MgK	0.56	0.54
AlK	2.29	1.99
SiK	10.86	9.06
P K	52.56	39.79
AgL	0.65	0.14

P K içerikli olan, ZrL içermeyen ağırlık ve atomik yüzdeler

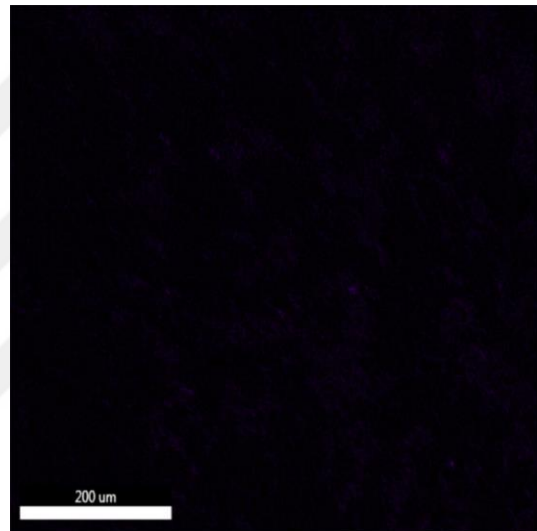
Üçüncü katalizöre ait SEM-EDS görüntüleri Şekil 5.15.'te belirtilmiştir. Şekilde katalizörün genel haritası, element oranları ve element haritaları görülmektedir. Analize göre kordiyerit malzeme üzerinde bulunan ve sonradan eklenen elementlerin, homojen bir şekilde yayıldığı görülmektedir. Tablo 5.8.'de ise üçüncü katalizöre ait elementlerin ağırlık ve atomik yüzdeleri belirtilmiştir.



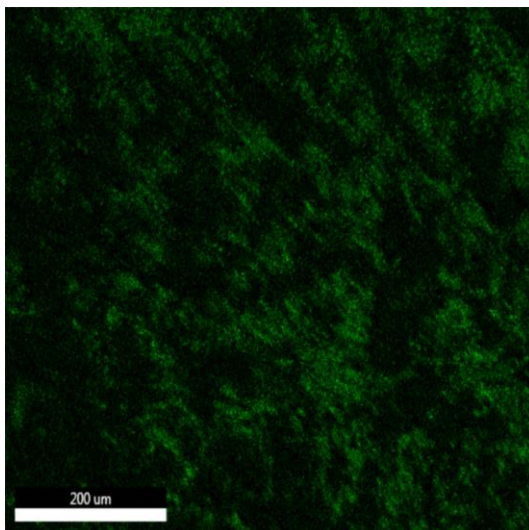
- 11% O K
- 5% Mg K
- 8% Al K
- 22% Si K
- 47% Zr L
- 3% Ag L
- 3% Sb L



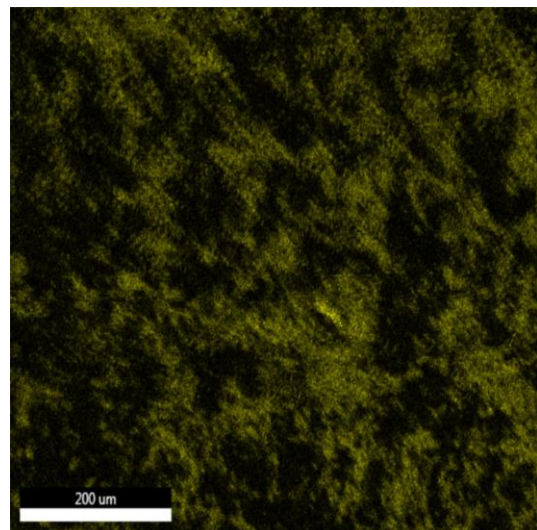
O K_ROI (22)



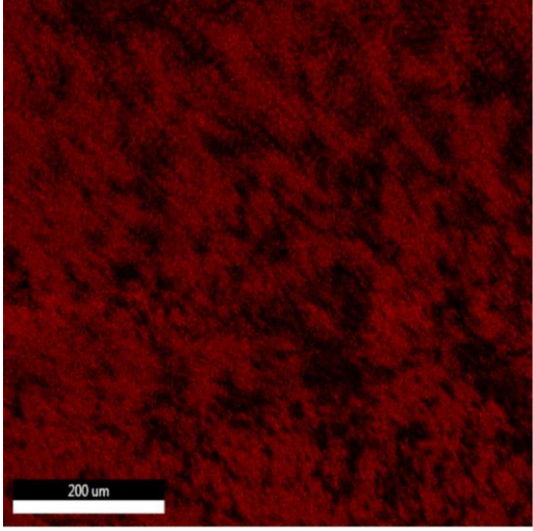
Mg K_ROI (19)



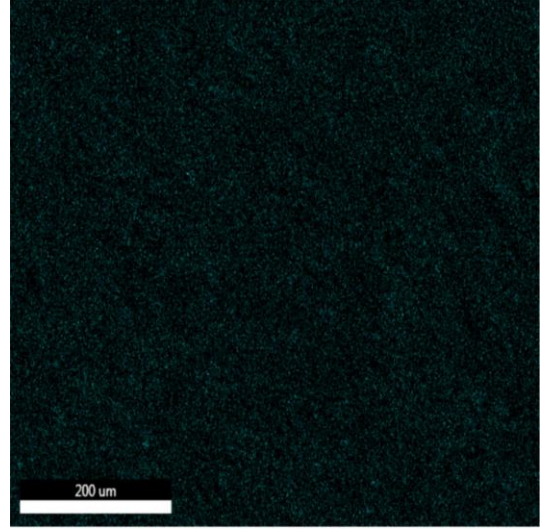
Al K_ROI (20)



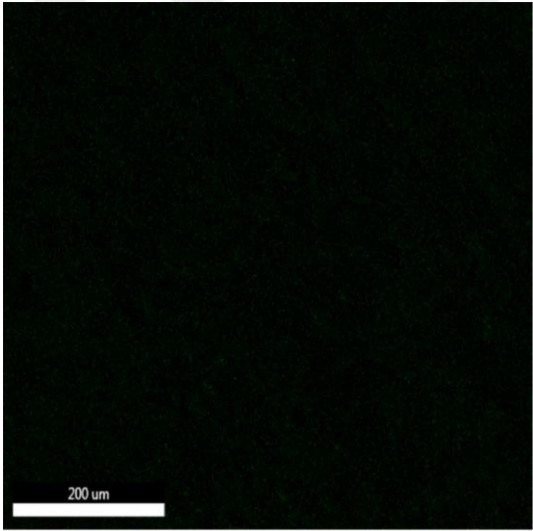
Si K_ROI (43)



ZrL_ROI (48)



AgL_ROI (9)



SbL_ROI (12)

Şekil 5.15. Üçüncü Katalizöre Ait SEM-EDS Görüntüleri

Tablo 5.8. Üçüncü Katalizöre Ait Elementlerin Ağırlık ve Atomik Yüzdeleri

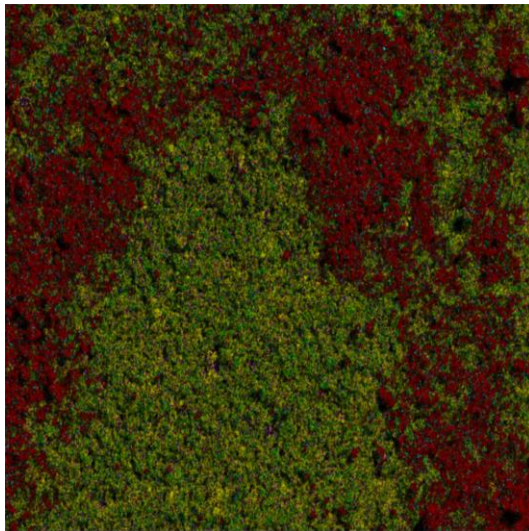
Element	Ağırlık %	Atomik %
O K	36.69	70.96
MgK	0.69	0.88
AlK	1.59	1.82
SiK	7.56	8.33
ZrL	51.68	17.53
AgL	0.81	0.23
SbL	0.98	0.25

ZrL içerikli olan, P K içermeyen ağırlık ve atomik yüzdeler

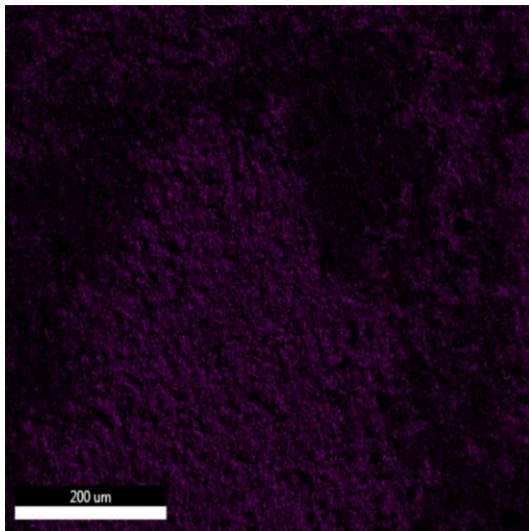
Element	Ağırlık %	Atomik %
O K	38.27	54.62
MgK	0.68	0.64
AlK	1.87	1.58
SiK	11.27	9.16
P K	45.45	33.51
AgL	1	0.21
SbL	1.46	0.27

P K içerikli olan, ZrL içermeyen ağırlık ve atomik yüzdeler

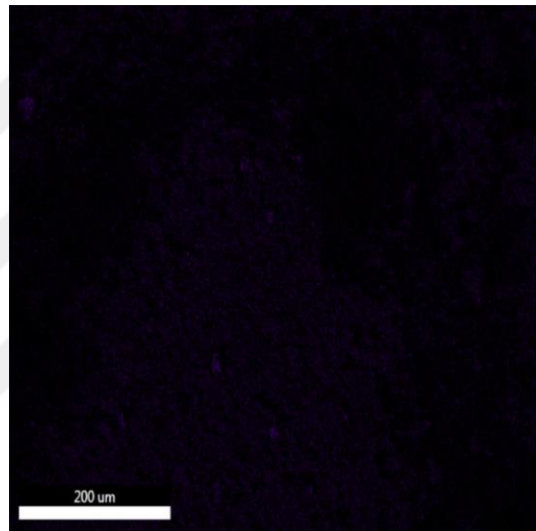
Dördüncü katalizöre ait SEM-EDS görüntüleri Şekil 5.16.'da belirtilmiştir. Şekilde katalizörün genel haritası, element oranları ve element haritaları görülmektedir. Analize göre kordiyerit malzeme üzerinde bulunan ve sonradan eklenen elementlerin, homojen bir şekilde yayıldığı görülmektedir. Tablo 5.9.'da ise üçüncü katalizöre ait elementlerin ağırlık ve atomik yüzdeleri belirtilmiştir.



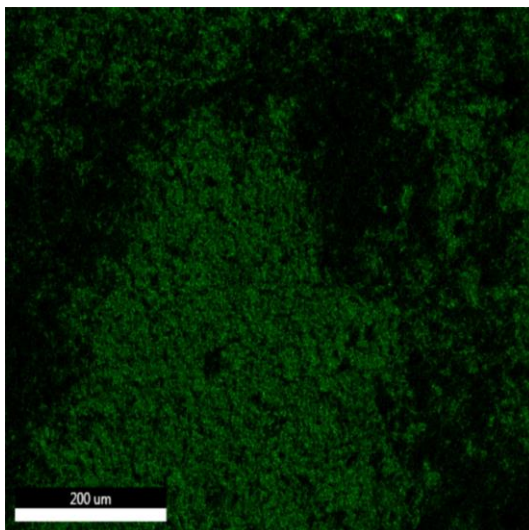
- 11% O K
- 9% Mg K
- 16% Al K
- 31% Si K
- 25% Zr L
- 4% Ag L
- 5% Sb L



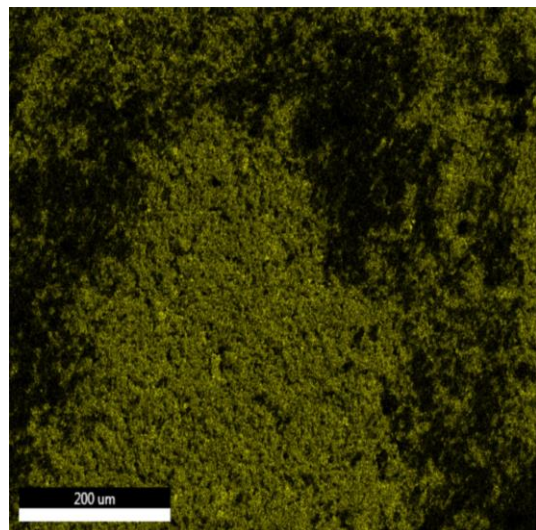
O K_ROI (20)



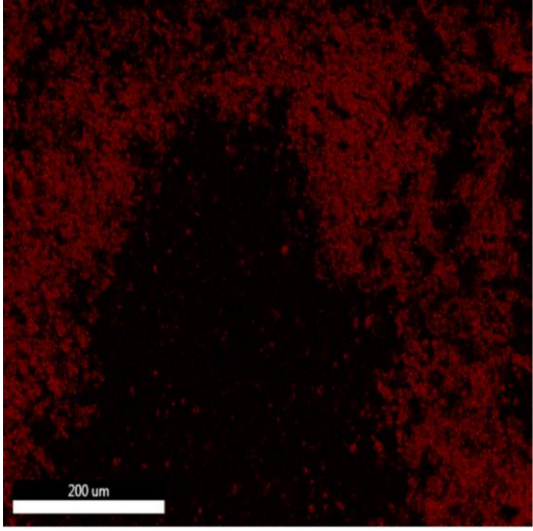
MgK_ROI (15)



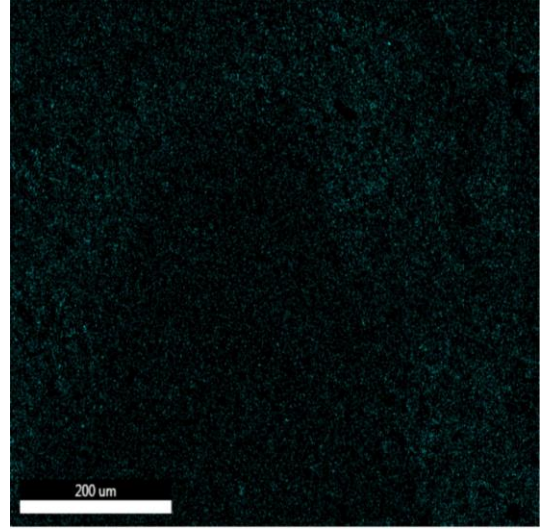
AlK_ROI (22)



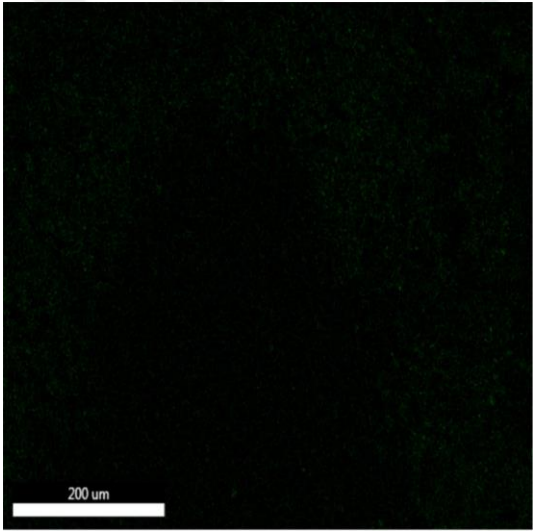
SiK_ROI (28)



ZrL_ROI (34)



AgL_ROI (6)



SbL_ROI (10)

Şekil 5.16. Dördüncü Katalizöre Ait SEM-EDS Görüntüleri

Tablo 5.9. Dördüncü Katalizöre Ait Elementlerin Ağırlık ve Atomik Yüzdeleri

Element	Ağırlık %	Atomik %
O K	39.6	61.55
MgK	4.28	4.38
AlK	9.5	8.75
SiK	20.77	18.39
ZrL	24.09	6.57
AgL	0.28	0.07
SbL	1.48	0.3

ZrL içerikli olan, P K içermeyen ağırlık ve atomik yüzdeler

Element	Ağırlık %	Atomik %
O K	38.41	53.18
MgK	4.44	4.04
AlK	10.75	8.83
SiK	25.6	20.2
P K	18.68	13.36
AgL	0.32	0.07
SbL	1.81	0.33

P K içerikli olan, ZrL içermeyen ağırlık ve atomik yüzdeler

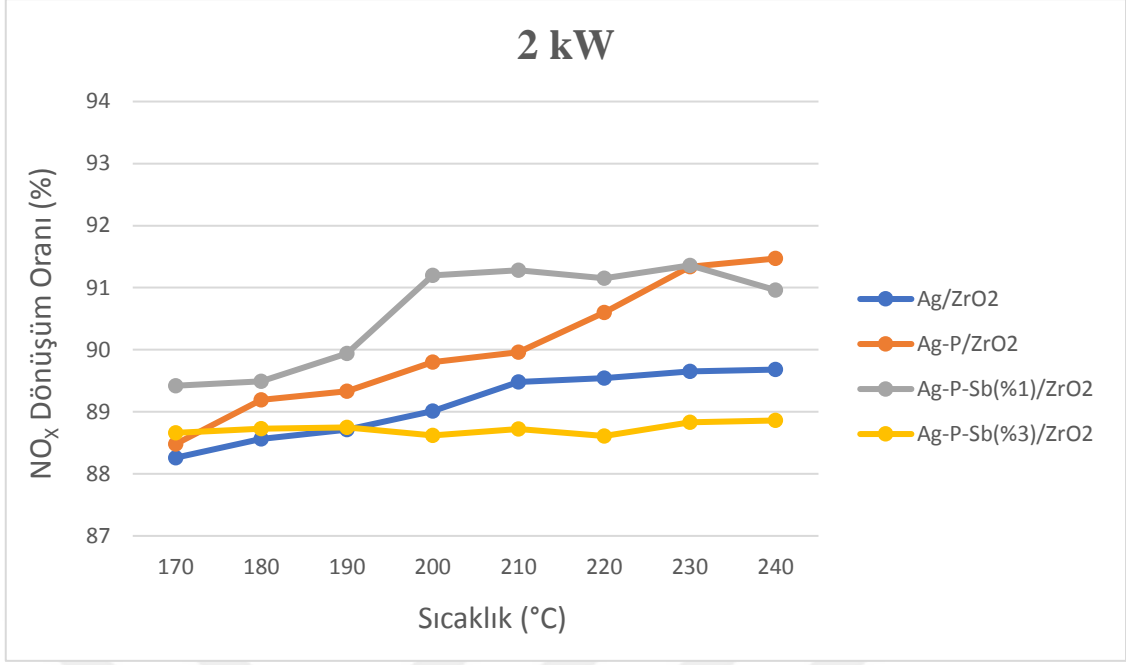
5.2. Deney Sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda NO_x dönüşüm oranları grafiklendirilmiştir. Deneyler 2 kW ve 4 kW motor yüklemesinde, 170 °C ile 240 °C sıcaklık aralığında her 10 °C'de bir 8 adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. Deneyler Ag/ZrO₂, Ag-P/ZrO₂, Ag-P-Sb(%1)/ZrO₂, Ag-P-Sb(%3)/ZrO₂ katalizörlerine ayrı ayrı uygulanmıştır. Tablo 5.10.'da 2 kW motor yüklemesinde yapılan deneye ait NO_x dönüşüm oranları, Tablo 5.11.'de 4 kW motor yüklemesinde yapılan deneye ait NO_x dönüşüm oranları görülmektedir. Şekil 5.17.'de 2 kW motor yüklemesinde yapılan deneye ait NO_x dönüşüm oranı grafiği, Şekil 5.18.'de 4 kW motor yüklemesinde yapılan deneye ait NO_x dönüşüm oranı grafiği görülmektedir.

Tablo 5.10. 2 kW Motor Yüklemesinde NO_x Dönüşüm Oranları

Katalizör/Sıcaklık	170 °C	180 °C	190 °C	200 °C
Ag/ZrO₂ Katalizörü	% 88,26	% 88,56	% 88,71	% 89,01
Ag-P/ZrO₂ Katalizörü	% 88,48	% 89,19	% 89,33	% 89,80
Ag-P- Sb(%1)/ZrO₂ Katalizörü	% 89,42	% 89,49	% 89,94	% 91,20
Ag-P- Sb(%3)/ZrO₂ Katalizörü	% 88,66	% 88,73	% 88,75	% 88,62

Katalizör/Sıcaklık	210 °C	220 °C	230 °C	240 °C
Ag/ZrO₂ Katalizörü	% 89,48	% 89,54	% 89,65	% 89,68
Ag-P/ZrO₂ Katalizörü	% 89,96	% 90,60	% 91,34	% 91,47
Ag-P- Sb(%1)/ZrO₂ Katalizörü	% 91,28	% 91,15	% 91,36	% 90,96
Ag-P- Sb(%3)/ZrO₂ Katalizörü	% 88,72	% 88,61	% 88,83	% 88,86

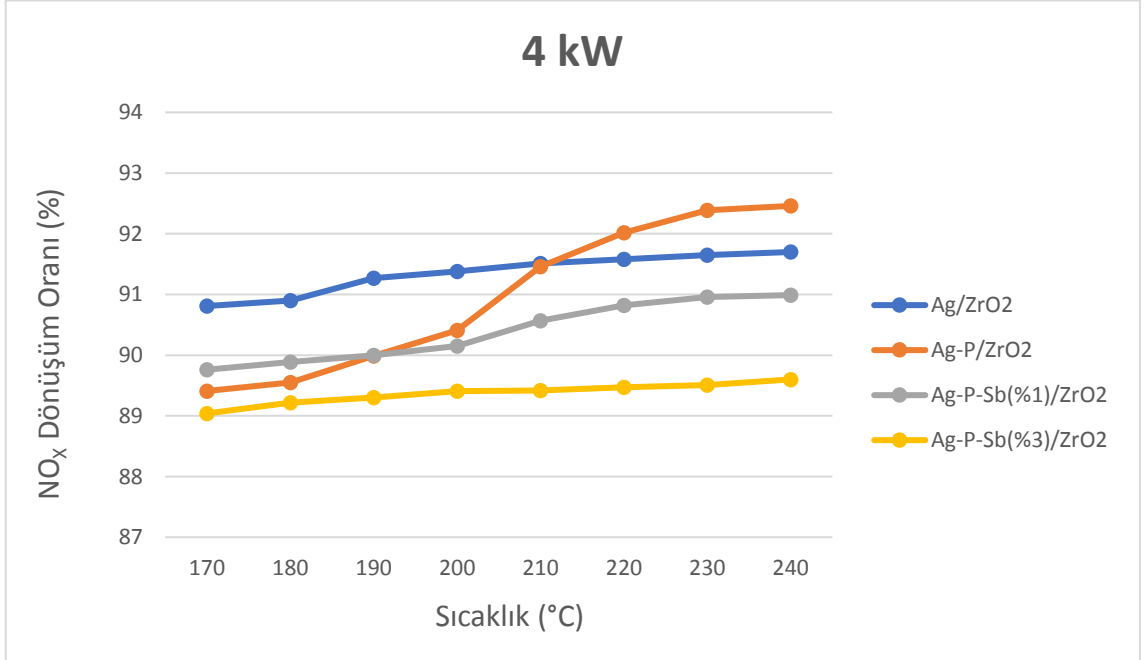


Şekil 5.17. 2 kW Motor Yüklemesinde NO_x Dönüşüm Oranları Grafiği

Tablo 5.11. 4 kW Motor Yüklemesinde NO_x Dönüşüm Oranları

Katalizör/Sıcaklık	170 °C	180 °C	190 °C	200 °C
Ag/ZrO₂ Katalizörü	% 90,81	% 90,90	% 91,27	% 91,38
Ag-P/ZrO₂ Katalizörü	% 89,41	% 89,55	% 89,99	% 90,41
Ag-P- Sb(%1)/ZrO₂ Katalizörü	% 89,76	% 89,89	% 90,00	% 90,15
Ag-P- Sb(%3)/ZrO₂ Katalizörü	% 89,04	% 89,22	% 89,30	% 89,41

Katalizör/Sıcaklık	210 °C	220 °C	230 °C	240 °C
Ag/ZrO ₂ Katalizörü	% 91,51	% 91,58	% 91,65	% 91,70
Ag-P/ZrO ₂ Katalizörü	% 91,46	% 92,02	% 92,39	% 92,46
Ag-P-Sb(%1)/ZrO ₂ Katalizörü	% 90,57	% 90,82	% 90,96	% 90,99
Ag-P-Sb(%3)/ZrO ₂ Katalizörü	% 89,42	% 89,47	% 89,51	% 89,60



Şekil 5.18. 4 kW Motor Yüklemesinde NO_x Dönüşüm Oranları Grafiği

5.2.1. Motor Yüklerinin NO_x Dönüşüm Oranına Etkisi

Deney sonuçlarına göre motor yükü arttırıldığında NO_x dönüşüm oranının da arttığı görülmüştür. Bütün katalizörler incelendiğinde en yüksek NO_x dönüşüm oranı 4 kW motor yükünde ortalama % 90,52 olarak ölçülmüş, 2 kW motor yükünde ise ortalama % 89,61 olarak ölçülmüştür. Bu durum, tüm katalizörler için 4 kW motor yükündeki ortalama NO_x dönüşüm oranı ile 2 kW motor yükündeki ortalama NO_x dönüşüm arasında ortalama % 0,91'lik dönüşüm farkı olduğunu göstermektedir.

5.2.2. Sıcaklık Değerlerinin NO_x Dönüşüm Oranına Etkisi

Deney sonuçlarına göre 2 kW ve 4 kW motor yükündeki sıcaklık değerlerinde tüm katalizörler için NO_x dönüşüm oranları incelendiğinde, sıcaklık değerleri arttıkça ortalama NO_x dönüşüm oranının da arttığı görülmektedir. Tüm katalizörler için 240 °C'deki ortalama NO_x dönüşüm oranı % 90,72 olarak ölçülmüş, 170 °C'de ise ortalama % 89,23 olarak ölçülmüştür. Bu durum, tüm katalizörler için 240 °C'deki ortalama NO_x dönüşüm oranı ile 170 °C'deki ortalama NO_x dönüşüm oranı arasında % 1,49'luk dönüşüm farkı olduğunu göstermektedir.

Ag/ZrO₂ katalizöründe 2 kW motor yükünde 170 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 88,26 iken, 240 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 89,68'e yükselmiştir. Yine aynı katalizörde 4 kW motor yükünde 170 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 90,81 iken, 240 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 91,70'e yükselmiştir.

Ag-P/ZrO₂ katalizöründe 2 kW motor yükünde 170 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 88,48 iken, 240 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 91,47'e yükselmiştir. Yine aynı katalizörde 4 kW motor yükünde 170 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 89,41 iken, 240 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 92,46'ya yükselmiştir.

Ag-P-Sb(%1)/ZrO₂ katalizöründe 2 kW motor yükünde 170 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 89,42 iken, 240 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 90,96'ya yükselmiştir. Yine aynı katalizörde 4 kW motor yükünde 170 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 89,76 iken, 240 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 90,99'a yükselmiştir.

Ag-P-Sb(%3)/ZrO₂ katalizöründe 2 kW motor yükünde 170 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 88,66 iken, 240 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 88,86'ya yükselmiştir. Yine aynı katalizörde 4 kW motor yükünde 170 °C sıcaklıktaki NO_x

dönüşüm oranı % 89,04 iken, 240 °C sıcaklıktaki NO_x dönüşüm oranı % 89,60'a yükselmiştir.

5.2.3. Maksimum ve Minimum NO_x Dönüşüm Oranları

Maksimum NO_x dönüşüm oranı Ag-P/ZrO₂ katalizöründe 4 kW motor yükünde 240 °C sıcaklıkta % 92,46 olarak ölçülmüştür. Minimum NO_x dönüşüm oranı ise Ag/ZrO₂ katalizöründe 2 kW motor yükünde 170 °C sıcaklıkta % 88,26 olarak ölçülmüştür. Bu veriler, minimum NO_x dönüşüm oranından maksimum NO_x dönüşüm oranına % 4,2'lik artış olduğunu göstermektedir.

5.2.4. Fosfor(P) ve Antimon(Sb) İlavesinin NO_x Dönüşüm Oranlarına Etkisi

Gümüş Zirkonyum Dioksit katalizörüne fosfor ve farklı oranlardaki antimon ilavesi 2 kW ve 4 kW motor yükünde farklı NO_x dönüşüm oranlarını sağlamıştır.

2 kW motor yükünde Ag/ZrO₂ katalizörünün tüm sıcaklardaki ortalama NO_x dönüşüm oranı % 89,11 iken, fosfor ilave edildiğinde % 90,02'ye yükselmiştir. Dolayısı ile fosfor ilavesi zehirlenme etkisi göstermemiş, aksine NO_x dönüşüm verimliliğini arttırmıştır. Ag-P/ZrO₂ katalizörüne % 1 oranında antimon ilavesi NO_x dönüşüm verimliliğini daha da arttırarak % 90,60'a yükseltmiştir. Ag-P-Sb(%1)/ZrO₂ katalizörünün antimon oranı % 1 oranından %3 oranına yükseltildiğinde ise NO_x dönüşüm oranı en düşük değer olan % 88,72'ye düşmüştür. 2 kW motor yükünde ve tüm sıcaklıklardaki ortalama değerlere göre tüm katalizörlerin NO_x dönüşüm oranı incelendiğinde en yüksek NO_x dönüşüm oranının Ag-P-Sb(%1)/ZrO₂ katalizöründe gerçekleştiği, en düşük NO_x dönüşüm oranının ise Ag-P-Sb(%3)/ZrO₂ katalizöründe gerçekleştiği görülmüştür.

4 kW motor yükünde Ag/ZrO₂ katalizörünün tüm sıcaklardaki ortalama NO_x dönüşüm oranı % 91,35 iken, fosfor ilave edildiğinde % 90,96'ye düşmüştür. Dolayısı ile fosfor ilavesi zehirlenme etkisi göstermiştir. Ag-P/ZrO₂ katalizörüne % 1 oranında antimon ilave edildiğinde, NO_x dönüşüm verimliliği daha da azalarak % 90,39 seviyesine düşmüştür. Ag-P-Sb(%1)/ZrO₂ katalizörünün antimon oranı % 1 oranından %3 oranına yükseltildiğinde ise NO_x dönüşüm oranı en düşük değer olan % 89,37'ye düşmüştür. 4 kW motor yükünde ve tüm sıcaklıklardaki ortalama değerlere göre tüm katalizörlerin NO_x dönüşüm oranı incelendiğinde en yüksek NO_x dönüşüm oranının Ag/ZrO₂

katalizöründe gerçekleştiği, en düşük NO_x dönüşüm oranının ise Ag-P-Sb(%3)/ZrO₂ katalizöründe gerçekleştiği görülmüştür.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, dizel motorlarından atmosfere salınan zararlı NO_x gazlarının azaltılması amacıyla yapılmıştır. Kordiyerit yapılarına farklı oranlarda elementler eklenerek farklı katalizörler üretilmiştir. Üretilen katalizörlerin XRD analizi yapılarak eklenen elementlerin koridyerit yapı üzerinde etkin bir şekilde dağıldığı, BET analizi yapılarak eklenen elementlerden sonra katalizör yüzey alanının büyük oranda arttığı, SEM analizi yapılarak eklenen elementlerden sonra kordiyerit malzeme yüzeyinin önemli bir şekilde kaplanarak gözenekli yapısının korunduğu görülmüştür.

Üretilen katalizörler HC-SCR deney sisteminde 2 kW ve 4 kW motor yüklerinde, 170 °C – 240 °C sıcaklık aralığında indirgeyici madde olan etanol kullanılarak teste tabi tutulmuştur. Motor yüklerine göre sonuçlar incelendiğinde, tüm katalizörler için 4 kW motor yükündeki ortalama NO_x dönüşüm oranı(% 90,52) ile 2 kW motor yükündeki ortalama NO_x dönüşümü(% 89,61) arasında ortalama % 0,91'lik dönüşüm farkı olduğunu göstermektedir. Bu durum, motor yükü arttıkça NO_x dönüşüm oranının da arttığını göstermiştir. Sıcaklıklara göre sonuçlar incelendiğinde tüm katalizörler için 2 kW ve 4 kW motor yükünde 240 °C'deki ortalama NO_x dönüşüm oranı(% 90,72) ile 170 °C'deki ortalama NO_x dönüşüm oranı(% 89,23) arasındaki farkın % 1,49 olduğu görülmüştür. Bu durum, sıcaklık değerlerinin artırılması ile NO_x dönüşüm oranının da arttığını göstermiştir. Maksimum NO_x dönüşüm oranının(% 92,46) Ag-P/ZrO₂ katalizöründe 4 kW motor yükünde 240 °C sıcaklıkta, minimum NO_x dönüşüm oranının(% 88,26) ise Ag/ZrO₂ katalizöründe 2 kW motor yükünde 170 °C sıcaklıkta olduğu görülmüştür. Bu değerler sonucunda, minimum NO_x dönüşüm oranından maksimum NO_x dönüşüm oranına % 4,2'lik artış sağlandığı görülmüştür. Gümüş esaslı katalizörlere fosfor ve antimon ilavesi 2 kW ve 4 kW motor yükünde farklı sonuçlar vermiştir. 2 kW motor yükü altında gümüş esaslı katalizöre fosfor ilavesi zehirlenme etkisi yaratmamış, aksine NO_x dönüşüm oranını arttırarak % 89,11'dan % 90,02'ye yükseltmiştir. Ardından % 1 oranında antimon ilave edilmesi NO_x dönüşüm oranını % 90,60'a kadar yükseltmiş ve % 3'lük antimon ilavesi sonucunda NO_x dönüşüm oranını % 88,72'ye kadar düşmüştür. 4 kW motor yükü altında gümüş esaslı katalizöre fosfor ilavesi zehirlenme etkisi yaratmış, NO_x dönüşüm oranını % 91,35'den % 90,96'ya düşmüştür. Ardından % 1 oranında

antimon ilave edildiğinde NO_x dönüşüm oranını % 90,39'a, % 3'lük antimon ilavesi sonucunda % 89,37'ye kadar düşmüştür.

Bu tez çalışması, bundan sonra gerçekleştirilecek olan egzoz emisyonlarını azaltma ve NO_x dönüşüm oranı çalışmalarına katkı sağlayacaktır. Emdirme yöntemi ile kordiyerit yapılara farklı oranlarda farklı elementler ilave edilerek bir çok katalizör üretimleri yapılabilir. Üretilen katalizörler HC-SCR sistemine monte edilerek farklı sıcaklıklarda, farklı motor yüklerinde, farklı motor devirlerinde, farklı alan hızlarında ve farklı indirgeyiciler kullanılarak NO_x dönüşüm oranlarında verimli sonuçlar alınabilir.



KAYNAKÇA

- Akbal, O. (2013). *Ağır Ticari Taşıt Dizel Motoru SCR Sisteminin Sıcaklık Modellemesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Biswas, S., Verma, V., Schauer, J. J. and Sioutas, C. (2009) Chemical speciation of PM emissions from heavy-duty diesel vehicles equipped with diesel particulate filter (DPF) and selective catalytic reduction (SCR) retrofits, *Atmospheric Environment*, 43, 1917–1925.
- Bosch, (2005). *Emissions-Control Technology for Diesel Engines*, Robert Bosch GmbH, Germany.
- Burtscher, H. (2005). Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review. *Aerosol Sci* 36:896–932.
- Calabrese, J. L., Patchett, J. A., Grimston, K., Rice, G. W. and Davis, G. W. (2000). The influence of injector operating conditions on the performance of a urea–water.
- Can, F., Flura, A., Courtois X., Royer, S., Blanchard, G., Marecot, P., Duprez, D. 82 (2011). Role of the alumina surface properties on the ammonia production during the NO_x SCR with ethanol over Ag/Al₂O₃ catalysts. *Catalysis Today*, 164, 474-479.
- Caprotti, R., (1999). "Harm Free Use of Diesel Additives", *Automotive Engineering International*, 107:84-88.
- Casapu, M., Bernhard, A., Peitz, D., Mehring, M., Elsener, M., Kröcher, O. (2011). A Niobia-Ceria based multi-purpose catalyst for selective catalytic reduction of NO_x, urea hydrolysis and soot oxidation in diesel exhaust. *Applied Catalysis B: Environmental*, 103, 79–84.

- Chen, M. and Schirmer, K. (2003). A modelling approach to the design optimization of catalytic converters of I. C. engines, Proceedings of ICEF03: 2003 fall technical conference of the asme internal combustion engine division, ICEF2003-729.
- Chen, Z., Fan, C., Pang, L., Ming, S., Liu, P., Li, T. (2018). The influence of phosphorus on the catalytic properties, durability, sulfur resistance and kinetics of Cu-SSZ-13 for NO_x reduction by NH₃-SCR.
- Chi, J. N. and DaCosta, H. F. M., (2005). Modelling and Control of a Urea-SCR Aftertreatment System, SAE Technical Paper, 2005-01-0969.
- Climate Change, (2007). *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Valencia, Spain.
- Çalışkan, H. (2021). Use of Ethyl Alcohol – Adblue Mixture As a Reductant Agent in a SCR System at Low Temperature Conditions, Çukurova University.
- Dayı, R., Çelikten, İ. (2018). 2030 Yılına Kadar Türkiye’deki Motorlu Taşıt Sayılarının ve Emisyon Yükünün Tahmini. *14th International Combustion Symposium (INCOS2018)*.
- Demers, D. and Walters, G. (1999). Guide to Exhaust Emission Control Options, BAeSAME, Bristol.
- Deng, H., Yu, Y., He, H. (2016). Water Effect on Preparation of Ag/Al₂O₃ Catalyst for Reduction of NO_x by Ethanol. *The Journal of Physical Chemistry C*, 120, 24294–24301.
- Devarakonda, M., Parker, G., Johnson, J. H., Strots, V. and Santhanam, S. (2008). Modelbased estimation and control system development in an urea-SCR aftertreatment system, SAE-Worldcongress, 01-1324.

- Doleisch, H., Mayer, M., Gasser, M., Wanker, R. and Hauser, H. (2004). Case Study: Visual Analysis of Complex, Time-Dependent Simulation Results of a Diesel Exhaust System, Joint Eurographics – IEEE TCVG Symposium on Visualization.
- Englert, N. (2004). Fine particles and human health—a review of epidemiological studies. *Toxicol Lett* 149:235–242.
- Faiz, A., Weaver, C.S. and Walsh, P.W. (1996). Air Pollution from Motor Vehicles: Standarts and Texhnologies for Controlling Emissions, The World Bank, Washington.
- Forzatti, P. (2001). Present Status and Perspectives in De-NO_x SCR Catalysis. *Applied Catalysis A: General*, 222221–236.
- Franco, V., Kousoulidou, M., Muntean, M., Ntziachristos, L., Hausberger, S., Dilara, P. (2013). Road vehicle emission factors development a review. *Atmospheric Environmental*, 70, 84-37.
- Gill, S.S. (2012). *Controlling Diesel NOX & PM Emissions Using Fuel Components and Enhanced Aftertreatment Techniques*. Doctor of Philosophy, The University of Birmingham.
- Grewe, V., Dahlmann, K., Matthes, S. and Steinbrecht, W. (2012). Attributing ozone to NO_x emissions: Implications for climate mitigation measures, *Atmospheric Environment*, 59, 102-107.
- Gu, H., Chun, K.M., Song, S. (2015). The effects of hydrogen on the efficiency of NO_x reduction via hydrocarbon-selective catalytic reduction(HC-SCR) at low temperature using various reductants, *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, 9602-9610.

- Guangyan X., Jinzhu M., Guangzhi H., Yunbo Y., Hong H. (2017). An alumina-supported silver catalyst with high water tolerance for H₂ assisted C₃H₆- SCR of NO_x. *Applied Catalysis B: Environmental*, 207, 60–71.
- Hamada, H. and Haneda, M. (2012). A review of selective catalytic reduction of nitrogen oxides with hydrogen and carbon monoxide, *Applied Catalysis A: General*, 421–422, 1– 13.
- Hamill, C., Burch, R., Goguet, A., Rooney, D., Driss, H., Perov, L., Daous, M. (2014). Evaluation and mechanistic investigation of Au-Pd alloy catalyst for the hydrocarbon selective catalytic reduction(HC-SCR) of NO_x, *Applied Catalysis B: Environmental*, 147, 864-870.
- Hasan, A., Abu-Jrai, A.M., Al-Muhtaseb, A.H. (2017). Combustion, Performance and selective catalytic reduction of NO_x for a diesel engine operated with combined tri-fuel(H₂,CH₄ and conventional diesel), *Energy*, 119, 901-910.
- Hiroyuki, Y., Misawa, K., Suzuki, D., Tanaka, K., Matsumoto, J., Fujii, M. and Tanaka, K. (2011). Detailed analysis of diesel vehicle exhaust emissions: Nitrogen oxides, hydrocarbons and particulate size distributions, *Proceedings of the Combustion Institute*, 33, 2895–2902.
- Hoefl, I., Steude, K., Wrage, N. and Veldkamp, E. (2012). Response of nitrogen oxide emissions to grazer species and plant species composition in temperate agricultural grassland, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 151, 34– 43.
- Hoekman, S. K. and Robbins, C. (2012). Review of the effects of biodiesel on NO_x emissions, *Fuel Processing Technology*, 96, 237–249.
- Hsieh, M.F. and Wang, J. (2011). Development and experimental studies of a control-oriented SCR model for a two-catalyst urea-SCRsystem. *Control Engineering Practice*, 19: 409–422.

- Jeguirim, M., Tschamber, V., Brillhac, J. F. and Ehrburger, P. (2005). Oxidation mechanism of carbon black by NO₂: Effect of water vapour, *Fuel* 84, 1949-1956.
- Johansen, K., Dahl, S., Mogensen, G., Pehrson, S., Schramm, J. and Ivarsson, A. (2007). Novel base metal-palladium catalytic diesel filter coating with NO₂ reducing properties, Society of Automotive Engineers, 2007-01-1921.
- Jothithirumal, B., Jamesgunasekaran, E. (2012). Combined Impact of Biodiesel and Exhaust Gas Recirculation on NO_x Emissions in Di Diesel Engines. *Procedia Engineering*, 38, 1457-1466.
- Kagawa, J. (2002). Health effects of diesel exhaust emissions-a mixture of air pollutants of worldwide concern, *Toxicology*, 181-182, 349-353.
- Kampa, M. and Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution, *Environmental Pollution*, 151, 362-367.
- Karaman, B. (2023). *Antimon İlavesinin Gümüş Esaslı SCR Katalist ve NO_x Dönüşüm Performansı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Keskin, A. (2011). Dizel Partikül Filtrelerinde Rejenerasyon Yöntemleri, *Mühendis ve Makine* 52, 615 (54-61).
- Keskin, A., Sağiroğlu, S. (2010). Dizel Motorlardan Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Kontrol Yöntemleri. *Mühendis ve Makine*, 51, 606.
- Keskin, Z. (2019). *Metal Nano Partiküllerin Kullanımı ile Seçici Katalitik İndirgeme Sistemi Tasarlanması ve Test Edilmesi*. Doktora Tezi, Tarsus Üniversitesi.

- Keskin, A., Yaşar, A., Candemir, O. C., Özarslan, H. (2020). Influence of transition metal based SCR catalyst on the NO_x emissions of diesel engine at low exhaust gas temperature, *Fuel*, 273, 117785.
- Kittelson, D. B. (1998). Engines and nanoparticles: a review. *J Aerosol Sci* 29(5–6): 575–588.
- Koebel, M., Elsener, M. and Kleemann, M. (2000). Urea-SCR: A promising Technique to Reduce NO_x emissions from Automorive Diesel Engines, *Catalyst Today*, 59, 335-345.
- Komatsu, T., Tomokuni, K., Yamada, I. (2006). Outstanding low temperature HC-SCR of NO_x over platinum-group catalysts supported on mesoporous materials expecting diesel-auto emission regulation. *Catalysis Today*, 116, 244-249.
- Lee, S. J., Jeong, S. J., Kim, W. S. and Lee, C. B. (2008). Computational study on the effects of volume ratio of DOC/DPF and catalyst loading on the PM and NO_x emission control for heavy-duty diesel engines, *International Journal of Automotive Technology*, 9, 0-11.
- Lee, T., Park, J., Kwon, S., Lee, J. and Kim, J. (2013). Variability in operation-based NO_x emission factors with different test routes, and its effects on the real-driving emissions of light diesel vehicles, *Science of the Total Environment*, 461-462, 377–385.
- Lee, K., Choi, B., Lee, C., Oh, K. (2020). Effects of SiO₂/Al₂O₃ Ratio; Reaction Atmosphere and metal additive on de-NO_x Performance of HC-SCR over Cu based ZSM-5, *Journal of Industrial and Enginnering Chemistry*, 90132, 144.
- Li, X., Yang, R.T., Mo, J., Li, J., Hao, j. (2017). The poisoning effects of calcium on V₂O₅-WO₃/TiO₂ catalyst for the SCR reaction: Comparison of different forms of calcium, *Molecular Catalysis*, 434, 16-24.

- Linde, D. R. (2007). CRC Handbook of Chemistry and Physics, Taylor & Francis, Boca Rato, 87th ed..
- Liu, G., Han, D., Cheng, J., Feng, Y., Quan, W., Yang, L., Saito, K. (2019). Performance of C₂H₄ reductant in Activated-carbon-supported MnO_x-based SCR catalyst at low temperature, *Energies*, 12(1), 123.
- Liu, S.M., Guo, R., Wang, S., Pan, W., Sun, P., Li, S.W. (2017). Deactivation mechanism of Ca on Ce/TiO₂ catalyst for selective catalytic reduction of NO_x with NH₃, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 78, 290-298.
- Majewski, W. A. and Khair, M. K. (2006). Diesel emissions and their control, Warrendale: SAE International, ISBN 10: 0-7680-0674-0.
- MEB, (2011). Motorlu Araçlar Teknolojisi, Egzoz Emisyon Kontrolü
- Michael, R.A., Kleinman, M.T. (2000). Incidence and apparent health significance of brief airborne particle excursions. *Aerosol Sci Technol* 32: 93–105
- More, M.P., Jagtop, N., Kulal, B.A., Dongare, M.K., Umberkar, S.B. (2014). Magnesia doped Ag/Al₂O₃-Sulfur tolerant catalyst for low temperature HC-SCR of NO_x , *Applied Catalysis B:Environmental*, 144, 408-415.
- More, M.P., Nguyen, D.L., Granger, P., Dujardin, C., Dongare, M.K., Umbarkar, S.B. (2015). Activation by pretreatment of Ag-Au/Al₂O₃ bimetallic catalyst to improve low temperature HC-SCR of NO_x for lean burn engine exhaust, *Applied Catalysis: Environmental*, 174-175, 145-156.
- Moreno-Tost, R., Oliveira, M.L., Eliche-Quesada, D., Jimenez, J., Limenez-Lopez, A., Rodriguez-Castellon, E. (2008). Evaluation of Cu-PPHs as active catalysts for the SCR process to control NO_x emissions from heavy duty diesel vehicles. *Chemosphere*, 72, 608-615.

- Mrad, R., Aissat, A., Cousin, R., Courcot, D. and Siffert, S. (2015). Catalysts for NO_x Selective Catalytic Reduction by Hydrocarbons (HC-SCR). *Applied Catalysis A: General*, 504(x): 542–548.
- Mutlu, İ. ve Keskin, A. (2011). Dizel Partikül Filtreleri ve Malzemeleri, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey.
- Müller, W., Ölschlegel, H., Schäfer, A., Hakim, N. et al. (2003). "Selective Catalytic Reduction- Europe's NO_x Reduction Technology," SAE Technical Paper 2003-01-2304.
- Nakajima, F. (1991). Air pollution control with catalysis past, present, and future. *Catalysis Today*, 10, 1-20.
- Oh, T. Y., Ko, J. H., Seong, H. J. and Min, B. S. (2004). Design optimization of the mixing chamber in SCR system for marine diesel engine, 6th International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines, 6, 87–92.
- Payri, F., Bermudez, V.R., Tormos, B., Linares, W.G. (2009). Hydrocarbonemissions speciation in diesel and biodiesel exhausts. *Atmos. Environ.* 43: 1273–1279.
- Pietikäinen, M., Väliheikki, A., Orivisjärvi, K., Kolli, T., Huuhtanen, M., Niemi, S., Virtanen, S., Karhu, T., Keiski, R.L. (2015). Particle and NO_x Emissionsof a non-road diesel engine with an SCR unit:the effect of fuel. *Renewable Energy*, 77, 377-385.
- Piumetti, M., Bensaïd, S., Fino, D., Russo, N. (2015). Catalysis in diesel engine NO_x aftertreatment: a review. *Catalysis, Structure & Reactivity*. 1, 155-173.

- Prasad, R. and Bella, V. R. (2010). A Review on Diesel Soot Emission, its Effect and Control, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 5 (2) , 69 – 86.
- Pulkrabek, W.W., (2004). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, Second Edition, Pearson Prentice-Hall, New Jersey.
- Raub, J. A., (1999). Health effects of exposure to ambient carbon monoxide, *Chemosphere: Global Change Science*, 1, 331-351.
- Rauch, D., Albrecht, G., Kubinski, D., Moos, R. (2015). A microwave-based method to monitor the ammonia loading of a vanadia-based SCR catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 165, 36-42.
- Reşitoğlu, İ.A. (2016). *Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonların Kontrol Edilmesine Yönelik Fe₂O₃ Esaslı Katalizörlerin Kullanıldığı DOC ve SCR Sistemlerinin Geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- Reşitoğlu, İ. A., Altınışık, K. and Keskin, A. (2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Techn Environ Policy*, 17: 15–27.
- Sampara, C. S. (2008). *Global Reaction Kinetics for Oxidation and Storage in Diesel Oxidation Catalysts*, Degree of Doctor of Philosophy, University of Michigan.
- Sampara, C. S., Bissett, E. J., Chmielewski, M. and Assanis, D. (2007). Global kinetics for platinum diesel oxidation catalysts, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46, 7993-8003.
- Sawatmongkhon, B. (2011). *Modelling of Catalytic Aftertreatment of NO_x Emissions Using Hydrocarbon as A Redutant*. The University of Birmingham, Doctor of Philosophy.

- Schaber, P., Colson, J., Higgins, S., Thielen, D., Anspach, B. and Brauer, J. (2004). Thermal decomposition (pyrolysis) of urea in an open reaction vessel, *Thermochimica Acta*, 424, 131–142.
- Selas, M. (2010). *Exhaust Gas Cleaning with Selective Catalytic Reduction (SCR)*. Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- Shan, W., Liu, F., He, H., Shi, X., Zhang, C. (2012). An environmentally-benign CeO₂ - TiO₂ catalyst for the selective catalytic reduction of NO_x with NH₃ in simulated diesel exhaust, *Catalysis Today*, 184, 160-165.
- Shost, M., Noetzel, J., Wu, M. C., Sugiarto, T., Bordewyk, T., Fulks, G. and Fisher, G. B. (2008). Monitoring, Feedback and Control of Urea SCR Dosing Systems for NO_x Reduction: Utilizing an Embedded Model and Ammonia Sensing, SAE World Congress, 2008-01-1325.
- Sitshebo, S.W.T. (2010). *HC-SCR of NO_x Emissions Over Ag-Al₂O₃ Catalysts Using Diesel Fuel as A Reductant*. Doctor of Philosophy, The University of Birmingham.
- Sivaloganathan, S. (1998). Case report: death from diesel fumes. *J. Clin.Forensic Med.* 5: 138–139.
- Sluder, S. C., Storey, J., Lewis, S. and Lewis, L. (2005). Low Temperature Urea Decomposition and SCR Performance, SAE Technical Paper, 2005-01-1858.
- Soylu, Ş. (2009). "Toplu Taşımada Kullanılan Otobüslerden Kaynaklanan Emisyonların Analizi, Seyir Çevrimlerinin Oluşturulması ve Emisyon Yayılımlarının Modellenmesi", T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ve Temsa Ar&Ge Tek. A.Ş. Destekli San-Tez Projesi 6. Ay Raporu.

- Strauss, S., Wasil, J.R. and Earnest G.S. (2004). Carbon monoxide emissions from marine outboard engines, Society of Automotive Engineers, 2004-32-0011.
- Sun, W. H., Boyle, J. M., Carmignani, P. G. and Sassenrath, J. M. (2001). Small Scale Test Results From New Selective Catalytic NO_x Reduction Process Using Urea, MEGA Symposium, Chicago.
- Şahbaz, E. (2019). *HC-SCR sisteminde Ag/Kordiyerit Katalistlerine Cu İlavesinin Ca Zehirlenmesine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Thomas, C. (2015). On an addition promoting role of hydrogen in the H₂-assisted C₃H₆-SCR of NO_x on Ag/Al₂O₃; A lowering of the temperature of formation-decomposition of organo-NO_x intermediates, Applied Catalysis B: Environmental, 162, 454-462.
- Twigg, M. V. (2011). Catalytic control of emissions from cars, Catalysis Today, 163, 33–41.
- Utell, M.J. (1994). Public Health Risks From Motor Vehicle Emmissions, Annu Rev Public Health, 15, 157-178.
- Walsh, M. P. (2011). Mobile Source Related Air Pollution: Effects on Health and the Environment, Encyclopedia of Environmental Health, 803-809.
- Wang, J., Liu, Z., Feng, G., Chang, L. and Bao, W. (2012). In situ synthesis of CuSAPO-34/cordierite and its selective catalytic reduction of nitrogen oxides in vehicle exhaust: The effect of HF, Fuel, 109, 101-109.
- Wang, T. J., Baek, S. W. and Lee, J. H. (2008). Kinetic Parameter Estimation of a Diesel Oxidation Catalyst under Actual Vehicle Operating Conditions, Ind. Eng. Chem. Res., 47, 2528-2537.

- Web-1 Vikipedi, (2023). 7 Mayıs 2023 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/Dizel_motor adresinden erişilmiştir.
- Web-2 Vikipedi, (2023). 7 Mayıs 2023 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/Dizel_motor adresinden erişilmiştir.
- Web-3 Çeyrek Mühendis, (2023). 8 Mayıs 2023 tarihinde <https://www.ceyrekmuhendis.com/otto-cevrimi-benzin-ve-dizel-cevrimi/> adresinden erişilmiştir.
- Web-4 Vikipedi, (2023). 9 Mayıs 2023 tarihinde <https://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrokarbon> adresinden erişilmiştir.
- Web-5 Vikipedi, (2023). 9 Mayıs 2023 tarihinde <https://tr.wikipedia.org/wiki/Karbonmonoksit> adresinden erişilmiştir.
- Web-6 Vikipedi, (2023). 11 Mayıs 2023 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCk%C3%BCrt_dioksit adresinden erişilmiştir.
- Web-7 European Comission, (2023). 14 Mayıs 2023 tarihinde <http://ec.europa.eu/environment/air/transport/road.htm> adresinden erişilmiştir.
- Web-8 Chem, (2023). 15 Mayıs 2023 tarihinde <http://www.laiko.net/pdlistone/listfirst/2320964/1.html> adresinden erişilmiştir.
- Web-9 Otomobil Teknolojisi, (2023). 18 Mayıs 2023 tarihinde <https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/02/egr-nedir-nasil-calisir-animasyonlu-anlatim.html> adresinden erişilmiştir.
- Willi, R. (1996). Low Temperature Selective Catalytic Reaction Of NO_x Catalytic Behavior an Kinetic Modeling, Degree of Doctor of Technical Science, Swisas Federal Institutue of Technology Zurich.

- Wu, C. W., Chen, R. H., Pu, J. Y. and Lin, T. H. (2004). The influence of air–fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline-blended fuels, *Atmospheric Environment*, 38, 7093–7100.
- Xie, K., Leistner, K., Wijayanti, K., Kumar, A., Kamasamudram, K., Olsson, L. (2017). Influence of phosphorus on Cu-SSZ-13 for selective catalytic reduction of NO_x by ammonia.
- Xie, K., Wang, A., Woo, J., Kumar, A., Kamasamudram, K., Olsson, L. (2019). Deactivation of Cu-SSZ-13 SCR Catalysts by Vapor-Phase Phosphorus Exposure.
- Yim, S. D., Kim, S. J., Baik, J. H., Nam, I. S., Mok, Y. S., Lee, J. H., Cho, B. K. and Oh, S. H. (2004). Decomposition of Urea into NH₃ for the SCR Process, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 43, 4856-4863.
- Yu, B. K. and Kim, M. Y. (2013). Modeling the selective catalytic reduction of NO_x by ammonia over a Vanadia-based catalyst from heavy duty diesel exhaust gases, *Applied Thermal Engineering*, 50, 152–158.
- Yu, Y., Zhao, J., Yan, Y., Han, X., He, H. (2013). A cyclic reaction pathway triggered by ammonia for the selective catalytic reduction of NO_x by ethanol over Ag/Al₂O₃. *Applied Catalysis B: Environmental*. 136– 137, 103–111.
- Zahaf, R., Jung, J.W., Coker, Z., Kim, S., Choi, T.Y., Lee, D. (2015). Pt catalyst over SiO₂ and Al₂O₃ supports synthesized by aerosol method for HC-SCR de-NO_x Application, *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 2409-2421.
- Zervas, E. (2008). Impact of different configurations of a Diesel oxidation catalyst on the CO and HC tail-pipe emissions of a Euro 4 passenger car, *Applied Thermal Engineering*, 28, 962–966.
- Zheng, M. and Banerjee, S. (2009). Diesel oxidation catalyst and particulate filter modeling in active – Flow configurations, *Applied Thermal Engineering*, 29, 3021-3035.

Zheng, Y., Harold, M.P., Luss, D. (2016). Effects of CO, H₂ and C₃H₆ on Cu-SSZ-13 catalyzed NH₃-SCR. *Catalysis Today*, 264, 44-54.

Zheng, Y., Wang Y., Hongmanorom, P., Wang, Z., Zhang, S., Chen, J., Zhong, Q., Kawi, S. (2020). Active sites adjustable phosphorus promoted CeO₂/TiO₂ catalysts for selective catalytic reduction of NO_x by NH₃.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Özkan KAYA

Doğum Yeri:

Doğum Tarihi:

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Otomotiv Öğretmenliği	Fırat Üniveritesi	2003-2007
Lisans	Makine Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniveritesi	2017-2019
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Tarsus Üniversitesi	2020-2023

Görevler:

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Stajyer Teknisyen	Koluman Motorlu Araçlar A.Ş.	2005-2006
Araç Muayene Teknisyeni	Tüvtürk	2009-2011
İstasyon Amir Yardımcısı	Tüvtürk	2011-2013
İstasyon Amiri	Tüvtürk	2013-Devam Ediyor
C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı	Tüvtürk	2014-2018
B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı	Tüvtürk	2018-Devam Ediyor