



**DİZEL MOTORLARDA KİRLETİCİ EMİSYONLARIN
DÜŞÜRÜLMESİ İÇİN EGZOZ SİSTEMİNİN
TASARIMI VE ANALİZİ**

Nevfel Yunus COŞKUN

**Yüksek Lisans Tezi
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Yasin VAROL
OCAK-2017**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORLARDA KİRLETİCİ EMİSYONLARIN DÜŞÜRÜLMESİ İÇİN
EGZOZ SİSTEMİNİN TASARIMI VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Nevfel Yunus COŞKUN
(141136102)

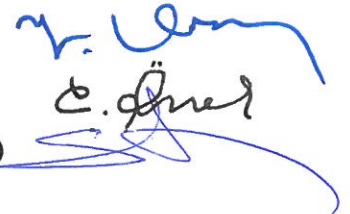
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:23.12.2016

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:10.01.2017

Danışmanı: Prof. Dr. Yasin VAROL (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Cengiz ÖNER (F.Ü)

Doç. Dr. Şehmus ALTUN (B.Ü)



OCAK-2017

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında dizel motorlar için egzoz sisteminin tasarımı yapılarak, dizel partikül filtresinin farklı özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, otomotiv sektöründe büyük öneme sahip olan ve çevre ve insan sağlığını doğrudan etkileyen kirletici emisyonların düşürülmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulguların otomotiv sektöründe ki emisyon sorununa bir çözüm sunacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmaması sırasında bilgisi ve yol göstericiliğiyle çalışmalarına ışık tutan danışman hocam Prof. Dr. Yasin VAROL' a, kıymetli hocam Arş. Gör. Dr. Müjdat FIRAT'a ve Teknoloji Fakültesi Enerji laboratuvarı ailesine teşekkür ederim. Ayrıca, öğrenim hayatım boyunca bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Reşat COŞKUN'a, annem Halime COŞKUN'a ve kardeşlerim Esra Nil Nur ve Hayri Mustafa'ya teşekkürlerimi sunarım.

Nevfel Yunus COŞKUN

Elazığ - 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TABLolar LİSTESİ	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
KISALTMALAR LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Hava kirliliği.....	8
1.2. Hava kirliliği nedenleri.....	8
1.2.1. Yapay etmenler.....	9
1.2.2. Doğal etmenler	9
1.3. Zararlı egzoz emisyonları	9
1.3.1. Araçlardan kaynaklanan zararlı emisyonlar ve özellikleri	10
1.3.2. Hidrokarbon (HC) emisyonu	11
1.3.3. Azotoksit (NO _x) emisyonu	11
1.3.4. Karbonmonoksit (CO) emisyonu	12
1.3.5. Partikül madde ve is emisyonları	14

1.3.6. Karbondioksit (CO ₂) emisyonu	15
1.3.7. Diğer emisyonlar	16
1.4. Egzoz emisyon standartları.....	16
1.5. Emisyon standartlarının düzenlenmesinde görev alan kuruluşlar	17
1.5.1. Motorlu araçların egzoz emisyon denetimleri	17
1.5.2. Türkiye’ deki otomotiv sektöründe yapılan uygulamalar	17
1.5.3. Euro standartları	18
1.6. Dizel motorlu araçlarda zararlı emisyonlar için alınan önlemler	20
1.6.1. Dizel oksidasyon katalisti (DOC).....	20
1.6.2. Dizel partikül filtre (DPF)	21
1.6.3. Seçici katalitik indirgeme (SCR).....	23
2. MATERYAL VE METOT	25
3. BULGULAR	36
3.1. Farklı DPF malzemeleri için grafiksel bulgular	36
3.2. Farklı DPF kanal tipleri için bulgular.....	67
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	86
5. ÖNERİLER.....	88
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ	94

ÖZET

Dizel araç motorlarının yüksek verimi, düşük kullanım maliyetleri, yüksek dayanımı ve yakıt tüketiminde iyi olması dizel motorlu araçlara talebi arttırmıştır. Ancak dizel motorlu taşıtların artan kullanımına bağlı hava kirliliği de artmaktadır. Bu yüzden hava kirliliğine neden olan emisyonların düşürülmesi için çalışmaların geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Dizel oksidasyon katalisti (DOC) ve dizel partikül filtresi (DPF) birlikte kullanıldığında yüksek verim elde edilir. Fakat DPF rejenerasyonu için kullanılan yöntemler maliyeti artırmaktadır. Dolayısıyla günümüz taşıtlarında kullanılan DOC ve DPF gibi emisyon azaltıcı sistemler yüksek bir başarı ile çalışmalarıyla birlikte bu sistemlerin detaylı bir şekilde incelenmesi ve daha da geliştirilmeleri açısından önemlidir. Bu çalışmada DOC ve DPF incelenerek daha da geliştirilmesi için bir egzoz sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu egzoz sisteminin parçalarından dizel partikül filtresinin yapısı bu çalışma kapsamında özellikle araştırılmıştır. Öncelikle, kare hücreli kanallı DPF'nin Alüminyum titanat, Silikon karbür ve Kordierit malzemeleriyle kaplanması ve Alüminyum titanat ile kaplanmış DPF'nin hexahex, petek ve kare kanal tipleri için ısı transferi, akışkanlar dinamiği ve emisyon değerleri detaylı olarak incelenmiştir. DPF malzeme ve şekil parametrelerinin sayısal analizleri AVL FIRE programında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; farklı DPF malzemesi ve farklı geometrik kanalların sıcaklık, basınç gibi değerlerini önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Bu değerlerin değişimi de partikül madde, kül birikimi, karbonmonoksit, karbondioksit ve azotoksit oranlarını değiştirmiştir. Silikon karbür malzemesiyle kaplı DPF'nin emisyon değerleri diğer malzemelere göre oldukça iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca farklı şekillerdeki DPF'nin emisyon ve akış değerlerine bakıldığında, hexahex şekilli DPF'deki birikimin ve emisyon değerlerinin daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Emisyon kontrol, Dizel motorlar, Dizel Partikül Filtresi, Egzoz Sistemi

SUMMARY

Design and Analysis of Exhaust System for Decreasing Pollution Emissions in Diesel Engines

Diesel vehicle engines have increased demand for diesel engines, which have high efficiency, low operating costs, high strength and good fuel consumption. However, air pollution due to the increased use of diesel motor vehicles is increasing. Therefore, it has become necessary to develop studies to reduce the emissions that cause air pollution.

High efficiency is obtained when the diesel oxidation catalyst (DOC) and the diesel particulate filter (DPF) are used together. However, the methods used for DPF regeneration are costly and increasing. Therefore, emission reduction systems such as DOC and DPF used in today's vehicles are very important in terms of detailed study and further development of these systems with high success. In this study, an exhaust system was designed for further development by examining DOC and DPF. The structure of the diesel particulate filter of this designed exhaust system has been specifically investigated in the scope of this study. Firstly, heat transfer, fluid dynamics and emission values of hexafluoroethylene, hexafluoroethylene and square channel types of DPF coated with aluminum titanate, silicon carbide and cordierite materials coated with square cell channel and coated with aluminum titanate have been examined in detail. Numerical analyzes of DPF material and shape parameters were carried out in the AVL FIRE program.

Obtained results; It has been observed that the temperature, pressure, etc. of different DPF materials and different geometric channels have changed significantly. Changes in these values have also changed the rates of particulate matter, ash accumulation, carbon monoxide, carbon dioxide and nitrogen oxides. The emission values of DPF covered with silicon carbide material were found to be quite good compared to other materials. Furthermore, when the emission and flow values of the DPF of different shapes are examined, it is observed that the accumulation and emission values in the hexahex-shaped DPF are less.

Keywords: Emission control, Diesel engines, Diesel Particulate Filter, Exhaust System

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Zararlı egzoz emisyonlarının sağlık için tehlike sınırları [24].	9
Tablo 1.2. Otomobiller için Euro emisyon standartları [41].	18
Tablo 1.3. < 1305 kg ağırlığındaki hafif ticari araçlar için Euro emisyon standartları [41].	19
Tablo 1.4. 1305kg-1760kg ağırlıkları arasındaki hafif ticari taşıtlar için Euro emisyon standartları[41].	19
Tablo 1.5. Maksimum 3500 kg ağırlığındaki hafif ticari taşıtlar için Euro emisyon standartları [41].	19
Tablo 2.1. Genel sistem parametreleri.....	26
Tablo 2.2. Egzoz sistemi parçaları ve uzunlukları.....	28
Şekil 2.3. Egzoz sistemi modeli.....	28
Tablo 2.3. Emisyonların başlangıç değerleri.....	30
Tablo 2.4. Oksidasyon katalistinin zellikleri.....	31
Tablo 2.5. Basınç düşüş denkleminde ki ifadeler.....	32
Tablo 2.6. Kurum parçacık denkleminin ifadeleri.....	32
Tablo 2.7. Rejenerasyon denkleminin ifadeleri.....	33
Tablo 2.8. DPF'nin üç farklı malzeme için simülasyon değerleri	34

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Partikül maddenin içeriği	15
Şekil 1.2. Dünyada uygulanan emisyon standartları [37].....	16
Şekil 1.3. Egzoz sistemi şematik görünümü [47].	22
Şekil 1.4. DPF ve DOC sisteminin şematik görünümü [48].	22
Şekil 1.5. SCR sistemi ve kimyasal reaksiyonları [33].	24
Şekil 2.1. AVL FIRE genel sistem verileri penceresi.....	26
Şekil 2.2. Farklı dizel araçların egzoz sistemleri (a) Skoda 1.6cc dizel superb 2014 (b) Toyota Hilux 2.5cc dizel 4x4 2014 (c) Isuzu 2.5cc Dmax dizel 4x4 2014.....	27
Şekil 2.3. Egzoz sistemi modeli	28
Şekil 2.4. Egzoz sistemi mesh yapısı.....	29
Şekil 2.5. DPF mesh yapısı.....	29
Şekil 2.6. Kurum parçacıklarının birikimi.....	32
Şekil 2.7. Alüminyum titanat için 3 farklı şekil modeli a) hexahex şekil b) petek tip c) kare tip	35
Şekil 3.1. Farklı malzemeler için ortalama akış sıcaklığı.....	36
Şekil 3.2. Farklı malzemeler için DPF ortalama yüzey sıcaklığı	37
Şekil 3.3. Farklı malzemeler için ortalama katı gradienti sıcaklığı	37
Şekil 3.4. Farklı malzemeler için ortalama akış basıncı	38
Şekil 3.5. Farklı malzemeler için DPF basınç düşüşü	38
Şekil 3.6. Farklı malzemeler için ortalama DPF kanal giriş basınç düşüşü	39
Şekil 3.7. Farklı malzemeler için DPF çıkış basıncı düşümü.....	39
Şekil 3.8. Farklı malzemeler için DPF duvar basınç düşüşü	40
Şekil 3.9. Farklı malzemeler için DPF spesifik partikül kütlesi.....	41
Şekil 3.10. Farklı malzemeler için DPF toplam partikül kütlesi	42
Şekil 3.11. Farklı malzemeler için ortalama CO çıkış kütle akışı	43
Şekil 3.12. Farklı malzemeler için ortalama CO kütle akışı.....	43
Şekil 3.13. Farklı malzemeler için ortalama CO2 çıkış kütle akışı	44
Şekil 3.14. Farklı malzemeler için ortalama CO2 kütle akışı.....	44
Şekil 3.15. Farklı malzemeler için ortalama NO çıkış kütle akışı.....	45
Şekil 3.16. Farklı malzemeler için ortalama NO kütle akışı	45

Şekil 3.17. Alüminyum titanat için 150 sn'de akış ve sıcaklık sonuçları.....	48
Şekil 3.18. Alüminyum titanat için 500 sn'de akış ve sıcaklık sonuçları.....	49
Şekil 3.19. Kordierit için 150 sn'de akış ve sıcaklık sonuçları	51
Şekil 3.20. Kordierit için 500 sn'de akış ve sıcaklık sonuçları	53
Şekil 3.21. Silikon karbür için 150 sn'de akış ve sıcaklık sonuçları	55
Şekil 3.22. Silikon karbür için 500 sn'de akış ve sıcaklık sonuçları	57
Şekil 3.23. Alüminyum titanat için 150 sn'de emisyon sonuçları.....	59
Şekil 3.24. Alüminyum titanat için 500 sn'de emisyon sonuçları.....	60
Şekil 3.25. Kordierit için 150 sn'de emisyon sonuçlar.....	62
Şekil 3.26. Kordierit için 500 sn'de emisyon sonuçları	63
Şekil 3.27. Silikon karbür için 150 sn'de emisyon sonuçları	65
Şekil 3.28. Silikon karbür için 500 sn'de emisyon sonuçları	66
Şekil 3.29. Alüminyum titanat için 3 farklı şekil modeli a) hexahex şekil b) petek tip c) kare tip	67
Şekil 3.30. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama akış sıcaklığı	68
Şekil 3.31. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF ortalama yüzey sıcaklığı.....	68
Şekil 3.32. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama katı gradienti sıcaklığı	69
Şekil 3.33. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama akış basıncı	69
Şekil 3.34. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF basınç düşüşü.....	70
Şekil 3.35. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF kanal giriş basınç düşüşü.....	70
Şekil 3.36. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF çıkış basıncı düşümü	71
Şekil 3.37. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF duvar basınç düşüşü	71
Şekil 3.38. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF spesifik partikül kütlesi	72
Şekil 3.39. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF toplam partikül kütlesi.....	73
Şekil 3.40. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama CO çıkış kütle akışı.....	74
Şekil 3.41. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama CO kütle akışı	74
Şekil 3.42. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama CO ₂ çıkış kütle akışı.....	75
Şekil 3.43. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama CO ₂ kütle akışı	75
Şekil 3.44. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama NO çıkış kütle akışı	76
Şekil 3.45. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama NO kütle akışı.....	76
Şekil 3.46. Alüminyum titanatın hexahex DPF şekli için akış ve sıcaklık sonuçları	78
Şekil 3.47. Alüminyum titanatın petek DPF şekli için akış ve sıcaklık sonuçları.....	79
Şekil 3.48. Alüminyum titanatın kare DPF şekli için akış ve sıcaklık sonuçları	81

Şekil 3.49. Alüminyum titanatın hexahex DPF şekli için emisyon sonuçları	82
Şekil 3.50. Alüminyum titanatın petek DPF şekli için emisyon sonuçları.....	83
Şekil 3.51. Alüminyum titanatın kare DPF şekli için emisyon sonuçları	84



KISALTMALAR LİSTESİ

AT	:Alüminyum Titanat
CH_x	:n-Butan
CO	: Karbon Monoksit
CO₂	:Karbondioksit
Crd	:Kordierit
DOC	:Dizel Oksidasyon Katalisti
DPF	:Dizel Partikül Filtresi
H	: Hidrojen
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HC	: Hidrokarbon
H₂O	:Su
KMA	: Krank Mili Açısı
N₂	:Azot
NH₃	:Amonyak
NO₂	:Azotdioksit
NO_x	: Azot Oksit
O₂	: Oksijen
PM	: Partikül Madde
PPM	:mg çözünen / kg veya litre çözelti
SCR	:Seçici Katalitik İndirgeme
SiC	:Silisyum Karbür

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışıyla artan enerji tüketimi günümüzde en önemli bir sorun haline gelen çevre ve hava kirliliğinin daha da artmasına neden olmuştur. Bilindiği gibi; dünya enerji tüketiminin önemli bir kısmı petrol kömür ve doğal gaz gibi fosil kaynaklardan karşılandığı göz önüne alındığında bu kaynakların enerji üretiminde kullanımının azaltılması veya daha etkin değerlendirilmesi çevre ve hava kirliliği sorunlarına olumlu katkıda bulunacaktır. Fosil enerji kaynaklarından olan petrolden elde edilen yakıtlar çoğunlukla içten yanmalı motorlarda kullanılmakta ve bunların, bu motorlarda kullanılması sonucu yüksek miktarda zararlı egzoz emisyonları oluşmaktadır. İçten yanmalı motorların güç kaynağı olarak kullanıldığı motor sayısı da artmaktadır. Bunlardan son zamanlarda dizel motorlu araç sayısı, benzinli araç sayısından daha fazla olduğu artan dizel yakıt tüketiminden anlaşılmaktadır. Dizel motorlar benzinli motorlara göre yüksek miktarda NO_x, PM emisyonları salmaktadır. Bu iki emisyonu birlikte düşürmek zor olduğundan her ikisi için ayrı ayrı teknolojiler geliştirilmiştir.

Yaşadığımız çevreyi en çok etkileyen emisyon sorunlarının çözümünde, egzoz sistemleri çevreye verilen tahribatı en aza indirmeye yardımcı olan sistemdir. Bu sistemlerin, artan araç sayısına bağlı olarak sürekli geliştirilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı otomotiv sektörünün üzerinde çalıştığı temel konular motor performansı, yakıt tüketimi ve kirletici emisyonların azaltılması olarak temel başlıklar halinde sıralanabilir. Otomotiv sektöründeki üretici firmalar bu konular üzerinde ciddi ARGE çalışmaları yapmakta ve yeni geliştirilen sistemleri deneysel ve sayısal olarak test etmektedir. Bu konulardan belki de en önemlisi hiç şüphesiz kirletici emisyonların düşürülmesidir. Çünkü kirletici emisyonlar otomotiv sektörünün sorunu olmasının yanında çevre ve insan sağlığını tehdit eden konularında başında gelmektedir. Son yıllarda oldukça zorlaşan emisyon kriterlerine uygun taşıt üretmek zorlaşmakta ve bu konu için çözümler aranmaktadır. Kirletici emisyonlar motorda meydana gelen yanma sonucu oluşan bileşenlerdir. Bunların düşürülmesi ve yok edilmesi için motor tasarımından yakıt enjeksiyon sistemine kadar bir çok konu üzerinde çalışma yapılmış ve konularda belirli bir doygunluğa ulaşılmıştır. Çalışmaların daha az olduğu ve son yıllarda gündeme gelen emisyon skandallarıyla daha fazla ilgi çeken egzoz sistemi tasarımı günümüzde önemli konulardan biri haline gelmiştir.

Egzoz sisteminin genel tasarımı ve boyutlandırılması, DOC, SCR, DPF vb. elemanların kullanılması ve bunların yeniden tasarlanması kirletici emisyonların düşürülmesi için oldukça önemlidir.

Dizel motorlu taşıtlarda kullanılan egzoz sistemlerinin genel olarak geliştirilmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır[1]. Bu çalışmalar kapsamında, egzoz sisteminin geometrik şekli, parçaların yerleşimi, sıralaması ve farklı malzemelerle kaplanması ya da farklı kanal tiplerinin kullanılması incelenmiştir. Bu çalışmalarla egzoz sistemi verimli hale getirilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Konu üzerinde çalışan araştırmacılardan Keskin [1], yapmış olduğu derleme çalışmasında dizel motorlarında partikül madde (PM) emisyon kontrolü ve gelişmeleri üzerine çalışmıştır. Bu çalışmanın sonucunda dizel motorlu araçların dizel motorlarının termal verimlerinin yüksek olması sebebiyle, benzin motorlu araçlardan daha az karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbon (HC) çıkarttıkları belirlenmiştir. Fakat PM ve azotoksit (NO_x) emisyonları hala yüksek olduğu görülmüştür. Bir oksidasyon katalisti dizel partikülünün çözülebilir organik bölümünü (SOF) %90' a kadarını azaltmaktadır. Toplam partikülü oluşturan bileşenlere bağlı olarak partikül emisyonlarının %25-50' sini bir oksidasyon katalisti düşürebilmektedir.

DPF'lerin biriktirme verimleri kütleli olarak %30-90 arasında değişmektedir, ancak çoğu DPF'ler son derece ince partikülleri tutabilmesinden dolayı %99' un üstünde başarı sağlamaktadır. Çalışma sonucunda, günümüzde DPF'lerin yaygın olarak silikon karbür ve kordieritten yapılmakla birlikte sinterlenmiş metal ve daha farklı malzemelerin geliştirildiği sonucuna varılmıştır.

Akbal [2] seçici katalitik indirgeme (SCR)'de sistemin ortalama sıcaklık değerlerini yansıtan bir model oluşturmuştur ve Matlab/Simulink'de çözümlenmiştir. Çalışması esnasında incelenen ve üzerinde sıcaklık testleri yapılan motor, Ford firmasının Ecotorq motorudur. Bu çalışmada yapılan sıcaklık ölçüm grafikleri incelendiğinde, egzoz akış debisi arttıkça sıcaklığın yükseldiği görülmüştür. Buna bağlı olarak NO emisyonların oluşumu artmaktadır ve bu emisyonları azaltmak için ilk olarak silindir içi sıcaklıkların azaltılması gerekmektedir. Ancak bu yeterli olmadığı için SCR sistemine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

Kumar vd. [3] tek silindirli dizel motorun Jatropa biyodizel yakıtlı ile çalışmasında NO_x'in azaltılması için platinyum/cordierite malzemeli katalitiğin etkileri üzerine çalışmışlardır.

Dizel bir aracın herhangi bir aksamı değişmeden jatrpha biyodizel mevcut alternatif yakıt olarak kullanması sonucunda dizel motor biyodizelle çok iyi bir performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Demiröz [4] SCR sisteminin Ford cargo’lardaki egzoz emisyonlarının regülasyonlarını, düzenlemeleri, azot oksit (NO_x) oluşumu, diğer emisyon indirgeme yöntemleri ve seçici katalitik indirgeme sistemindeki kimyasal reaksiyonları incelemiştir. Çalışma, Ford Otosan’ın 9 lt Ecotorq ağır dizel motoru üzerinde Gölcük fabrika test merkezi dinamometresinde gerçekleştirmiştir. 25 °C oda sıcaklığında, motora giren havayı 101 kPa seviyesinde tutmuş ve nemi %50’lerde sabitlenmiiştir. Ayrıca motor türbininin karşı basıncını 230 mbar’da sabitleyerek bu testi yapmiiştir. Bu testin sonunda deneysel grafiklere ulaşmiiştir. Sonuçlara göre farklı motor torkları sabit tutularak farklı 5 motor devri için (rpm) SCR katalistinin bağlı olsa da, olmasa da motor devri arttıkça NO_x debisinin arttığını gzlemlemiiştir. Fakat SCR katalistinin kullanımında, diğer duruma göre NO_x miktarının ciddi derecede azaldığını grafikleriyle belirtmiiştir.

Kumar vd. [5] tek silindirli dizel motorda SCR kullanarak DeNO_x verimliliğini Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile araştırmiişlardır. Ayrıca indirgeme maddesi olarak amonyak (NH_3) kullanmiişlardır. Simülasyon çalışmalarını doğrulama amaçlı, AVL FIRE programını kullanmiişlardır.

Çalışma sonucunda 0.2 ve 0.4 kg/sa debi amonyağın tüm yük şartlarında maksimum NO_x emisyonlarını dönüştürmek için yeterli olmadığını bulunmuşlardır. Ancak optimum egzoz gaz sıcaklığını 320 °C’de olduğunu grmiişlerdir. Ayrıca 0.6 kg/sa maksimum amonyak debisinde ve %50 yk için %56 NO_x dönüşümü elde etmişlerdir.

Keskin ve Sağıroğlu [6] dizel motor egzoz emisyonlarının yapısı, dizel motoru için emisyon düzenlemeleri ve dizel motorunun yanma sonrası emisyon kontrol yöntemlerini incelemiişlerdir. Dizel emisyonları büyük oranda gaz ve partikül fazları arasında dağılmış olan organik ve inorganik bileşenlerden oluşmaktadır. Bunlar; CO, Karbondioksit (CO_2), NO, Azotdioksit (NO_2), N_2O , NH_3 , uçucu organik bileşikler, su buharı, HC, polinükleer aromatik asitler, halojenli organik bileşikler, kükürtdioksit ve dioksinlerdir. Bu zararlı emisyonları azaltmak için SCR, DPF ve filtre sistemleri geliştirilme aşamalarını göstermişlerdir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticilerin azaltılması için yanma sonrası alınan önlemlerle birlikte yanma öncesi ve yanma esnasında alınacak önlemler de uyumlu şekilde olması gerektiği sonucuna varmiişlardır.

Acun [7] dizel motor emisyonlarının HAD yardımıyla iki ve üç boyutlu modellenmesi ve analizi üzerine çalışmıştır. Yaptığı çalışmada HAD yardımıyla AVL FIRE programının ESE Diesel modülünü kullanmıştır. Türbülans-yanma, yakıt demeti parçalanma, damlacık buharlaşması ve kirletici oluşum modellerini kullanmıştır. Bu modelleri ağır vasıta bir dizel motor için modellemiş ve hesaplamalar gerçekleştirmiştir. Yapmış olduğu çalışma sonucunda 1000 dev/dk 'da is emisyonunun maksimum olduğu, 2000 dev/dk'ya kadar ise artan ve azalan şekilde değişim gösterdiğini görmüştür. 2000 dev/dk sonrasında ise is emisyonlarının arttığını gözlemlemiştir. Krank açısına bağlı CO₂ emisyonu 740°-750° krank mili açısı aralığında maksimum olduğu, NO_x emisyonlarının 725 KMA'dan sonra artış gösterdiği ve 760 KMA'dan sonra ise sabitlendiğini görmüştür.

Çanakçı ve Özsezen [8] dizel motorların yardımcı ekipmanlarındaki gelişimleri ve etkilerini incelemiştir. Dizel motorlarında yanma sonucunda başlıca CO, HC, CO₂, PM, NO_x emisyonları oluşmaktadır. Bu emisyonlar insan sağlığı ve çevre açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Geliştirilen EGR sistemi ile yanma odası içerisindeki hava-yakıt karışımı egzoz gazlarıyla seyreltilerek yanma sonu sıcaklıklarını düşürmüşlerdir. Böylelikle NO_x miktarı azalmaktadır. EGR ile azaltılan NO_x seviyesi egzoz borusuna yerleştirilmiş katalitik konvertörler yardımıyla %90'lara kadar daha da azaltılmaktadır. Ayrıca katalitik konvertör yardımıyla %97'ye varan oranda HC ve %96'ya varan oranlarda CO emisyonları düşürülmektedir. Partikül emisyon seviyesinin azaltılabilmesi için yanmanın tam gerçekleşmesi gerekmektedir. Ayrıca PM emisyonları, başlıca yakıt enjeksiyon sistemlerindeki gelişmeler, yanma odası dizaynının tekrar ele alınması, turboşarj, DGT, partikül filtresi gibi yenilikler ile azaltılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Keskin [9] DPF'ler de rejenerasyon yöntemleri üzerine çalışmıştır. DPF'leri PM'lerin azaltılmasında teknik olarak en uygun çözümlerden birisi olarak görmüştür. DPF'de biriken kurumun; fazla yakıt harcanmaması, motor ve filtrenin zarar görmemesi için uzaklaştırılması gereklidir. Kurumun uzaklaştırılması rejenerasyonun filtreye zarar vermeden yapabilmesi için çoğu işlem parametresi uyushmalıdır. Ana parametreler egzoz gaz sıcaklığı, egzoz gaz geri basıncı, egzoz gazlarındaki oksijen (O₂) miktarı, hacimsel akış oranı gibi parametrelerdir. Rejenerasyon uygulamaları aktif, pasif ya da her ikisinin birlikte kullanımı şeklindedir.

Wanker vd. [10] dizel egzoz sistemini AVL BOOST programında 1 boyutlu çalışmışlardır. Gaz değişimi döngüsü, 3 boyutlu HAD simülasyonu ile DPF'si ve katalitik konvertörlerin is akışını incelemişlerdir. Gaz fazı sıcaklıklarını, DPF sıcaklıklarını, kurum kütlesini ve O₂ miktarı oranının sonuçlarına ulaşmışlardır.

Jiao vd. [11] NO_x – PM mekanizmasını geliştirmek için yaptıkları deneysel çalışmada Crd malzeme ile kaplanmış DPF'nin zamana ve sıcaklığa bağlı NO_x emisyon miktarlarını saptamışlardır. Sıcaklığın artmasına bağlı NO_x emisyonları artmıştır. Fakat kül emisyonları azalım göstermiştir. Çalıştıkları 0-500 °C arasındaki sıcaklık değerlerinden 400-500 °C arasında kurum parçacıklarını giderme veriminin daha iyi olduğunu görmüşlerdir. N₂O'nun varlığı kurum parçacıklarının kritik ısınmasını daha da azaltabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

İmren [12] dizel motorlarında yanma ve kirletici emisyonların çok boyutlu modellemesini oluşturmuştur. Ayrıca performansı iyileştirici ve kirletici emisyonları azaltıcı etkilerin belirlenmesi için püskürtme zamanlaması üzerine parametrik inceleme yapmıştır. Bu çalışmada Ford-Otosan Ecotorq 7.3 litre NHDD motoru kullanılmıştır. Oluşturulan model yardımı ile KIVA kodunu kullanarak motor performansı ve egzoz gazları emisyonu bakımından incelemiştir. Çalışma sonucunda deney ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırdığında motor performansını belirleyen basınç eğrileri için çeşitli devir ve yüklerde uyumlu sonuçlar almıştır. %45 yükte ise deney ve hesaplanan basınç eğrilerinde tutuşma gecikmesinden kaynaklanan ayrılıklar gözlemlemiştir.

Avcu vd. [13] MTU 16V 4000 M90 marka dizel motora ait egzoz sisteminin tasarımı üzerine çalışmışlardır. Bu dizel motorunun egzoz sisteminin üç boyutlu modeli ANSYS Workbench kısmında oluşturmuşlardır ve Sonlu Elemanlar Metodu ile yapılan matematiksel modeller ANSYS ICEM CFD kısmında gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca kullanılan dizel motorun egzoz sisteminde mevcut olan kuru tip susturucunun tasarımı yapılırken, akustik bir tasarım metodolojisi uygulayarak akustik karakteristiğini belirlemişlerdir.

Çalık vd. [14] dizel motorlarında egzoz emisyon oluşumunu ve azaltılmasını, HAD modellemesi yardımıyla, 18.5 ve 14.0 sıkıştırma oranlarında, farklı püskürtme zamanı, farklı yük ve farklı egzoz gazı geri dönüşüm oraları üzerine çalışmışlardır. Yapılan bu sayısal çalışmada silindir iç basıncını ve sıcaklık değerlerini, ısının açığa çıkış hızını, yanma verimini, egzoz ve is emisyonlarını incelemişlerdir. Deneysel çalışmada Volvo D12C ağır vasıta dizel motoru kullanılmışlardır.

Elde edilen sonuçlara göre silindir içine gönderilen egzoz gazının artırılmasıyla CO emisyonunun, NO_x emisyonunun aksine daha fazla arttığını gözlemlemişlerdir. Elde edilen sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçların tutarlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Bayram [15] yapmış olduğu bu derleme çalışmasında Türkiye’de hava kirliliği sorununun nedenleri, alınan önlemleri incelemiştir. Türkiye’de şehirlerimizde hava kirliliğine; motorlu taşıtlar, endüstri, termik santraller, vd. etkenler sebep olmaktadır. Hava kirliliği ile akciğer fonksiyonlarında azalma, akciğer gelişiminde gerileme, astım semptomlarında kötüleşme, respiratuvar semptomlarda artış, astım ve kronik obstrüktif akciğer hastalıklarına (KOAH) bağlı hastane başvurularında artış ve kardiyopulmoner mortalitede belirgin derecede artış görülmüştür. PM ve SO₂ gibi kirletici emisyonları solunum yollu hastalıkları ile ilişkili olduğu ve PM miktarı artışı ile inhale bronkodilatör ve astım semptomları görülmüştür. Hastalık risklerini en aza indirilmesi için Sağlık Bakanlığı tarafından hava kirliliği seviyelerini düşürmeye yönelik önlemler alınır. Bu önlemler arasında bulunan motorlu araçlara yönelik uygulamalar; kurşunsuz benzin kullanımı, verimliliği ve yanma kapasitesini maksimize eden motor kullanımı, egzoz emisyonunu minimize eden katalitik konvektör kullanımı ve yakıtın tam yanmasını sağlayan uygun katalizör kullanımı gibi önlemler getirilerek kirletici emisyonlar düşürülmesi amaçlanmıştır.

Öztürk [16] yapmış olduğu derleme çalışmasında motorlu araçların egzoz emisyonlarını inceleyerek bu zararlı emisyonların azaltılması için taşıt, yol ve çevre üzerine alınabilecek en etkin önlemleri incelemiştir.

Bir ton dizel yakıtının yanması boyunca atmosfere salınan zararlı emisyonun ağırlığı 50.87 kg’dır. Bu ağırlığın 20.81 kg’ını CO, 4.16 kg’ını CH_x, 18.01 kg’ını NO_x, 7.80 kg’ını SO_x oluşturmaktadır. Dizel motorlarında oluşan zararlı egzoz emisyonlarının azaltılması için silindir kapağının yanma yüzeyleri, piston kafası ve supap başları özel seramik malzemelerle kaplanmaktadır. Ayrıca PM’nin azaltılması için de DOC ve DPF sistemlerinin kullanımıyla düşürülmeye çalışılması gerektiğini vurgulamıştır.

Tsuneyoshi ve Yamamoto [17] kare ve altıgen hücreli iki tip DPF filtresi için kontrollü ve kontrolsüz rejenerasyonun kurum biriktirmedeki etkilerini incelemişlerdir. Kontrolsüz rejenerasyonun, kontrollüye göre maksimum sıcaklıklara daha kısa sürede ulaştığını görmüşlerdir. Ayrıca katalizörlü DPF sisteminin rejenerasyon etkinliğinde belirgin bir katkısının olduğunu gözlemlemişlerdir. Kare ve altıgen tip kanallarındaki kül birikiminde, altıgen hücreli kanalların daha büyük bir filtreleme alanına sahip olduğu ve daha ince kurum tabakası oluşturduğunu görmüşlerdir.

Ayrıca kare hücre DPF'ye kıyasla, altıgen hücre DPF, kontrollü rejenerasyonda daha iyi termal dayanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Benaqqa vd. [18] silisyum karbürden (SiC) yapılmış DPF'nin şekilsel, fiziksel, termik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerine çalışmışlardır. SiC'in tanecikli ve gözenekli yapısı yüzey malzemesinin izotropik olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca bu filtre malzemesinin sıcaklığı ve ısı yayılımı 0 ile 1400 °C arasında doğrusal olarak artmış ve ısı kapasitesinin de doğrusal olarak arttığını bulmuşlardır.

Bensaid vd. [19] DPF'lerin içerisinde is filtrelemesi ve yanma simülasyonu üzerine çalışmışlardır. Partikül filtrelerinin geçirgenlik ve gözeneklilik gibi özelliklerinin is birikiminden, rejenerasyon aşamasıyla birlikte atımına kadarlık süre içerisinde, doğru filtrelemenin gerçekleşmesini amaçlamışlardır. Bunun için ANSYS programının üç boyutlu matematiksel modelde HAD kullanılmıştır. Sonlu hacimler de tanımlı DPF'nin akış kanallarındaki emisyon akışını gözlemlemişlerdir. Modelde DPF'nin zamana bağlı farklı uzunlukta DPF kanallarındaki is emisyonunun birikim kalınlığının, kanalın boyunun artmasına bağlı arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca rejenerasyon zamanında DPF kanallarında sıcaklığın artmasına bağlı birikim kalınlığının azaldığını gözlemlemişlerdir. Filtrenin rejenerasyona hazırlık ve rejenerasyon zamanında merkezden ısınmaya başlayarak maksimum 626.2 °C seviyede is ve PM emisyonlarının yakıldığını gözlemlemişlerdir.

Millo vd. [20] DPF'lerin farklı yüzey maddeleri için is emisyon birikiminin araç yakıt ekonomisi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Farklı üç filtre malzemesinin (Silisyum Karbür, Alüminyum titanat ve Kordierit) rejenerasyon mekanizması ve farklı tasarımın sürüş koşullarına bağlı is birikim miktarlarına ulaşmışlardır. Deneysel çalışmalar Avrupa sürüş standartlarına göre oluşturmuşlardır. Yaptıkları deneysel çalışmaların sonucunda kordierit (Crd) malzemesinde daha yüksek sıcaklıklara çıkabilmektedir. Daha sonrasında alüminyum titanat (AT) ve en düşük ise silisyum karbür (SiC) olduğu gözlemlemişlerdir. Rejenerasyon verimliliği düşük is birikimlerinde AT'de en yüksek olduğunu görmüşlerdir. Is birikiminin artmasına bağlı belirli bir seviyede 3 malzemede aynı derecede verimliliğe yaklaştığını bulmuşlardır.

Zheng ve Banerjee [21] dizel oksidasyon katalisti ve partikül filtresinin modellenmesinin akış durumları üzerine çalışmışlardır. Çalışma modellemesi sonucunda, partikül filtresinin içerisinde is kalınlığının 100 °C derecede en büyük, 500 °C derecede ise en küçük olduğunu görmüşlerdir. Rejenerasyon veriminin ise 330 °C sıcaklıkta ve %90 seviyelerinde olduğu gözlemlemişlerdir.

Sarli ve Benedetto [22] DPF içerisinde is emisyonunun yanma modellemesi ve simülasyonu üzerine çalışmışlardır. ANSYS Fluent 15.0 programının HAD ortamında simülasyonunu modelleyip sonuçlandırmışlardır. Simülasyona göre 0 ile 2000 saniye arasında 1 den 29 mm'ye kadar sınır koşulları belirlemişlerdir.

Elde ettikleri sıcaklık grafiğine göre ilk saniyelerde, kanal girişinde 823 °C, 29 mm'lik kısmında ise 853 °C'de sıcaklığın olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca saniyenin artmasına bağlı sıcaklık değerlerinin düştüğünü bulmuşlardır.

1.1. Hava kirliliği

Dünya'da fosil yakıtların yanması sonucunda atmosfere zararlı emisyonlar salınır. Fosil yakıtlar katı, sıvı ve gaz olarak doğada bulunurlar. Katı fosil yakıtları kömür, turba, antrasit vd. sıvı fosil yakıtları petrol, petrolün bileşenleri vd. ve gaz fosil yakıtları ise doğal gaz ve doğal gaz bileşenleridir. Fosil yakıtlar sanayinin birçok kuruluşunda, enerji üretim tesislerinde, motorlu taşıtlarda, ısınma amaçlı ve diğer birçok kullanım alanına sahiptir. Fosil yakıtların yanmasıyla duman, is, kükürt, NO_x, PM, HC, CO ve CO₂ gibi hava kirleticisi emisyonlar ortaya çıkar.

Havayı kirleten bu zararlı emisyonlar insan sağlığında akciğer kanseri, üst solunum yolu hastalıkları, raşitizm ve çeşitli kalp rahatsızlıklarını tetiklemektedir. Ayrıca hava kirliliğinin artmasına bağlı nefes darlığı, göz yanmaları, kan zehirlenmesi ve bronşit gibi hastalıklara doğrudan ya da dolaylı yünden etkilediği gözlemlenmiştir. Soluduğumuz havanın içerisinde bulunan bu zararlı emisyonları solumamızla, solunum yolumuzdan akciğerler vasıtasıyla kana karışırlar ve ortamdaki havanın emisyon oranlarına göre vücudun direncini kırarak kan zehirlenmelerine neden olabilirler [23].

1.2. Hava kirliliği nedenleri

Her geçen gün hava kirliliğine sebep olacak birçok şey ortaya çıkmaktadır. Havanın kirlenmesine sebep olan etmenler yapay ve doğal etmenler olmak üzere iki başlıkta değerlendirilebilir. Yapay ve doğal etmenlerin sonucunda meydana gelen yanma reaksiyonlarıyla atmosferde zararlı emisyonların birikimi gerçekleşir. Bu yüzden şehirlere kadar inen duman bulutları oluşabilir. Bu da o çevredeki insanları ve canlıları doğrudan etkileyebilir. Ayrıca duman bulutları görüşü ve tüm çalışmaları aksatabilir.

1.2.1. Yapay etmenler

Doğada katı, sıvı ve gaz hallerinde bulunan yakıtların insan yaşamını kolaylaştırması için sanayi, ısınma, enerji üretiminde ve kara, deniz ve hava ulaşımının kullanımıyla oluşan emisyonlara yapay etmenler denir.

1.2.2. Doğal etmenler

İnsanların herhangi bir etkisine maruz kalmadan meydana gelen orman yangınları, volkanik olaylar, yıldırım düşmesi vd. doğal etmenleri oluşturur. Bunların sonucunda hava kirliliği meydana gelir. Örneğin yıldırım düşmesiyle, toprakta NO_x emisyonu oluşur.

1.3. Zararlı egzoz emisyonları

Yanma sonucunda meydana gelen zararlı maddelerin insan sağlığı üzerindeki etkisi, bu maddelere maruz kalınan süreye ve bu maddelerin alış miktarına göre değişmektedir.

- MAK (Maksimum Atmosfer Konsantrasyonu): Sürekli olarak solunduğunda zarar vermeyecek miktar.
- MİK (Maksimum İş Konsantrasyonu): Sekiz saat süre solunduğunda zarar vermeyecek miktar.
- DTK (Doğrudan Tehlike Konsantrasyonu): Çok kısa süre solunduğunda tehlike meydana gelecek miktar.

Tablo 1.1. Zararlı egzoz emisyonlarının sağlık için tehlike sınırları [24].

Kirletici Maddeler	MAK	MİK	DTK
NO ₂ (ppm)	0.05	5	200
HC (ppm)	20	300	30000
NO (ppm)	0.15	--	--
CO (ppm)	9	50	5000

1.3.1. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan zararlı emisyonlar ve özellikleri

Araçlardan kaynaklanan emisyonlar şu şekilde sınıflandırılabilir;

a) Yerel etkisi olan emisyonlar

Bir bölgede ki araçların egzozlarından salınan emisyonlar dünya atmosferini etkilemesinin yanında o bölgede yaşayan canlıları da etkileyerek hastalıklara ve ölümlere neden olabilir. Bu hastalıklar ve ölümler bölgede bulunan araç sayısına ve alınan önlemlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Dünyada birçok ülkenin şehirlerinde hava kirliliği nedeniyle yaşam seviyeleri oldukça düşmektedir ve bu yüzden sağlık sorunlarına sebebiyet vermektedir. Yerel etkisini doğrudan gördüğümüz zararlı emisyonlar;

- CO₂
- CH₄
- CO
- HC
- NO_x
- PM
- İs

b) Küresel etkisi olan emisyonlar

Dünyamızın Atmosferi %78 N₂, %21 O₂ ve %1'ini de CO₂, Neon, Helyum, Kripton, Ksenon ve Hidrojen gazlarından oluşmaktadır. Atmosfer dünyayı güneşin ultraviyole ışınlarından korur ve meteorların yeryüzüne ulaşmasını engeller. Ayrıca diğer faydaları sayesinde dünyada canlı varlığını sürdürülmesini sağlar.

Ancak atmosferde bulunan gaz oranlarının değişimine bağlı bu koruyucu katmanın kalkması ile dünya dış etkenlere karşı açık bir hedef durumuna gelecektir. Atmosferin gaz değişimine, yeryüzündeki yanma olayları sonucunda meydana gelen zararlı emisyonlar neden olmaktadır. Zararlı emisyonların artmasına bağlı atmosferin ozon tabakasının incelmesi sonucunda sera etkisiyle dünyada sıcaklık artışı meydana gelecektir. Bu durum da bütün canlıları olumsuz yönde etkileyecektir.

Küresel etkisini doğrudan gördüğümüz zararlı emisyonlar;

- CO
- HC
- NO_x
- CH₄
- N₂O

1.3.2. Hidrokarbon (HC) emisyonu

Silindir içerisinde sıkıştırma sonunda çok küçük hacimli bölgelere hava ve atık gazlar girebilmesine rağmen alevin ilerlemesi mümkün olmadığı için bu küçük hacimlerde yanma gerçekleşmeyeceğinden HC emisyonu oluşur.

Hava-yakıt oranı azaldıkça tam yanmanın gerçekleşmesi için yeterli O₂ bulunmayacağından HC emisyonu artar. Ancak bu oran arttıkça belirli bir noktadan sonra düşük alev yayılma hızından dolayı alev söner. Bu sebepten yakıtın tamamı yanmadan dışarı atılacağından, HC emisyonları artacaktır. HC emisyonlarının fazla olmaması için hava-yakıt oranının stokiyometrik oranda olması gerekmektedir.

HC emisyonları ayrıca dizel motorlarının enjeksiyon sistemine ve yanma odası geometrisine bağlıdır. HC emisyonu çok çeşitli organik maddeler içermesine rağmen normal atmosfer miktarlarında zararlı etkiye sahip olmazlar.

Fakat havadaki diğer kirleticilerle arasında oluşturduğu reaksiyonlar neticesinde zararlı etkiler gösterirler. Araç yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde HC emisyonlarında önemli artışlar görülür.

1.3.3. Azotoksit (NO_x) emisyonu

Yanma odası içerisinde ki sıcaklığın 1800 °C ye yükselmesi ile yanma odası içerisindeki havanın barındırdığı N₂'nin O₂ ile reaksiyona girmesi ile NO_x emisyonu meydana gelir. Ayrıca yıldırım düşmelerinden, toprakta ki mikrobik aktivitelerden, vb. doğal etmenlerde NO_x emisyonu oluşumunda rol oynamaktadır [25].

O₂'nin Azot (N₂) ile değişik moleküllerde birleşmesi ile NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ vb. sekiz farklı NO_x emisyonu ortaya çıkar. Bu emisyonların hepsi “Azot oksit” olarak adlandırılır [26].

NO_x emisyonunun azaltılması için yanma odasında ki sıcaklığın 1800 °C ulaşmasını önlemek ve bu sıcaklıklara ulaşılan süreleri kısa tutmak ve silindir içerisindeki O₂ miktarını düşürmek gerekmektedir. Fakir karışımlarda NO_x oluşumunun sebebi ise yanmanın yavaş olması ve maksimum sıcaklığın düşük olmasıdır [26].

Egzoz gazları içerisinde bulunan NO_x emisyonlarının , %90'ını NO, %5'ini NO₂ ve geriye kalan %5'ini ise N₂O ve N₂O₅ oluşturmaktadır. Egzoz gazlarının akışının yavaş olması NO emisyonunun NO₂'ye dönüşümünü sağlar. Benzinli motorlarda yanma sonrası 1 ton egzoz gazının 18.42 kg'ını NO_x oluşturur iken, dizel motorlarında ise bu değer 123.71 kg'a çıkmaktadır. NO_x'lerin sağlık açısından zararlı olmasının en önemli sebebi, kandaki hemoglobinle birleşmesi ile vücuttaki O₂ konsantrasyonunu düşürmesidir. Ayrıca akciğerlerimizde nemle birleşerek nitrik asit oluşumuna neden olmaktadır. Kısa süreli etkisi olmaz iken zamanla birikmesiyle en başta akciğerlerin çalışmasını bozabilir. Ayrıca akciğer mukoza zarını tahriş ederek ciddi rahatsızlıklara sebebiyet verebilir [27].

N₂'den NO oluşumu mekanizması Zeldovitch mekanizması olarak bilinir. Zeldovitch mekanizmasının stokiyometrik oranında NO tersinir reaksiyonları şu şekildedir;



1.3.4. Karbonmonoksit (CO) emisyonu

CO, tatsız, kokusuz ve havadan ağır olmasından dolayı birikinti oluşturma ihtimali yüksek bir gazdır. Silindir içerisinde yanma sonu ürünleri arasında CO'nun ortaya çıkmasının temel nedeni yanma sırasında O₂'nin yetersiz olmasıdır. Ayrıca yakıt hava karışımının homojen olarak karışmaması durumunda ise silindirin bir bölümünde O₂'nin yetersiz olması da CO oluşumuna neden olur. Yakıtı oluşturan karbon atomlarının tamamen yanmaması da CO oluşumunun bir nedenidir. Ayrıca CO oluşumu hava fazlalık katsayısının değişimi ile değişir. Dizel motorlarında hava fazlalık katsayısının yüksek olması durumunda CO oluşumu düşük olmaktadır [28].

CO oluşumunu petrol rafinerileri, dökümhaneler, çelik imalathaneleri sabit ısı üretim tesisleri ve içten yanmalı motorlar neden olmaktadır. Ülkemizde oluşan zararlı emisyonların yaklaşık %60'ını CO emisyonu oluşturmaktadır [28-29].

Şehirlerimizde bu emisyonu neden olan en önemli faktör %95 oranında karayolu taşıtlarıdır. Şehirlerdeki araç sayısına ve trafik şartlarına bağlı bu oran değişmektedir. Gün içerisinde CO konsantrasyonunun en yüksek olduğu saatler trafiğin yoğun olduğu sabah ve akşam saatleridir. Çevre havasında binde 3 sınır değeridir. Bu değer aşıldığı takdirde öldürücü olabilir. Ortamda bulunan CO solumamızla akciğerlere gider ve O₂ taşımakla sorumlu hemoglobinleri ve hemoproteinleri etkiler. Bunun sonucunda organ ve dokularımıza O₂ dağıtımı azalır ve CO zehirlenmesine neden olabilir [28-29].

CO kandaki hemoglobine yakınlık göstererek onunla birleşir. Bundan dolayı kanda O₂ taşıma ile görevli hemoglobinin O₂ taşımaya engel olarak büyük bir sorun teşkil eder. İnsan kanında bulunan hemoglobine %40 oranında CO bağlanması kişinin ölümüne neden olabilir. Maruz kalındığı süreye bağlı olarak ölüm riski artar ancak kişinin bu ortamdan uzaklaşmasıyla hemoglobinlerdeki CO'lar değişime uğrayarak normal seyrine dönerler [30-31].

Havanın yetersiz olması durumunda meydana gelen reaksiyonlar şu şekildedir;



1 kg C ise,



Denklem (1.3), (1.4), (1.5), (1.6), (1.7) ve (1.8)'de görüldüğü gibi 1 kg karbon atomunun yanması için 1.33 kg. O₂ gerekmektedir [32].

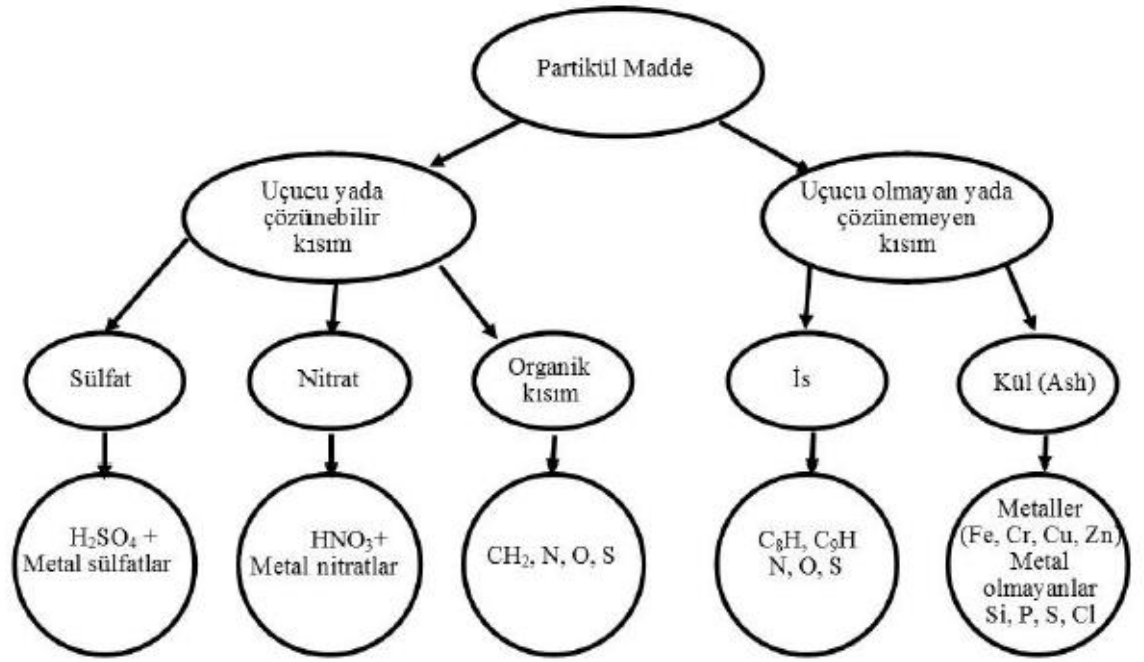
Silindir içerisinde yanma esnasında alev cephesinin iç kısmına ulaşan yüksek sıcaklık bölgesinde aşırı derecede CO oluşur. Fakat yanma sonrasında egzoz gazlarının genişlemesi ve soğuması esnasında denklem 1.9'da görüldüğü gibi oksidasyon sonucu CO emisyonu CO₂'ye dönüşür [33].



1.3.5. Partikül madde ve is emisyonları

PM emisyonu endüstriyel üretimlerde, ulaşım araçlarında yakıtların yanması sonucu meydana gelir. Dizel motorlarında oluşan PM'ler karbon bağları, karbon-hidrojen bağları ve yakıttaki kükürttten dolayı kükürt dioksit ve hidrojen sülfürden meydana gelmektedir. Silindir içerisinde yeterli O₂ olmaması durumunda yakıt moleküllerinin ısı parçalanmasıyla hidrojen atomlarının kolayca oksitlenmesi karbon atomlarının ise oksitlenmeden ortam da artmasıyla PM'ler oluşur. Dizel motorlarında silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H₂ molekülleri karona göre hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte ve geriye kalan karbon yeterli miktarda O₂ bulamadığından yanamayarak katı partikül (is) şekline dönüşür. İs partiküllerinin içeriği motor çalışma koşullarına ve özellikle egzoz sıcaklığına bağlıdır. İs partikülleri 500 °C üzerinde çapları yaklaşık 15 ila 30 nm olan karbon küreleri oluşturacak şekilde bir araya gelirler. Bu sıcaklığın altında partiküller çözülebilir organik kısımla kaplanır. İs partikülleri yakıtın tipine, yakıt molekülündeki karbon atomu sayısına ve yakıtın C/H oranına bağlıdır. Bu is oluşumu silindirlerin aşınmasına ve segman yuvalarında karbon birikintisi oluşturarak motora zarar verebilir. Hem karışım, hem de yakıt cinsi PM oluşumunu etkileyen unsurlardır.

Partiküllerin çapları küçüldükçe canlı sağlığı ve çevreye zararlı etkisi artar. Tehlike sınıfına giren PM çapı 10 mikrometreden küçük olanlardır [16].



Şekil 1.1. Partikül maddenin içeriği

PM emisyonlarının artmasına bağlı çevremizde soluduğumuz havanın içerisinde ki PM'ler akciğerlerde birikerek bronşları tahriş eder ve solunumsal hastalıklara sebebiyet verirler [34].

PM dizel motorları dışında, lastiklerin ve fren balataların sürtünmesi sonucunda da oluşmaktadır [35].

1.3.6. Karbondioksit (CO₂) emisyonu

Tam yanma sonrası ürünlerinden biri olan CO₂ emisyonu, küresel ısınmada etkisi olan sera gazlarından bir tanesidir. Atmosferde CO₂ birikmesi sonucunda güneşten gelen kısa dalgalı ışınların büyük bir kısmını atmosfer geçirir. Ancak yeryüzüne ulaşan ışınların uzun dalgalar şeklinde yansımalarını geçirmez. Bu şekilde atmosferin alt kısımlarının ısınması sonucunda sera etkisi meydana gelir [36].

Atmosferimizde ki CO₂ emisyonu sanayi devriminden öncesinde 280 ppmv (hacimsel olarak ppmv) değerinde iken 1999 yılında % 31'lik bir artış göstererek 367 ppmv değerine çıkmıştır. Her geçen yıl giderek artış göstermektedir.

Ortalama yıllık artışı son 20 yılda 1.5 ppmv/yıl olduğu görülmüştür. Tahminlere göre bu artışlara bağlı olarak 2050 yıllarında küresel ısınmada ortalama 1.5 ile 4.5 derecelik bir artış öngörülmektedir [32].

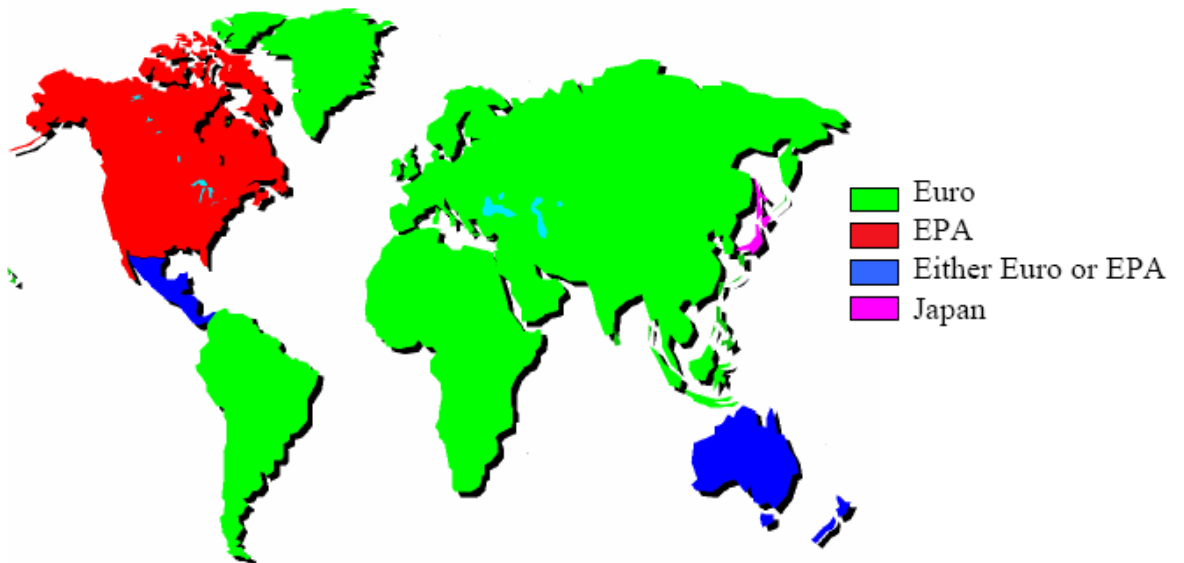
CO₂ oluşumuna neden olan başlıca kaynak %95'lik oranla ulaşım sektörüdür. Türkiye'de ulaşımdan kaynaklanan CO₂ emisyonları %85'lik bir paya sahiptir [32].

1.3.7. Diğer emisyonlar

Dizel yakıtlarında az da olsa kükürt bulunur. Kükürt 'ün, O₂ ile reaksiyona girmesiyle kükürt dioksit oluşur. SO₂ renksiz, sert kokulu, yanmaz ve patlamaz bir gazdır. SO₂'nin ortamda ki miktarının artması sonucunda, ortamda nefes almada sorunu teşkil eder. Gözlerde ve akciğerlerde yanmaya sebebiyet verir. Bu emisyonun atmosferdeki konsantrasyonu 785 µg/m³, e (300 ppb) ulaştığında tadı, 1305 µg/m³ (500 ppb) değerine ulaştığında ise kokusu algılanır [35].

1.4. Egzoz emisyon standartları

Zararlı emisyonlara yönelik ilk düzenlemeler 1968 yılında Amerika'nın California eyaletinde yapılmıştır. İlk sınırlama ise 1972 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde alınan kararla ECE R 15.00 Regülasyonu ve EEC 72/220 Yönetmeliği ile başlamıştır. Dünya da uygulanan emisyon standartları Euro, EPA ve Japon (EEC/ECE, EPA; JIS) standartlarıdır. Bu standartlar NO_x, HC, CO ve PM dört ana grup üzerine düzenlenmektedir. Dünya da en çok kabul görmüş Euro standartlarıdır.



Şekil 1.2. Dünyada uygulanan emisyon standartları [37].

1.5. Emisyon standartlarının düzenlenmesinde görev alan kuruluşlar

Avrupa Birliği

- Avrupa komisyonu (DG ENTR, DG ENV, DG TREN)
- Avrupa parlamentosu
- Üyeler (Tüm Sanayileşmiş Ülkelerin ve Bazı Gelişmekte olan Ülkelerin Ulaştırma Bakanlıkları)
- Avrupa Bakanlar Konseyi

Birleşmiş Milletler

- Avrupa Ekonomi Komisyonu
- Araç Yönetmeliği Uyumlu için WP.29 Dünya Formu
- GRPE: Kirlilik ve Enerji Rapor Grubu

1.5.1. Motorlu araçların egzoz emisyon denetimleri

Egzoz gazları insanların solunum yolu, akciğer, karaciğer vd. hastalıklarına neden olmaktadır. Ayrıca havadaki su ile birleşerek sülfürik asit ve nitrik asit gibi oluşumlar oluşturarak bitkilere, toprağa ve tüm çevre canlılarına zarar verir. Dünya’da her geçen gün artan araç sayısına bağlı olarak çevreye de bir o kadar zararlı egzoz salınımı gerçekleşmektedir. Bu nedenle emisyonları azaltmaya yönelik araç üreticisi firmalarına zorunlu yaptırımlar yapılarak zararlı emisyonlar düşürülmeye çalışılmaktadır.

Emisyon sınırları; araç sayısı, çevresel etkilerin artması, hızla gelişen teknoloji ve küresel ısınma durumları göz önüne alınarak belirlenir. Bu nedenle atmosferdeki zararlı emisyonların azaltılması (KYOTO) üzerine çalışmalar, dört veya beş yılda bir belirlenir.

Bazı yerel yönetimler (California, Londra, Milano, vb.) “Düşük emisyon bölgesi” amaçlı veya aşırı kirlilik nedeniyle daha da düşük sınırlar (EEV) talep edebilmektedir [37].

1.5.2. Türkiye’ deki otomotiv sektöründe yapılan uygulamalar

Bütün dünyada otomotiv sanayisinde, vd. sanayi sektörlerinde Ar-Ge faaliyetleri, teknolojik gelişme ve rekabette üstünlük yakalamak için çalışmaktadır. Teknolojinin gelişmesine paralel çevresel tahribat da aynı derece de artmaktadır [38].

Bunun için Kyoto Protokolü' nün uygulamaya konulmasıyla, otomotiv sanayisinde daha az CO₂ emisyonu ve diğer zararlı emisyonların salınımı hedeflenmiştir. Emisyon kısıtlamaları ile daha çevreci ve sağlıklı yaşanabilir bir dünya oluşturulmaya çalışılmaktadır [38].

Ülkemizde ise otomotiv sektöründeki gelişmelerle birlikte kendi yerli araç çalışmalarımızda çevreci, ekonomik ve yüksek performansa sahip araçlar üreterek dünya otomotiv piyasasında yerini almayı hedeflemektedir. Bu hedefe ulaşma çabasını desteklemek ve bu sektörde daha iddialı olması amacıyla Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (BTSTB), Sanayi Genel müdürlüğü tarafından Türkiye Otomotiv Sektörü Stratejileri Belgesi ve Eylem Planları oluşturularak bu yolda ilerlemektedir. İlk eylem planı 2011 yılında hazırlanmıştır. En son hazırlanan otomotiv Sektörü Stratejileri Belgesi ve Eylem Planı 2016-2019 yıllarını kapsamaktadır. Bu eylem planlarında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı vd. ilgili kuruluşlar yer almaktadır. Sektörde çevre dostu teknolojilerin kullanılmasına yönelik olan bu eylem planlarında çevre üzerine düzenlemeler yapılmaktadır [38-39-40].

1.5.3. Euro standartları

Otomobiller için Euro emisyon standartları Tablo 1.2-1.5 arasında verilmiştir. Yıllara göre farklılık gösteren bu emisyon standartlarındaki asıl amaç gelecek yıllarda emisyon değerlerini daha da azaltmaktır. Bu amaçla yapılan Avrupa'nın belirlemiş olduğu standartlar aşağıda verilmiştir;

Tablo 1.2. Otomobiller için Euro emisyon standartları [41].

Standart	Tarih	CO (g/km)	NO _x (g/km)	HC+NO _x (g/km)	PM (g/km)
Euro 1	Temmuz 1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)
Euro 2	Ocak 1996	1.0	-	0.7	0.08
Euro 3	Ocak 2000	0.64	0.50	0.56	0.05
Euro 4	Ocak 2005	0.50	0.25	0.30	0.025
Euro 5	Eylül 2009	0.50	0.180	0.230	0.005
Euro 6	Eylül 2014	0.50	0.080	0.170	0.005

Tablo 1.3. < 1305 kg ağırlığındaki hafif ticari araçlar için Euro emisyon standartları [41].

Standart	Tarih	CO (g/km)	NO _x (g/km)	HC+NO _x (g/km)	PM (g/km)
Euro 1	Temmuz 1992	2.72	-	0.97	0.14
Euro 2	Ocak 1996	1.0	-	0.7	0.08
Euro 3	Ocak 2000	0.64	0.50	0.56	0.05
Euro 4	Ocak 2005	0.5	0.25	0.30	0.025
Euro 5	Eylül 2009	0.5	0.18	0.23	0.005
Euro 6	Eylül 2014	0.5	0.08	0.17	0.005

Tablo 1.4. 1305kg-1760kg ağırlıkları arasındaki hafif ticari taşıtlar için Euro emisyon standartları[41].

Standart	Tarih	CO (g/km)	NO _x (g/km)	HC+NO _x (g/km)	PM (g/km)
Euro 1	Temmuz 1992	5.17	-	1.4	0.19
Euro 2	Ocak 1996	1.25	-	1.0	0.12
Euro 3	Ocak 2000	0.80	0.65	0.72	0.07
Euro 4	Ocak 2005	0.63	0.33	0.39	0.04
Euro 5	Eylül 2009	0.640	0.235	0.295	0.005
Euro 6	Eylül 2014	0.640	0.105	0.195	0.005

Tablo 1.5. Maksimum 3500 kg ağırlığındaki hafif ticari taşıtlar için Euro emisyon standartları [41].

Standart	Tarih	CO (g/km)	NO _x (g/km)	HC+NO _x (g/km)	PM (g/km)
Euro 1	Temmuz 1992	6.9	-	1.7	0.25
Euro 2	Ocak 1996	1.5	-	1.2	0.17
Euro 3	Ocak 2000	0.95	0.78	0.86	0.1
Euro 4	Ocak 2005	0.74	0.39	0.46	0.06
Euro 5	Eylül 2009	0.74	0.28	0.35	0.005
Euro 6	Eylül 2014	0.74	0.125	0.215	0.005

1.6. Dizel motorlu araçların emisyonları için alınan önlemler

Dizel motorlu araçlarda zararlı emisyonları düşürmek için araçlarda kullanılan donanımlar:

- Kapalı çevrim yakıt sistemi
- Dizel oksidasyon katalisti (DOC)
- Dizel partikül filtresi (DPF)
- Seçici katalitik indirgeme (SCR)
- Egzoz gazı çevrimi (EGR)
- İkinci hava püskürtme sistemi (AIR)
- Yakıt buharlaşması kontrol sistemi (EVAP)
- Karter havalandırma sistemi
- Yavaşlamada yakıt kesme sistemi

1.6.1. Dizel oksidasyon katalisti (DOC)

Dizel oksidasyon katalisti CO, HC ve PM gibi zararlı egzoz gaz emisyonlarını azaltmak için kullanılan yöntemlerden biridir. DOC'lar çoğunlukla boyuna akışlı, petek şeklinde altlıktan (seramik ve metalik) oluşur ve paladyum (Pd), Rhodium (Rh) veya platin (Pt) gibi oksitleyici bir katalistle yüzeyleri kaplanmıştır [42].

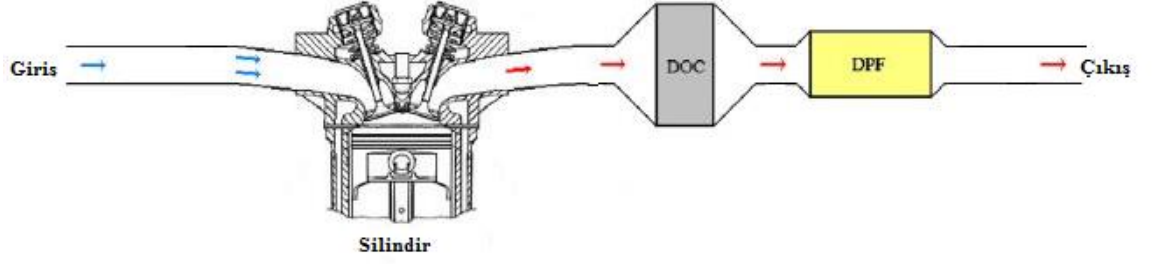
DOC'lar CO ve HC emisyonlarının su (H_2O) ve CO_2 'ye dönüşümünü sağlar. Ayrıca PM emisyonlarının kütlesinde azaltır. PM'nin çözülebilir organik bölümünü (SOF) %90'a kadar azaltır ancak NO_x 'lerin azaltılmasında etkileri azdır [43].

DOC fakir karışımlardaki NO_x 'leri tutar ve biriktirir. Bu NO_x dönüşüm oranı egzoz gazlarının sıcaklığına ve indirgeyici maddelerin varlığına bağlıdır. Fakir karışımda NO, Platin katalizör üzerinde NO_2 'ye oksitlenir ve daha sonra baryumlu malzeme üzerinde nitrat formunda depolanırlar [44].

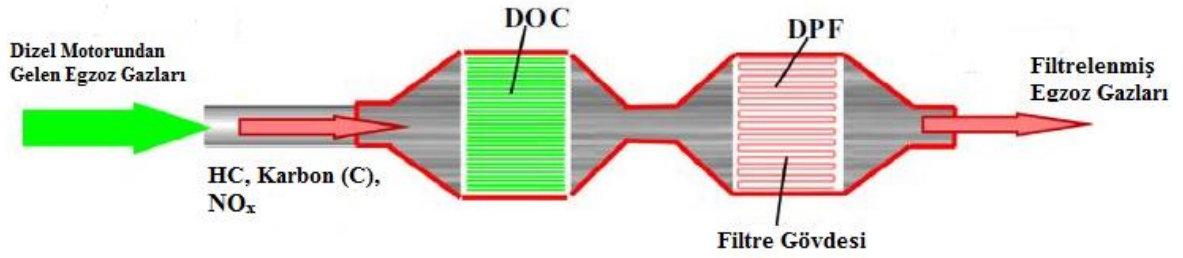
1.6.2. Dizel partikül filtre (DPF)

DPF yanma sonrasında egzoz gazlarının egzoz sistemi boyunca çıkışı esnasında katı ve sıvı PM emisyonlarını biriktirmek için tasarlanmıştır. Yanma sonrasında PM'yi tutabilen gözenekli metal veya seramik bir filtreden oluşur. Dizel araçlarda PM emisyonunun azaltılmasında en etkili çözümlerden bir tanesidir. Bugün üretilen DPF'lerin çoğu silikon karbür, kordierit veya metalden yapılmaktadır. DPF'de ana eleman 0.1 mikron genişliğindeki gözenekleri sayesinde çok yüksek verimlilikte filtreleme yapabilir. Tek parça gövde içerisinde metalik ve seramik filtre sistemleri vardır. Biriktirme verimleri kütleli olarak %30-90 arasında değişmektedir [45].

DPF'ler eylemsiz çöküntü, difüzyon çöküntü veya akış engelleme yöntemleri ile yüzey mekanizmalarının birleşimiyle PM emisyonlarını biriktirir. Biriken bu PM'lerden dolayı egzoz gazının akışı zorlaşır, bu nedenle fazla yakıt harcanması, motor ve egzoz sistemi üzerindeki sistemlere zarar verebilir. Bunda dolayı DPF'lerin içinde zamanla biriken PM'ler pasif veya aktif rejenerasyon yöntemi ile filtreden uzaklaştırılarak temizlenir. Rejenerasyon olarak adlandırılan bu yöntem oldukça karmaşık bir işlemdir. Rejenerasyon işleminin filtreye zarar vermeden gerçekleşmesi için uygun şartlarda ve diğer parametrelerle uyumu gerekir. Bu parametreler uygun egzoz gazı sıcaklığı, egzozda bulunan O₂ miktarı, hacimsel akış oranı, egzoz gaz geri basıncı, egzoz gazının içeriği, vd. etmenlerdir [6,46]. DPF' e ait genel bir şematik görünüm Şekil 1.2. Şekil 1.3.'de görülmektedir.



Şekil 1.3. Egzoz sistemi şematik görünümü [47].



Şekil 1.4. DPF ve DOC sisteminin şematik görünümü [48].

DPF'ler de biriken PM'lerin aracın normal kullanım halindeyken, araç sisteminin ya da araç kullanıcısının herhangi bir etkisi olmaksızın bir miktar PM atım şekli pasif rejenerasyon yöntemidir. Pasif rejenerasyonda PM bir katalitik reaksiyonla yakılır. Bu amaçla katalitik olarak aktif demir ve seryum içeren dizel yakıt katkıları partiküllerinin alevlenme sıcaklığını normal egzoz gaz sıcaklığına düşürür. Aktif rejenerasyonda ise filtre edilen ve DPF'nin içinde biriken parçacıklar, filtrenin doluluğuna göre yaklaşık 400-500 km'de yakıt enjekte edilerek yeniden yanma işlemi (550 °C) ile sağlanır. Bu sistem rejenerasyonunun gerçekleştirebilmesi için uygun sıcaklığa ulaşmalıdır. Aktif rejenerasyon için kullanılan enerji tipine göre mikro dalgalı ve elektrikli kontrol metoduna göre ise otomatik ve manuel destekli olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca ihtiyaç duyulan enerjiden ötürü yüksek yakıt tüketimine sebep olabilir. Ancak farklı malzeme ve farklı geometrilerle daha yüksek ısı verim elde ederek yakıt tüketiminin önüne geçilebilir [43,49-50].

1.6.3. Seçici katalitik indirgeme (SCR)

SCR yirmi beş yıldan fazla süredir güç santralleri, gemiler ve sabit dizel motorlarında kullanılarak NO_x 'in azaltılmasında kullanılan etkili yöntemlerden bir tanesidir.

Araçlardaki NO_x emisyonlarını % 85-95 oranında azaltmaktadır. Ağır hizmet araçları için ise %80 oranında azaltır. HC emisyonlarını yaklaşık %90 ve PM emisyonlarını ise yaklaşık %40 oranında azaltabilirler [51].

SCR teknolojisi ilk defa 2005 yılında Avrupa'da ve Japonya'da ağır hizmet araçlarında kullanılmaya başlanmıştır. Avrupa'nın kullandığı SCR katalist vanadia esaslı, Japonya'nın kullandığı SCR ise zeolit esaslı katalisttir [52].

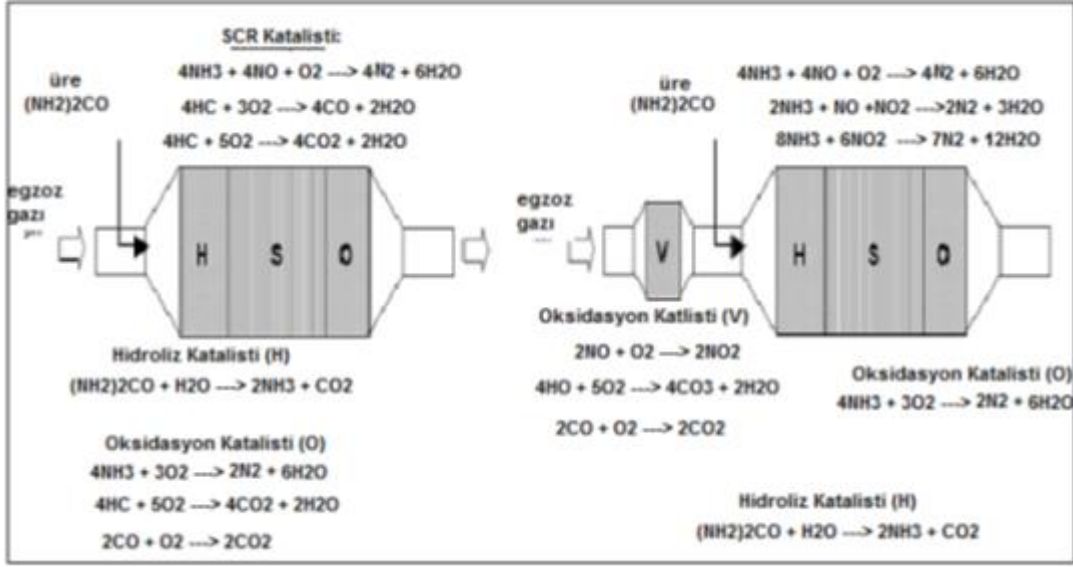
SCR çalışma sıcaklığı 300 – 450 °C olan bir katalizör yatağında gerçekleşir. Sıvı veya gaz halde bulunan amonyak zararlı emisyonların aktığı kanala enjekte edilir.

Amonyak, katalizör yüzeyinde absorbe edilir. Katalizör olarak zeolitleri, bazik metal oksitler (Ti₂O₅, V₂O₅ ve WO₃), demir oksitler veya aktif karbon kullanılır. Titanyum dioksit (TiO₂) işletme sıcaklıklarına en iyi uyum sağlayan katalizörlerden birisidir. Vanadyum pentaoksit (V₂O₅) uzun süre kalma ömrü, kullanımında reaksiyona girme verimliliği yüksek bir katalizördür. Aktif karbon kullanımı ise daha çok termik santrallerde 100-220 °C aralığındaki sıcaklıklarda kullanılırlar. Kanala enjekte edilen amonyak katalizör yüzeyinde O₂ bulunmasına bağlı NO_x ile reaksiyona girerek su ve N₂ gazını oluşturur [33,53-54].

Silindir içerisinde yanma sonrası meydana gelen egzoz gazları egzoz sistemi boyunca ilerlerken SCR'ye geldiğinde üre çözeltisi egzoz gazlarına püskürtülmesi ile üre ve egzoz gaz emisyonlarının tepkimeleri sonucunda N₂ ve H₂O oluşumu reaksiyonları şu şekildedir;



Yukarıda ki denklemler SCR reaksiyonlarını göstermektedir.



Şekil 1.5. SCR sistemi ve kimyasal reaksiyonları [33].

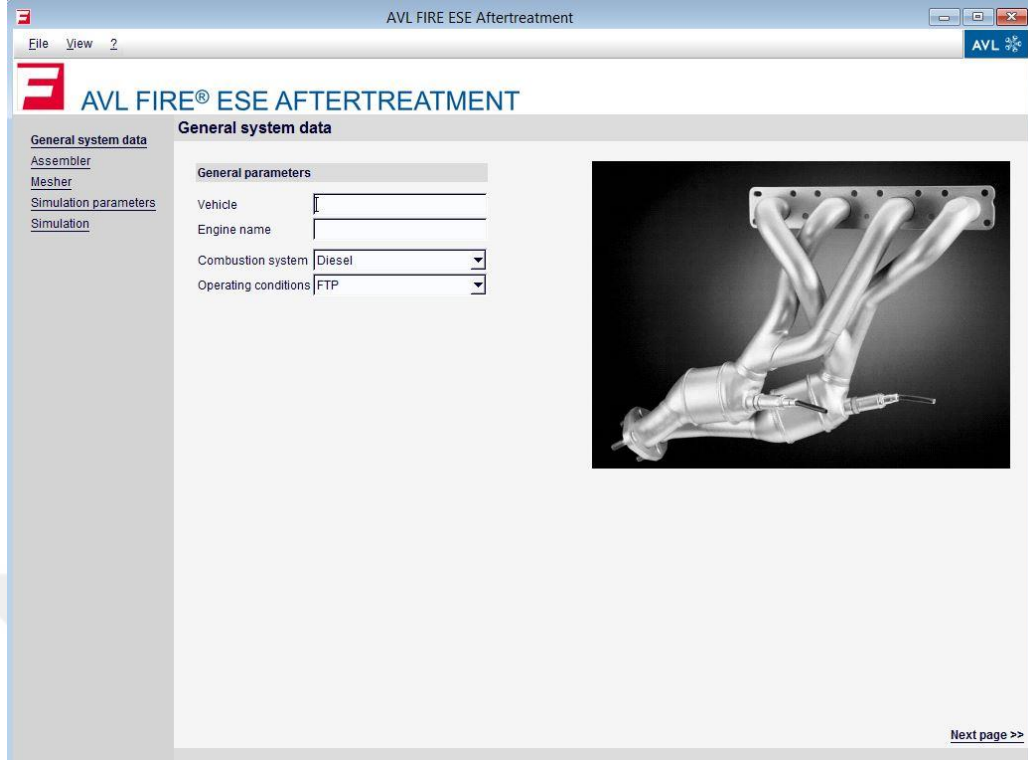
Şekil 1.3.'de SCR sistemi içerisinde meydana gelen reaksiyonlar gösterilmiştir. Oksidasyon katalistinin ayrı ve sistemle bütün olduğu durumda gösterilmiştir.

Bu çalışma kapsamında dizel motor kullanan bir taşıta ait egzoz sisteminin tasarımının yapılması planlanmış ve DOC-DPF sistemlerine sahip bir egzoz sistemi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma, AVL FIRE ticari yazılımı kullanılarak üç boyutlu olarak yapılmıştır. Özellikle DPF sistemi üzerinde parametrik olarak gerçekleştirilen çalışmada farklı DFP malzemeleri ve farklı kanal tipleri araştırılarak geniş bir ARGE çalışması sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma iki ana bölümde planlanmıştır. Bunlardan biri, farklı DPF malzemelerinin kullanılması sonucunda egzoz sistemindeki sıcaklık ve akış özelliklerini incelemek ve emisyon sonuçlarını elde etmek olarak belirlenmiştir. Diğer bölümde ise farklı DPF kanal tipleri kullanarak yine egzoz sistemine ait analizleri sağlamaktadır. Her iki bölüm detaylı olarak incelenmiş ve sonuçlar ayrıntılı olarak sunulmuştur. Çalışma 500 saniye süreli bir analizi içermektedir. Tüm çalışma zamanı için sonuçlar grafikler halinde sunulurken, ayrıca 150. ve 500. saniyelerdeki sonuçlar farklı kesit görüntüleriyle desteklenmiş ve daha detaylı hale getirilmiştir.

Çalışma kapsamında, AVL FIRE'in FIRE ESE AFTERTREATMENT kısmında üç boyutlu egzoz modeli oluşturulmuştur. Modelin oluşturulması AVL FIRE' da dört kısımda gerçekleştirilmiştir. Birinci kısımda genel sistem verilerinin girişi yapılmış ve bu kısımda çalışılan motor tipi ve Avrupa, Amerika veya Japon standartlarından çalışılacak olan standart seçilmiştir. İkinci kısımda dizel bir aracın egzoz sitem tasarımı yapılmıştır. Üçüncü kısımda, oluşturulan geometrik şeklin ağ yapısı oluşturuluş bu şekilde çalışma alanı oluşturulmuştur. Dördüncü kısımda ise çalışılacak simülasyon parametrelerinin ve sınır şartlarının girişi yapılmıştır.



Şekil 2.1. AVL FIRE genel sistem verileri penceresi

Şekil 2.1’ de ana çalışma ekranı görülmektedir. Genel sistem verileri kısmı çalışmaya başlanmadan önce çalışmanın genel verilerinin oluşturulduğu kısımdır. Ayrıca bu kısım devam eden veya önceki çalışmalarımızı daha kolay bir şekilde ayırt etmemizi sağlar. Genel sistem parametreleri Tablo 2.1.’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Genel sistem parametreleri

Genel Parametreler	Açıklama	Tanımlanan
Araç	Çalışma aracının ismi	
Motor İsmi	Çalışma motorunun ismi	
Yanma Sistemi	Dizel veya benzinli sistemlerden hangisi üzerine çalışma yapılıyorsa o sistem seçilir.	Dizel
	Uygulanan test şartları:	
	• FTP: Federal Test Prosedürü	
Çalışma Zamanı	• NEDC: Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi	NEDC
	• Constant: Değişmeyen standartlar	

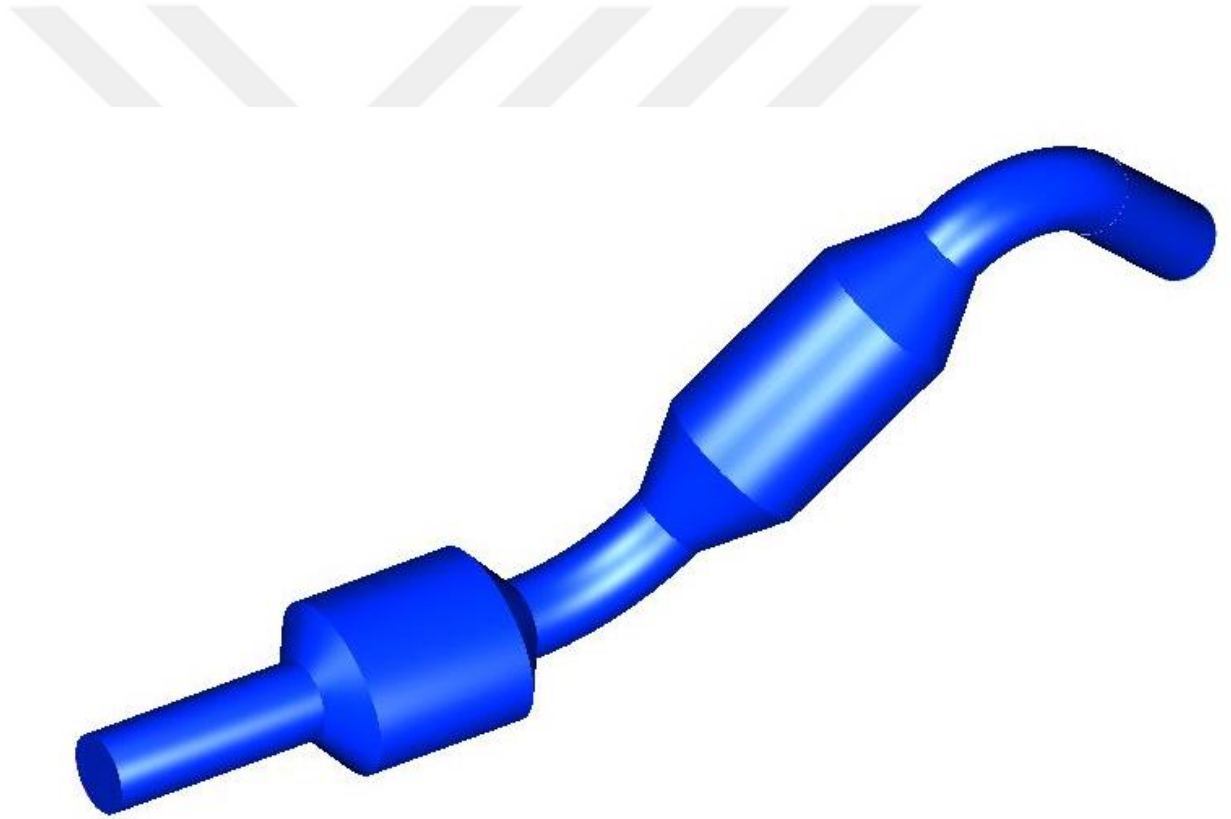


Şekil 2.2. Farklı dizel araçların egzoz sistemleri (a) Skoda 1.6cc dizel superb 2014 (b) Toyota Hilux 2.5cc dizel 4x4 2014 (c) Isuzu 2.5cc Dmax dizel 4x4 2014

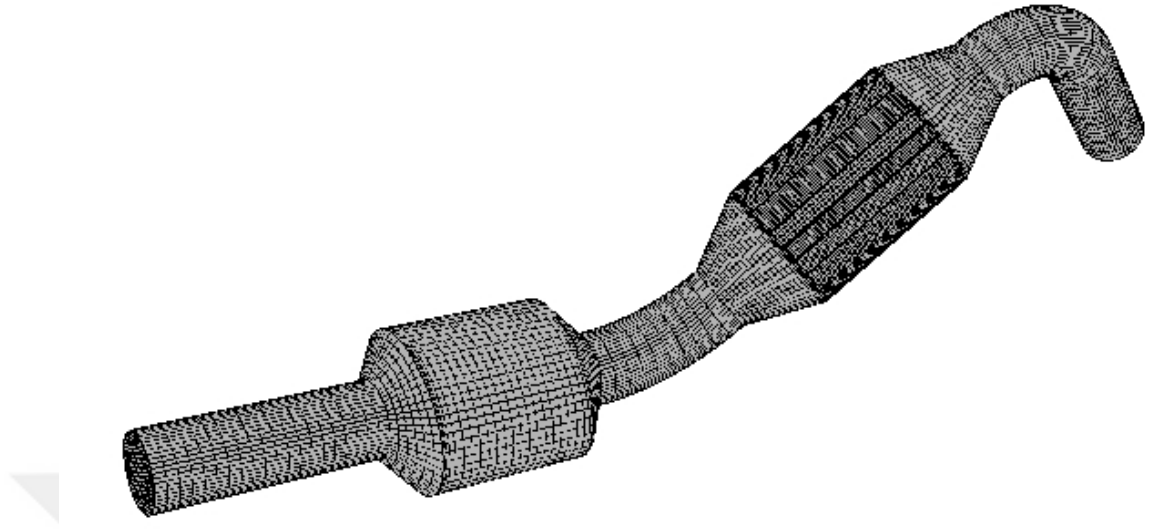
Uygun geometrinin oluşturulması için şekil 2.2.'de görüldüğü gibi çeşitli dizel araçların egzoz sistemleri, DOC'ları ve DPF'leri incelenmiştir. Dizel motorlu superb araç modelinde DPF uzunluğu 0.19 m ve DOC uzunluğu 0.10 m olarak ölçülmüştür. Dizel motorlu hilux araç modelinde DPF uzunluğu 0.18 m ve DOC uzunluğu 0.13 m olarak ölçülmüştür. Dizel motorlu Dmax araç modelinde DPF uzunluğu 0.23 m ve DOC uzunluğu 0.15 m olarak ölçülmüştür. İncelenen araçların DPF ve DOC boyutlarından faydalanılarak Tablo 2.2.'de ki değerler uygun görülmüştür. Ayrıca DPF ve DOC'un farklı konum ve bağlantılarda olmasından dolayı kendi tasarımıımızdaki düz ve eğimli boru modellerini literatür ve ölçüm sırasında düz ve eğimli boru uzunluklarını dikkate alarak uzunluklar belirlenmiştir. Daha sonra çalışılacak sistemin geometrik şeklinin çizim kısmına geçilmiş, burada tanımlı geometrik parçalarla sistem oluşturulmuştur. Parçaların birbirine montajı sonucunda toplam egzoz sistemi tasarlanmış olup parçaların detaylı olarak uzunlukları Tablo 2.2.' de verilmiştir. Değerlerin girişiyle oluşturan egzoz sistemi şekil 2.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Egzoz sistemi parçaları ve uzunlukları

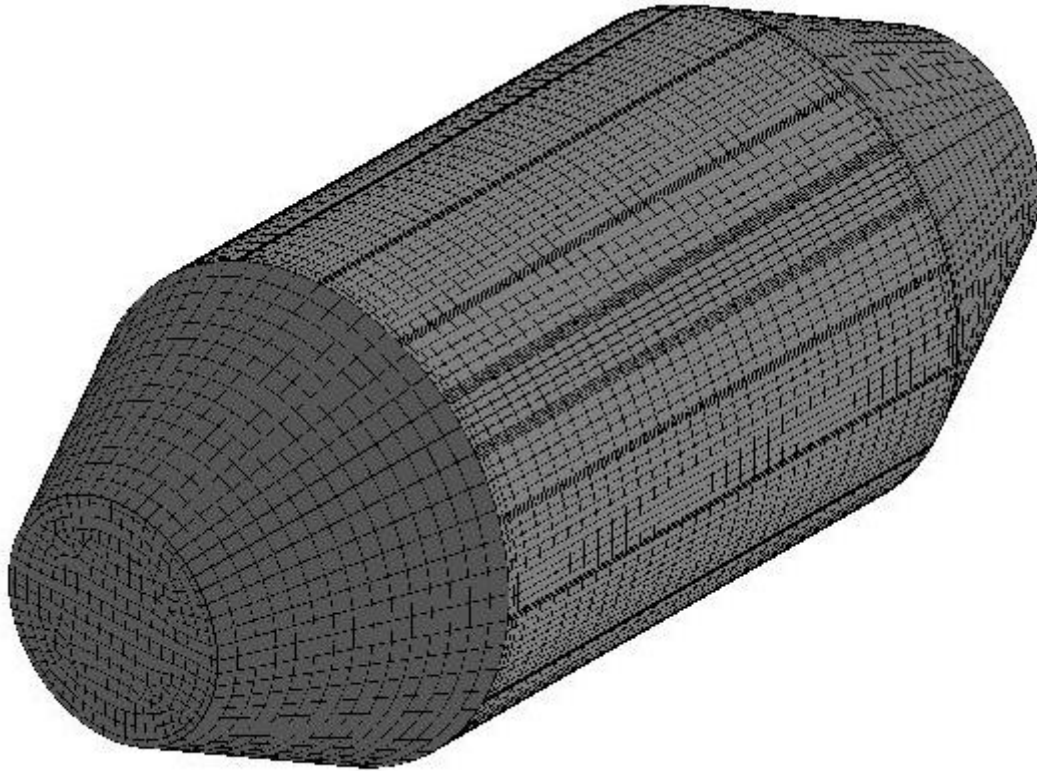
Parça Adı	Uzunluk
Giriş borusu	0.2 m
DOC giriş çıkış konisi	0.03 m
DOC	0.15 m
Ara dirseğin yarıçapı ve eğim açısı	0.2 m / 45°
DPF giriş-çıkış konisi	0.075 m
DPF	0.18 m
Çıkış dirseğin yarıçapı ve eğim açısı	0.1 m / 90°
Çıkış borusu	0.15 m
Toplam sistem	1.085m



Şekil 2.3. Egzoz sistemi modeli



Şekil 2.4. Egzoz sistemi mesh yapısı



Şekil 2.5. DPF mesh yapısı

Geometrik şekil tamamlandıktan sonra HAD analizlerinin yapılabilmesi için tüm sistemin ağ yapısının oluşturulması gerekmektedir. AVL FIRE programında bulunan ağ yapısı 2 ve 3 boyutlu sarmal yapılar oluşturmak için ideal olup kullanıcının oluşturduğu geometrik şekil için otomatik olarak uygun ağ yapısı ataması gerçekleştirebilir. Ancak kullanıcı DPF bölgesinde daha hassas ağ yapısı atayarak bu bölgede daha uygun veriler elde edebilir. Bu çalışmada 3 boyutlu bir modele ağ yapısı oluşturulmuştur. Ayrıca yer yer daha yoğun ağ yapıları oluşturularak daha uygun bir çözüm alınması sağlanmıştır. Ağ yapısından bağımsız çözüm tüm HAD çalışmalarında önemli olmakla birlikte bu çalışma kapsamında da ele alınmıştır. Farklı hücre sayılarında (98000,145000,225000 ve 480000) çözümler yapılmış. Hücre sayılarının artmasına bağlı çözüm sürecinin uzaması ve sonuçların değişim göstermemesinden dolayı 225000 hücreli modelin uygun olduğu belirlenmiştir. Bu sayıdan yukarıdaki ağ yapılarında çözüm süre oldukça uzadığı için çalışma yapılması uygun görülmemiştir.

Mesh işleminin ardından simülasyon parametrelerinin tanımlanması yapılmış ve bu kısımda oluşturulan sistem için sınır şartları ve parça tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon parametrelerinin belirlenmesinde ki ilk aşama çalıştırma modunun zamanlarının belirlenmesidir. Literatürde incelenen çalışmalar 100, 300 ve 500 saniyelerde çalışıldığı görülmüştür. Bundan dolayı zaman olarak bir iterasyon 1. saniyede başlayıp 500. saniyede sonlanacak şekilde tanımlanmıştır. Simülasyon çalışmasında özel iletim ve aftertreatment seçenekleri seçilir. Sınır koşullarından giriş şartlarından kütle akışı 180 kg/sa, sıcaklık değeri başlangıç için 300K ve 150. saniyeden sonra 600 K değeri girilir. Sıcaklığın 150. saniyede 600 K'e çıkması DPF içerisindeki PM emisyonunu yakma sıcaklığına çıkarılmıştır. Emisyonların başlangıç değerleri Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Emisyonların başlangıç değerleri

Emisyonlar	CO	C ₃ H ₆	NO	O ₂	CO ₂	NO ₂	H ₂	H ₂ O	C ₃ H ₈	N ₂
Başlangıç	5.911	7.65675	6.67	1.178	9.98	5.58	9.25	1	1	0.7686
Değerleri	e ⁻³	e ⁻³	e ⁻⁵	e ⁻¹	e ⁻²	e ⁻⁵	e ⁻⁵	e ⁻⁶	e ⁻⁶	

AVL FIRE’ın emisyon ve oksidasyon katalistinin özellikleri dışarıdan girileceği gibi kullanıcının değiştirmeden kullanımı için sürekli olarak güncel tutulmaktadır. AVL FIRE ‘ın sisteminde bulunan emisyon ve oksidasyon özellikleri kullanılmıştır. Sistemin duvar koşullarında çevre sıcaklığı 300 K ve dış ısı transfer katsayısı 10 W/mK değeri girilmiş ve çalışma ortamı tanımlanmıştır. Oksidasyon katalistinin özelliklerinden katalist tipi kare hücreli katalist seçilmiş ve katalistin değerleri Tablo 2.4.’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Oksidasyon katalistinin özellikleri

Katalist Özellikleri	Hücre Yoğunluğu (1/m ²)	Duvar Kalınlığı (m ²)	Katalist Yoğunluğu (kg/m ³)	Isl İletkenlik (W/mK)	Özgül Isı (J/kgK)	Katalizör Başlangıç Sıcaklığı (K)	Katalist İterasyon Sayısı
Değerleri	5.911e-3	0.0001524	1000	3	950	300	20000

Dizel oksidasyon katalistinin içerisinde meydana gelen reaksiyonlar;



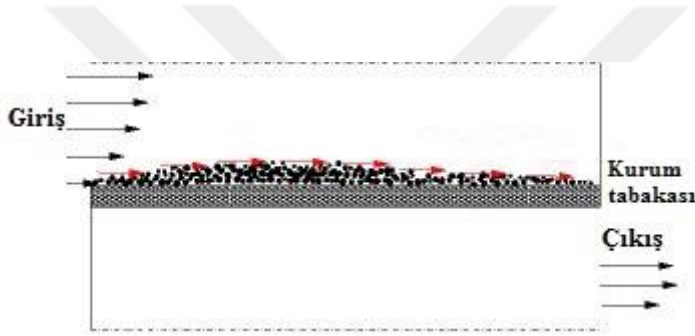
(2.2), (2.3) ve (2.4) denklemlerinde ki gibidir.

Basınç düşümü, katalizör ve DPF kanalları boyunca gerçekleşir. Kanal yüzeyleri üzerindeki birikime bağlı, oluşan direnç basınç düşüşünü etkiler. Katalizör ve DPF kanalları boyunca meydana gelen basınç düşüşü denklemini 2.5’de verilmiştir.

$$\frac{d_p}{d_x} = - \frac{\lambda_{Lam} / \lambda_{Tür}}{d_h} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \quad (2.4)$$

Tablo 2.5. Basınç düşüş denkleminde ki ifadeler

d_p / d_x	Gözenekli malzeme içerisindeki basınç gradienti
$d_h = \frac{4A}{L}$	Ortalama hidrolik çap
w	Kanallardaki geçiş hızı
$\lambda_L = \varphi \frac{64}{Re_d}$	Laminer boru sürtünmesi $\varphi = 1.0$ Dairesel şekiller için $\varphi = 0.89$ Kare ve dörtgen şekiller için
$\lambda_T = \frac{0.316}{Re_d^{1/4}}$	Türbülanslı boru sürtünmesi
$Re_d = \frac{d_h w \rho}{\mu}$	Reynold sayısı

**Şekil 2.6.** Kurum parçacıklarının birikimi

Şekil 2.6.'da ki kurum parçacıklarının birikimi verilmiştir. Biriken kurumun yüksekliği ve akış hızına bağlı külün yüksekliğinin değişimi de denklem 2.5'deki gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{\partial \delta_{SC}}{\partial t} + c_m \cdot \frac{\partial (v_1 \cdot \delta_{SC})}{\partial z} = 0 \quad (2.5)$$

Tablo 2.6. Kurum parçacık denkleminin ifadeleri

δ_{SC}	Külün yüksekliği
c_m	Birikim sabiti ($c_m = 1$)

DPF filtresinde, filtrasyonun gerçekleşmesiyle kül birikimi meydana gelir. Bu kül birikimi zamanla artar ve filtrede tıkanıklığa yol açar. Bu sebeple belirli zamanlarda filtrede biriken külün uzaklaştırılması gereklidir. DPF üzerinde bulunan sıcaklık ve basınç sensörleri birikimi kontrol altında tutmak için elektronik kontrol ünitesine bilgi gönderir.

Sıcaklık ve basınç değişimine bağlı rejenerasyon işlemi gerçekleşir. Rejenerasyon sırasında meydana gelen denklemler; (2.6), (2.7), (2.8), (2.9) ve (2.10)'da verilmiştir.



$$\dot{r}_1 = f_{CO} \cdot k_1^0 \cdot \exp\left(\frac{-E_{A,1}}{R.T_{Kati}}\right) \cdot c_{O_2}^B \quad (2.8)$$

$$\dot{r}_2 = (1 - f_{CO}) \cdot \exp\left(\frac{-E_{A,1}}{R.T_{Kati}}\right) \cdot c_{O_2}^B \quad (2.9)$$

$$f_{CO} = \frac{1}{1 + P_1 \cdot y^{P_2} \cdot \exp\left(\frac{P_3}{R.T_{Kati}}\right)} \quad (2.10)$$

Tablo 2.7. Rejenerasyon denkleminin ifadeleri

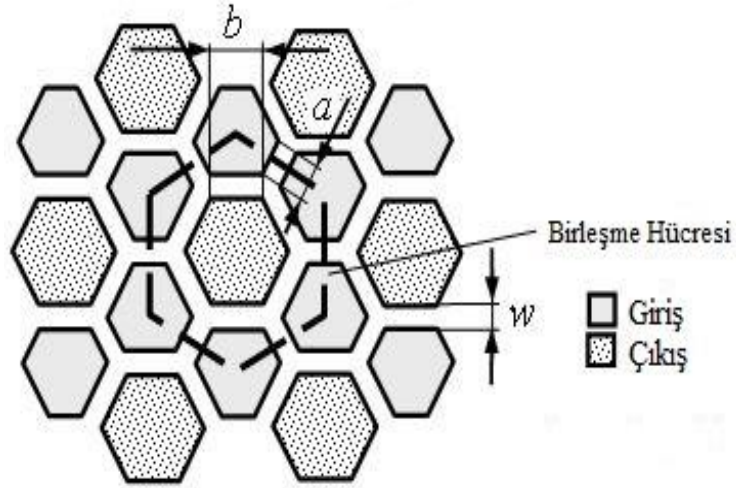
$\dot{r}_1, \dot{r}_2$	1,2 reaksiyon oranı
f_{CO}	DPF rejenerasyonunun oksijen ile sıcaklık bağımlılığı faktörü (-)
k	Arrhenius frekans faktörü
P	Basınç (Pa)
R	Evrensel gaz sabiti (Kj/kmol.K)

Temel olarak çalışma planı yukarıda anlatıldığı gibi yapıldıktan sonra bu tez çalışması kapsamında incelenecek parametreler belirlenmiştir. Çalışma temel olarak iki ana başlık altında planlanmıştır. Bunlardan birincisi Farklı DPF malzemeleri kullanılarak egzoz sisteminin analizinin gerçekleştirilmesidir. Bu kapsamda DPF'nin özelliklerinden asimetrik kare hücreli DPF tercih edilerek bu kanal tipi bu çalışma adımında sabit tutulmuştur. DPF için Alüminyum Titanat (AT), Kordierit (Crd) ve silikon karbür (SiC) malzemeleri kullanılmıştır. Bu malzemelere ait özellikler Tablo 2.8.'de görülmektedir.

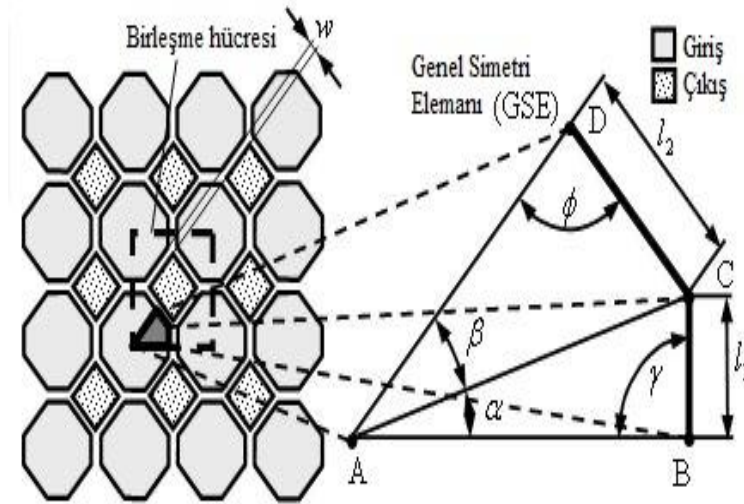
Tablo 2.8. DPF'nin üç farklı malzeme için simülasyon değerleri

Malzemeler	Hücre Yoğunluğu (cpsi)	Duvar Kalınlığı (mm)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı İletim katsayısı (W/mK)	Özgül Isı (J/kgK)
Alüminyum Titanat	300	0.305	1800	0.85	800
Kordierit	100	0.43	1400	0.85	1120
Silikon Karbür	300	0.305	1800	40	800

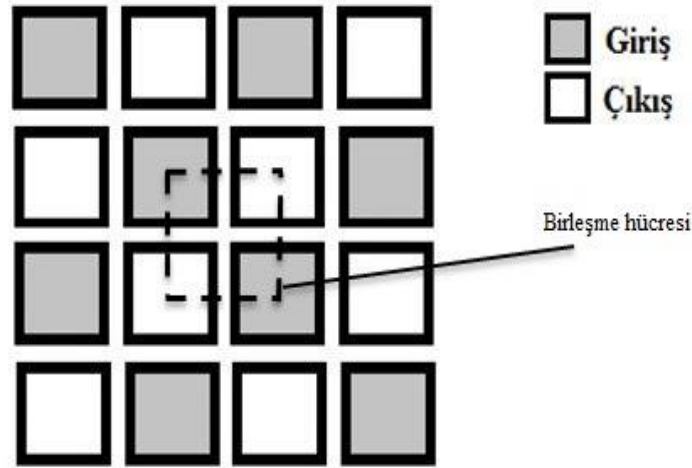
Çalışmanın ikinci adımında DPF kanal şekilleri üzerine çalışmıştır. Farklı DPF kanal şekilleri için DPF malzemesi AT seçilmiştir. Çünkü literatürde SiC ve Crd malzemeleri için petek ve kare yapıları incelenmiştir. Bundan dolayı farklı bir çalışma konusu olarak AT malzeme olarak kabul edilerek DPF'nin iç kanal yapısı değiştirilmiştir. Kanal yapısı Hexahex, Petek tipi ve kare tip olarak üç farklı geometrik şekilde belirlenmiştir. Bu kanal tipleri birçok firma tarafından kullanılan tiplerdir. Kullanılan kanal tipleri Şekil 2.7.'de görülmektedir.



a) Durum 1



b) Durum 2



c) Durum 3

Şekil 2.7. Alüminyum titanat için 3 farklı şekil modeli a) hexahex şekil b) petek tip c) kare tip

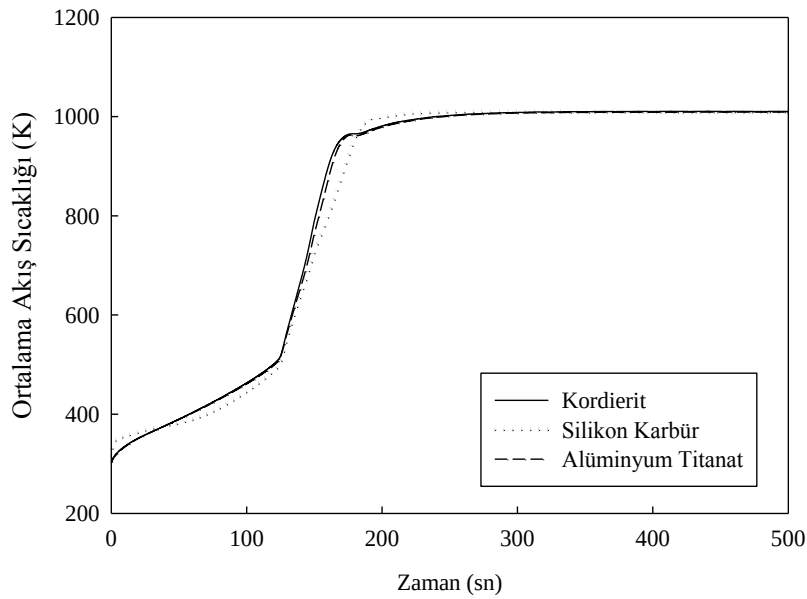
Yapılan bu işlemlerin ardından simülasyon çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiştir. Her bir parametre için aynı işlemler tekrarlanarak farklı analiz dosyaları elde edilmiştir. Çalışma tamamlandıktan sonra sonuçların elde edilmesi ve ham sonuçların işlenmesi için ileri süreç teknikleri kullanılmıştır. Bu işlemler için FIRE Workflow Manager ve AVL' nin Impress Chart yazılımları kullanılmıştır. Bu ortamlar vasıtasıyla sonuçlar hem grafiksel hem de görseller şeklinde elde edilmiştir.

3. BULGULAR

Bu bölümde, DOC ve DPF kullanılan dizel motorlu bir taşıtın egzoz sisteminin AVL FIRE ortamında HAD kullanılarak modellenmesi ile ilgili yapılan çalışmanın sonuçları verilmiştir. Farklı DPF malzemeleri ve kanal şekilleri için elde edilen sıcaklık, basınç ve emisyon değişimleri zamana bağlı olarak grafikler halinde sunulmuştur.

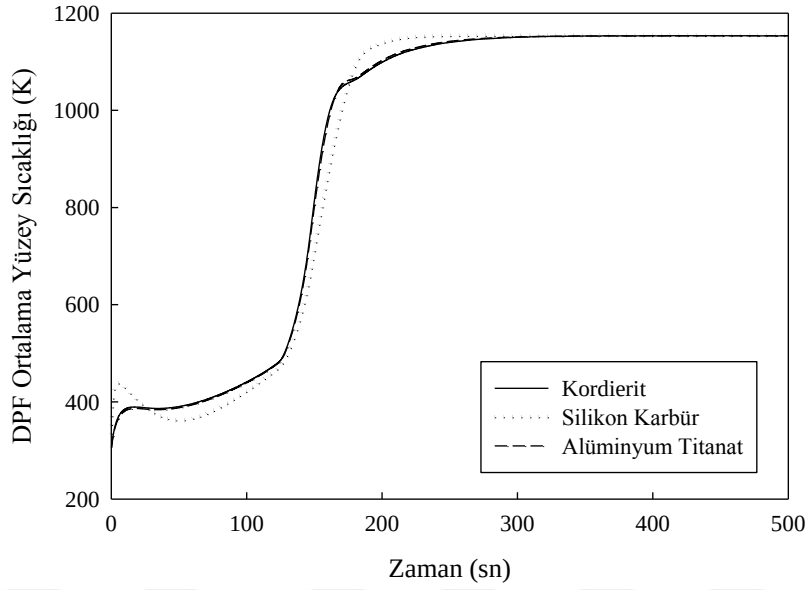
3.1. Farklı DPF malzemeleri için grafiksel bulgular

DPF malzemesi olarak Crd, AT ve SiC kullanımında zamana bağlı olarak ortalama akış sıcaklığı, DPF ortalama yüzey sıcaklığı ve ortalama katı gradienti sıcaklığının değişimi sırasıyla Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'te verilmiştir.

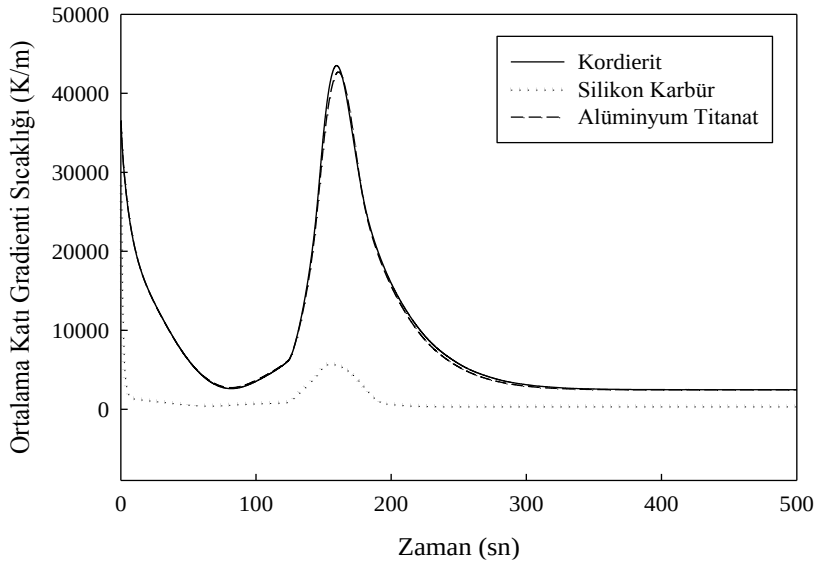


Şekil 3.1. Farklı malzemeler için ortalama akış sıcaklığı

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi DPF malzemesi olarak Crd ve AT kullanımında 0.saniyede 300 K olan ortalama akış sıcaklığı 150.saniyede 600 K'e ve 200 saniyede 970 K' e çıkarak maksimum değerine ulaşmıştır. SiC kullanımında ise başlangıç sıcaklığının biraz daha yüksek olduğu ancak ilerleyen süreçte sıcaklık yükselmesinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bununla beraber SiC kullanımında maksimum sıcaklık değerine 200 saniyeden sonra ulaşılmış ve yaklaşık olarak 990 K olmuştur.



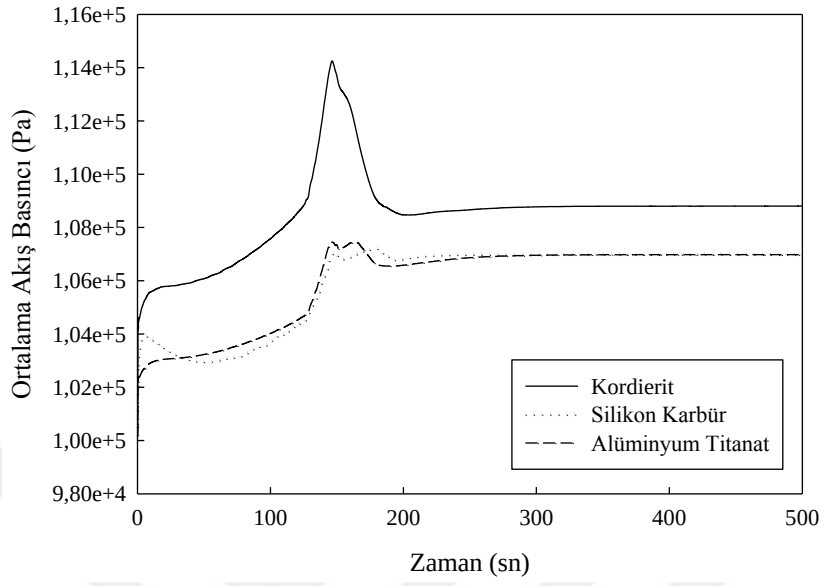
Şekil 3.2. Farklı malzemeler için DPF ortalama yüzey sıcaklığı



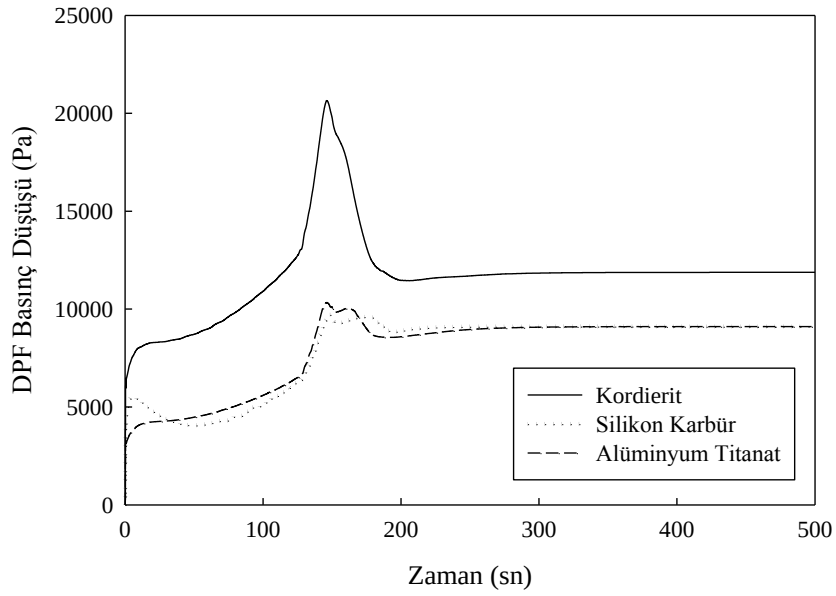
Şekil 3.3. Farklı malzemeler için ortalama katı gradienti sıcaklığı

Şekil 3.2.'de DPF ortalama yüzey sıcaklığı içinde benzer bir değişim görülmektedir. SiC kullanımında ki değişimin temel nedeni olarak ısı iletim katsayısı verilebilir. Tablo 2.8.'de görüldüğü gibi AT, Crd ve SiC'in ısı iletim katsayıları sırasıyla 0.85, 0.85 ve 40 W/mK'dir.

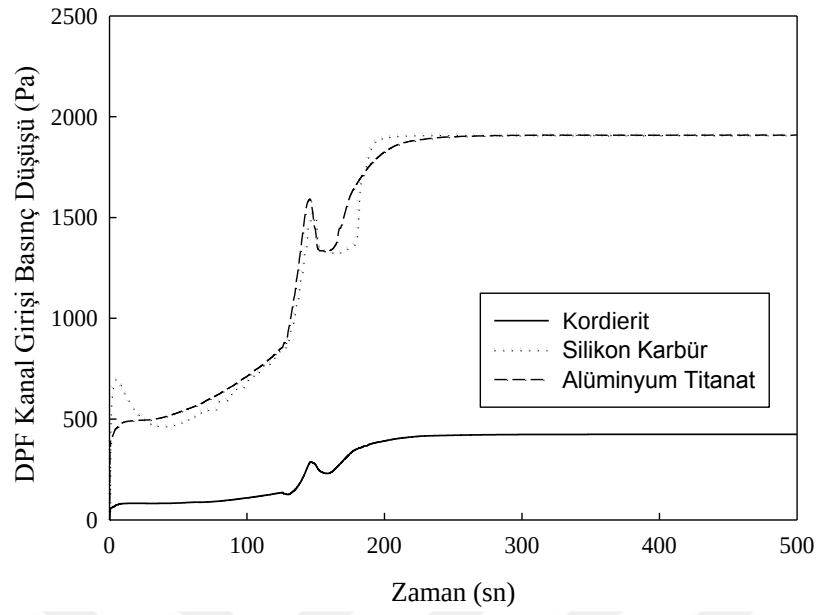
SiC kullanımında yüksek ısı iletimi özelliğinden dolayı sıcaklığın daha düşük olduğu söylenebilir. Nitekim şekil 3.3.'de ortalama katı gradiyenti sıcaklığı değişimde bu durum daha açık bir şekilde görülmektedir.



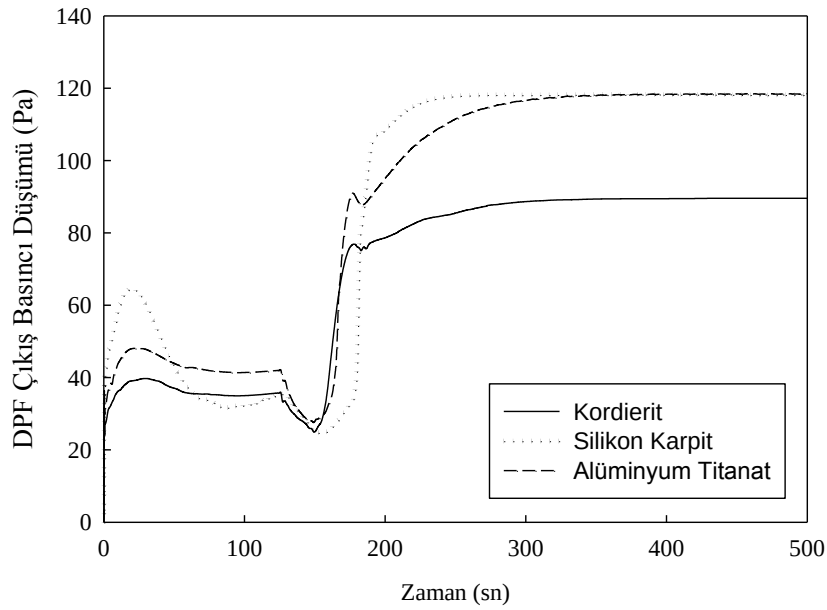
Şekil 3.4. Farklı malzemeler için ortalama akış basıncı



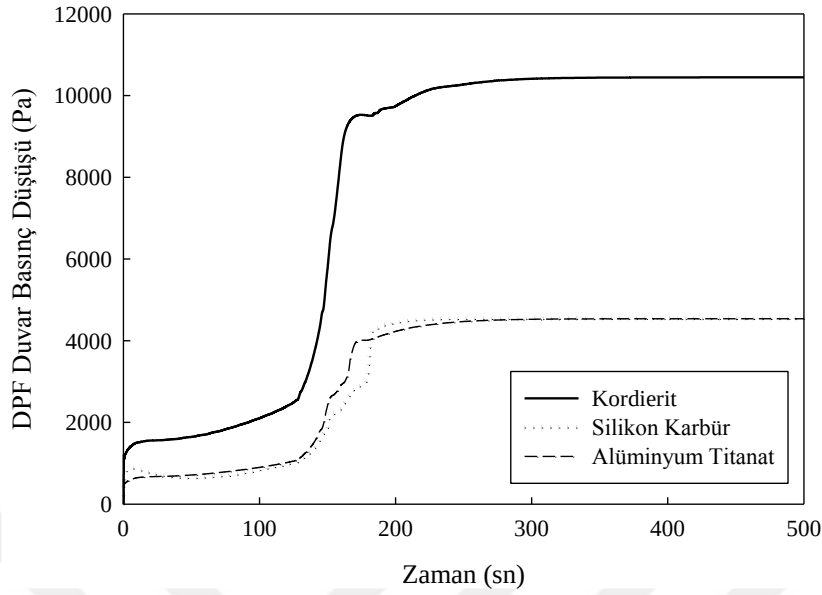
Şekil 3.5. Farklı malzemeler için DPF basınç düşüşü



Şekil 3.6. Farklı malzemeler için ortalama DPF kanal giriş basınç düşüşü



Şekil 3.7. Farklı malzemeler için DPF çıkış basıncı düşümü

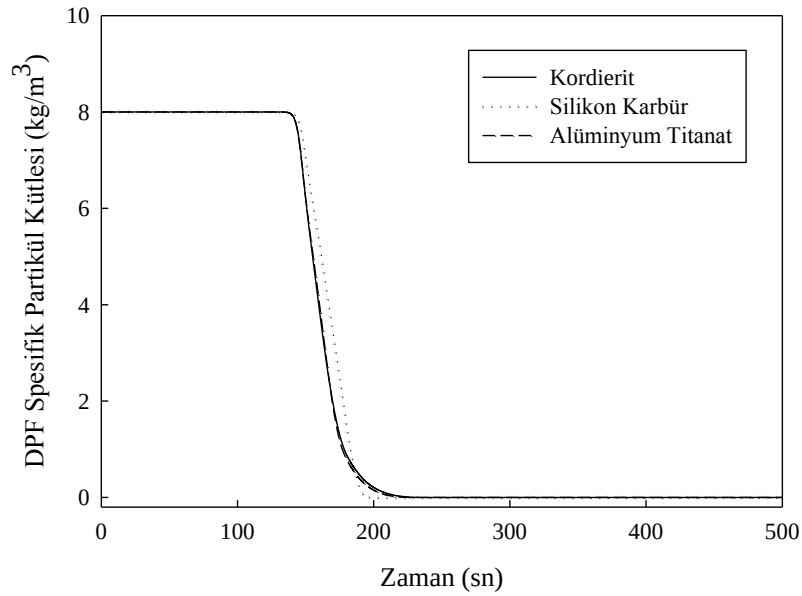


Şekil 3.8. Farklı malzemeler için DPF duvar basınç düşüşü

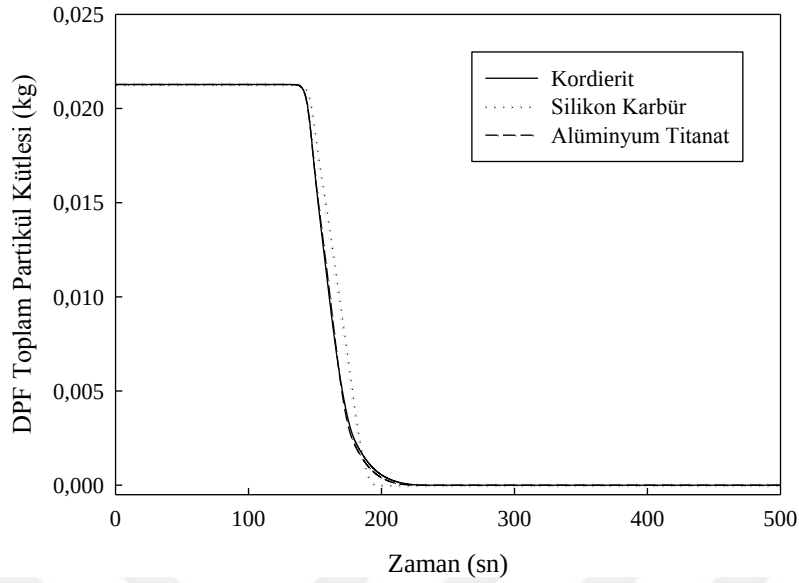
Crd, SiC ve AT kullanımında zamana bağlı olarak DPF'deki akış basınç ve basınç düşüşü değerlerinin değişimi Şekil 3.4.-Şekil 3.8 aralığında verilmiştir. Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi her bir malzeme için basıncın zamanla arttığı, 100 saniyeden sonra hızla yükseldiği 150.saniye civarında ise maksimum değerine ulaştıktan sonra düşmeye başladığı görülmektedir. Ayrıca 200. saniyeden sonra sabit seyrettiği de şekilde görülmektedir. Öte yandan Crd ve SiC kullanıldığında AT kullanımına göre daha yüksek bir basınç değeri ile başlamış ve basınç yükselmesi en fazla Crd kullanımında gerçekleşmiştir. Benzer şekilde en fazla sıcaklık yükselmesinin de Crd kullanımında olduğu Şekil 3.1.'de görülmektedir. Bu durum 1000 K civarına kadar PM birikimi söz konusu olduğu göz önüne alındığında en fazla birikimin Crd kaplanmış DPF'de olduğu ve dolayısıyla akış basıncının da en yüksek olduğu anlaşılmaktadır. 100 K'den sonra PM'lerin yanmaya başlaması ile DPF'de biriken PM kütlesi azalır ve basınç düşmeye başlar. Şekil 3.1. ve Şekil 3.4. birlikte incelendiğinde bu durum açıkça görülmektedir.

Şekil 3.5.'deki basınç düşüşü Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de DPF giriş ve çıkıştaki basınç düşüşü, Şekil 3.8.'de ise DPF duvar basınç düşüşü verilmiştir. Şekil 3.5'de DPF'deki basınç düşüşüne bakıldığında ortalama akış basıncına benzer tam eğilim elde edildiği görülmektedir. Aynı şekilde Crd kullanıldığında basınç düşüşü SiC ve AT kullanımına göre çok yüksek olmuştur.

Buna karşın Şekil 3.6. ve Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi DPF kanal giriş ve çıkışındaki basınç düşüşü Crd kullanımında SiC ve AT'ye göre düşük olmaktadır. Çalışmanın bu kısmında kanal şekli sabit tutulduğunda basınç düşümü PM birikimine bağlanabilir. Dolayısıyla yaklaşık olarak benzer zamanlarda basınç düşümlerinin yükselmesine rağmen Crd'de basınç düşüşünün daha yüksek olması PM birikiminin daha fazla olmasına bağlanabilir. Nitekim Crd kullanımında DPF kanal girişindeki basınç düşüşünün düşük, çıkışta ise yüksek olması da bu durumu desteklemektedir. DPF uygulamalarında basınç düşüşünün motor performansı ve yakıt ekonomisi üzerindeki önemli etkisi dikkate alındığında SiC ve AT kaplı DPF'lerin Crd kaplı DPF'e göre daha uygun olduğu söylenebilir.



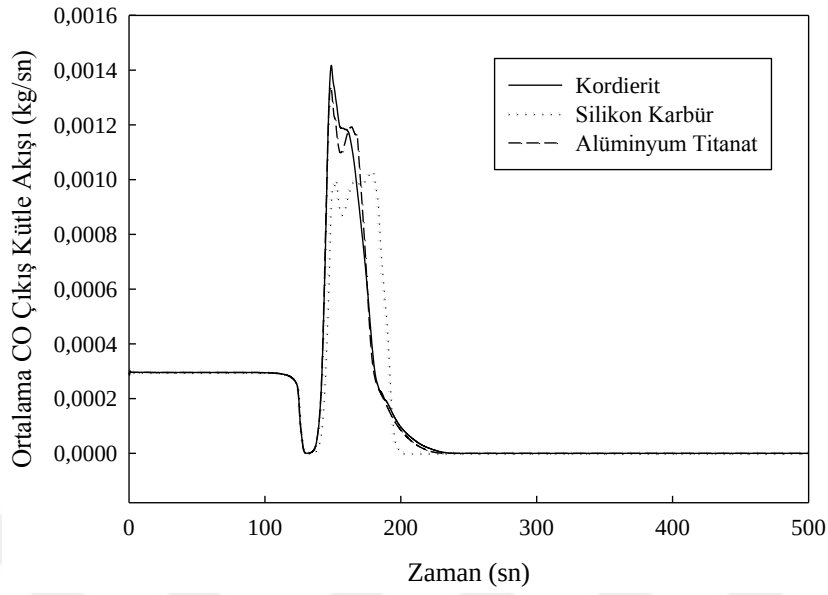
Şekil 3.9. Farklı malzemeler için DPF spesifik partikül kütlesi



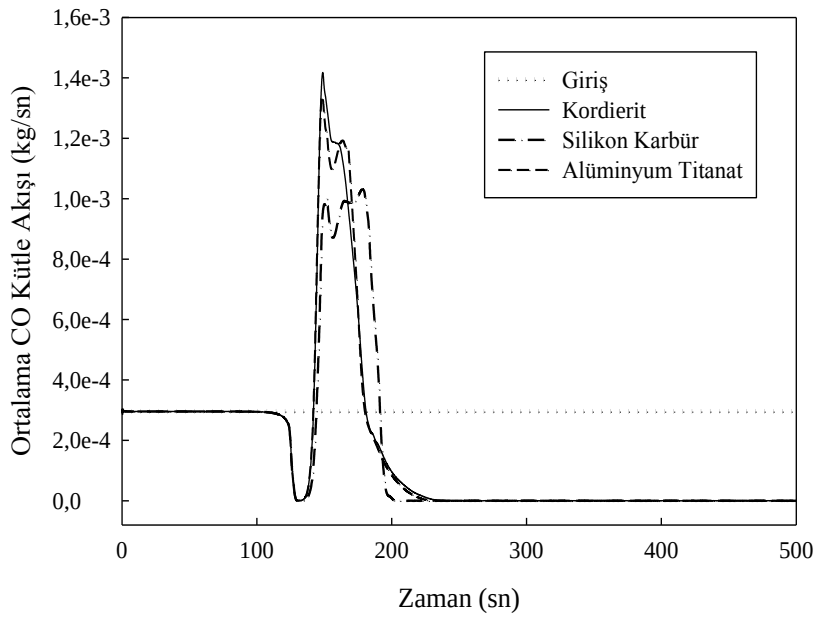
Şekil 3.10. Farklı malzemeler için DPF toplam partikül kütlesi

Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'de birim hacim başına ve toplam PM kütlesi zamana bağlı olarak gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde DPF'de 150. saniyeye kadar uygun sıcaklığın oluşmamasından dolayı reaksiyonlar aktif bir şekilde gerçekleşmemiştir. Bu da PM kütlesinin DPF'de birikimine sebep olmuştur. Bundan dolayı akışta zorlanma meydana gelmektedir. Bu zorlanmadan dolayı akış basıncı PM emisyonu azalana kadar artış gösterir. PM'lerin yakılmasıyla PM emisyon kütlesi azalmaktadır.

150. saniyede ise 300 K sıcaklığından 600 K'e çıkmasıyla DPF reaksiyonlarının gerçekleştirme hızı artmıştır. Bu nedenle partikül kütlesinde ani bir azalış görülmektedir. Şekil 3.1.'de 200. saniyelere kadar akış sıcaklığının 1000-1050 K değerlerine ulaşmasından sonra PM kütlesi de 0'a yakın seviyelere kadar düşmüştür. AT ve Crd'nin ısı iletkenlikleri 0.85 (W/m.K) iken, SiC'in termal iletkenliği 40 (W/m.K) değerinde olmasından dolayı SiC 'de PM kütlesinde daha fazla azalma meydana gelmiştir.



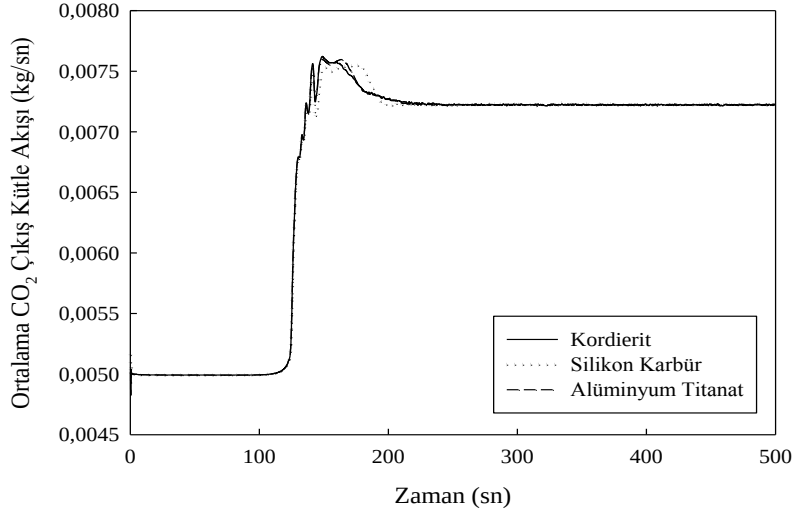
Şekil 3.11. Farklı malzemeler için ortalama CO çıkış kütle akışı



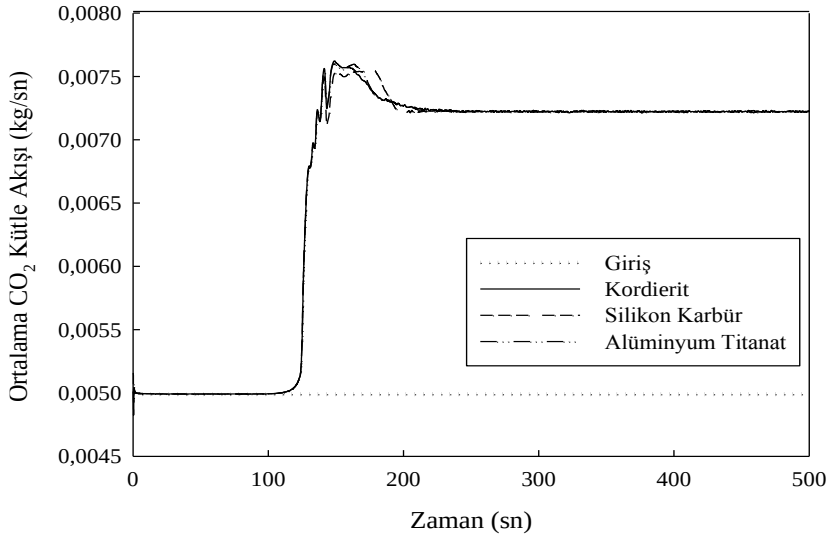
Şekil 3.12. Farklı malzemeler için ortalama CO kütle akışı

Şekil 3.11. ve Şekil 3.12.'e bakıldığında DPF içerisinde ki yetersiz O_2 , yüksek sıcaklıklarla birlikte yanmamış yakıt partiküllerin yanması için yeterli zamanın olmaması ve yanmanın eksik olmasından dolayı CO emisyonları oluşur [28-29]. Yüksek alev sıcaklıklarında su gazı reaksiyonu $CO + H_2O \leftrightarrow H_2 + CO_2$ denklemi CO_2 miktarına oranla daha fazla CO oluşmasının nedenlerindendir.

Ancak sıcaklığın düşmesi ve yeterli zamanla birlikte CO'nun CO₂'ye oksidasyonu gerçekleşir. Şekil 3.13 'deki CO akış grafiğine bakıldığında akış içerisinde üç farklı malzeme için Crd malzemesinde en yüksek seviyede olduğu görülmüştür. SiC daha geç bu sıcaklıklara ulaştığından CO oluşturma oranı daha düşüktür.



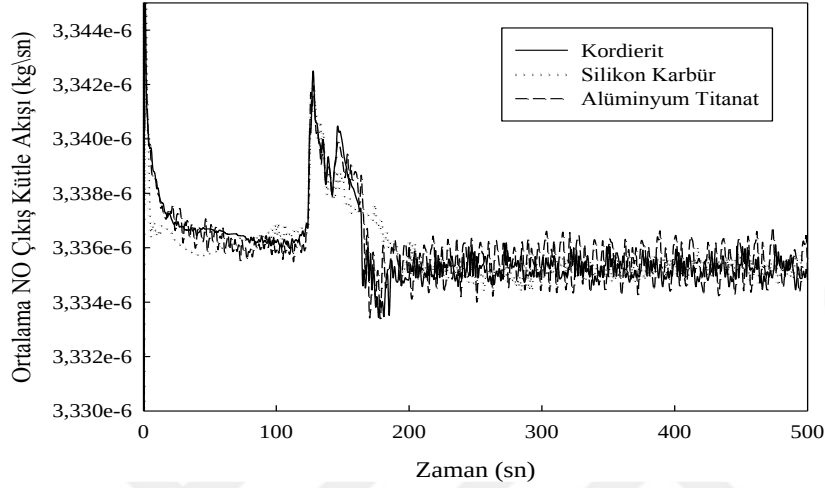
Şekil 3.13. Farklı malzemeler için ortalama CO₂ çıkış kütle akışı



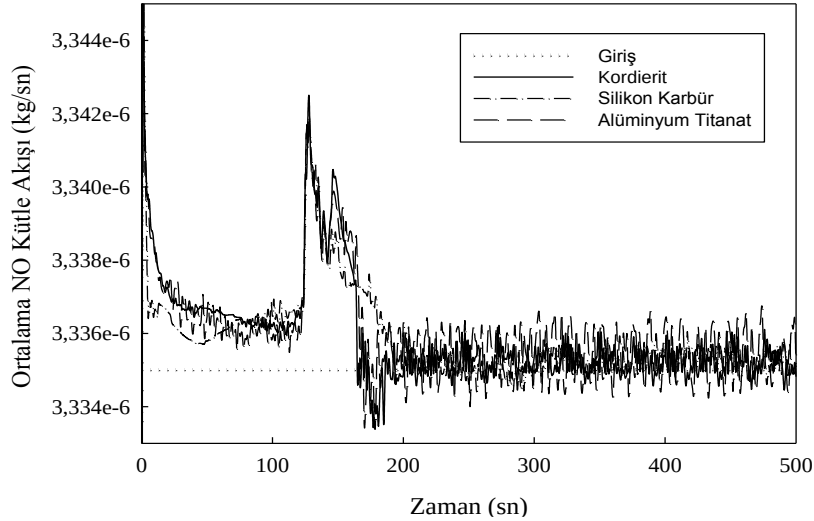
Şekil 3.14. Farklı malzemeler için ortalama CO₂ kütle akışı

Şekil 3.13.'de meydana gelen CO emisyonu düşük reaksiyon hızlarında CO₂'ye okside olur. Egzoz gazının içerisinde yerel O₂'nin yetersizliği ve yeterli zamanın olmaması durumlarının geçmesiyle CO'ların CO₂'ye dönüşümü hızlanır [36]. Ayrıca şekil 3.13. ve şekil 3.14.'de de görüldüğü gibi 100. saniyeden sonra sıcaklığın artmasıyla DOC'da meydana gelen HC ve CO reaksiyonlarıyla egzoz gazlarındaki CO₂ miktarı artmıştır.

Ancak 150. saniyede SiC malzemesinde CO₂ oluşumu diğer iki malzemeye göre düşüktür. Fakat 150. saniyeden sonra SiC’deki daha kararlı sıcaklık dağılımından dolayı CO₂ emisyon azalımı daha uzun ve kararlı devam etmiştir. DPF çıkışından sonra CO₂ dönüşüm reaksiyonunun azalmasına bağlı CO₂ kütle akışı da azalım göstermiştir.



Şekil 3.15. Farklı malzemeler için ortalama NO çıkış kütle akışı



Şekil 3.16. Farklı malzemeler için ortalama NO kütle akışı

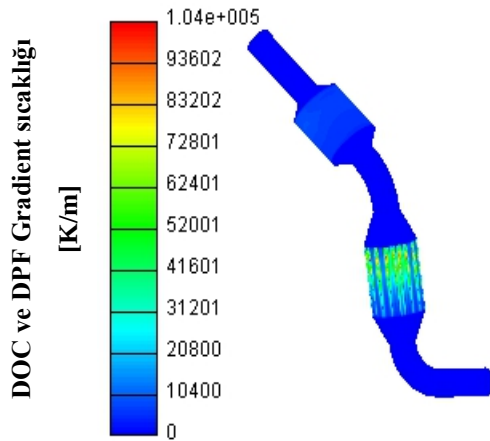
Sıcaklık NO oluşumunun en önemli parametresidir. Şekil 3.15. ve şekil 3.16.’ye bakıldığında sıcak gelen egzoz gazları 150. saniyede sıcaklığın daha da artması ve DPF’ye gelmeden önce DOC’da meydana gelen reaksiyonların hızının artması ile egzoz gaz sıcaklığı daha da yükselerek NO’nun artmasına neden olur. 150. saniyeden sonra egzoz sistemi boyunca egzoz gazlarının sıcaklığının düşmesiyle NO emisyonları da azalmıştır.

SiC kaplı DPF’de daha kararlı bir sıcaklık dağılımı göstermesinden dolayı 150. saniyeden sonra daha düzgün bir azalma göstermiştir. SiC 200 sn’de Minimum seviyelere inmiştir. Ancak 150. saniyelerde Crd ve AT daha az NO seviyelerine kadar inmiştir. Bunun nedeni termal iletkenliğin Crd ve AT ’nin aynı ancak SiC ‘den düşük olmasıdır.

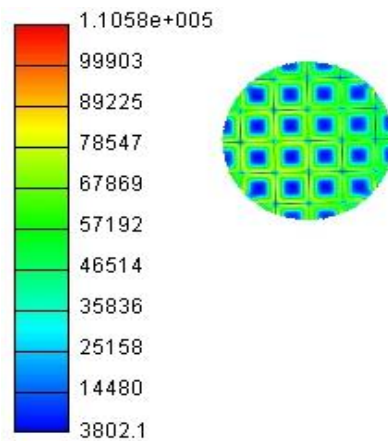
Isı transferi ve akış grafiklerinde egzoz sisteminin üç farklı malzeme için 150 ve 500 saniyede ki akış sıcaklığı, basıncı ve hızı incelenmiştir. Ayrıca DOC ve DPF sıcaklık görünümleri bulunmuştur. Sıcaklığın ve basıncın değişimine bağlı olarak DPF’de ki kül ve PM birikimi değişiklik göstermiştir. Birikimin artması basınç farkını oluşturur ve egzoz sisteminde zorlanma meydana gelir. Bu zorlanma da motoru ve dolayısıyla da aracı olumsuz bir şekilde etkiler. Farklı malzemelerle kaplanmış DPF sisteminin sıcaklık değişimini doğrudan etkiler. Bu şekilde sistem sıcaklığı reaksiyon hızını değiştirir. Emisyonların ve akış hızının değişimine sebep olur. Sıcaklığın düşük olması reaksiyon hızını düşürmesinden dolayı DPF’de birikimin artmasına ve basıncın aşırı yükselmesine neden olur. Buda akış hızının azalmasına ve zorlanma direncinin artmasına sebep olur.

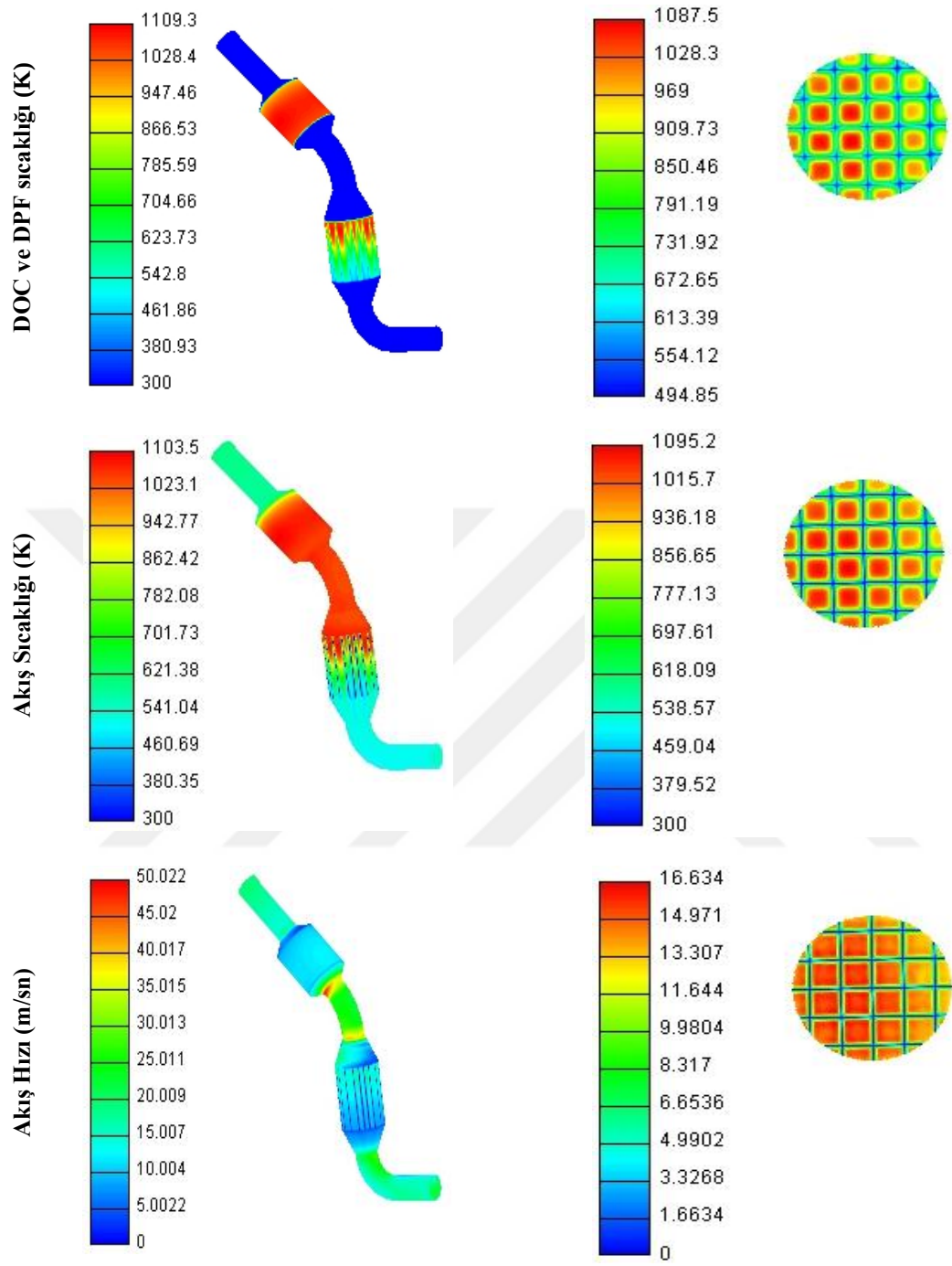
AT ve Crd kaplı DPF’nin termal iletkenliği 0.85-1.5 W/(m.K) iken SiC kaplı DPF’nin 11-115 W/(m.K) oralarındaki yüksek termal iletkenliğinden dolayı yüksek ısı transferi gösterir [55-56-57].

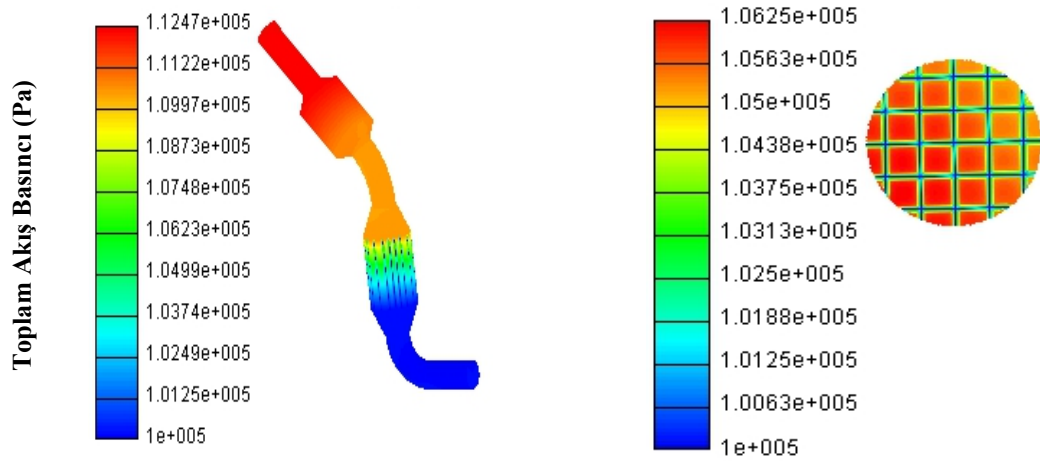
AT Genel 3 boyutlu görünüm



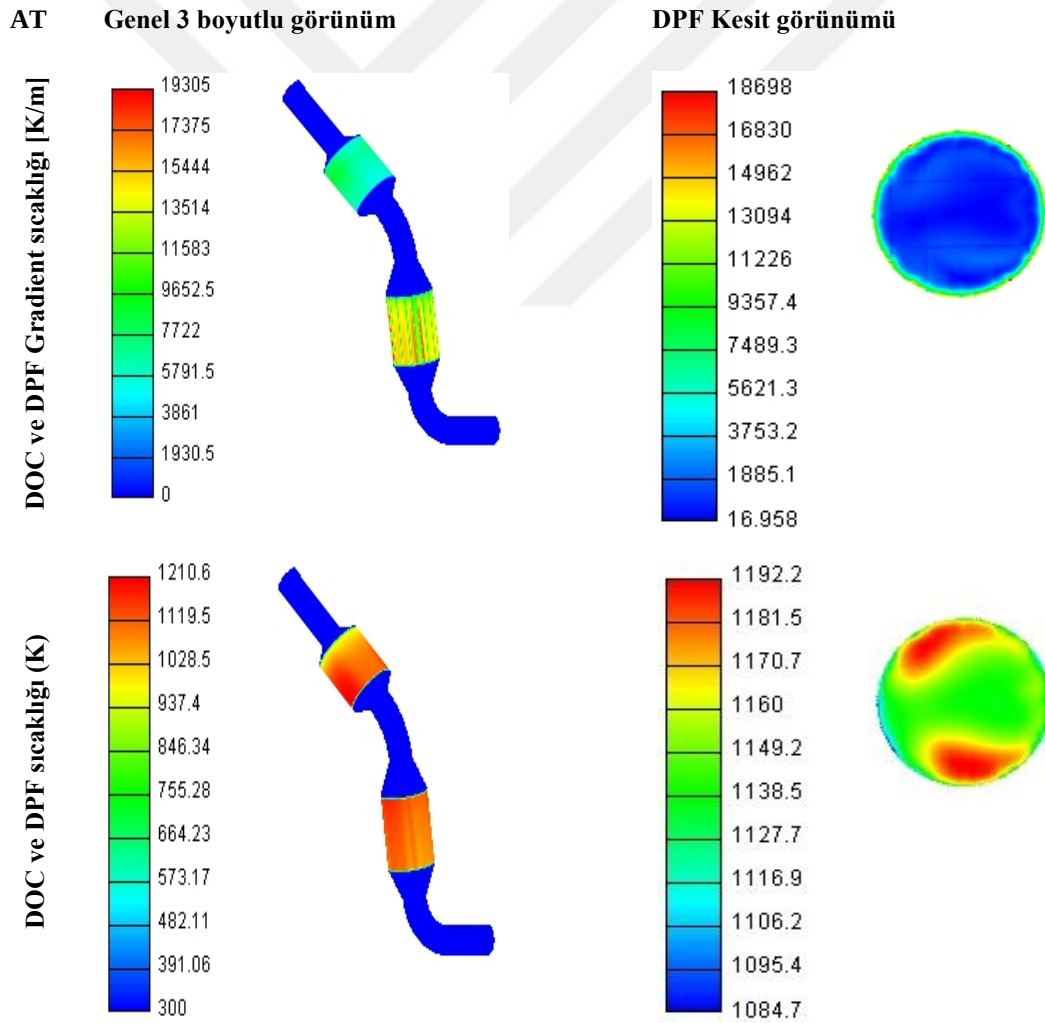
DPF Kesit görünümü

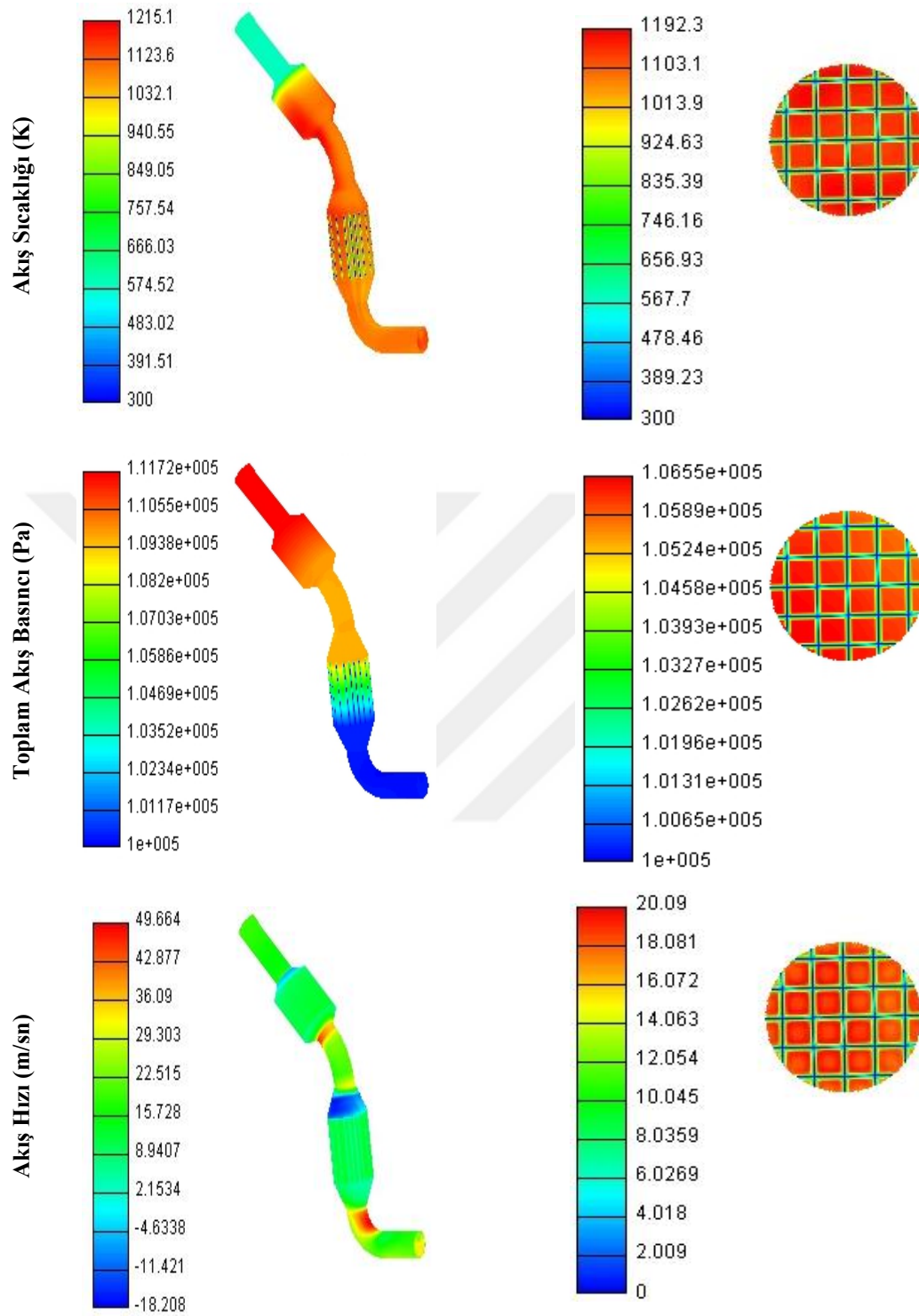






Şekil 3.17. Alüminyum titanat için 150 sn'de akış ve sıcaklık sonuçları

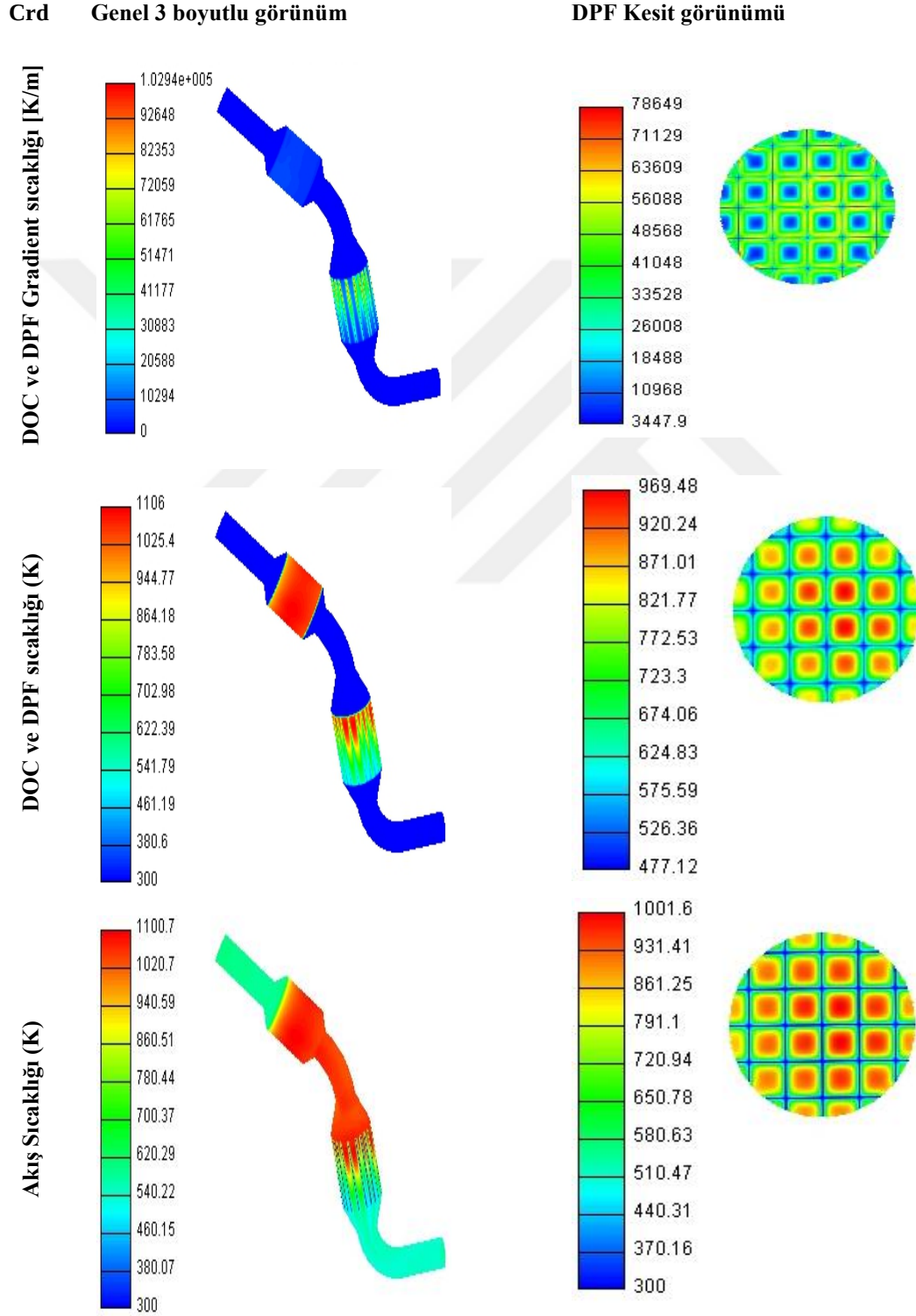


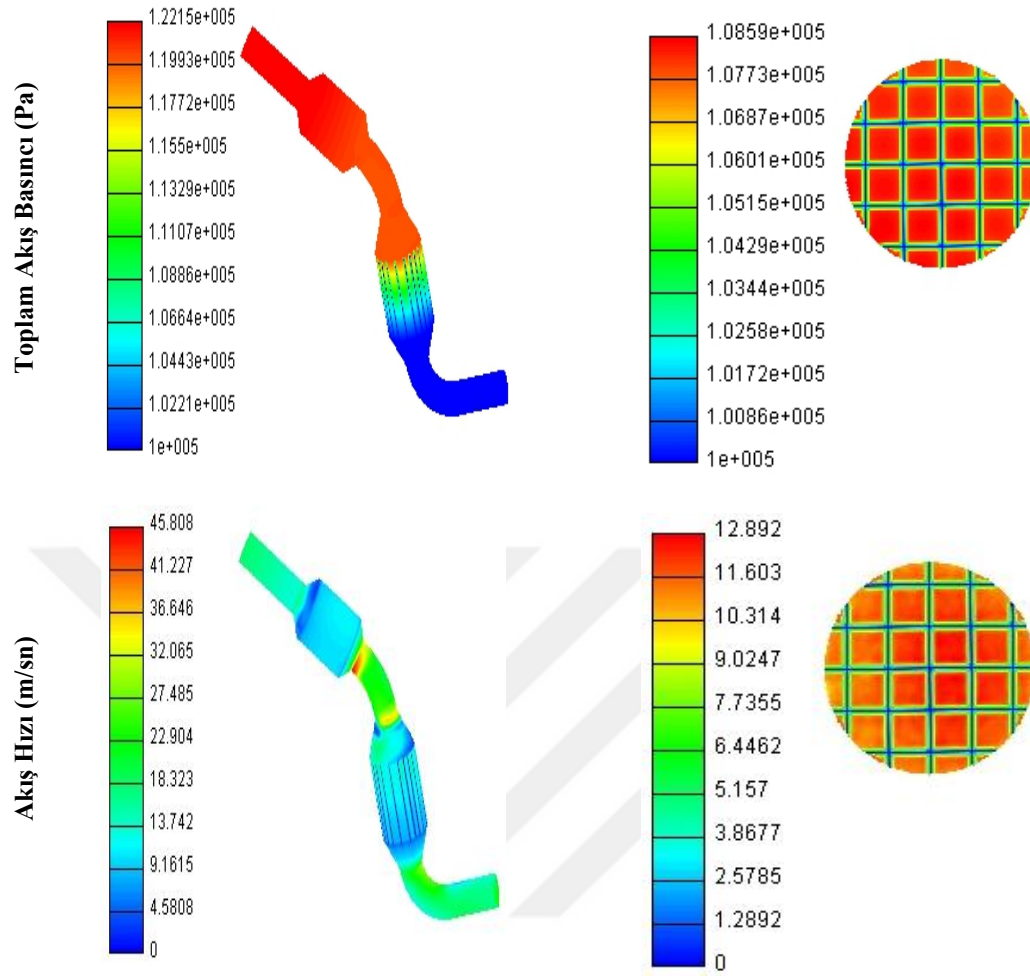


Şekil 3.18. Alüminyum titanat için 500 sn'de akış ve sıcaklık sonuçları

Şekil 3.17. ve Şekil 3.18.'daki AT'nin sıcaklık grafikleri incelendiğinde reaksiyonun 150. saniyesinde Crd ve SiC den daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda PM kütlesini azaltmada daha iyidir.

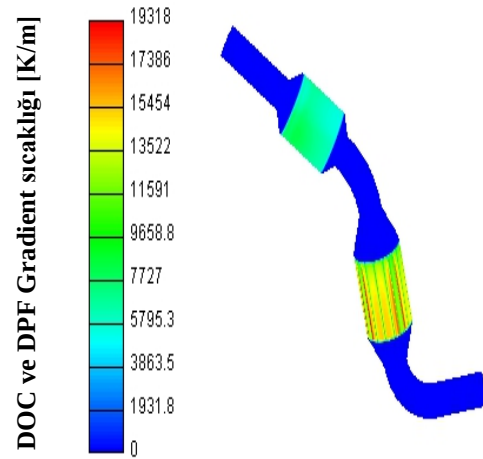
150. saniyede PM birikiminin daha az olması sebebiyle akış hızı diğer iki malzemeden daha yüksektir. 500. saniyede malzemelerin ortalama sıcaklıkları yakın olmasında dolayı PM birikimleri aynı seviyededir.



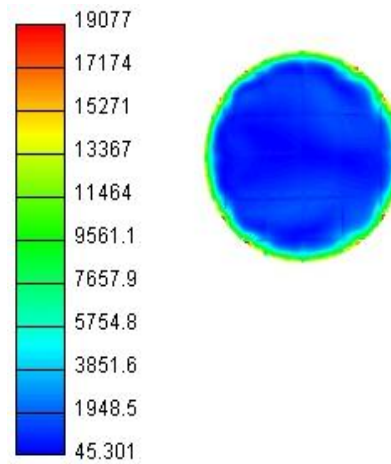


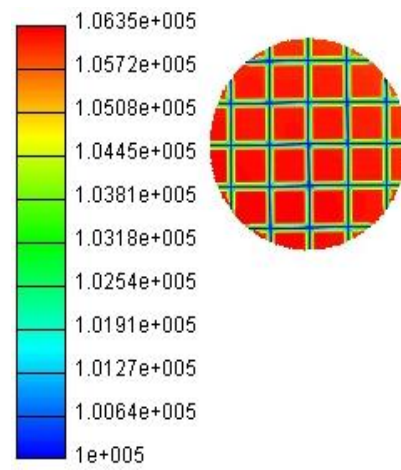
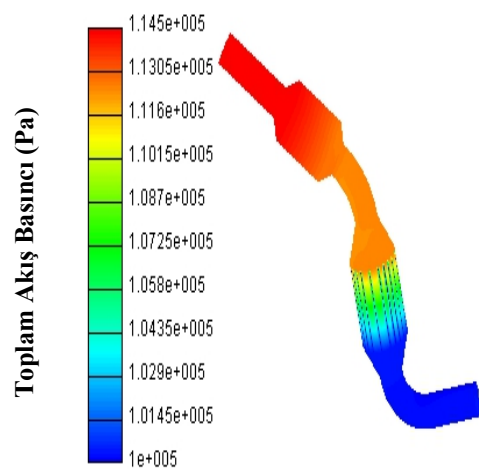
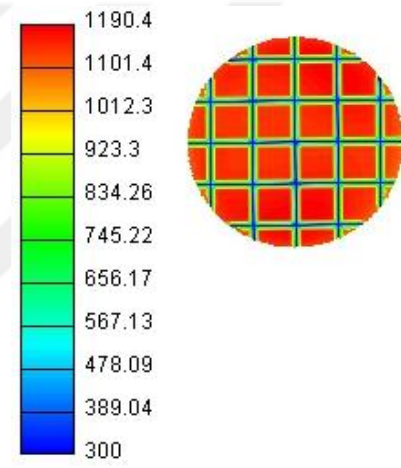
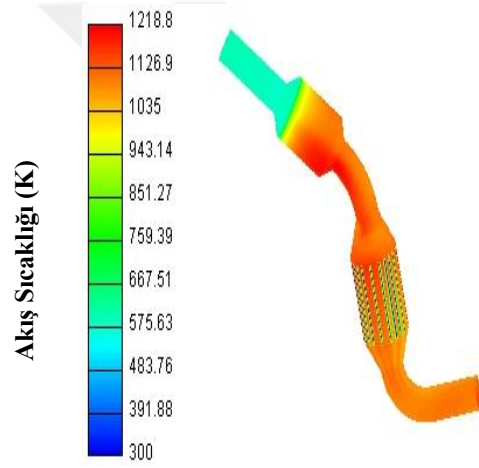
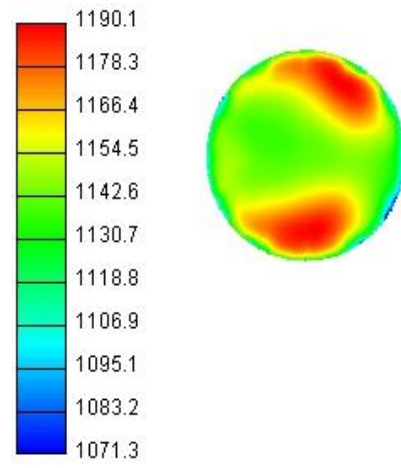
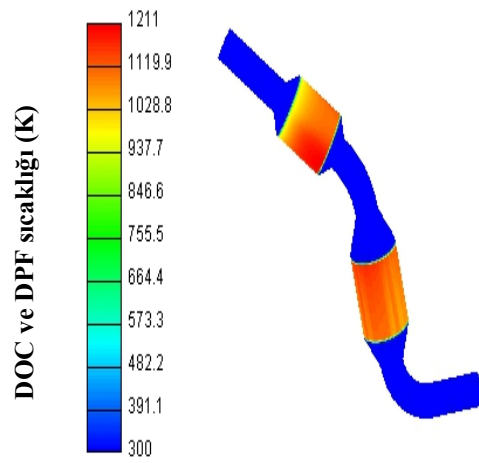
Şekil 3.19. Kordierit için 150 sn'de akış ve sıcaklık sonuçları

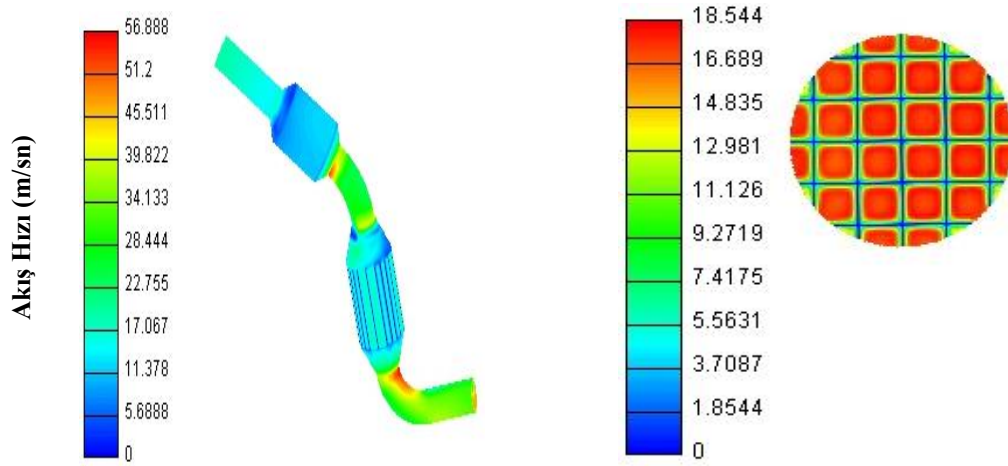
Crd Genel 3 boyutlu görünüm



DPF Kesit görünümü







Şekil 3.20. Kordierit için 500 sn’de akış ve sıcaklık sonuçları

Şekil 3.19. ve Şekil 3.20.’de Crd’nin üç boyutlu ve DPF kesit görünümüne bakıldığında, akış basıncının diğer iki malzemeden yüksek olduğu görülmüştür. Akış basıncının yüksek olmasının nedeni DPF’de daha fazla PM ve kül emisyonu birikiminden dolayıdır. Bunun sonucunda DPF çıkış hızı diğer iki malzemeye göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Crd’nin DPF sıcaklığının kesit görüntüsüne bakıldığında dışa doğru sıcaklığın daha yüksek olduğu görülmüştür. Orta kısımda ise sıcaklık daha düşüktür. DPF kanallarının orta kısmında akış daha rahat ve hızlıdır. Kanal cidarlarında ise PM ve kül birikimi olmasından dolayı bu kısımda akış zorlanır. Ayrıca PM ve kül yakılması reaksiyonları kanal cidarlarında meydana gelmesinden dolayı yüksek sıcaklıklara ulaşır.

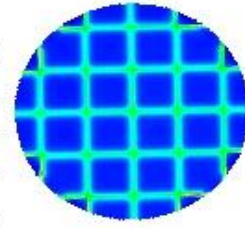
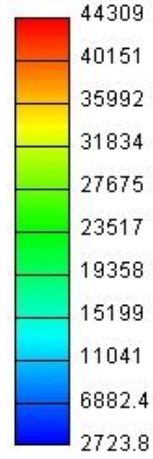
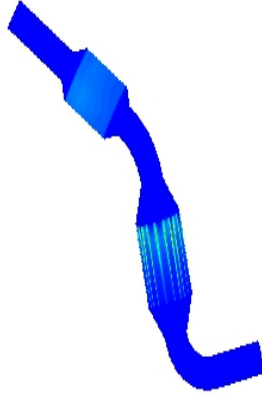
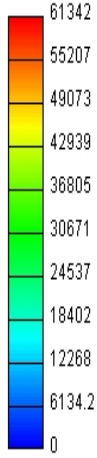
3 malzemenin genel üç boyutlu ve DPF kesit görüntüleri incelendiğinde, DPF basınç düşüşü kordierit malzemesinde daha fazla olması PM ve kül emisyonlarının birikiminin daha fazla olmasından dolayıdır. Bu birikim sonrasında aracın motoru ve yakıt tüketimi olumsuz etkilenir. AT ve Crd için DPF basınç grafiklerine bakıldığında SiC malzemesi için DPF basınç düşüşü daha düşük seviyededir. Bunun temel nedeni SiC’de sıcaklığın daha kararlı ve yüksek seviyelere çıkmasındandır. DPF’de birikime bağlı şekil 3.4’de görüldüğü gibi basınç artmıştır. En fazla birikimi Crd’nin yapmasından dolayı DPF duvar basınç düşüşü diğer malzemelerden daha yüksektir. En az birikimin ise SiC’de olmasından dolayı daha geç saniyelere kadar basınç düşümü artar.

SiC

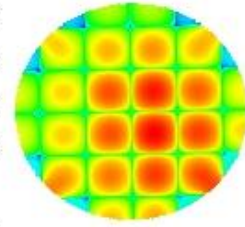
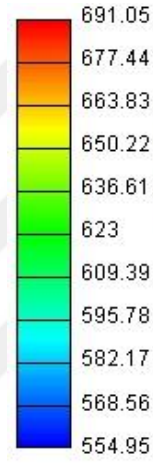
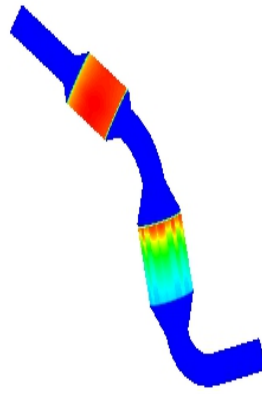
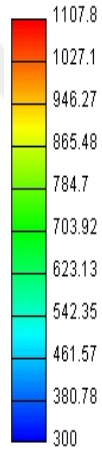
Genel 3 boyutlu görünüm

DPF Kesit görünümü

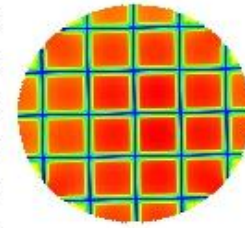
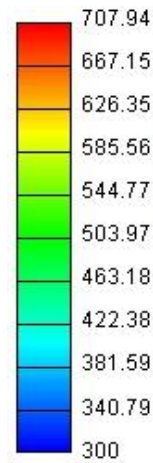
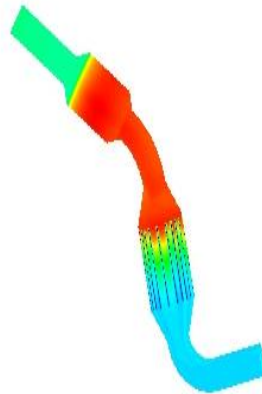
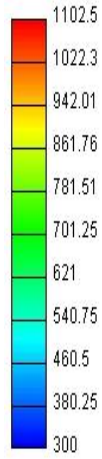
DOC ve DPF Gradient sıcaklığı [K/m]

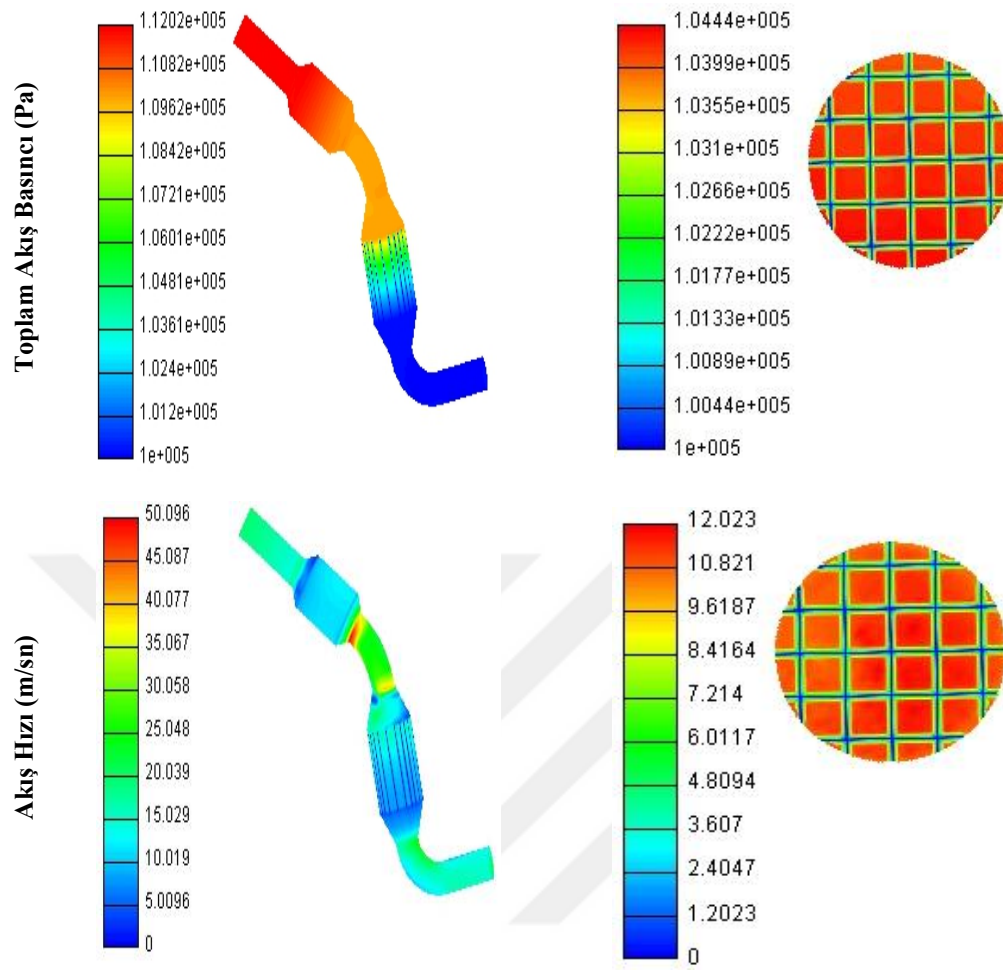


DOC ve DPF sıcaklığı (K)



Akış Sıcaklığı (K)





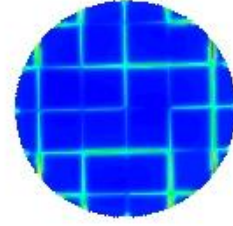
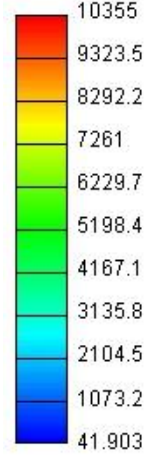
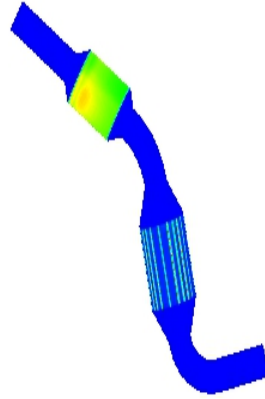
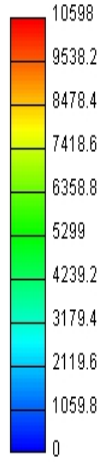
Şekil 3.21. Silikon karbür için 150 sn'de akış ve sıcaklık sonuçları

SiC

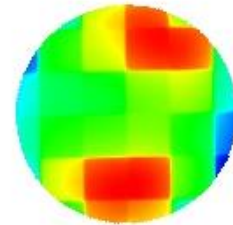
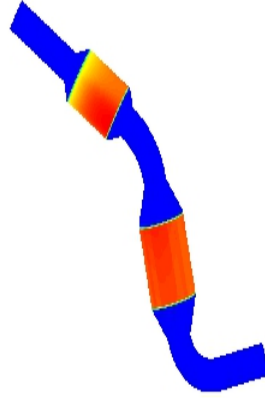
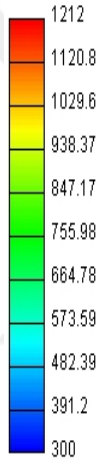
Genel 3 boyutlu görünüm

DPF Kesit görünümü

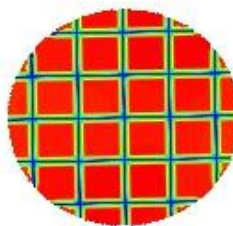
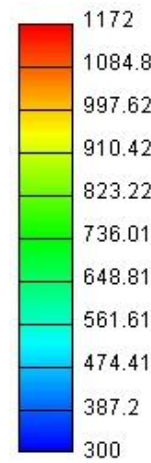
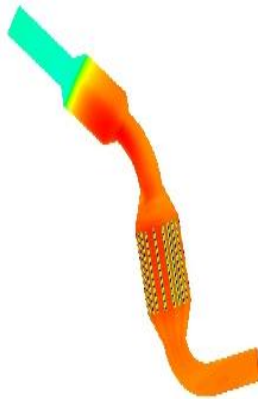
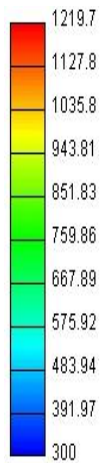
DOC ve DPF Gradient sıcaklığı [K/m]

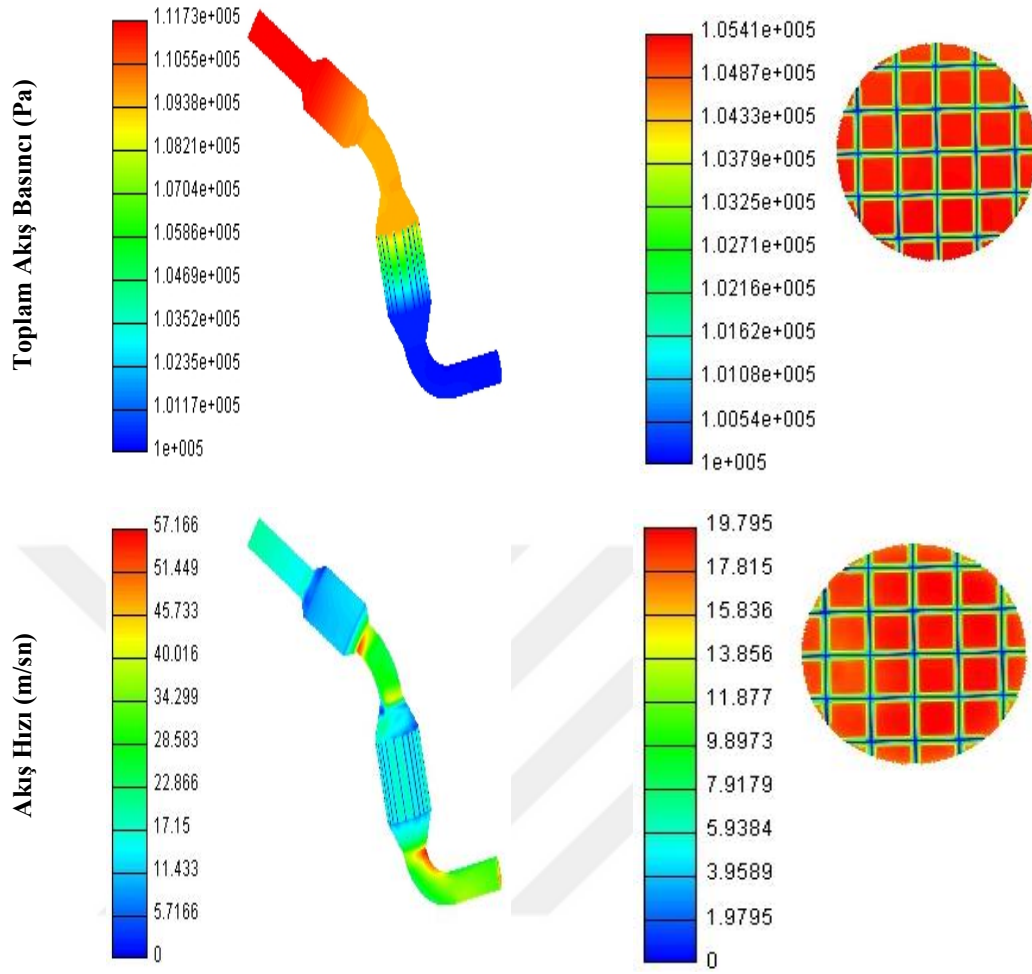


DOC ve DPF sıcaklığı (K)



Akış Sıcaklığı (K)





Şekil 3.22. Silikon karbür için 500 sn’de akış ve sıcaklık sonuçları

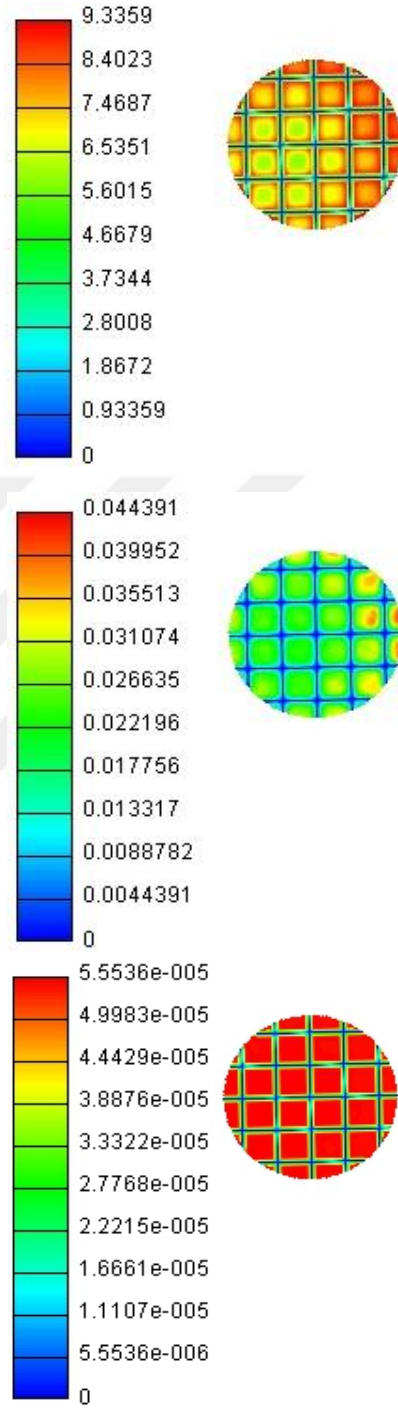
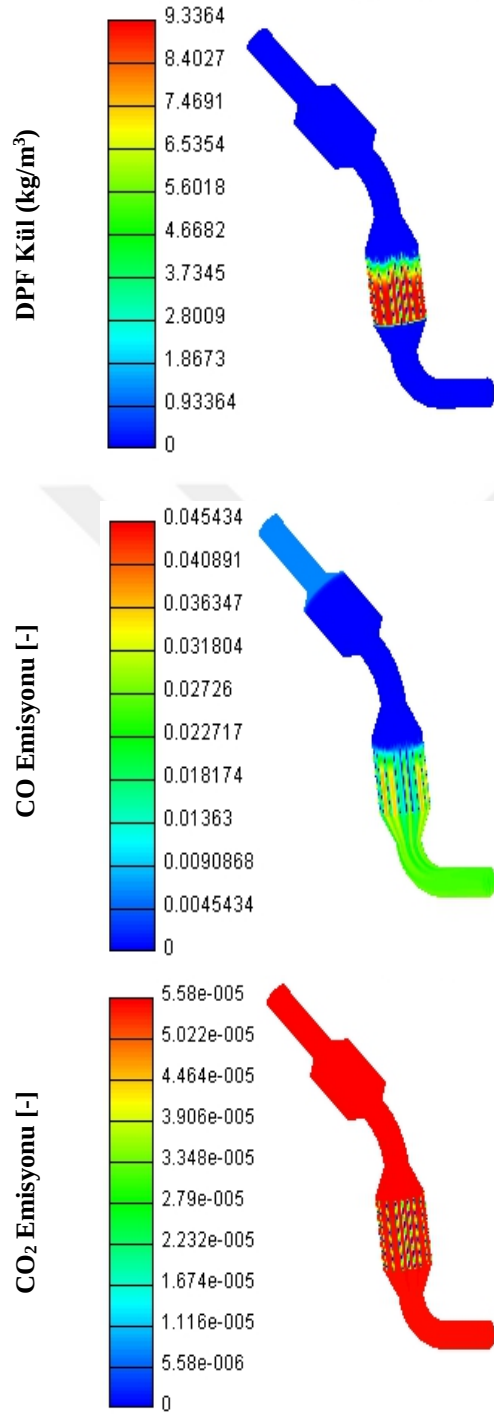
Şekil 3.21. ve şekil 3.22.’deki SiC’in akış grafiklerine bakıldığında, diğer iki malzemeye göre akış hızının daha fazla olduğu görülür. Bunun temel sebebi, DPF’de birikimin daha az olmasıdır. Akış hızının fazla olması basıncının düşük olmasına neden olur. Böylelikle egzoz gazları daha az bir dirençle akışını sürdürür. Bunun sonucunda yakıt tüketimi olumlu yönde etkilenir. Ayrıca egzoz sistemi parçalarının daha uzun ömürlü ve verimli çalışmasına katkı sağlar.

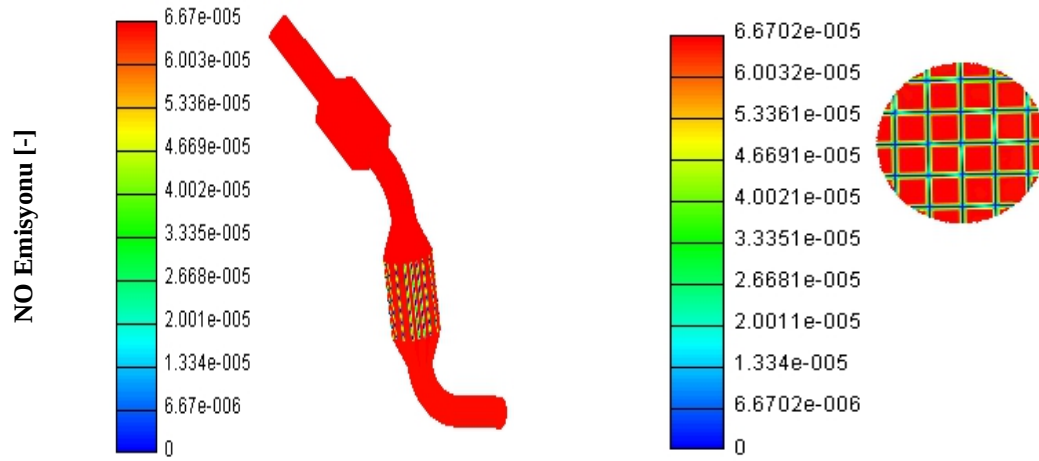
Egzoz sisteminin emisyon sonuçları, üç boyutlu ve DPF kesit görünümüne göre sınıflandırılmıştır. Çıktı verileri AT, Crd ve SiC için 150. ve 500. saniyesinden alınmıştır. Sistemin genel görünümünde ve DPF kesitindeki kül birikimi, CO, CO₂ ve NO değerleri incelenmiştir.

AT

Genel 3 boyutlu görünüm

DPF Kesit görünümü

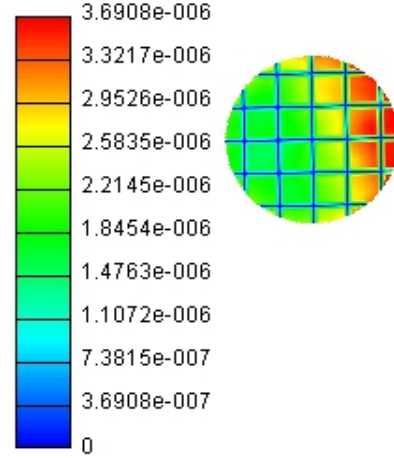
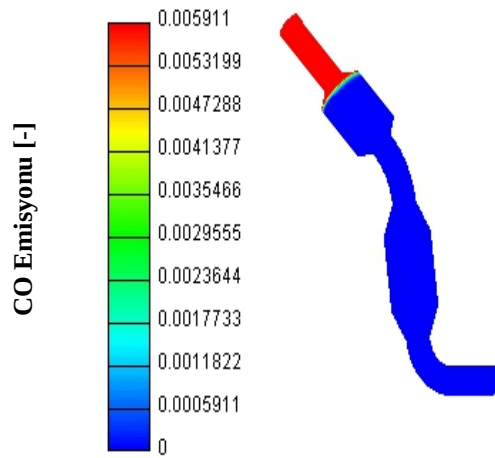
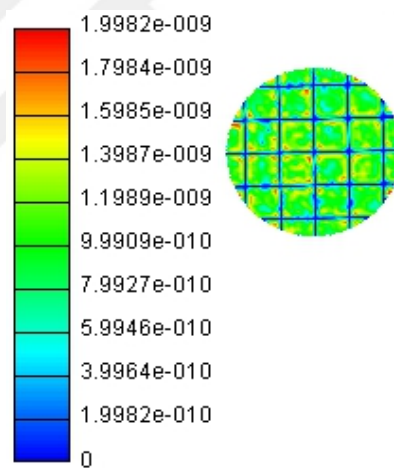
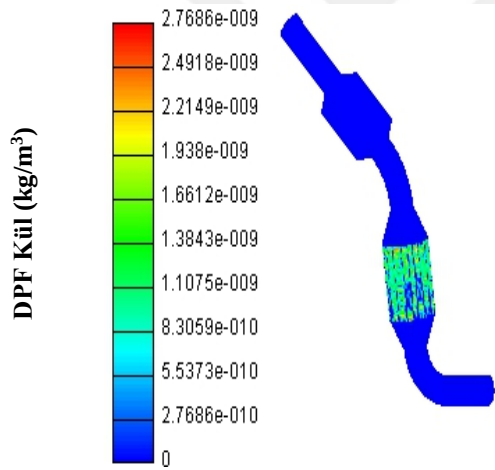


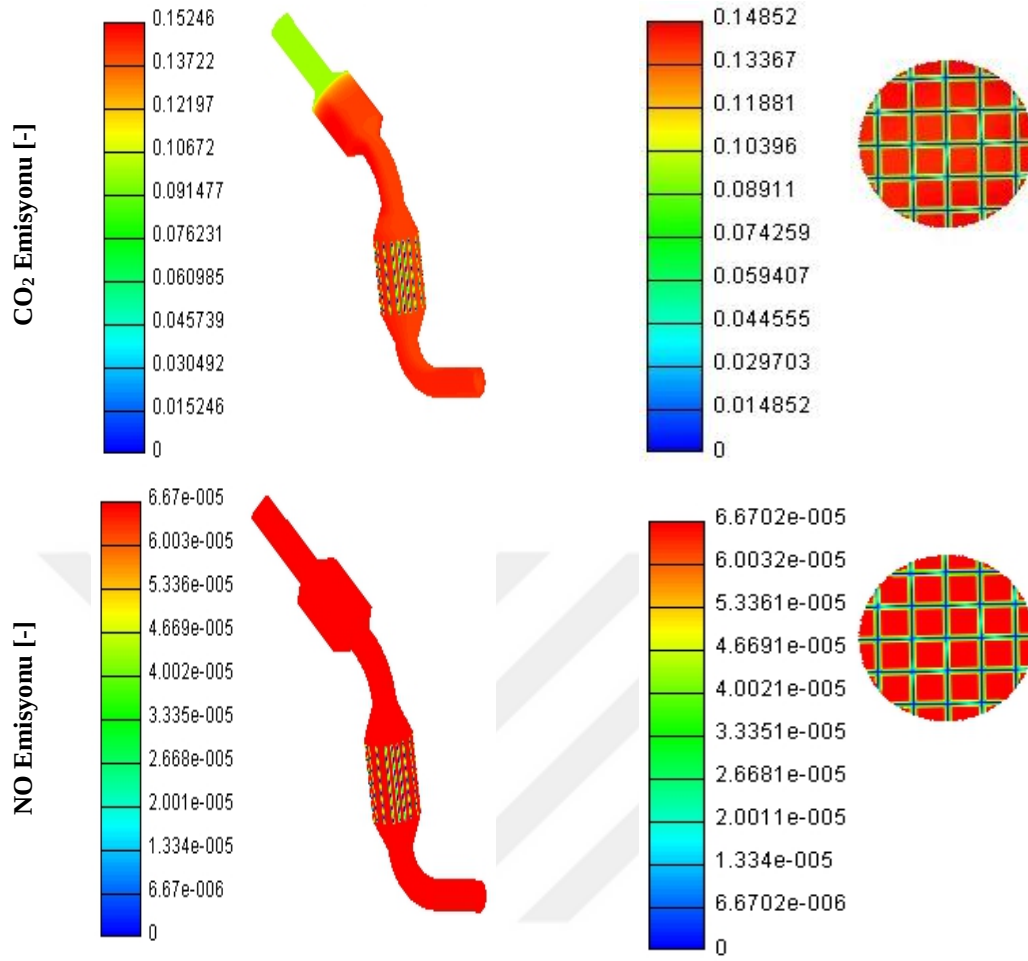


Şekil 3.23. Alüminyum titanat için 150 sn'de emisyon sonuçları

AT Genel 3 boyutlu görünüm

DPF Kesit görünümü

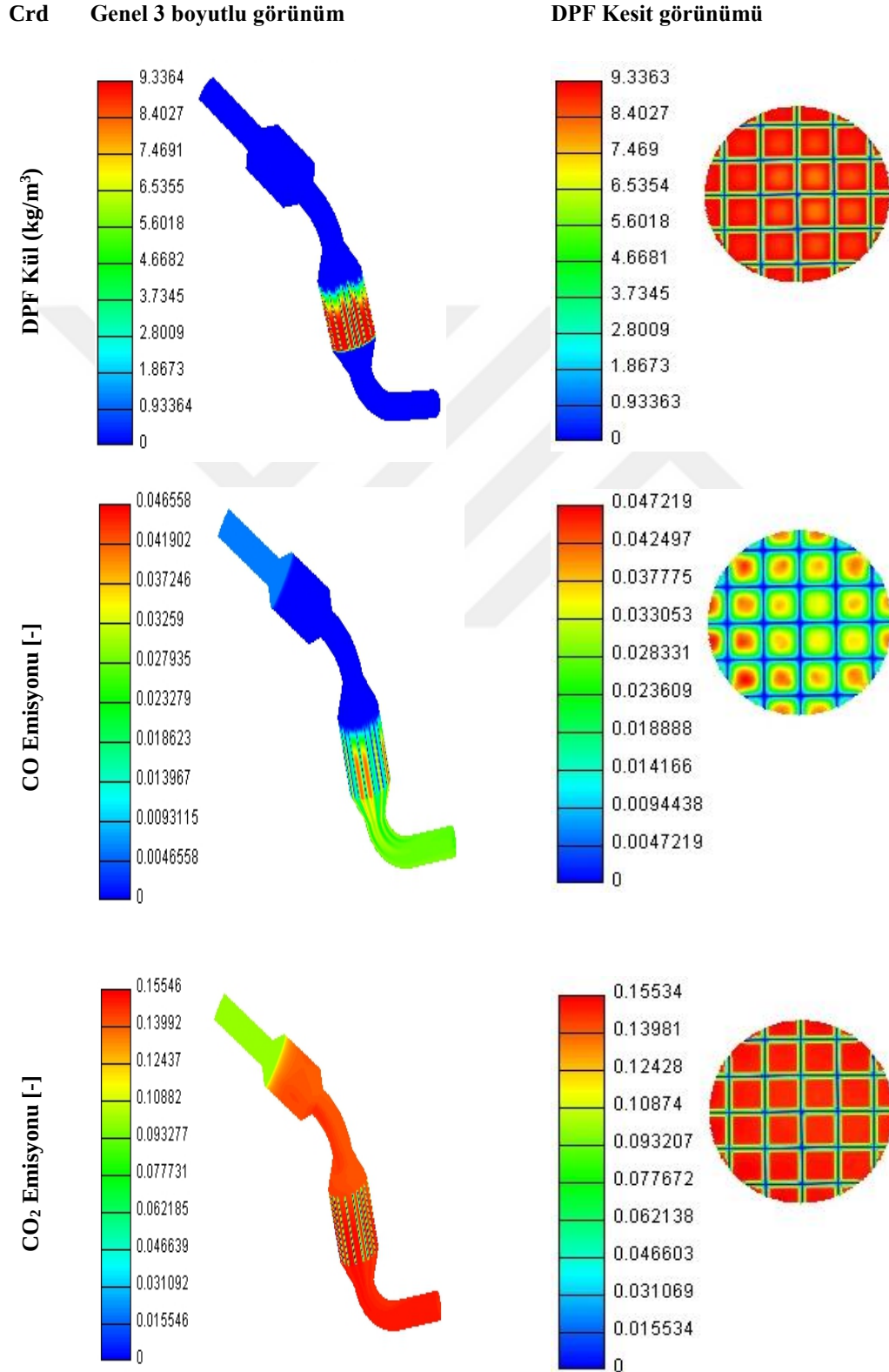


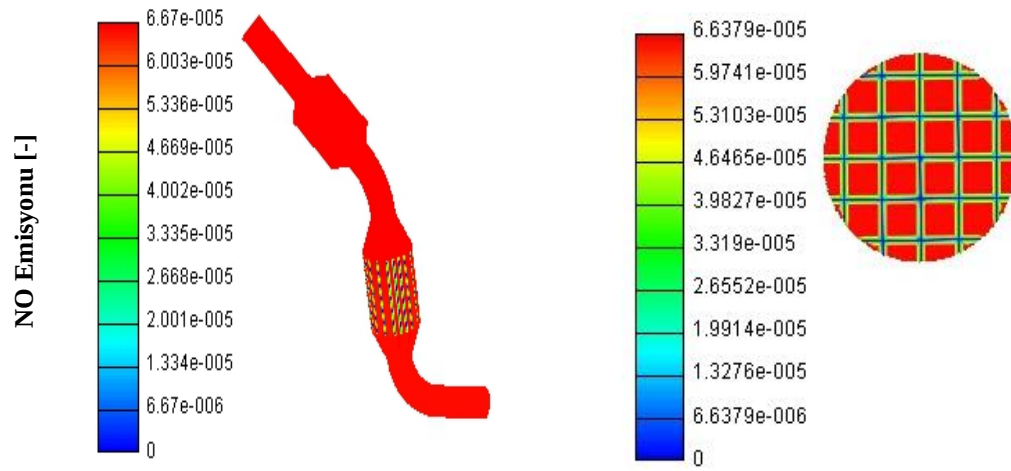


Şekil 3.24. Alüminyum titanat için 500 sn'de emisyon sonuçları

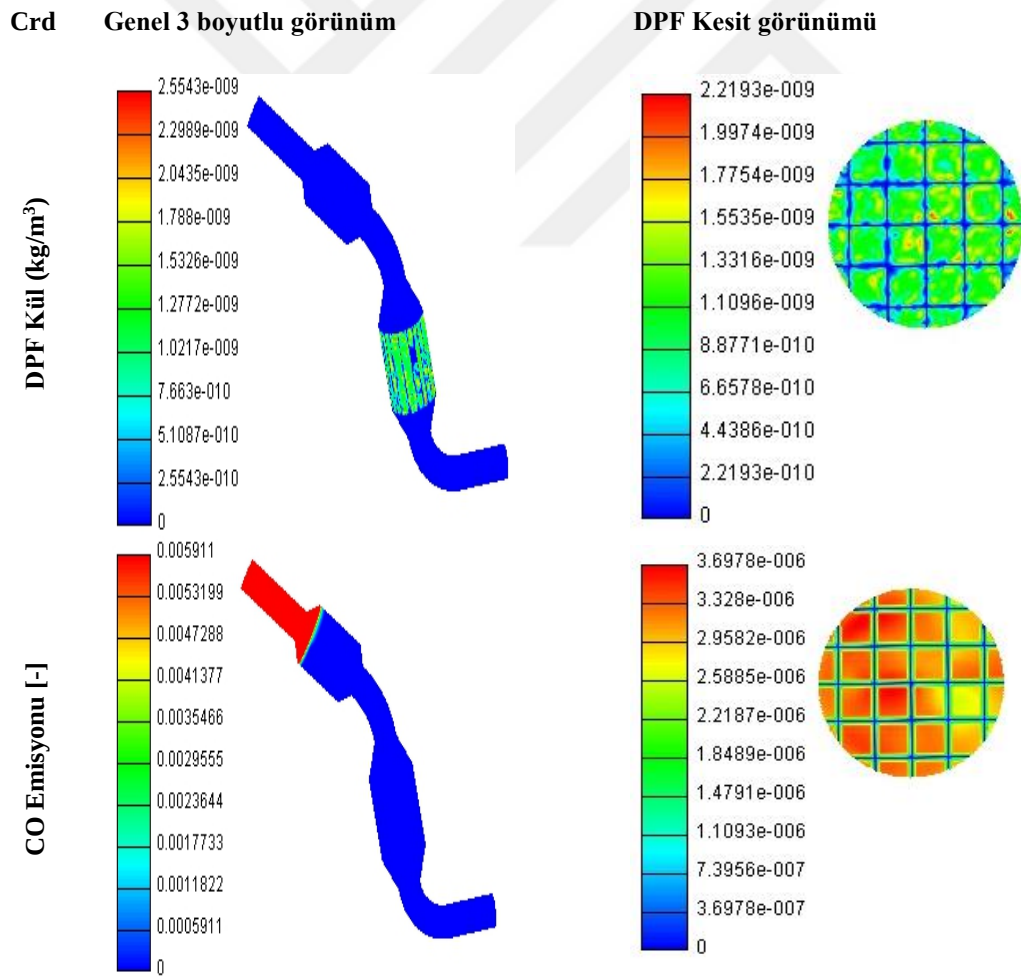
Şekil 3.23. ve şekil 3.24.'de ki AT için 150 ve 500 saniye görünüşleri incelendiğinde kül emisyonu, 150. saniyede DPF'de reaksiyonların gerçekleşmesine bağlı sıcaklığın artması ile 250. saniyelere kadar filtrasyon gerçekleşir. Daha sonra 500. saniyeye kadar giderek azaldığı görülür. CO emisyonu yanma sırasında yeterli O_2 ve reaksiyona girmek için yeterli zaman olmadığında meydana gelir. Fakat yeterli O_2 ve zamanla tepkime gerçekleşmeye başlar ve tepkimeye girdiğinde CO_2 emisyonlarına dönüşür. AT için akış ve ısı transferi grafikleri incelendiğinde DOC'da sıcaklığın maksimum olmasının sebebi CO emisyonunun CO_2 emisyonuna dönüşümünden dolayıdır. Emisyon grafiklerine bakıldığında CO emisyonu 150. saniyede 500.saniyeye göre daha yüksektir. Ancak CO_2 emisyonu 500. saniyede daha yüksektir. Bunun sebebi zamanla kataliste reaksiyonun gerçekleşmesiyle sıcaklığının artmasına bağlı CO emisyonları CO_2 emisyonlarına dönüşür. 500. saniyeye bakıldığında CO emisyonunun azaldığı CO_2 emisyonunun ise arttığı görülür. NO_x emisyonunun ise zamanın ilerlemesine bağlı düşüş meydana geldiği görülür.

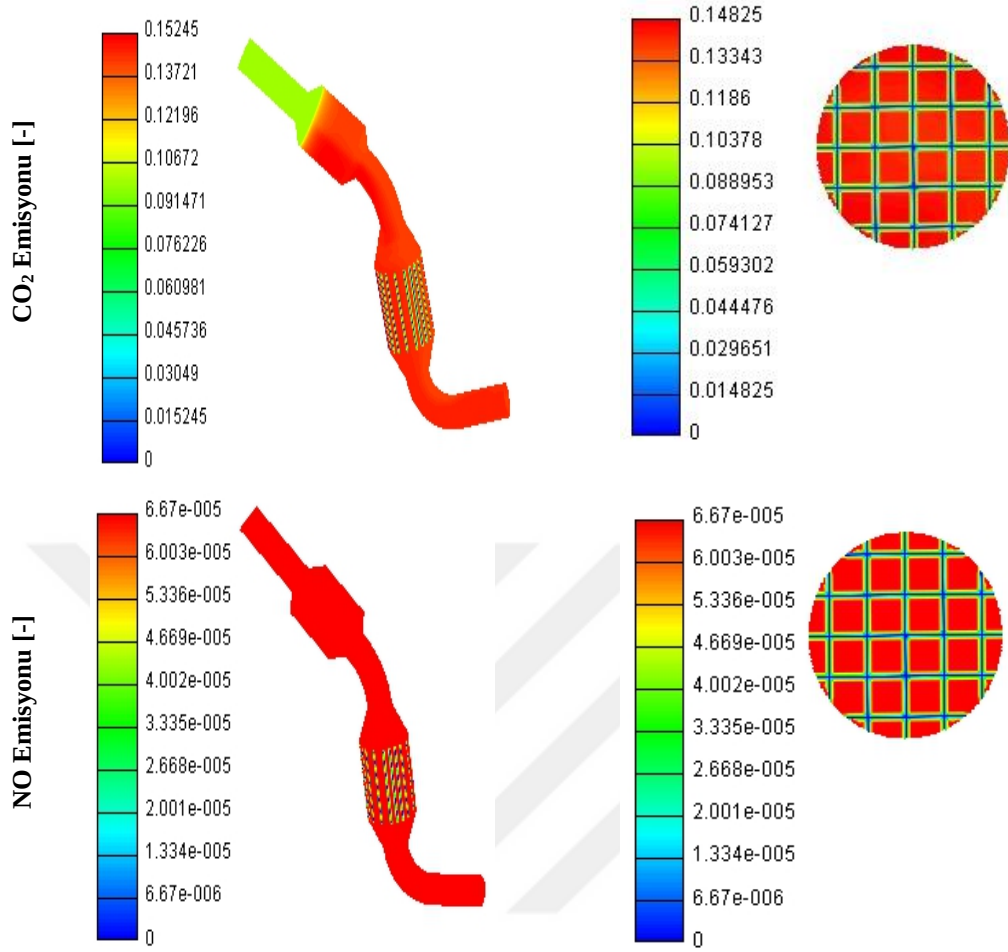
Ayrıca DPF kanallarından geçen egzoz gazları, kanallardan geçişlerinde reaksiyona girerek N_2 'ye indirgenir. Zamanın geçmesine bağlı DPF kanallarının kanatçıklarında reaksiyona giren NO_x ' in reaksiyona girme mesafesinin arttığı görülmüştür.





Şekil 3.25. Kordierit için 150 sn'de emisyon sonuçlar





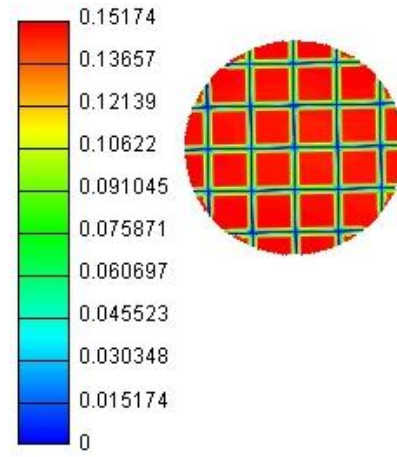
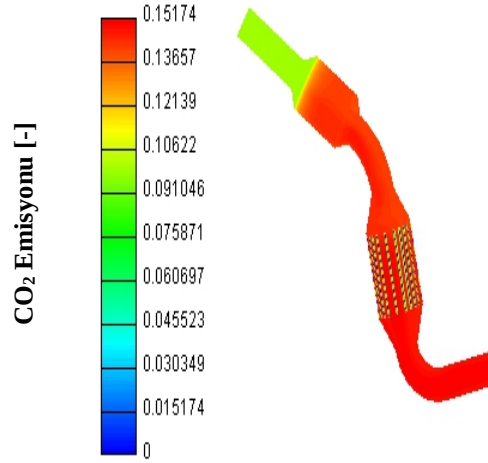
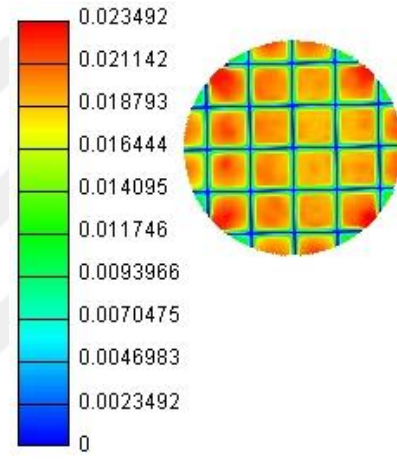
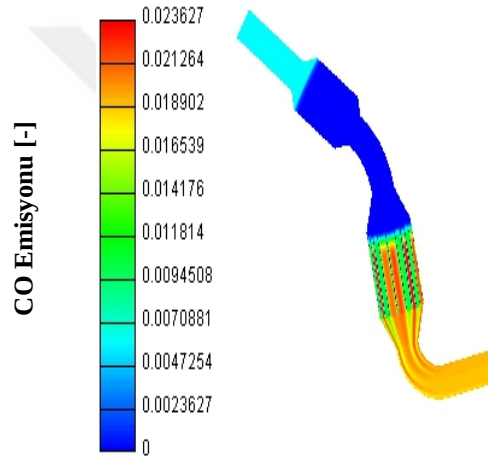
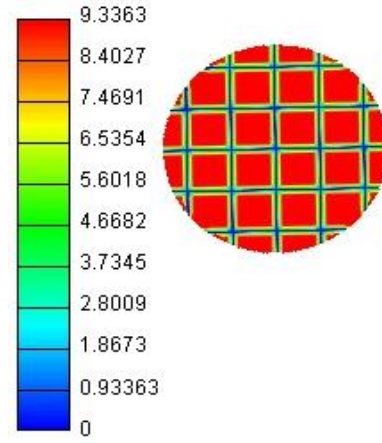
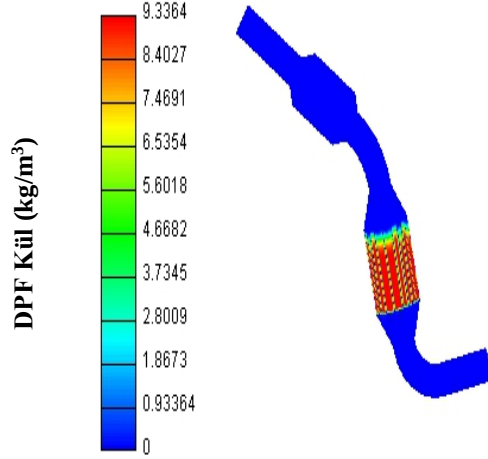
Şekil 3.26. Kordierit için 500 sn'de emisyon sonuçları

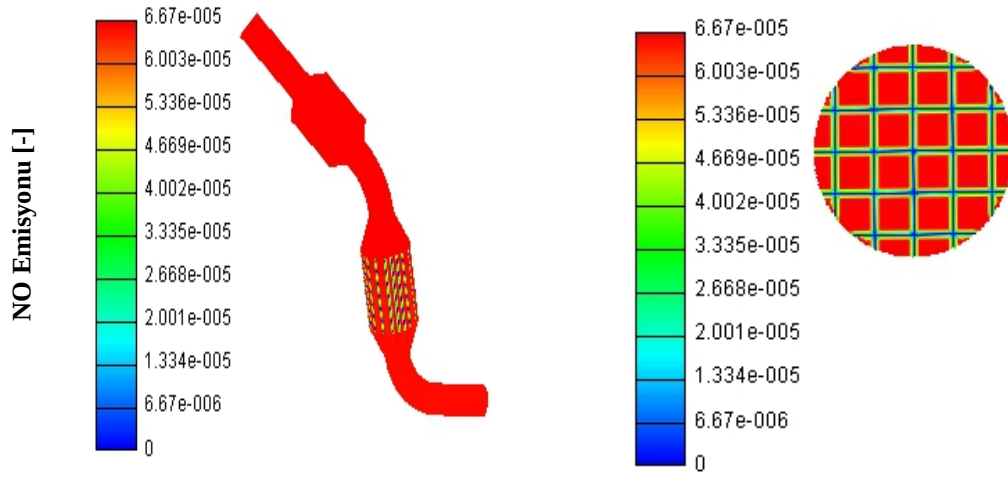
Şekil 3.25. ve şekil 3.26.'de kordierit malzemesi ile kaplanmış DPF için sıcaklık grafikleri incelendiğinde DPF kanallarının yüzey sıcaklığı 150 saniyede AT'den az bir farkla düşük ancak SiC'den yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle Crd'nin CO, CO₂ ve NO_x emisyon değerleri AT'den az bir farkla yüksektir. Ayrıca Crd'nin sıcaklık miktarı az bir farkla AT'den düşük olmasından dolayı Crd'de kül birikimi AT'den fazla olduğu görülmüştür. 500 saniyede üç farklı malzemeye kaplı DPF kanallarının yüzey sıcaklıkları aynı seviyede olmasından dolayı emisyon değerleri hemen hemen aynıdır.

SiC

Genel 3 boyutlu görünüm

DPF Kesit görünümü

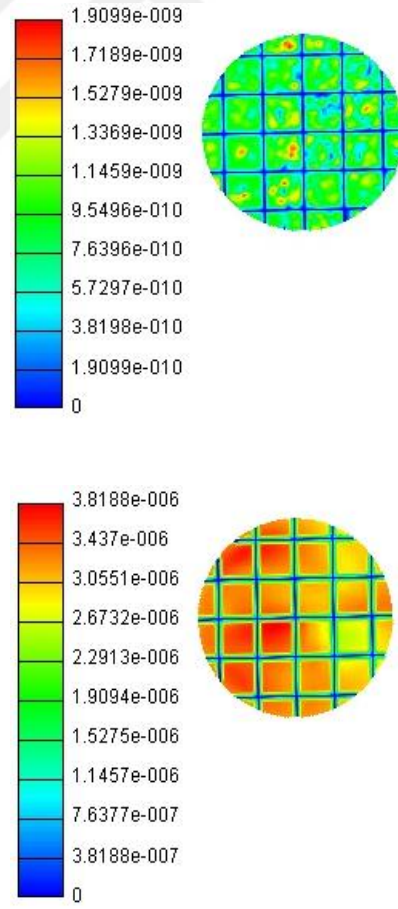
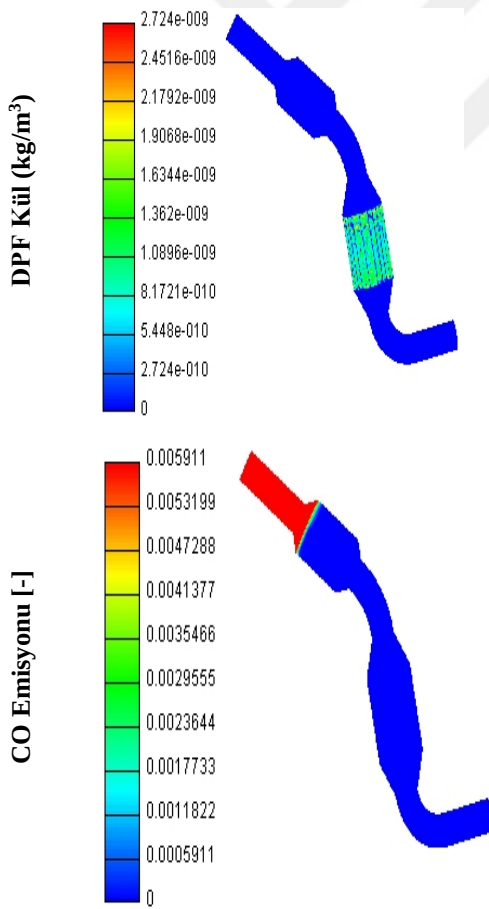


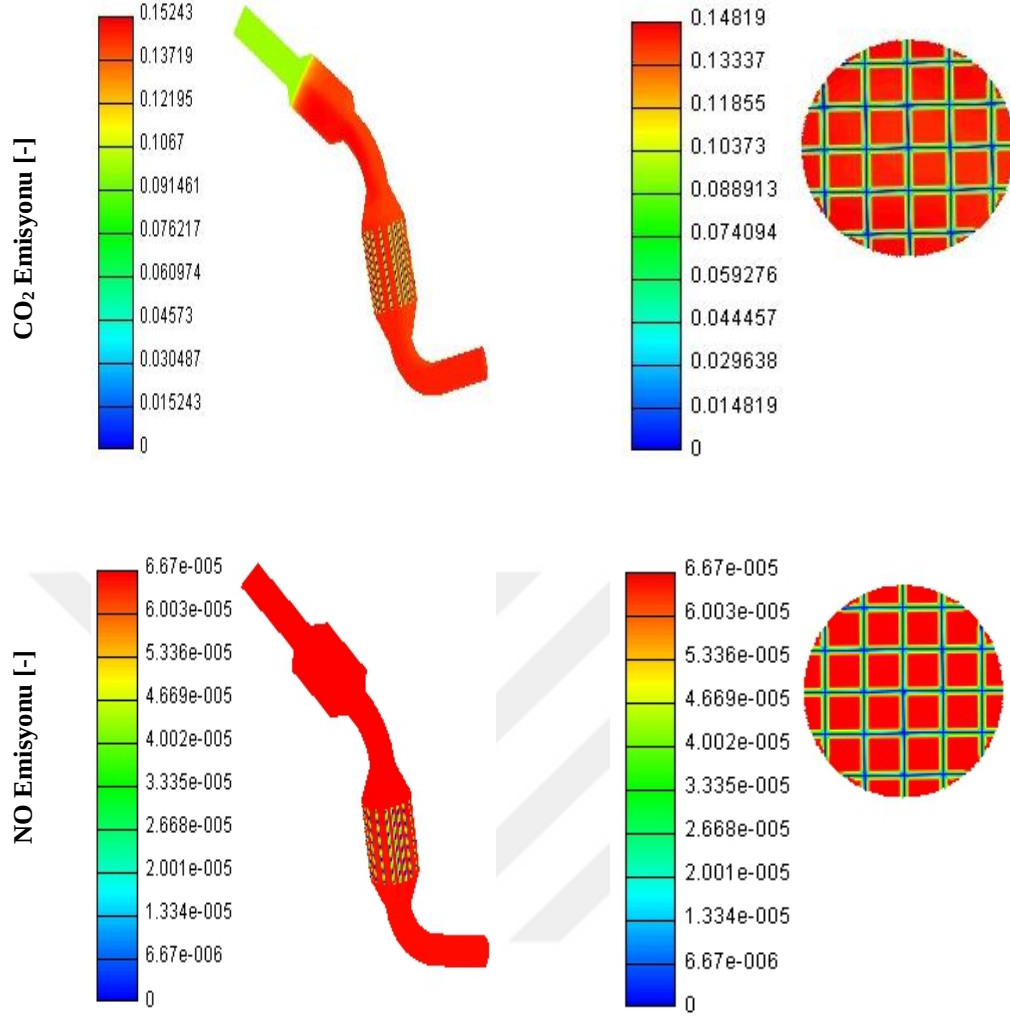


Şekil 3.27. Silikon karbür için 150 sn'de emisyon sonuçları

SiC Genel 3 boyutlu görünüm

DPF Kesit görünümü

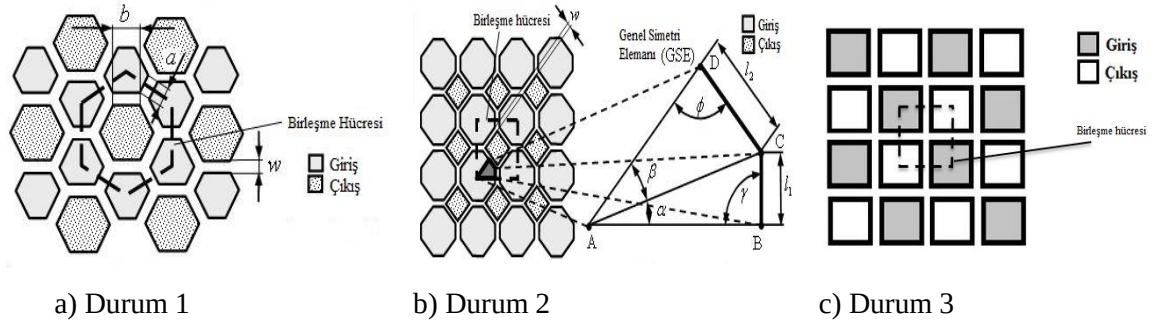




Şekil 3.28. Silikon karbür için 500 sn’de emisyon sonuçları

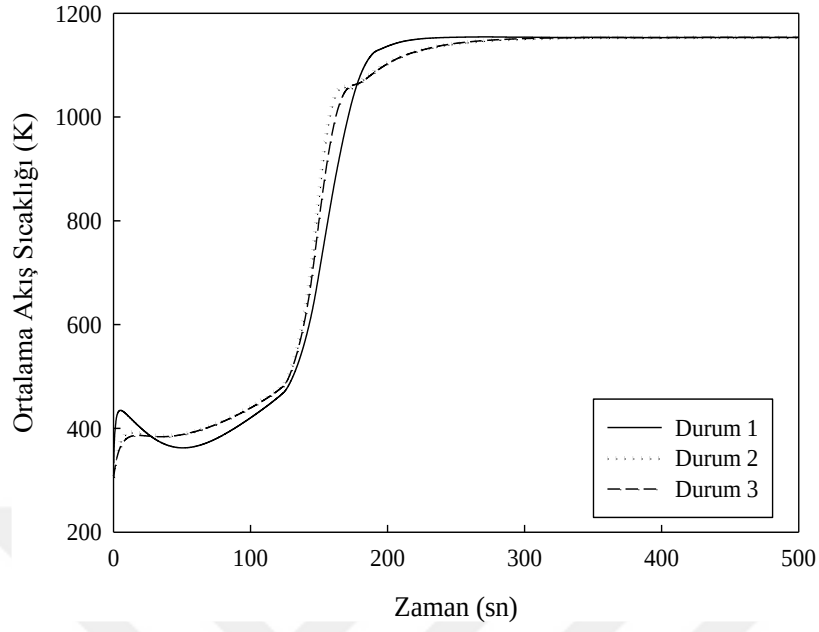
Şekil 3.27. ve şekil 3.28.’deki SiC grafikleri incelendiğinde 150. saniyede diğer iki malzemeye göre daha düşük sıcaklıkta çalıştığı görülmüştür. Fakat 150. saniyeden sonra sıcaklığın artmasıyla birlikte SiC’deki daha kararlı sıcaklık yayılımından dolayı sıcaklık daha yüksek seviyelere çıkmıştır. SiC ile kaplı DPF’nin sıcaklığının yüksek olması kanallardaki birikimin az olmasına neden olmuştur. Sıcaklığın yüksek olması NO_x emisyonlarını yükselmesine sebep olmuştur. Ancak egzoz gazlarının sıcaklığının DPF sonrasında düşmesi ve yeterli zamanı bulmasıyla tekrardan NO_x emisyonları düşüş göstermiştir. CO ve CO₂ kütleleri de diğer iki malzemeye göre oldukça düşüktür.

3.2. Farklı DPF kanal tipleri için bulgular

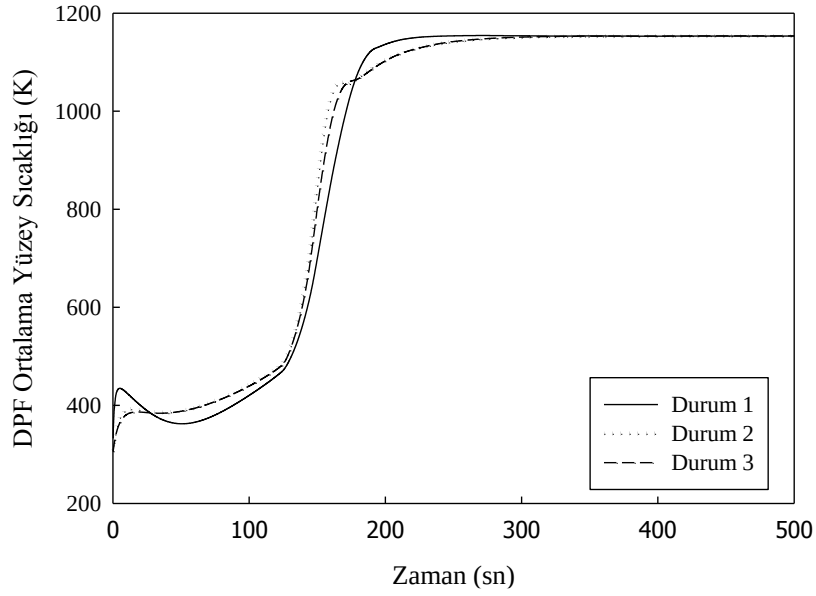


Şekil 3.29. Alüminyum titanat için 3 farklı şekil modeli a) hexahex şekil b) petek tip c) kare tip

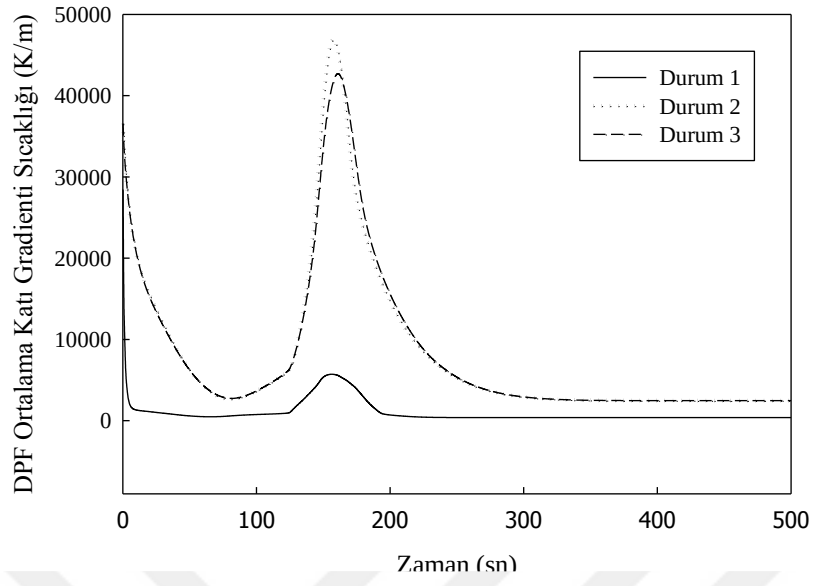
Çalışmanın önceki bölümünde farklı DPF malzemeleri için ısı, akış ve emisyon sonuçları incelenerek sunulmuştur. Bu bölümde ise DPF malzemesi AT olarak seçilmiş ve bu malzeme için farklı DPF kanal şekilleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Bilindiği üzere DPF içyapısı çok sayıda mikro kanaldan oluşmaktadır. Bu kanallardan bazıları giriş iken bazıları çıkış kanalı olarak tasarlanır ve bu kanallarda PM birikimi amaçlanır. Bu çalışma kapsamında literatürde de sıklıkla kullanılan üç kanal şekli belirlenmiştir. Bunlar hexahex, petek ve kare tip kanallardır. DPF'ler PM'nin azaltılmasında en etkili ve en yaygın kullanılan elemanlardır. Tasarımında ki temel amaç egzoz gazlarının sistem boyunca rahat geçişine müsaade ederken, katı ve sıvı PM emisyonlarını biriktirip daha sonra rejenerasyonla yok etmektir. Tasarlanan filtrenin düşük bir basınç azalması ve yüksek is tutma kapasitesinin de olması beklenir. Bunun içinde farklı malzemelerin yanı sıra, farklı şekillerin tasarlanmasıyla emisyonların daha verimli şekilde indirgeyebiliriz. AT için şekil 3.29.'da ki tasarımlar kullanılarak sıcaklık, basınç ve emisyon değerleri incelenmiştir.



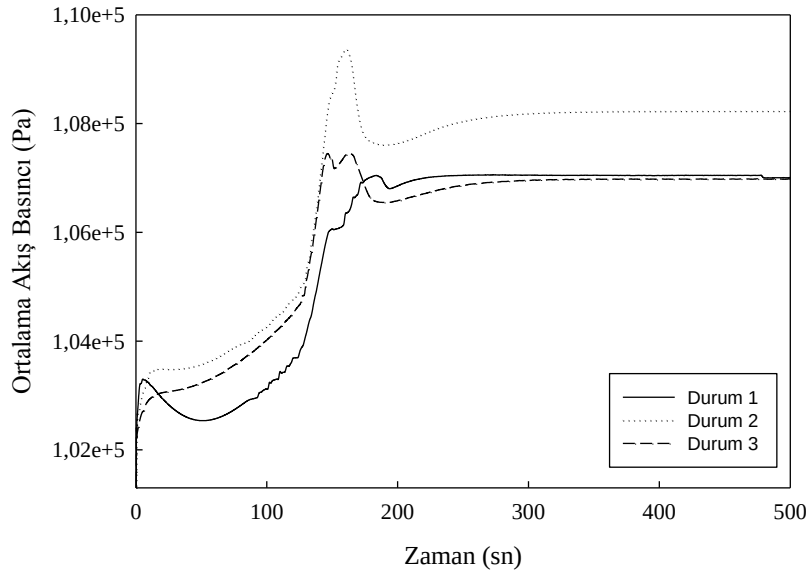
Şekil 3.30. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama akış sıcaklığı



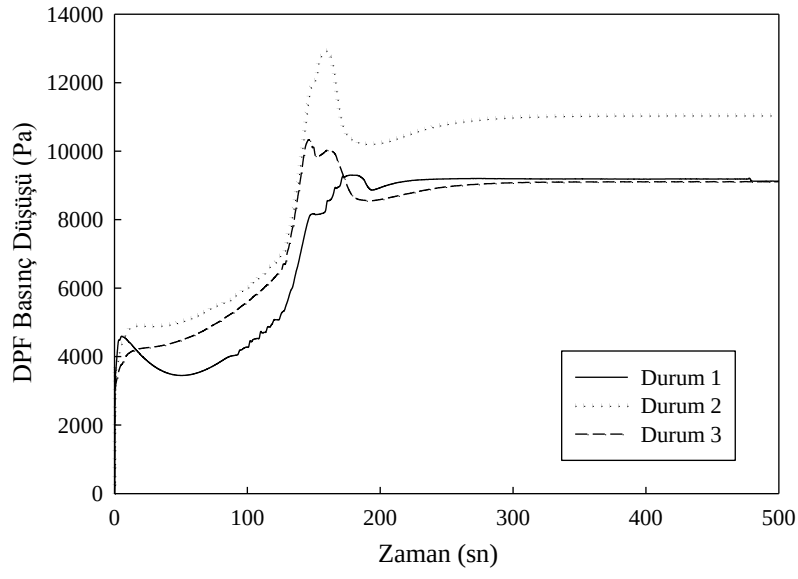
Şekil 3.31. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF ortalama yüzey sıcaklığı



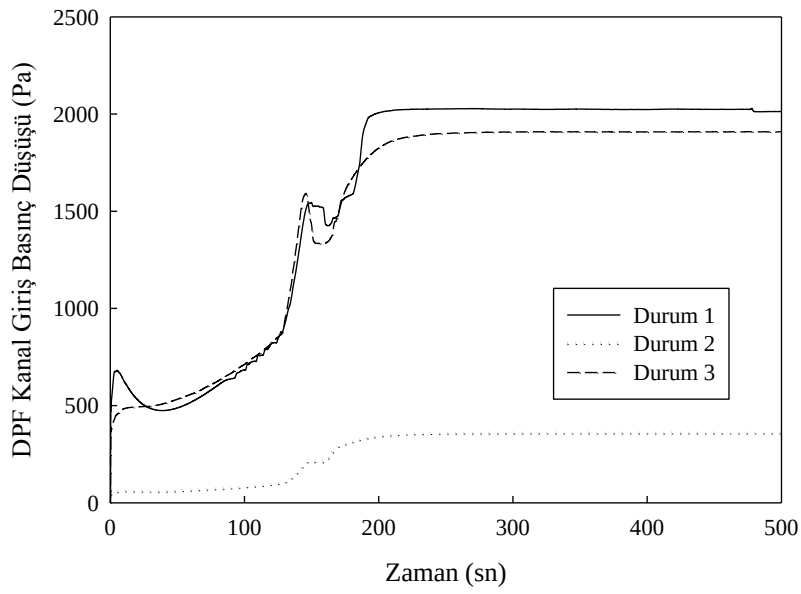
Şekil 3.32. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama katı gradienti sıcaklığı



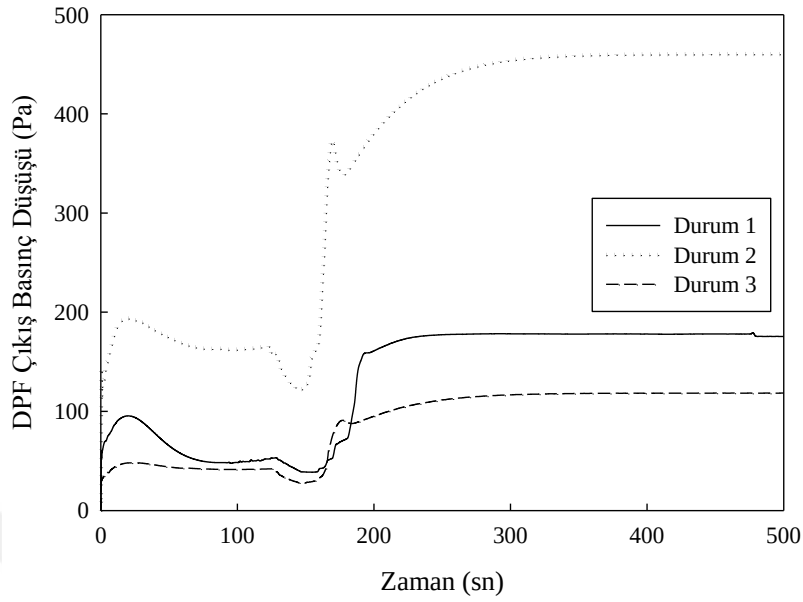
Şekil 3.33. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama akış basıncı



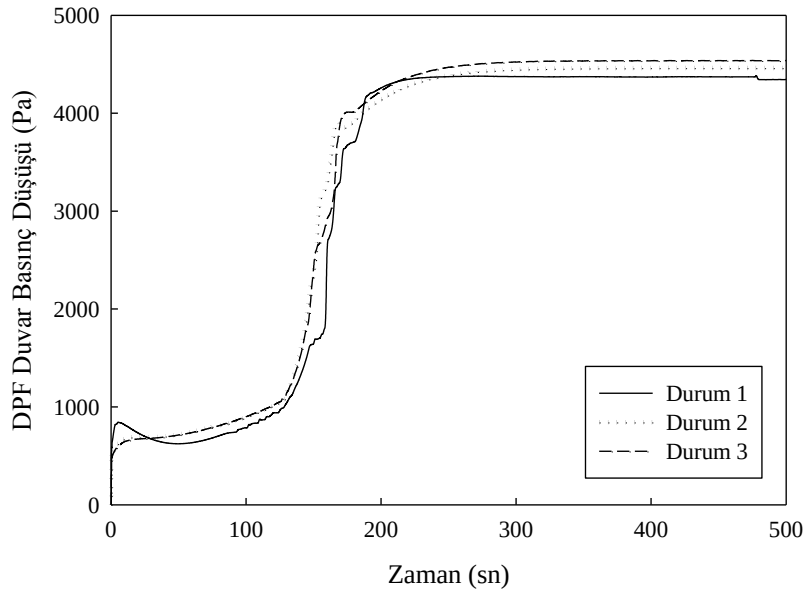
Şekil 3.34. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF basınç düşüşü



Şekil 3.35. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF kanal giriş basınç düşüşü



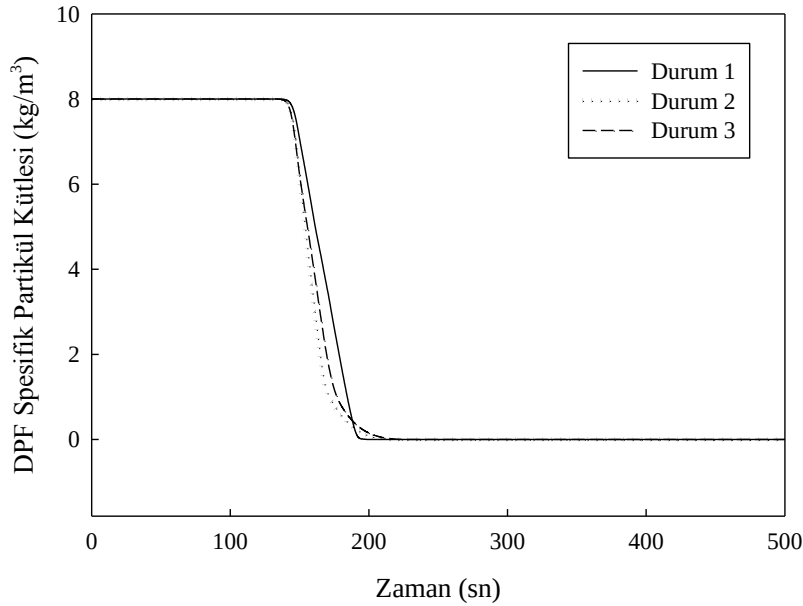
Şekil 3.36. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF çıkış basıncı düşüşü



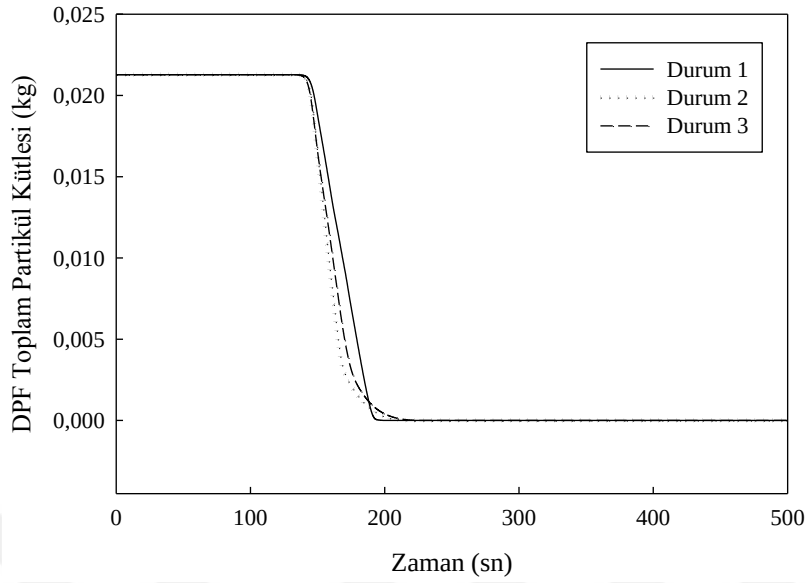
Şekil 3.37. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF duvar basıncı düşüşü

Şekil 3.30., şekil 3.31. ve şekil 3.32.'deki sıcaklık grafikleri ile şekil 3.34., şekil 3.35., şekil 3.36., ve şekil 3.37.'deki basınç grafikleri, sıcaklık ve basıncın doğrudan etkilemesinden dolayı DPF'deki birikim ve emisyonlar büyük ölçüde etkilenir. Şekil 3.30.'da AT ile kaplanmış üç farklı DPF hücre tipleri için ortalama akış sıcaklığına bakıldığında 150. saniyede üç durumda da ani bir sıcaklık artışı meydana gelmiştir.

Bunun temel nedeni DOC ve DPF içerisinde meydana gelen reaksiyonlarla birlikte sıcaklığın artmasıdır. Şekil 3.31.'e bakıldığında durum 2'nin uygun sıcaklıklara ulaşma süresi daha geçtir. Ancak üzerinde daha fazla sıcaklığı tutabilmesinden dolayı diğer iki durumdan daha yüksek sıcaklıklara ulaşmıştır. Şekil 3.32. grafiğinde ortalama akış basıncı durum 2'de oldukça yüksektir. Bu da akışın zorlandığını gösterir. Ortalama akış basınçları kararlı hale geldikleri 180. saniyede en düşük akış basıncı durum 3'de görülür. Şekil 3.37.'ye bakıldığında DPF duvar basınç düşüşü durum 1'de daha düşüktür. Bunun nedeni durum 1'in yüzey sayısı durum 3 'den fazladır. Durum 1'in yüzey sayısı durum 2 ile aynıdır. Ancak geometrik tasarımları farklıdır. Durum 1'de birikimin daha az olmasından dolayı DPF duvar basıncı daha düşüktür.

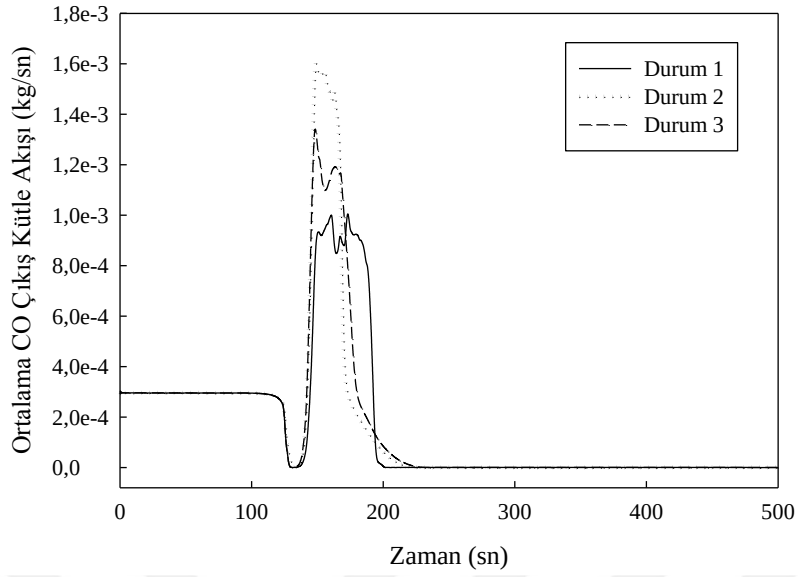


Şekil 3.38. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF spesifik partikül kütlesi

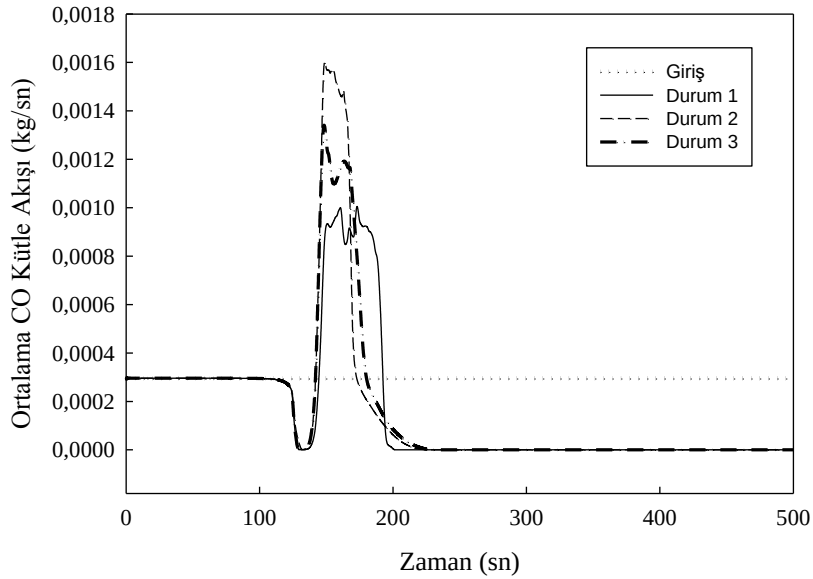


Şekil 3.39. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için DPF toplam partikül kütlesi

Şekil 3.38. ve şekil 3.39.'da 3 farklı durum için DPF partikül kütleleri incelendiğinde 150. saniyeye kadar PM emisyonunun yakılması için uygun sıcaklığın oluşmamasından dolayı emisyon sabittir. Ancak 150. saniyede DOC'da meydana gelen reaksiyonlarla birlikte egzoz gaz sıcaklığı artış göstermiştir. Bu sıcaklık artışı ile DPF'de PM emisyonu da azalmaya başlamıştır. Durum 1'de DPF'nin sıcaklık kararlılığına ulaşması daha geç olmasından dolayı PM emisyonun da azalması gecikmiştir. Ancak daha kararlı bir sıcaklık dağılımı ve yüksek ısı tutma kapasitesi sayesinde diğer şekilli DPF'ler den daha önce PM emisyonunu minimum seviyeye azaltmıştır. Durum 2'de ise iki şekilli DPF'den daha önce PM emisyonunun yakılması sıcaklığa ulaşmasından dolayı daha erken PM emisyonunu azaltmaya başlamıştır.



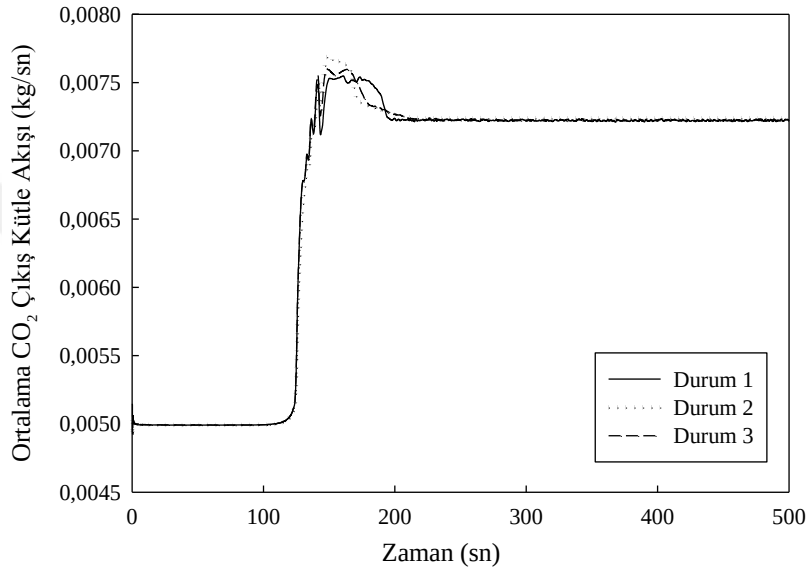
Şekil 3.40. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama CO çıkış kütle akışı



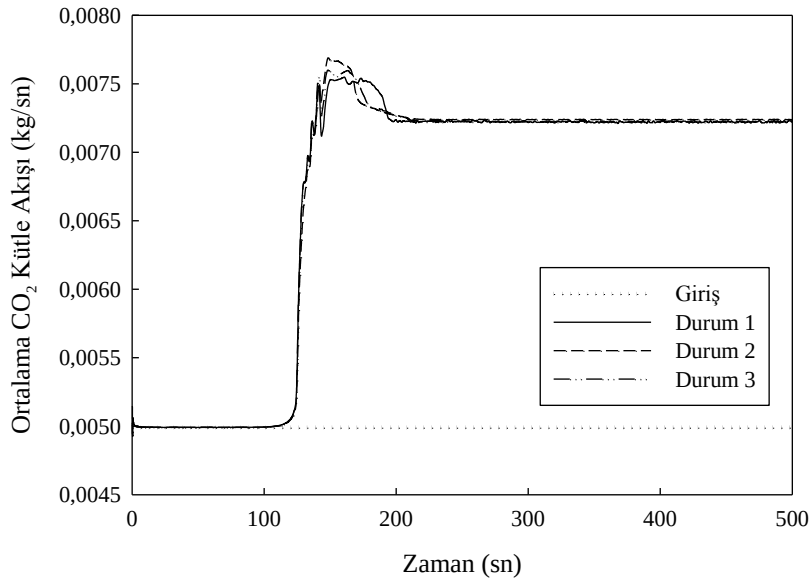
Şekil 3.41. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama CO kütle akışı

Motor'da yanma sırasında, alevin iç cephesinde oluşan ani yüksek sıcaklık bölgesinde yüksek miktarda CO oluşur. Fakat bu yanmış gazların daha sonra genişlemesi ve soğumasında esnasında CO oksidasyonu ile CO_2 'ye dönüşür. Bu sıcaklıkların genişleme zamanında aşırı derecede düşmesi durumunda, denge reaksiyonu sıcaklıktaki düşüşü takip edemediği için egzoz gazları içerisinde bulunan CO miktarı beklenenin aksine daha fazla olur. Ancak şekil 3.30.'da akış sıcaklığında görüldüğü gibi egzozlarının atımı sırasında sıcaklık düşüşü gerçekleşmediğinden reaksiyon hızı azalmayacaktır.

Bundan dolayı şekil 3.40. ve şekil 3.41. grafiklerinde CO emisyonu çok yüksek seviyelere çıkmamıştır. CO emisyonunun 3 farklı şekilde Durum 1’de daha düşük CO kütle akışı gerçekleşmiştir. Ancak CO emisyonun azalımı için geçen sürede Durum 2’nin daha kısa sürdüğü görülmüştür. Durum 2’de CO değerinin yüksek değerde olması egzoz sistemi boyunca tam bir yanma için sürenin olmadığını ve yeterince O₂ ile buluşamamasından dolayıdır.

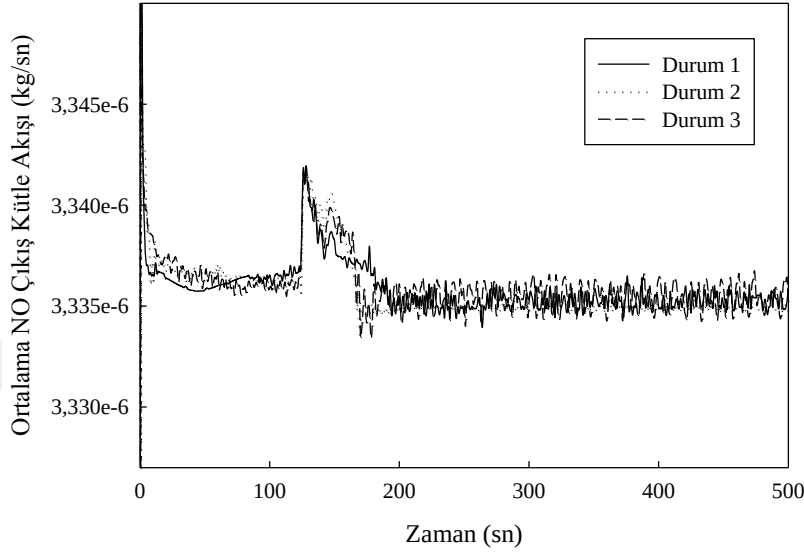


Şekil 3.42. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama CO₂ çıkış kütle akışı

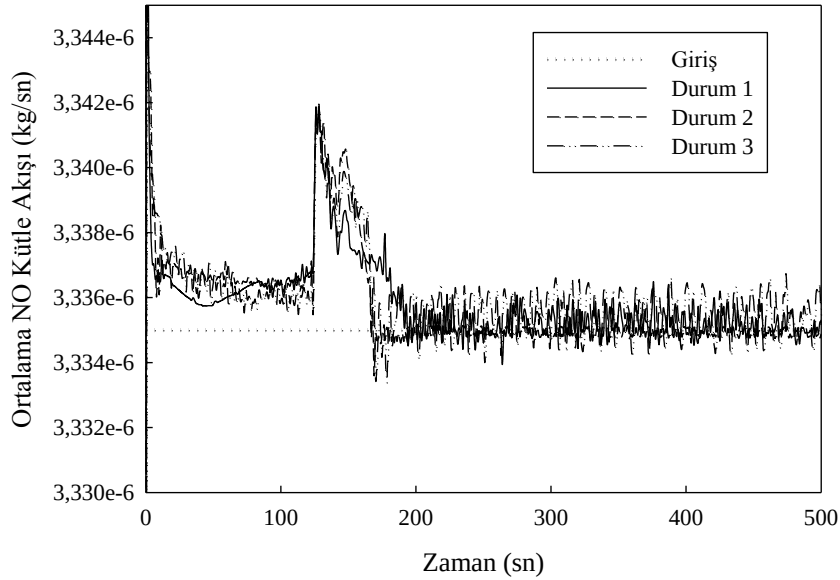


Şekil 3.43. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama CO₂ kütle akışı

Şekil 3.42. ve şekil 3.43.’deki 3 Farklı DPF şekli için CO₂ emisyonunun en yüksek durum 2’de görülmüştür. En yüksek CO emisyonu da durum 2 de görülmüştü. Durum 2’de oluşan CO’lar zamanla O₂ ile reaksiyona girerek en yüksek CO₂ oluşumu gerçekleştirmiştir.



Şekil 3.44. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama NO çıkış kütle akışı

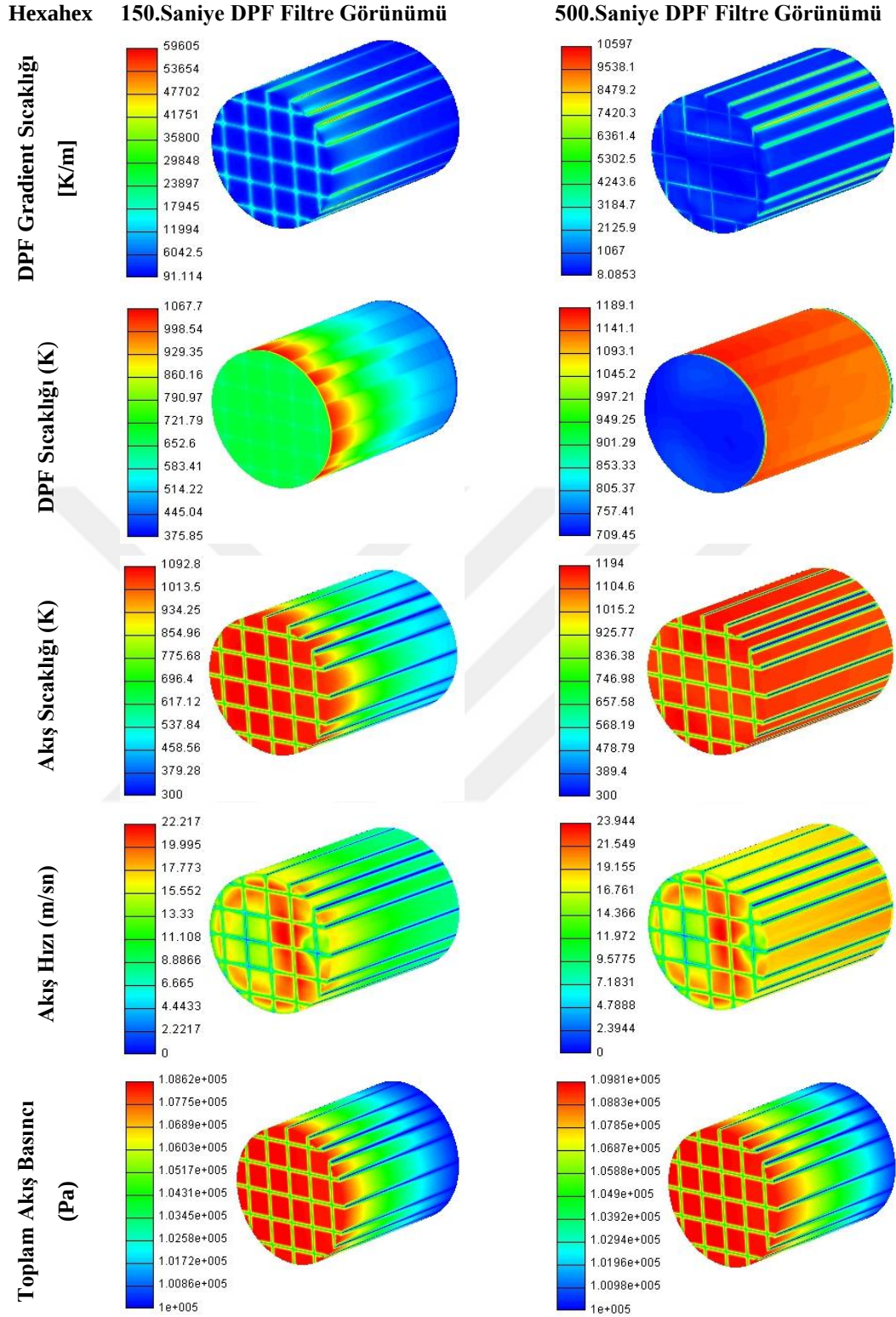


Şekil 3.45. Alüminyum titanatın 3 farklı şekil için ortalama NO kütle akışı

Silindir içerisinde yanma sonucunda 1800 K sıcaklıklarda, havanın içerisindeki azotun, O₂ ile birleşmesi sonucu NO meydana gelir [26]. Bu NO sıcaklığın düşmesi ve O₂ ile tepkimeye girecek zamanın olması durumunda NO₂ ve öteki NO_x'lere dönüşmektedir.

Şekil 3.44. ve şekil 3.45.'e bakıldığında 150. saniyeye kadar üç durum içinde NO seviyesi azalım gösterir. Ancak 150. saniyede sıcaklığın reaksiyon tepkimelerinin artmasına bağlı yükselmesiyle, NO seviyelerinde artış görülmüştür. Daha sonra egzoz gazlarının soğuması ve O₂ ile birleşecek sürenin oluşmasıyla tekrar azalım gösterir. Durum 1, 150.saniyeye kadar daha az NO oluşumu görülür. Bunun nedeni şekil 3.30.'da görüldüğü gibi diğer iki durumdan daha geç sıcaklık artışı meydana gelmesinden dolayıdır. 180. saniyede ise durum 1 diğer durumlara kıyasla daha yüksek sıcaklıklara çıkmıştır. Bundan dolayı NO oluşumu 180. saniyede yükselmiştir. Daha sonra gazların genişlemesiyle düşüş göstermiştir.

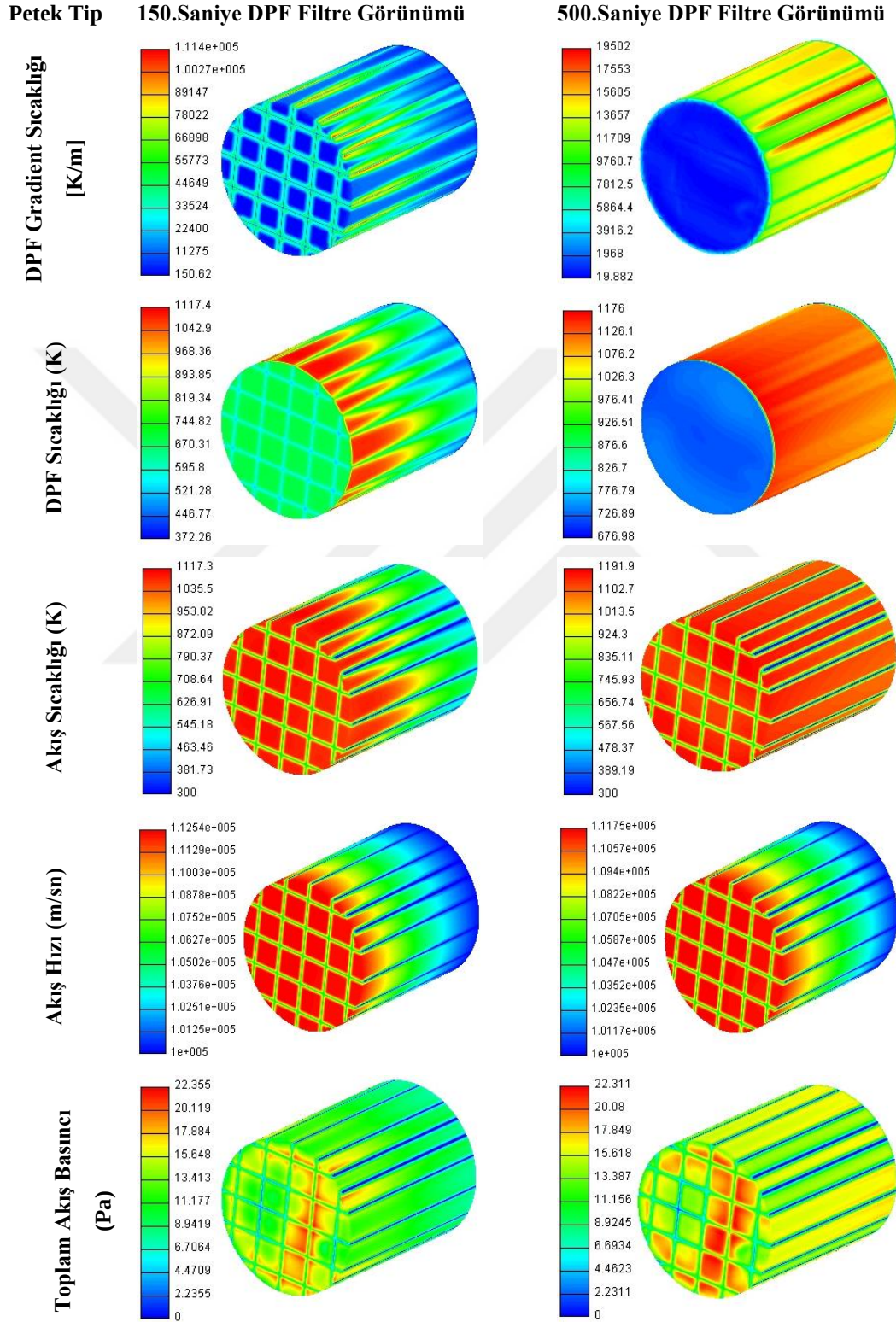
Şekil 3.40.-Şekil 3.45. arasındaki emisyon grafiklerine bakıldığında CO'da en düşük seviye durum 1'de görülmüştür. Ancak Şekil 3.43.'deki CO₂ grafiğine bakıldığında CO₂ emisyonları hemen hemen aynı olmasına rağmen CO'ların CO₂'ye dönüşümünde SiC'in AT ve Crd ye göre çok iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 3.46. Alüminyum titanatın hexahex DPF şekli için akış ve sıcaklık sonuçları

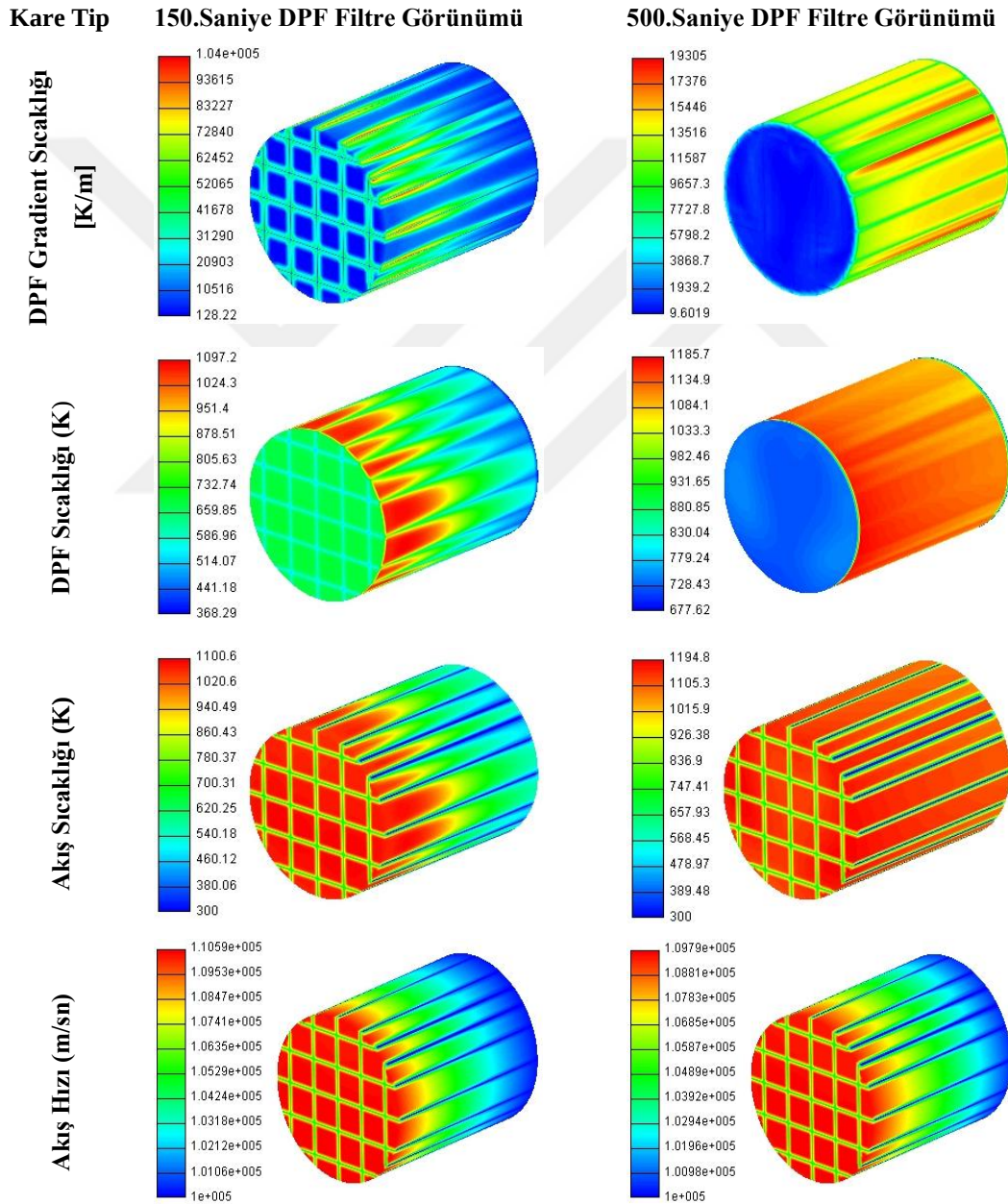
Şekil 3.46.'da durum 1 için DPF filtresinin ısı transferi ve akışkanlar dinamiği grafiklerine bakıldığında DPF sıcaklığının 150. saniyede, girişte 650-750 K arasında olduğu görülmüştür. 500. saniyede ise girişin 750-800 K arasındadır. DPF kanallarının yüzeylerinde meydana gelen reaksiyonlarla sıcaklığın 930-1050 K değerlerine ulaştığı görülmüştür.

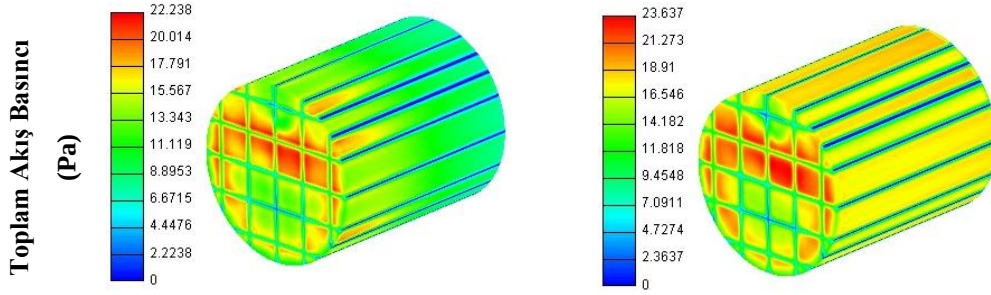
Akış sıcaklığının da 930-1050 K değerlerine ulaştığı görülmüştür. Akışın hızı DPF filtresinin orta kısmında daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 3.47. Alüminyum titanatın petek DPF şekli için akış ve sıcaklık sonuçları

Şekil 3.47.'de durum 2 diğer iki duruma göre, daha erken akış sıcaklığı artmıştır. Ancak birikimin fazla olmasında dolayı akış basıncı ve basınç düşüşü diğer iki duruma göre yüksektir. Birikimin fazla olmasının nedeni giriş hücrelerinin çıkış hücrelerine göre fazla olması ve çıkış hücrelerinin yüzey sayılarının daha az olmasından dolayıdır. Bu nedenle egzoz gazları akış direnci oluşturur. Bundan dolayı akış basıncı diğer durumlara göre oldukça yüksek seviyelere çıkar. Akış basıncı ile hız ters orantılı olmasından dolayı, akışın direncinin artmasına bağlı geri basınç oluşur ve akış hızı düşer.



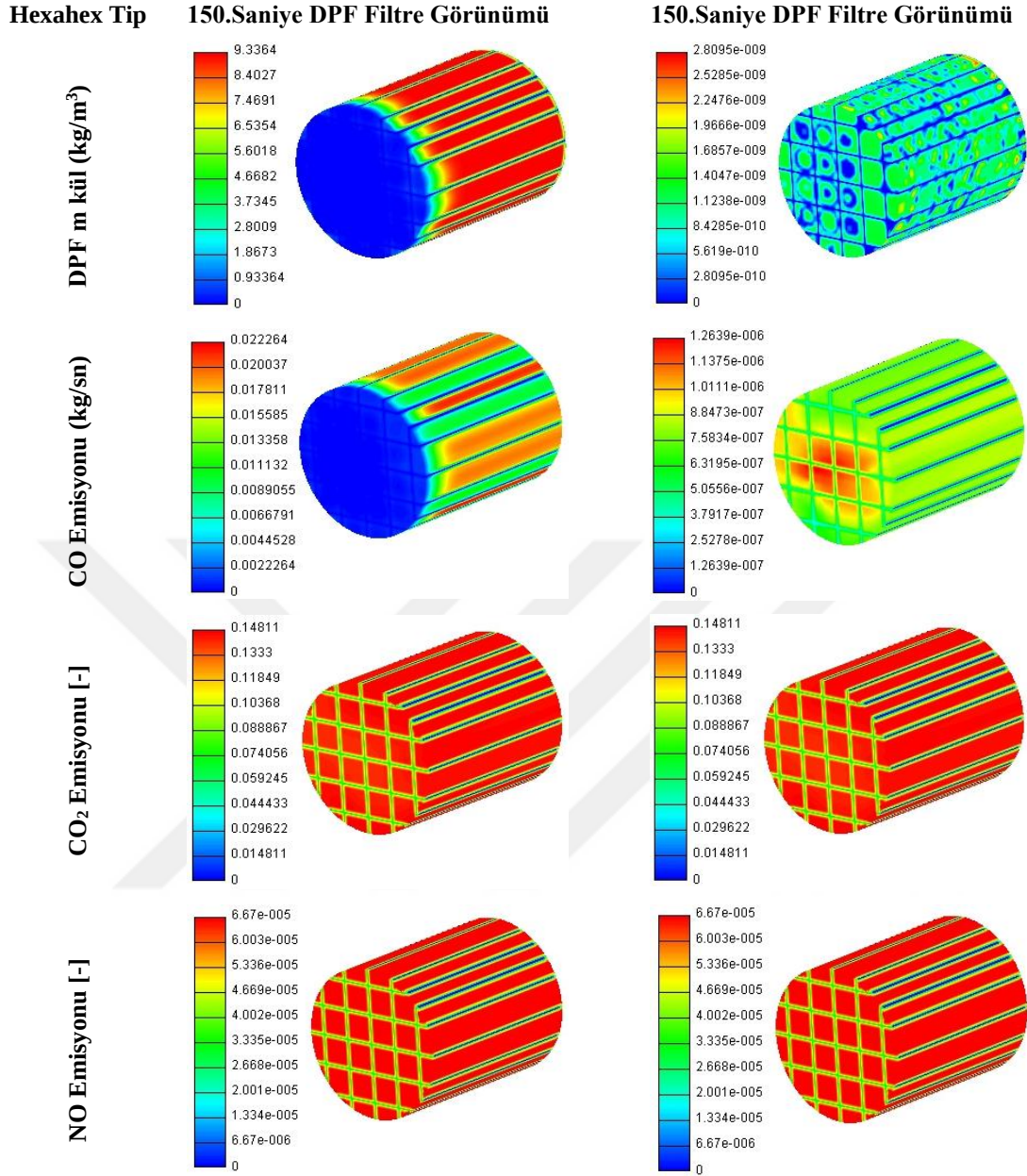


Şekil 3.48. Alüminyum titanatın kare DPF şekli için akış ve sıcaklık sonuçları

Şekil 3.48.'de durum 3'ün geometrik yapısı kare şeklinde ve giriş, çıkış kanalları aynı sayıdadır. Bu durum akışın basıncını olumlu yönde etkilemiştir. Akış basıncının düşük olması, akış direncinin düşük olması demektir. Böylelikle akış hızı yüksektir. Egzoz gazları bu şekilde DPF filtresini fazla zorlamaz ve bu nedenle daha uzun ömürlü olur. DPF sıcaklığı düzenli dağılım gösterir. Ancak DPF'nin kanallarının giriş kısmı daha sıcaktır. Bunun temel nedeni birikimin kanal sonunda daha fazla olmasından dolayıdır. Akış hızı durum 1'den yavaş ancak durum 2'den yüksektir. Bunun nedeni durum 1'den daha fazla birikim yapar fakat durum 2'ye göre daha az kül birikimi vardır.

Durumların akışkanlar dinamiği ve ısı transferi grafiklerine bakıldığında akışın basıncı, sıcaklığı ve hızı birbiriyle ilişkilidir. Bu değerleri büyük ölçüde etkileyen unsur kül emisyonlarının birikim oranıdır. DPF filtresinin kanal hücresinin şekli, giriş - çıkış kanallarının sayısı, yüzey ve kanallarının yüzey sayıları akışın durumunu büyük ölçüde etkilemektedir. Kanallarda ne kadar birikim fazla olursa, akış basıncı o kadar yükselir. Böylelikle akış hızları düşer ve taşıtın yakıt tüketiminde, egzoz sistemi elemanları ve motorun daha fazla dirençle karşılaşmasına maruz kalır. Budan dolayı da araçta hasar ve tahribatlara sebebiyet verebilir.

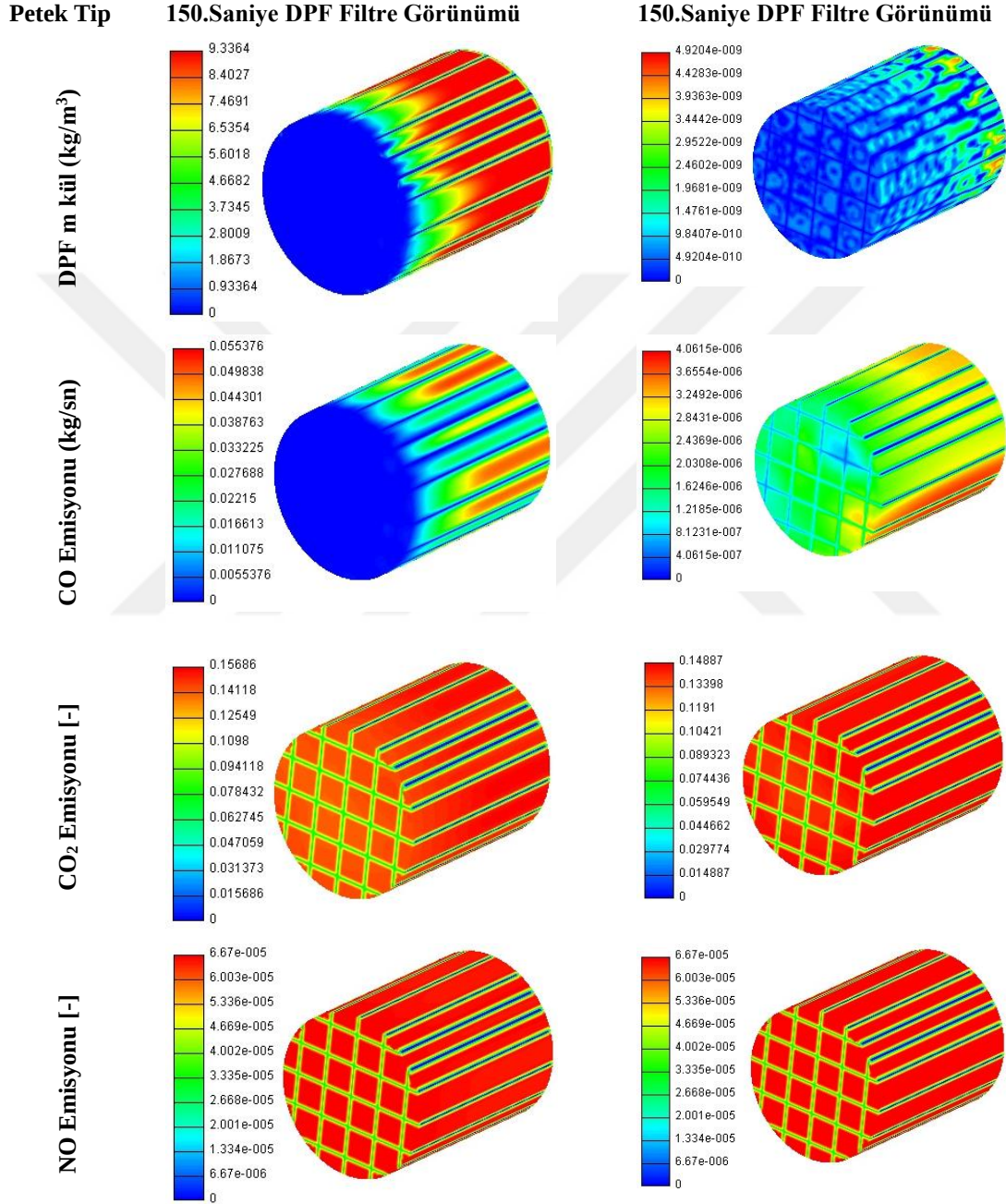
Egzoz sisteminin emisyon sonuçları, üç boyutlu görseller halinde 150. ve 500. saniye görünümüne göre sınıflandırılmıştır. Çıktı verileri AT için hexahex, petek ve kare tip DPF için alınmıştır. Sistemin 150. ve 500. saniyede kül birikimi, CO, CO₂ ve NO değerleri incelenmiştir.



Şekil 3.49. Alüminyum titanatın hexahex DPF şekli için emisyon sonuçları

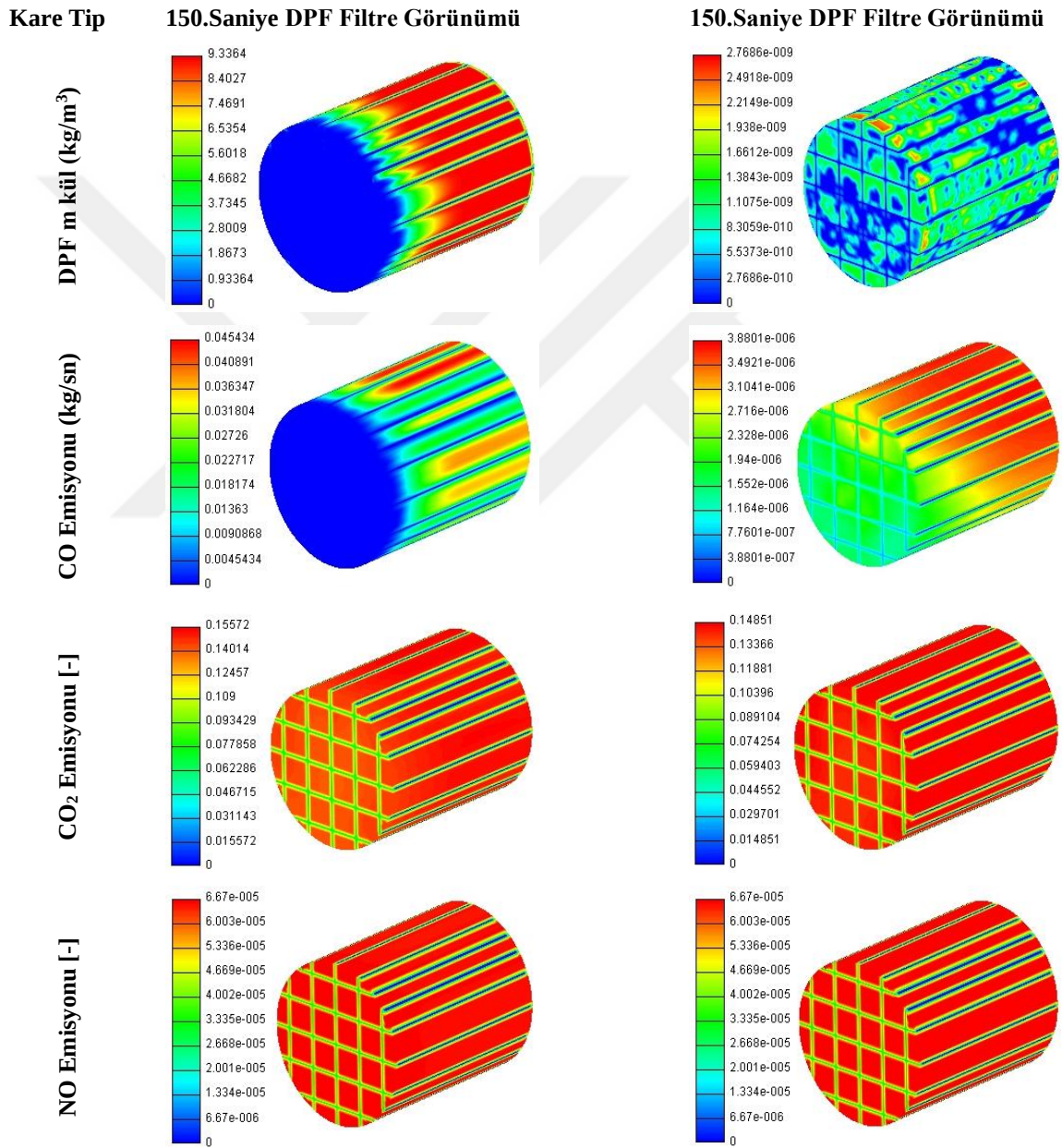
Şekil 3.49.'da durum 1 için emisyon grafiklerine bakıldığında kül birikimin DPF filtresinin kanallarının çıkış kısmında daha fazla birikim oluşur. Girişe doğru devam eder. Bundan dolayı akışın daha hızlı olduğu kanalın giriş kısmında sıcaklıklarda yüksektir. Sıcaklığın yüksek olduğu kısımlarda yanmamış yakıt parçacıklarının O₂ ile buluşmasıyla yanma gerçekleşir. Böylelikle HC emisyonu önemli ölçüde düşer ve CO₂ emisyonu artar. Ancak bu kısımda sıcaklığın yüksek olması sebebiyle NO emisyonunda fazla bir düşüş görülmez. Durum 1'in CO oluşumu diğer durumlara göre daha düşüktür.

Bunun nedeni şekil 3.30.'da de görüldüğü gibi kararlı sıcaklığa ulaşması diğer durumlara göre daha geç olmuştur. NO emisyonu ise 150. saniyeye kadar diğer durumlardan daha düşük seviyelere kadar indiği görülmüştür. Bunun nedeni kararlı sıcaklığa geç ulaşmasından dolayıdır. Ayrıca NO azalımı da diğer durumlara göre daha düzenli bir azalım göstermiştir.



Şekil 3.50. Alüminyum titanatın petek DPF şekli için emisyon sonuçları

Şekil 3.50.'de durum 2'nin emisyon değerlerine bakıldığında CO emisyon miktarı daha fazladır. Ayrıca CO₂ emisyonu da fazladır. Bunun nedeni Şekil 3.31'de de görüldüğü gibi sıcaklığın diğer durumlara göre hızlı ve kararsız yükselmesiyle CO emisyon seviyesi oldukça yüksektir. Bu CO'lar, egzoz gazlarının soğumasıyla O₂'ler ile tepkimeye girerek CO₂'leri oluşturur. Diğer iki duruma kıyasla durum 2'nin CO₂ seviyesinin yüksek olmasının nedeni, CO emisyonunun yüksek olmasıdır.



Şekil 3.51. Alüminyum titanatın kare DPF şekli için emisyon sonuçları

Şekil 3.51.'de durum 3'ün emisyon grafiklerine bakıldığında CO ve CO₂ emisyonları durum 1'den kötüdür. Fakat Durum 2'den iyidir. Durum 3'ün kül grafiğine bakıldığında birikimin fazla olduğu görülür. Bunun nedeni kare yüzey sayısının durum 1'in yüzey sayısından az olmasıdır. Ancak durum 2'in kül birikimi, durum 3'den fazladır. Birikime bağlı akış basınçları ve sıcaklık dağılımları etkilenir. Sıcaklığın fazla olduğu DPF giriş kısmında NO seviyesi yüksek ancak sıcaklığın daha düşük olduğu çıkış kısmında NO seviyesi düşüktür.



4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Emisyon kriterlerinin sürekli olarak zorlaştığı ve araç üretici firmaların bu kriterleri karşılamakta zorlandığı günümüzde egzoz sistemlerinin tasarımı ve kirletici emisyonlarının egzoz sistemi içerisinde minimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Ticari firmaların ve araştırmacıların üzerinde çalıştığı bu konu bu çalışma kapsamında detaylı olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında dizel motorlu taşıtlar için egzoz sisteminin tasarlanması amaçlanmıştır. Kullanımda olan bazı araçların egzoz sistemleri incelenerek gerçeğe uygun bir tasarım hedeflenmiştir. Bu tasarım kapsamında DOC ve DPF sistemlerinin birlikte kullanıldığı bir tasarım yapılarak özellikle DPF üzerinde bazı değişikliklere gidilmiştir. Çalışma temel olarak iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi sabit bir kanal şekli için üç farklı DPF malzemelerinin (AT, SiC, Crd) analizi, ikincisi ise sabit bir DPF malzemesi için üç farklı kanal tipinin (Hexahex, Petek ve Kare) analizidir. Çalışma neticesinde ısı transferi, akışkanlar dinamiği ve egzoz emisyonlarına yönelik sonuçlar detaylı olarak sunulmuştur. Sonuçlar göstermektedir ki;

- DPF'nin filtrasyon verimini partikül toplanması ve atmosferdeki salınımı, temsil eder. SiC malzemesiyle kaplanmış DPF 'nin filtrasyon veriminin daha iyi olduğu görülmüştür.
- Sistem bileşenleri içerisinde ısının daha iyi dağılmasını malzemenin termal iletkenliği sağlar. Ancak kararlı sıcaklığa ulaşması için daha fazla zaman ihtiyaç duyar. 3 malzemenin termal iletkenliğine bakıldığında SiC'in termal iletkenliğinin yüksek olmasından dolayı daha iyi sıcaklık dağılımı görülmüştür.
- Yüksek ısı kapasitesine sahip bir DPF filtresi kurum yakma sıcaklığına ulaşması için daha fazla sıcaklığa ihtiyaç duyar. Ancak kontrol edilemeyen rejenerasyon meydana gelirse, DPF filtresi olumsuz etkilenebilir.
- DPF hücre şekli filtrenin mekanik sağlamlığını, basınç düşüşü ve kül depolama kapasitesini etkilemede en önemli parametrelerden bir tanesidir.
- AT kaplı DPF'nin üç farklı durum için CO ve CO₂ emisyonlarına bakıldığında durum 1' in daha düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

- 3 farklı DPF durumu için kül birikiminin kanalın şekline ve yüzey sayısına bağlı, akış ve sıcaklıkların değişimine neden olduğu bunun da emisyon değerlerinin ciddi derecede değiştiği görülmüştür.
- 3 farklı DPF durumu için yüzey sayısının az olduğu durum 3'te ki birikim durum 1'e göre yüksektir. Bundan dolayı durum 1'in akış basıncı, durum 3'e göre daha yüksektir. Ancak durum 2'de ki birikim, durum 1'den fazladır. Bunun nedeni DPF' nin giriş, çıkış kanallarının farklı geometrik yapıda olmasıdır. Durum 2'nin giriş kanallarının yüzey sayısı durum 1'den fazla olmasına rağmen çıkış kanallarının yüzey sayısı, durum 1 ile aynı sayıdadır. Ayrıca giriş kanallarının, çıkış kanallarından fazla olması durum 2'deki birikimin fazla olmasına neden olmuştur. Bundan dolayı durum 2'nin akış basıncı diğer iki durumdan yüksektir.
- Farklı malzeme ve şekiller için DPF'nin çalışması esnasında birikimin fazla olması akışa direnç göstereceğinden akış basıncını yükseltir. Bu basınç yükselimi akışın hızını düşürecektir. Böylelikle egzoz sistemi parçaları ve motor daha fazla bir dirence maruz kalacaktır. Bundan dolayı egzoz sistemi, motor ve yakıt tüketimi olumsuz yönde etkilenecektir.

Sonuç olarak bu çalışma sonucunda SiC malzemesiyle kaplanmış Hexahex geometrideki kanallarla yapılmış bir DPF sistemi filtrasyon verimi en iyi şekilde olacaktır. Maliyet açısından yüksek olmasına karşın, korozyona karşı dirençte ve maksimum dayanım sıcaklığa dayanımda diğer durumlardan daha iyidir.

5. ÖNERİLER

İncelenen literatür ve bu tez çalışması kapsamında elde edilen bilgiler ve analizler ışığında ileride yapılabilecek çalışmalar için aşağıdaki öneriler yapılmıştır. Konunun geliştirilmesi ve otomotiv sektöründe kullanılabilir hale getirilmesi için aşağıdaki önerilerin incelenerek yeni çalışmaların yapılması uygun görülmektedir.

Bu çalışmanın haricinde;

- Silikon nitrit, mullit, fiberler, açık hücreli köpükler vd. farklı malzemeli DPF'ler denenerek çalışma genişletilebilir.
- Farklı egzoz sistemleri üzerinde çalışılabilir.
- Farklı geometride ve farklı giriş çıkış sayılarındaki DPF kanalları incelenebilir
- Tüm bu farklılıklar bir optimizasyon yöntemiyle optimize edilebilir.
- Farklı yazılımlar kullanılarak tasarım ve analizler yenilenebilir.
- Sayısal çalışmalarda oluşturulan geometrilerin deneysel olarak oluşturulması ve çalışmaların deneysel olarak tekrarlanması sağlanabilir.

Böylelikle verimli, uzun ömürlü ve en az maliyetli DPF üretilebilir. Bu çalışmanın sonuçlarıyla diğer malzeme ve şekillerin değerlendirilmesiyle en verimli egzoz sistemi üretilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Keskin, A.**, 2009. Dizel motorlarında partikül madde emisyon kontrolü ve gelişmeler, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük 13-15 Mayıs.
- [2] **Akbal, O.**, 2013. Ağır ticari taşıt dizel motoru SCR sisteminin sıcaklık modellemesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Kumar, A., P., Sreekumar, and J., S., Mohanan, P.**, 2015. The effect of cordierite/Pt catalyst on the NO_x reduction in a diesel and Jatpha bio-diesel operated single cylinder engine, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **3**, 1125-1136.
- [4] **Demiröz, G.**, 2010. Seçici katalitik indirgeme sisteminin ağır taşıt motorlarında kullanımının optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Kumar, A., P., Sreekumar, J., and S., Mohanan, P.**, 2014. Experimental and CFD analysis of selective catalytic reduction system on DeNO_x efficiency of single cylinder diesel engine using NH₃ as a reducing agent, *Procedia Technology*, **14**, 116-124.
- [6] **Keskin, A., ve Sağiroğlu, S.**, 2010. Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri, *Mühendis ve Makina*, **51**, 606.
- [7] **Acun, S., T.**, 2013. Dizel motor emisyonlarının hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla çok boyutlu modellenmesi ve analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Çanakçı, M., ve Özsezen, A., N.**, 2004. Dizel motorları yardımcı ekipmanlarındaki gelişmeler, *Mühendis ve Makine*, **530**, 37-42.
- [9] **Keskin, A.**, 2011. Dizel partikül filtrelerinde rejenerasyon yöntemleri, *Mühendis ve Makine*, **615**, 54-61.
- [10] **Wanker, R., Wurzenberger, J., C., Peters, B., and Tatschl, R.**, 2004. Integrated 1D and 3D modeling of exhaust-gas aftertreatment devices, *SAE International*, 01-1132.
- [11] **Jiao, P., Li, Z., Shen, B., Zhang, W., Kong, X., Jiang, R.**, 2017. Research of DPF regeneration with NO_x–PM coupled chemical reaction, *Applied Thermal Engineering*, **110**, 737-745.
- [12] **İmren, A.**, 2005. Multidimensional modeling of combustion and pollutant emissions in diesel engines. *Master's Thesis*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [13] **Avcu, M., Kopuz, Ş., Teke, M.,** 2010. MTU 16V 4000 M90 brand/model diesel engine exhaust system design, *Journal of Naval Science and Engineering*, **1**, 39-58.
- [14] **Çalık, A., T., Ergeneman, A., M., Golovitchev, V., I.,** 2009. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile dizel motorlarında emisyon oluşumu ve azaltılmasının modellenmesi, *İstanbul Üniversitesi Dergisi*, **2**, 93-104.
- [15] **Bayram, H.,** 2005. Türkiye’de hava kirliliği sorunu: nedenleri, alınan önlemler ve mevcut durum, *Toraks Dergisi*, **2**, 159-165.
- [16] **Öztürk, Z.,** 1999. Motorlu araçlardan oluşan kirlilik ve egzoz emisyon regülasyonları, II . Ulaşım ve Trafik Kongresi, Ostim Sergi Sarayı, Ankara, 29 Eylül-02 Ekim.
- [17] **Tsuneyoshi, K., Yamamoto, K.,** 2013, Experimental study of hexagonal and square Diesel particulate filter under controlled and uncontrolled catalyzed regeneration, *Energy*, **60**, 325-332.
- [18] **Benaqqa, C., Gomina, M., Beurotte, A., Boussue, M., Delattre, B., Pajot, K., Pawlak, E., Rodrigues, F.,** 2014. Morphology, physical, thermal and mechanical properties of the constitutive materials of diesel particulate filters, *Applied Thermal Engineering*, **62**, 599-606.
- [19] **Bensaid, S., Marchisio, D., L., Fino D.,** 2010. Numerical simulation of soot filtration and combustion within diesel particulate filters, *Chemical Engineering Science*, **65**, 357-363.
- [20] **Millo, F., Andreatta, M., Rafigh, M., Mercuri, D., Pozzi, C.,** 2015. Impact on vehicle fuel economy of the soot loading on diesel particulate filters made of different substrate materials, *Energy*, **86**, 19-30.
- [21] **Zheng, M., Banerjee, S.,** 2009. Diesel oxidation catalyst and particulate filter modeling in activate- Flow configurations, *Applied Thermal Engineering*, **29**, 3021-3035.
- [22] **Sarli, V., D., Benedetto, A., D.,** 2015. Modeling and simulation of soot combustion Dynamics in a catalytic diesel particulate filter, *Chemical Engineering Science*, **137**, 69-78.
- [23] **Akçay, O.,** 2016. Trafik ve çevre kirliliği, <http://www.gapmyo.edu.tr/dergi3/7%20trafik.pdf>. 18 Nisan 2016.
- [24] **Kutlar, O., A., Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M.,** 1998. Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, İstanbul.

- [25] **Gillenwater, M., Van, P., M., M., Peterson, K.,** 2002. Greenhouse gases and global warming potential values, expert from the inventory of US greenhouse emissions and sinks, US Environmental Protection Agency, 1990-2000, 4-9.
- [26] <http://www.bgbakimservisim.com/panel/upload/11122014155521.pdf> 18 Nisan 2016.
- [27] <http://www.yildiz.edu.tr/~sandalci/dersnotu/TC/TC3.pdf> 18 Nisan 2016.
- [28] **Öztürk, H., A., T.,** 1996. İstanbul Şehir çevriminin ABD ve Avrupa test çevrimleri ile emisyon faktörleri ve yakıt tüketimi açısından deneysel olarak karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] **Imran, A., Varman, M., Masjuki, H., H., Kalam, M., A.,** 2013. Review on alcohol fumigation on diesel engine: A viable alternative dual fuel technology for satisfactory engine performance and reduction of enviroment concerning emission, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **26**, 739-751.
- [30] **Kandiş, H., Katırcı, Y., Karapolat, B., S.,** 2009. Düzce Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi; 11(3): 54-60.
- [31] **Kaytaoğlu, S., Var, F., Öcal, S., E.,** 1995. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirlilik ve giderilme yöntemleri, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 3. Ulusal Sempozyumu, Ankara, 143-155.
- [32] <http://www.yildiz.edu.tr/~odeniz/Ders%20Kitabi> İçten yanmalı motorlar ders notları. 06 Nisan 2016.
- [33] **Demiröz, G.,** 2010. Seçici katalitik indirgeme sisteminin ağır taşıt motorlarında kullanımının optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34] **Li, N., Xia, T., Nel, A., E.,** 2008. The role of oxidative stress in ambient particulate matter- induced lung diseases and its implications in the toxicity of engineered nanoparticles, *Free Radical Biology & Medicine*, **44**, 1689-1699.
- [35] **Dönmez, D., Semercioğlu, H., Cömert, Ö., M., Üzmez, G.,** 2009. Dizel motor ile çalışan belediye otobüslerinin incelenmesi ve emisyon envanterlenmesi, *Bitirme Tezi*, Sakarya Üniversitesi.
- [36] **Pekin, M., A.,** 2006. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [37] **Aktaş, S.,** 2008. Egzoz emisyonlarının dünyadaki evrimi , günümüzün dizel motor teknolojileri ve askeri araçlardaki etkileri, BMC.

- [38] **Katip, A., Karaer, F., Özengin, N.,** 2014. Otomotiv sektörünün çevresel açıdan değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 19,51-65.
- [39] <http://www.sanayi.gov.tr/NewsDetails.aspx?newsID=22219&lng=tr> 18 Nisan 2016.
- [40] http://www.mess.org.tr/media/filer_public/27/ea/27ea6532-cb3f-489f-8a6e-4ee8195c3250/eylem_plani.pdf 18 Nisan 2016.
- [41] [https://www.academia.edu/2567724/Emission - Emisyon - Emisyon_Kontrol_Y%C3%B6ntemleri](https://www.academia.edu/2567724/Emission_-_Emisyon_-_Emisyon_Kontrol_Y%C3%B6ntemleri) 20 Mayıs 2016.
- [42] **Sharma, H., Mhadeshwar, A.,** 2012. A detailed microkinetic model for diesel engine emissions oxidation on platinum based diesel oxidation catalysts (DOC), *Applied Catalysis B: Environmental*, **127**, 190-204.
- [43] <http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/dizel%20emisyon%20kontrol%20yontemleri2011.pdf> Sakarya Üniversitesi Çevre mühendisliği Bölümü, Emisyon yönetmelikleri, 12 Mart 2016.
- [44] “ Emission Control technologies for Diesel-Powered Vehicles”, 2007, MECA, Washigton.
- [45] http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_particulate_filter 30 Mart 2016.
- [46] **Chen, K., Martirosyan, K., S., Luss, D.,** 2011. Temperature gradients within a soot layer during DPF regeneration, *Chemical Engineering Science* **66**, 2968-2973.
- [47] **Rounce, P., Tsolakis, A., York, A., P., E.,** 2012, Speciation of particulate matter and hydrocarbon emissions from biodiesel combustion and its reduction by aftertreatment, *Fuel*, **96**, 90-99.
- [48] **Jiaqiang, E., Zuo, W., Gao, J., Peng, Q., Zhang, Z.,** 2016. Effect analysis on pressure drop of the continuous regeneration- Diesel particulate filter based on NO2 assisted regeneration, *Applied Thermal Engineering*, **100**, 356-366
- [49] **Bensaid, S., Russo, N.,** 2011. Low temperatureDPF regeneration by delafossite catalysts, *Catalysis Today*, **176**, 417-423.
- [50] **Rounce, P., Tsolakis, A., York, A., P., E.,** 2012. Speciation of particulate matter and hydrocarbon emissions from biodiesel combustion and its reduction by aftertreatment, *Fuel*, **96**, 90-99.
- [51] <http://www.aecc.eu/en/content/pdf/AECC%20Response%20to%20EC%20on%2008%20NOx%20HDD%20Limits%20August%2002002.pdf> Association for Emissions Control by Catalyst. 01 Nisan 2016.

- [52] **Jahnson, T.**, 2008. Diesel engine emissions and their control, platinum Metals Rew, **52**, 23-37.
- [53] **Koebel, M., Elsener, M., Kleemann, M.**, 2000. Urea-SCR: a promising technique to reduce NO_x emissions from automotive diesel engines, Catal Today **59**, 335-45.
- [54] **Wang, W., Herreros, J., M., Tsolakis, A., York, A., P., E.**, 2015. Increased NO₂ concentration in the diesel engine exhaust for improved Ag/Al₂O₃ catalyst NH₃-SCR activity, Chemical Engineering Journal, **270**, 582-589.
- [55] **Setena, V., B., Makkeea, M.**, 2001. Science and technology of catalytic Diesel particulate filters, Cat Rev – Sci Eng **43**, 489-564.
- [56] **Zheng, M., Wang, D.**, 2005. Boundary layer enhanced thermal recuperation for diesel particulate filter regeneration under a periodic flow reversal operation. sae technical paper, **01**, 09-51.
- [57] **Lee, S.J., Jeong, S.J., Kim, W.S.**, 2009 Numerical design of the diesel particulate filter for optimum thermal performances during regeneration, Appl Energy **86**, 1124-1135.

ÖZGEÇMİŞ

Nevfel Yunus COŞKUN, 1992 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2014 yılında Fakülte birinciliğiyle mezun oldu. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen bir TÜBİTAK projesinde Bursiyer olarak çalışmaktadır.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 23119
ELAZİĞ
Email:nevfelyunus@gmail.com