

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR KATALİTİK KONVERTÖRÜN SAYISAL AKIŞ
ANALİZİ**

**Hazırlayan
Uğur GÜLLÜ**

**Danışman
Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER**

Yüksek Lisans Tezi

**Mayıs 2019
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR KATALİTİK KONVERTÖRÜN SAYISAL AKIŞ
ANALİZİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**Hazırlayan
Uğur GÜLLÜ**

**Danışman
Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER**

**Mayıs 2019
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

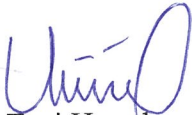
Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Uğur GÜLLÜ



YÖNERGEYE UYGUNLUK

Bir Katalitik Konvertörün Sayısal Akış Analizi adlı Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Uğur GÜLLÜ



Danışman

Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER



Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER danışmanlığında **Uğur GÜLLÜ** tarafından hazırlanan “**Bir Katalitik Konvertörün Sayısal Akış Analizi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

13/05/2019

JÜRİ:

Danışman

: Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

Üye

: Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

Üye

: Doç. Dr. M. Kadir YEŞİLYURT

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 11/06/2019 tarih ve 2019/33-11 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



11/06/2019
Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez konunun belirlenmesinde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçların değerlendirilmesinde destek ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarım boyunca yapmış olduğu katkılarıyla beni aydınlatan değerli hocam Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER' e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, çalışmalarım süresince bana verdikleri destek, göstermiş oldukları sabır ve anlayıştan dolayı başta değerli eşim, ailem, ve iş yerindeki müdürlerim ile çalışma arkadaşlarıma teşekkür eder, sevgilerimi sunarım.

Uğur GÜLLÜ

Kayseri, Mayıs 2019



BİR KATALİTİK KONVERTÖRÜN SAYISAL AKIŞ ANALİZİ

Uğur GÜLLÜ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2019

Danışman: Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

ÖZET

Egzoz emisyon standartları ile ilgili kanunlar günümüzde çevresel etkilerinden dolayı önemli bir hale gelmiştir. Bu yüzden motor üreticileri çevreye en az zarar veren motor sistemlerini üretme çabasını yürütmüşlerdir. Motorlardan salınan zararlı gazları dönüştürerek atmosfere zararsız bir şekilde salınmasını sağlamak amacı ile katalitik konvertörler gündeme gelmiştir. Katalitik konvertörlerdeki akış analizleri deneysel yöntemlere göre daha kolay ve az maliyetli olduğu için konu hakkında birçok tez ve makale hazırlanmış ve sunulmuştur. Geliştirilen katalizörler ile kimyasal reaksiyonların sıcaklığı düşürülüp, kimyasal reaksiyon verimi yükseltip, daha başarılı sonuçlar elde edilebilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında katalitik konvektördeki akış hareketleri sayısal akış analiz programı Ansys Fluent yardımı ile 3 boyutlu olarak incelenmiştir. Katı model çizimi Solid Works programı ile oluşturulup Workbench programına aktarılmıştır. Akış analizi Fluent programında gerçekleştirilmiş ve ısıtıcı etkisi araştırılmıştır. Katalitik konvertöre 0, 100 ve 500 W değerinde ısı verilerek sıcaklık değişimleri ve verimdeki iyileşmeler irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katalitik konvertör, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Sıcaklık, Emisyon

DIGITAL FLOW ANALYSIS OF A CATALYTIC CONVERTER

Uğur GÜLLÜ

Erciyes University, Institute Of Science

M.Sc. Thesis, May 2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

ABSTRACT

The laws on exhaust emission standards have become important due to their environmental impacts. Therefore, motor manufacturers have tried to produce motor systems that have the least damage to the environment. Catalytic converters have been introduced to convert harmful gases released from the engines into the atmosphere in a harmless manner. Since the flow analysis of catalytic converters is easier and less costly than experimental methods, many theses and articles have been prepared and presented. With the developed catalysts, the temperature of the chemical reactions was lowered, the chemical reaction efficiency was increased and more successful results could be obtained

Within the scope of this thesis, flow movements in catalytic convertor were investigated in 3D with the help of digital flow analysis program Ansys Fluent. Solid model drawing was created with the Solid Works program and transferred to the Workbench program. Flow analysis was carried out in Fluent program and the heating effect was investigated. Temperature changes and efficiency improvements were given to the catalytic converter by giving heat to 0, 100 and 500 W.

Keywords: Catalitic convertor, Computational fluid dynamics, Temperature, Emissions

İÇİNDEKİLER

BİR KATALİTİK KONVERTÖRÜN SAYISAL AKIŞ ANALİZİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. İçten Yanmalı Motorlarda Yanma	3
1.2. Hava ve Egzoz Emisyonları ile İlgili Temel Bilgiler	4
1.2.1. Karbonmonoksit (CO)	6
1.2.2. Karbondioksit (CO₂)	6
1.2.3. Hdirokarbon (HC)	6
1.2.4 Azot Oksitler (NO_x)	6
1.3. Taşıt Kaynaklı Hava Kirliliği	7
1.4. Taşıt Kaynaklı Hava Kirliliğini Kontrol Yöntemleri	8
1.5. Araçlarda Egzoz Emisyonunu Etkileyen Etkenler	9
1.5.1. Hava / Yakıt Oranı	10
1.5.2. Ateşleme Avansı	11
1.5.3. Yakıt Kalitesi	12
1.5.4. Motorda Alev Hızı	12
1.5.5. Motor Sürtünmesi	12

1.5.6. Yanma Odası Tasarımı	12
1.5.7. Taşıt Tasarımı	13
1.5.8. Taşıt Aerodinamiği	13

2. BÖLÜM

GENEL TANIMLAMALAR

2.1. Katalitik Konvertör	14
2.2. Katalitik Konvertörlerin Yapısı	15
2.2.1. Seramik Bilyeli Katalitik Konvertörler	17
2.2.2. Seramik Petek Katalitik Konvertörler	17
2.2.3. Metalik Petek Katalitik Konvertörler	18
2.3. Katalitik Konvertördeki Reaksiyonlar	20
2.4. Katalitik Konvertörün Verimini Etkileyen Bileşenler	21

3. BÖLÜM

SAYISAL ÇALIŞMA FLUENT ADIMLARI

3.1. Giriş	23
3.2. CFD'de Çözümleme	23
3.3. Materyal ve Yöntem	24
3.4. Model Oluşturma ve Mesh Yapısı	25
3.5. Sınır Şartları ve Kabuller	29

4. BÖLÜM

AKIŞ ANALİZ ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRME

4.1. Giriş	31
4.2. Fluent Analiz Sonuçları	32

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ.....	41

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
mm	Milimetre	----
r	Sıkıştırma Oranı	%
g	Gram	----
dm ³	Desimetreküp	----
CO	Karbonmonoksit	ppm
CO ₂	Karbondioksit	ppm
EGR	Egzoz gazı resirkülasyonu	----
H ₂	Hidrojen	ppm
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği	----
HC	Hidrokarbon	ppm
NO _x	Azotoksit	ppm
N ₂	Azot	ppm
PM	Partikül Madde	----
SO ₂	Kükürtdioksit	ppm
O ₂	Oksijen	ppm
H ₂ O	Su molekülleri	----
K	Özgül ısı kapasitesi	----
n	Verim	----

TABLULAR LİSTESİ

- Tablo 1.1. Filtrelenmemiş egzoz gazındaki kirli gazların oranları 5
- Tablo 1.2. Hava/yakıt oranındaki değişimlerin motor bileşenlerine etkisi etkisi 11



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	İçten yanmalı motor egzozundaki gazlar	5
Şekil 1.2.	Buji ateşlemeli motorlarda emisyonların yakıt fazlalık katsayısı ile değişimi	8
Şekil 1.3.	Farklı sıkıştırma oranlarında verim değişimleri.....	10
Şekil 2.1.	Katalitik konvertörün taşıttaki konumu	14
Şekil 2.2.	Katalitik konvertörün iç yapısı	16
Şekil 2.3.	Seramik bilyeli tip katalitik konvertör	17
Şekil 2.4.	Seramik veya kolonlu (monolith) tip katalitik konvertör	18
Şekil 2.5.	Metalik petekli veya kolonlu tip katalitik konvertör	19
Şekil 2.6.	Katalitik konvertörlerde emisyon dönüşümleri	20
Şekil 2.7.	Üç yollu katalitik konvertörün sıcaklığa bağlı olarak dönüştürme verimi ...	21
Şekil 2.8.	Üç yollu katalitik konvertörün hava/yakıt oranına bağlı olarak dönüştürme verimi	22
Şekil 3.1.	CFD çözümlene prosesi	24
Şekil 3.2.	Modelin teknik çizimleri	25
Şekil 3.3.	Katı modelin dış bölgelerinin görünümü	26
Şekil 3.4.	Katalitik konvertörün iç mesh yapısı	26
Şekil 3.5.	Katalitik konvertörün ağ yapısı	27
Şekil 3.6.	Oluşturulan ısıtıcı modeli	27
Şekil 3.7.	Isıtıcının konvertöre adaptasyonu	28
Şekil 3.8.	Isıtıcının konvertördeki yeri ve komple sistem görünümü	28
Şekil 3.9.	Genel ayar görseli	30
Şekil 4.1.	Rölanti motor hızında 0 W'daki sıcaklık dağılımı.....	32
Şekil 4.2.	Rölanti motor hızında 0 W'daki hız dağılımı.	33
Şekil 4.3.	Rölanti motor hızında 0 W'daki basınç dağılımı.....	33
Şekil 4.4.	Katalitik konvertörün farklı konumları için sıcaklık zaman değişimleri.....	34
Şekil 4.5.	HC ve CO dönüşüm verimlerinin sıcaklık ile değişimi.....	35
Şekil 4.6.	Farklı ısıtıcı sıcaklıklarında HC ve CO değişimleri.....	35
Şekil 4.7.	Rölanti motor hızında konvertör çıkış sıcaklık-zaman değişimleri	36
Şekil 4.8.	Rölanti motor hızında porous sıcaklık-zaman değişimleri	36
Şekil 4.9.	Rölanti motor hızında konvertör giriş sıcaklık-zaman değişimleri.....	37

1.BÖLÜM

GİRİŞ

Günümüzde büyük şehirlerde yaşanan hava kirliliği insan sağlığını tehlikeye sokan en önemli unsurlardan birisidir. Dünya sağlık örgütü (WHO) verilerine göre 2012 yılında hayatını kaybeden insan sayısı 7 milyon civarında belirtilmiştir[1]. Özellikle artan nüfus ve beraberinde gerçekleşen hızlı şehirleşme ile şehirler nefes alınmaz hale gelmektedir. Böyle bir durumda otomobil motorundan çıkan ve egzoz sistemi aracılığıyla havaya salınan bir takım zararlı gazlar insan sağlığını tehdit eden en önemli unsurlardan biri olmaktadır.

Otomobil egzoz sisteminden salınan gazların diğer bir zararlı etkisi de ozon tabakası üzerinde görülmektedir. Salınan CO₂ gazı atmosferdeki sera etkisini artırırken NO_x gazı ozon tabakasının delinmesine neden olmaktadır.

Tüm bu nedenlerden dolayı özellikle son 30 yılda artan duyarlılıkla birlikte ülkeler otomobillerden salınan egzoz gazlarını kontrol altına almak için çeşitli yasal düzenlemeler oluşturmaya başlamışlardır. İlk olarak CO ve H_xC_x gazlarının azaltılması için çalışmalar yapılmış, günümüzde bu gazların yanı sıra NO_x ve CO₂ gazlarının da emisyon seviyelerinin aşağı çekilmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

Otomobil egzoz emisyon seviyelerini azaltmak için çeşitli yöntemler araştırılmaktadır. Bu çalışmaların başlıcaları hibrit yakıt veya alternatif yakıt kullanan sistemler, emisyon kontrol sistemleri, daha az yakıt tüketen motorlar ve daha yaygın toplu ulaşım sistemleridir. İncelenen bu çalışmada konu emisyon kontrol sistemlerinin bir alt parçası olan egzoz katalitik konvertörlerdir.

Egzoz katalitik konvertörün görevi motordan çıkan egzoz gazının içerisinde bulunan tepkimeye girmemiş ve insan sağlığına dolaylı veya dolaysız yoldan zararlı olan gazları

katalizör görevi gören bir yüzey aracılığıyla tepkimeye sokup zararsız gazlar haline getirmektir.

Otomobil emisyon sistemleri üzerine çalışmalar 1960'lı yılların başından beri yapılmaktadır [2]. İlk olarak yasal düzenleme 1965 yılında ABD'nin Kalifornia eyaletinde hayata geçirilmiştir. O zamandan beri her yıl emisyon değerleri gittikçe azaltılmakta ve otomobil şirketleri bu alanda çalışma yapmaya teşvik edilmektedir.

Katalitik konvertör ilk olarak Amerika Birleşik Devletlerinde Eugene Houdry tarafından 1950 yılında icat edilmiştir. İlk katalitik konvertörler başka endüstriyel alanlarda kullanılmış ancak 1950'li yılların ortalarına doğru benzinli otomobillerde de kullanılmaya başlanmıştır.

İlk seri üretim katalitik konvertörler 1973 yılında Engelhard Corporation şirketi tarafından üretilmeye başlanmıştır.

1992 yılında katalitik konvertörler bütün otomobiller için zorunlu hale gelmiştir. Euro 1 olarak adlandırılan ve CO, H_xC_x ve NO_x salınım değerlerini belirleyen emisyon standardı da bu yıl başlatılmıştır. Yıllar geçtikçe bu standartlar daha da artırılmaktadır. 1998 yılında Euro 2, 2001 yılında Euro 3 emisyon standartları zorunlu hale getirilmiştir[3]. Euro 4 emisyon seviyesi 2006 yılında getirilirken etkili bir şekilde emisyonların düşürülmesini sağlamıştır. Günümüzde Avrupa da 2010 yılından beri Türkiye'de de 2012 yılından beri Euro 5 emisyon seviyesine geçilmiştir. 2015 yılından itibaren de Euro 6 emisyon seviyesine geçiş yapılması planlanmaktadır [3].

Çalışmanın 1. bölümünde çeşitli makale ve kitaplarda yapılan çalışmalardan söz edilmektedir. Katalitik reaksiyonların farklı çözümlerinden bahsedilmekte ve bu tezde kullanılan çalışmaların detayları açıklanmaktadır.

Bölüm 2 de katalitik konvertörler tanıtılmakta, geçmişten günümüze gelişim aşamaları ve içerisinde gerçekleşen reaksiyonlar açıklanmaktadır. Son olarak da kullanılan matematiksel yaklaşımlar ve oluşturulan model anlatılmaktadır.

Bölüm 3'te yapılan deneylere ilişkin bilgiler verilmektedir. Deneylerin içeriği, ölçüm alınan noktalar ve kullanılan değişkenler açıklanmaktadır.

Bölüm 4'te kullanılan matematiksel model sonucu ortaya çıkan değerler ve bunların akış analiz değerleri ile karşılaştırılmasından bahsedilmektedir.

Bölüm 5'te sonuç ve önerilerden bahsedilmektedir.

1.1.İçten yanmalı motorlarda yanma

Yanma, kimyasal bir süreçtir. Amaç, kimyasal enerjinin ısı enerjisiye dönüşümü yoluyla ısı elde etmektir. Dolayısıyla yanma olayı kimyasal reaksiyonlar için geçerli esaslara dayanır. Bu süreç genel olarak;



denklemleri ile belirlenir. Yanmada geçerli kanunlar termodinamiğin temel kanunları ve kütle korunumu kanunudur. Tam yanma, yakıtın oksitlenebilir bileşenlerinin reaksiyonlarda tamamen harcanmasıdır. Bu durumda karbon tamamıyla CO₂'e dönüşmektedir. Yetersiz yanmada CO ve kurum meydana gelmektedir [4].

Yanma olayı, doğrudan motorun içinde oluşuyor ve yanma ürünleri aynı zamanda iş yapan gazlar olarak kullanılıyorsa buna içten yanmalı motor denilmektedir. Bu gruptaki motorlarda, ısı enerjisi, öteleme veya dönme hareketi yapan piston ile (benzin ve dizel motoru), türbin (gaz türbini) ve lüle ile (jet ve roket motoru) mekanik enerjiye dönüşür [5].

Benzin motorlarında buharlaşma ve karışma yanmadan önce ve genellikle silindir dışında emme kanalında sağlandığından, homojen bir karışımın yanması (ön karışımli yanma) söz konusudur. Burada yanma fiziksel olaylardan daha çok kimyasal olaylardan etkilenmektedir [5].

Dizel motorlarında karışımın oluşturulması silindir içinde, yakıtın atomize olması, buharlaşması ve yanabilen kısmının karışımı ile başlar ve heterojen yanma şeklinde devam eder. Bu süreçte fiziksel ve kimyasal olaylar iç içe gerçekleşir[5].

Benzin motorları 4-zamanlı ve 2-zamanlı olarak iki gruba ayrılabilirler. Dört zamanlı motorların kullanımı oldukça yaygındır. Özellikle otomobillerde kullanımı yaygındır. Dizel motorları ise traktör, küçük kamyon, jeneratör ve bazı iş makinelerinde tercih edilir[5].

Dizel motorları da benzin motorları gibi 2 veya 4-zamanlı olabilir. Bahsedildiği gibi, genellikle büyük, küçük ve orta güç isteyen ağır yük taşıtlarında, küçük gemilerde, lokomotiflerde, ve jeneratörlerde kullanılır. Bu motorlar, yapı olarak 4-zamanlı benzin motorlarına benzer ve aynı elemanlardan oluşur. Dizel motorlarında buji ve karbüratör yerine yakıt püskürtme pompası ile yakıt püskürtme enjektör sistemleri kullanılmaktadır. Hareketini bir dişli ile krank milinden alan püskürtme pompası, gerekli miktardaki yakıtı, püskürtme sırası gelen silindirin enjektörüne basar. Yakıt yüksek basınçla enjektör deliğinden silindir içine püskürtülür. Bazı tip motorlarda soğukta ilk tutuşma kolaylığını sağlamak amacıyla ısıtma bujisi de bulunmaktadır. Motorun yağlanması ve soğutması benzin motorlarında olduğu gibidir [5].

İçten yanmalı motorların kullanımı giderek yaygınlaştığından dolayı gürültü kirliliği, hava kirliliği ve petrol rezervlerinin azalması gibi sorunlar meydana gelmektedir. Bu sebepten dolayı içten yanmalı motorlardaki yanma olayının önemi giderek artmaktadır. Böylece yüksek verimli, düşük yakıt tüketimli ve düşük emisyon değerlerine sahip içten yanmalı motor tasarım ve analizleri yapılmaktadır.

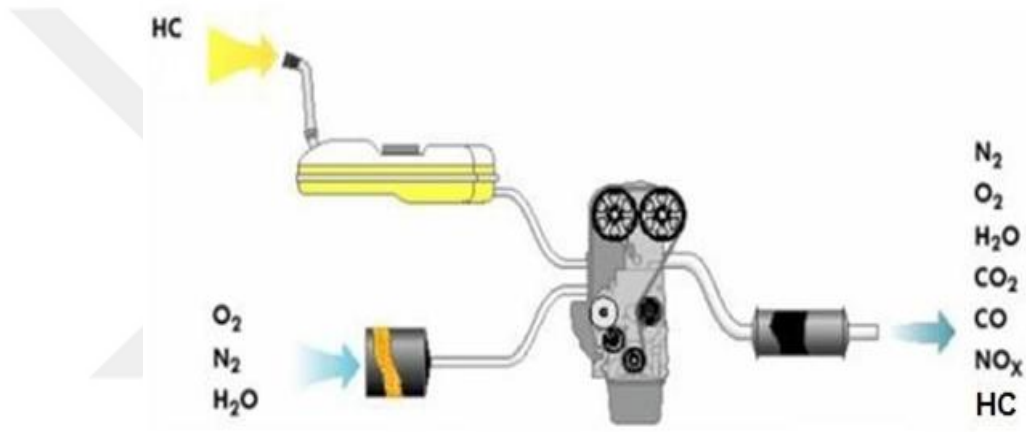
Yanma sonucu oluşan emisyon değerleri benzin ve dizel sistem motorlarında farklıdır. Önlem alınmamış şartlar altında dizel motorun benzin motoruna göre daha az çevre kirliliğine sebep olduğu bilinmektedir. Eğer önlemler iyi bir şekilde alınırsa ise çevre kirliliği benzin kullanılan motorlarda etkili olarak azaltılabilmektedir. Dolayısıyla taşıtlardaki çevre kirliliğini önlemeye yönelik çalışmalar ağırlıklı olarak benzin motoru kullanan araçlarda yoğunlaşmaktadır [6].

Benzin ve dizel motorlarda yanma fiziği farklı olmasına rağmen kimyasal reaksiyon mekanizmaları aynıdır. Motorlarda sarf edilen yakıtların hava verilerek yanması sonucunda SO₂, CO₂, H₂O, N₂ ve O₂ gibi bileşenler çıkmaktadır. Eğer, yanma tam olarak gerçekleşmiyor ise, parçalanma var ise ek olarak CO, H₂, O, H, NO vb. ürünlerde ortaya çıkmaktadır [5].

1.2.Hava ve egzoz emisyonları ile ilgili temel bilgiler

Saf hava, büyük bir çoğunluğunu azot ve oksijen ile birlikte karbondioksit, argon, su buharı, neon, metan, helyum, hidrojen, karbon monoksit, azot monoksit, ksenon, ozon, amonyak ve azot dioksit gibi gazların karışımından oluşmaktadır.

Atmosferdeki kirleticiler, iki şekilde bulunur: birincisi kirleticiler kaynaklarından atmosfere doğrudan verilen kirleticiler ve ikincisi bu kirleticilerle, atmosferik özellikler arasındaki kimyasal olaylar sonucunda oluşan kirleticilerdir. Emisyonlardan kaynaklanan kirleticiler, havanın doğal yapısındaki bileşimini değiştiren, katı, sıvı ve gaz formlarında bulunabilen kimyasal maddelerden oluşmaktadır. Emisyonlar, içten yanmalı motorlarda yakıt - hava karışımının tepkime ile yanma olayı sonrası ortaya çıkan zararlı gazlarından oluşan egzoz gazlarıdır. Taşıtların çevre ve hava kirliliğinde önemli bir payı bulunmaktadır (Şekil 1.1). Bu sebeple emisyon kontrol sistemlerinin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir [7].



Şekil 1.1. İçten yanmalı motor egzozundaki gazlar [7]

Hava kirliliğine neden olan önemli faktörlerden biri motorlu taşıtların saldırdığı emisyonlardır. Egzoz emisyonları içerik olarak CO, HC ve NO_x içerir. Tablo 1.1'de Filtrelenmemiş egzoz gazındaki kirli gazların oranları verilmiştir.

Tablo 1.1. Filtrelenmemiş egzoz gazındaki kirli gazların oranları [7]

Bileşen	Yüzde(Hacimsel)
CO	0,85
HC	0,05
NO _x	0,08
Katı Partiküller	0,005

Egzoz gazıyla ortama bırakılan hava kirletici emisyonlarının olumsuz etkileri aşağıda açıklanmıştır.

1.2.1.Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit (CO) emisyonu yanma esnasında yakıtların tam olarak yanmaması sonucu ortaya çıkar. Genellikle rölanti devrinde ve frenleme sırasında en yüksek seviyeye ulaşır. Renksiz, kokusuz ve yanıcı bir bileşendir. Havadaki oranını 100 ppm'in üzerine çıkması durumunda insanlar için çok tehlikeli ve öldürücü bir hal almaktadır. CO, kırmızı kan hücrelerinin oksijen aktarımını engellediği için yüksek oranda zehirleyici bir gazdır. Karbon monoksitin oksijen taşımayı azaltması sonucunda kandaki oksijenin yetersiz kalması nedeniyle kan damalarının çeperleri, beyin kalp gibi hassas organlarda çalışma bozuklukları meydana getirmesinin yanında yorulma, baş dönmesi, baş ağrısı, çalışma veriminin düşmesi ve nefes darlığı gibi etkilere sebep olmaktadır [8].

1.2.2.Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit (CO₂), tam yanma ürünü olup renksiz ve yanmayan bir gazdır. Yanma olayı sonucunda ortaya çıkan gazlar arasında en az zararlı etkiye sahiptir [7].

1.2.3.Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC), yanma sonucunda atık gazlarda ve benzinin (yakıt deposundan veya dolum sırasında) buharlaşması neticesinde ortaya çıkan yanmamış yakıtlardan oluşmaktadır. Silindir içerisindeki eksik yanma sonucunda silindire gönderilen yakıtın kısmen yanmadan kalması ve egzozdan benzin buharı şeklinde atılmasıdır [8].

1.2.4.Azot Oksitler (NO_x)

Azot oksitler (NO, NO₂, N₂O₂ vb. bileşikler), yüksek basınç ve sıcaklık (~1800°C) altında, yanma reaksiyonu sırasında fazla O₂'nin N₂ ile birleşmesi ile açığa çıkarlar. Fakir ve zengin hava/yakıt karışımlarında yanma sıcaklığı düşük olduğu için NO_x emisyonları daha düşüktür. Azot oksitler akciğerlerde nemle birleşerek nitrik asit

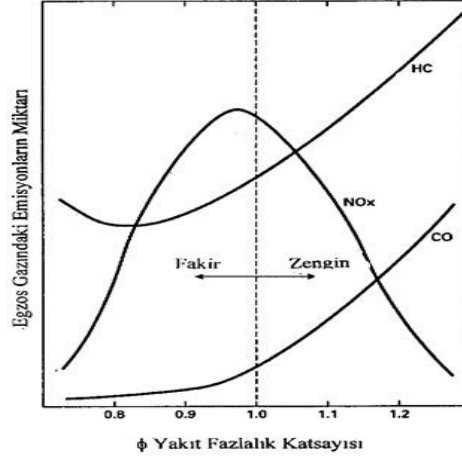
oluştururlar ve zamanla birikim özelliği bulunduğu için özellikle solunum rahatsızlığı bulunan insanlarda ciddi rahatsızlıklara sebep olmaktadır [8].

1.3.Taşıt kaynaklı hava kirliliği

Ulaşım araçları arasında gerek kirletme potansiyelinin fazla olması gerekse yaygınlığı nedeniyle içten yanmalı motorlu araçlar hava kirlenmesinde hem konvansiyonel hem de özel değişkenler açısından önem taşır. Diğer yandan kirleticilerin çok sayıda değişkene bağlı olması nedeniyle kontrolü en güç kaynakları oluşturur. Taşıtların oluşturduğu kirlenme motor ve yakıt türü, aracın yaşı, bakım durumu, motor teknolojisi ve bunlara ek olarak aracın çalışma koşulu, yüklenmesi, hızı ve dolayısıyla trafik ve yol koşullarına bağlıdır. Bu nedenle taşıt emisyonlarının belirlenmesi ve bunların sınırlandırılması son derece güçtür [8].

Karayolu taşıtlarının sebep olduğu zararlı gazlar karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve azot oksitler (NO_x) şeklinde sıralanmaktadır. Ayrıca dizel araçlardan ortama salınan partikül madde (PM) emisyonları da diğer bir kirleticidir. Bu emisyonların ortaya çıkmasında motorun çalışma koşulları, motorun ve taşıtın yapısal özellikleri etkin rol oynamaktadır. Dolayısıyla taşıtların seyri sırasında hava fazlalık katsayısının, motor devrinin, ateşleme zamanının, motor ve ortam sıcaklıklarının değişimi yanma sürecine etki etmekte ve kirletici emisyonlar üzerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Genel olarak, buji ateşlemeli motorlarda emisyonlar, yakıt fazlalık katsayısına bağlıdır. Şekil 1.2’de buji ateşlemeli bir motorun emisyonlarının yakıt fazlalık katsayısına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Buji ateşlemeli motorda emisyonların yakıt fazlalık katsayısı ile değişimi [9].

Motorlu taşıtların egzozundan çıkan emisyonların azaltılması için LPG, doğalgaz, metil ve etil alkol gibi alternatif yakıtlar kullanılmakla birlikte EGR(egzoz gazı resirkülasyonu), termik reaktörler, dizel motorlu araçlarda partikül filtresi ve katalitik konvertörler gibi konular üzerine araştırmalar güncelliğini sürdürmektedir.

1.4.Taşıtların hava kirliliğini kontrol yöntemleri

Egzoz emisyonlarını kontrol etmek amacıyla benzinli motorlarda ilk olarak hava enjeksiyonu ve art yakıcılar kullanılmıştır. Ancak yüksek sıcaklıklara gereksinim olduğu için, günümüzde katalitik konvertörler önem kazanmıştır. 1970'li yılların başında kullanılmaya başlayan katalitik konvertörler, ilk olarak sadece CO ve HC emisyonlarını kontrol edebilmiş ancak 1980'lerde NO_x emisyonlarını da kontrol edebilmiş ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu tip katalitik konvertörler üç yollu katalitik konvertör "three-way catalytic converter" olarak adlandırılmaktadır [10,11].

Katalitik konvertörler: Geçmişte egzoz emisyonlarını azaltmak için kullanılan hava girişi ve diğer yakıcılar yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyduğundan, günümüzde katalitik konvertör kullanımları önem kazanmıştır. HC, CO ve NO_x molekülleri, katalizörden geçerken gözeneklerde tutulmakta ve yükseltgenme ve indirgenme tepkimeleriyle CO₂, H₂O ve N₂ olarak arındırılmaktadır[10].

Bugün, taşıt teknolojisindeki gelişmelerle birlikte araçların yakıt tüketim miktarında ve atmosfere saldıkları zararlı emisyonlarda önemli derecede azalma sağlanmıştır. Kullanılan araç sayısı ve araç kullanım oranının giderek artması, özellikle karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların ve sera gazları etkisinin artmasına neden olmaktadır [12].

1.5.Araçlarda egzoz emisyonunu etkileyen etkenler

Sıkıştırma oranı (r):

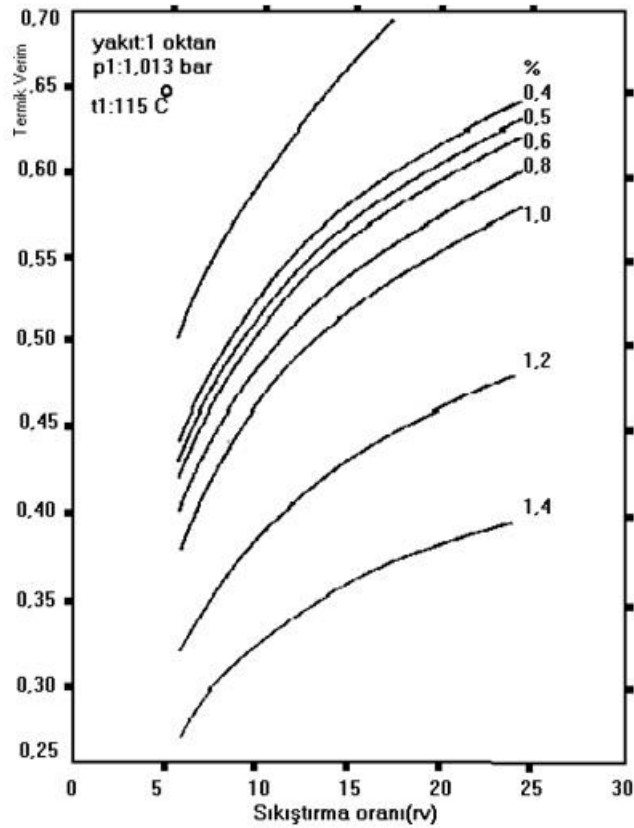
Buji ile ateşlemeli motorlar çevrimleri Otto motor çevrimi ile ifade edilmektedir. Verimin sıkıştırma oranıyla değişimini veren denklem (1.2)'de görülmektedir.

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$$

(1.2)

ϵ : Hacimsel sıkıştırma oranı, k : C_p/C_v için kullanılan özgül ısı kapasitesi oranıdır.

Bu formülden sıkıştırma oranı artışının ısıl verimi artırdığı, yakıt tüketimini azalttığı kanısına varılmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Farklı sıkıştırma oranlarında verim değişimleri[7]

Sıkıştırma oranının artması ile motor gücü artmakta ve özgül yakıt tüketimi de azalmaktadır. Yakıt ekonomisinin sağlanması emisyon değerlerinde iyileşme sağlamaktadır.

1.5.1.Hava-Yakıt oranı

Motorda en uygun ve ekonomik çalışma fakir karışımlarla sağlanmaktadır. Maksimum gücün elde edilebilmesi için karışımın zenginleştirilmesi gerekmektedir. Motorlarda birim güç için birim zamanda harcanan yakıt miktarını veren, efektif yakıt sarfiyatı ekonomik çalışmanın bir ölçüsüdür. Tablo 1.2’de Hava yakıt oranının motor gücüne, yakıt sarfiyatına, egzoz emisyonlarına ve motor çalışmasına etkisi verilmiştir.

Tablo 1.2. Hava/yakıt oranındaki değişimlerin motor bileşenlerine etkisi [7]

Hava yakıt oranı	Karışımının Tarifi	Güç	Beygir saat başına yakıt sarfiyatı	Egzoz gazı kompozisyonu (yaklaşık)	Düşünceler
20-22	Çok Fakir	En az normalden yaklaşık olarak %40 daha az	Düşük	% 84,0 N ₂ % 8,0 CO ₂ % 8,0 O ₂	Güç düşüktür. Karbüratörde öksürme ve alev tepmesi olur. Yanma yavaş ve çalışma düzensizdir.
16-18	Fakir	Normalden %10 daha fazla	En az (min)	% 84,5 N ₂ % 12,0 CO ₂ % 3,5 O ₂	Sarfiyat bakımından en ekonomik karışım oranıdır. Fakat en yüksek güç için uygun değildir.
15-15,5	Normal veya Doğru	Aşağıdaki zengince karışımındaki %4 daha az	En az değerden %4 daha fazla	% 86,8 N ₂ %13,2 CO ₂ Pratik olarak hiç O ₂ yok	En uygun orandır. Egzozdaki CO ₂ miktarı maksimumdur.
11,5-13	Zengin	En yüksek gücü verir.	En az (min) değerden %25-30 daha fazla	% 84,5 N ₂ % 10,5 CO ₂ % 5,0 CO	Yüksek güç için en uygun oran, fakat yakıt sarfiyatı daha fazladır. Egzozda O ₂ yoktur. Yanma hızı (alevin yayılma hızı) en yüksektir.
8-10	Çok Zengin	Normalden daha az güç verir.	Çok yüksek	% 82,0 N ₂ % 6,0 CO ₂ % 13,0 CO Karbon isisi de vardır	Düşük sonuçlar. Düşük güç, yüksek yakıt sarfiyatı, çokça karbon isisi, düşük yanma hızı

1.5.2. Ateşleme avansı

Ateşleme avansı artınca yakıt ekonomisi iyileşmekte fakat avans istenildiği kadar arttırılamamaktadır. Farklı motorlar farklı çalışma koşullarında değişen miktarlarda avansa ihtiyaç duyar.

1.5.3.Yakıt kalitesi

Benzinli motorlarda yakıt kalitesi oktan sayısıyla belirlenmektedir ve yakıtın kendiliğinden yanmaya olan direnci olarak ifade edilir. Motorlarda kendiliğinden yanma olayı sıkıştırma oranı, hava/yakıt oranı, ateşleme zamanı, gaz ayarı, motor hızı, hava giriş ısısı ve yanma odası dizaynı gibi birçok değere bağlı olarak değişir.

Benzin yakıtında aranan özellikler:

- Vuruntuya karşı dayanıklı olmalı,
- Uygun buharlaşma olmalı,
- Zamk ve vernik oluşturmamalı,
- Yakıt veya yanma ürünleri korozif olmamalı,
- Alevlenme tehlikesi oluşturmamalıdır [7].

1.5.4.Motorda alev hızı

Yanmanın kısa sürede tamamlanması, yani alevlenme hızının yüksek olması motor performansı açısından önemli bir kriterdir. Çift buji sistemi kullanılmasıyla hızlı ve etkili bir yanma olayı, yakıt ekonomisinde ve taşıt performansında iyileşme gözlemlenmektedir [7].

1.5.5.Motor sürtünmesi

Pistonlardaki sürtünmenin azaltılmasıyla sürtünme kayıplarında %10 azalma ve bu azalma ile maksimum güçte %2 artma, yakıt tüketiminde ise %3 azalma sağladığını belirtilmektedir. Ayrıca segman sayısının ve ağırlığının azaltılmasının yanında kullanılan düşük viskoziteli yağlar da aracın yakıt ekonomisini iyileştirirken çevreye salınan zararlı emisyon değerlerinin azalmasına katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir [7].

1.5.6.Yanma odası tasarımı

Silindirlerde etkili bir yanmanın gerçekleşmesi yanma odasının dizaynına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yanma odası, kısa ve oyuklardan arındırılmış ve yanma mesafesi de kesinlikle kısa olmalıdır. Yanma odasında oyuk ve yarıkların bulunmaması gerekliliğinin sebebi, alevin soğutma etkisiyle sönebilir olması ve yanmamış hava/yakıt

karışımı bu çatlaklarda birikerek verimin düşmesine ve yüksek hidrokarbon emisyon oluşumunu etkilemesi olarak belirtilmektedir [7].

1.5.7.Taşıt tasarımı

Günümüzde en çok kullanılan sistemler motor ve ön tekerlerden çekişli taşıtlardır. Bu sistemler, taşıtın ağırlığında ve maliyetinde büyük azalmalar, yakıt ekonomisinde, performansında ve emisyon değerlerinde büyük iyileşmeler sağlamaktadır [7].

1.5.8.Taşıt aerodinamiği

Aerodinamik kayıpların üç aşamada incelenmesi mümkündür. Birincisi taşıtın sınır tabakasında küçük miktarda oluşan, türbülans ile meydana gelen sürtünme kayıpları, ikincisi taşıtın radyatör kısmından ve havalandırmasından giren sürtünme kayıpları ve üçüncüsü ise sınır tabakanın yüzeyden ayrım noktasında oluşan, büyük ölçekli türbülansın sebep olduğu kayıplardır. Aerodinamik çalışmaların temelini, sınır tabakanın, taşıtın yüzeyinde türbülans meydana getirmeyecek şekilde ayrılmasını en aza indirmek oluşturmaktadır.

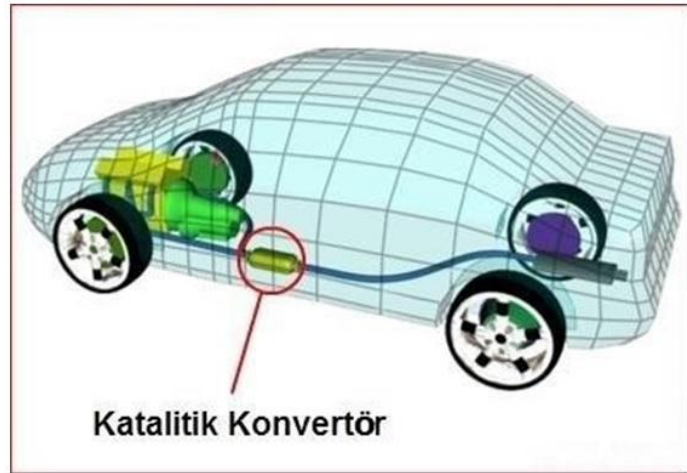
İyi bir tasarım, yakıt tüketimini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda, kirletici emisyonlarda, kararlılıkta, gürültü düzeyinde, hareket kabiliyetinde ve taşıt iklimlendirmesinin de olumlu etkiler oluşturmaktadır [7].

2.BÖLÜM

GENEL TANIMLAMALAR

2.1.Katalitik Konvertör

1908 yılında Henry Ford'un Model T otomobili ilk kez üretim hattına çıkmıştır. İlk otomobillerdeki basit motorlar yanabilen her sıvı ile çalışabilmekteydi. Artan güç talebi ile birlikte motorlar geliştirildi ve buji ateşlemeli motorlarda doğru yakıtın benzin olduğuna karar verildi[13]. Motorların istenmeyen ortak özelliği ise yarattıkları çevre kirliliğidir[14]. Şehirlerde içten yanmalı motorlar hava kirliliğinin başlıca kaynaklarıdır. Buji ateşlemeli motorların egzoz gazı birleşiminde hava kirletici olarak azotoksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), yanmamış veya kısmen yanmış hidrokarbonlar (HC) ve benzinin türüne göre kurşun bileşikleri (Pb) bulunur. Egzoz gazı bileşenlerinin miktarları motor tasarımı ve işletme şartlarına bağlıdır [14,15]. Ancak HC kaynağı olarak karbüratördeki buharlaşma, karter havalandırması ve yakıt deposundaki buharlaşmada unutulmamalıdır, bunların toplamı toplam HC emisyonunun yaklaşık %30'unu oluşturur [15].



Şekil 2.1. Katalitik konvertörün taşıttaki konumu

Motorlu taşıtlarda egzoz emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak alınan önlemler üç kısımda toplanabilir: 1. Motor öncesinde alınan önlemler; yakıt bileşiminin iyileştirilmesi, alternatif yakıt kullanımı; 2. Motorda alınan önlemler; motorda yapısal olarak alınan önlemler; 3. Motor sonrasında alınan önlemler; egzoz gazındaki emisyonların arıtılmasına yönelik alınan önlemler [15].

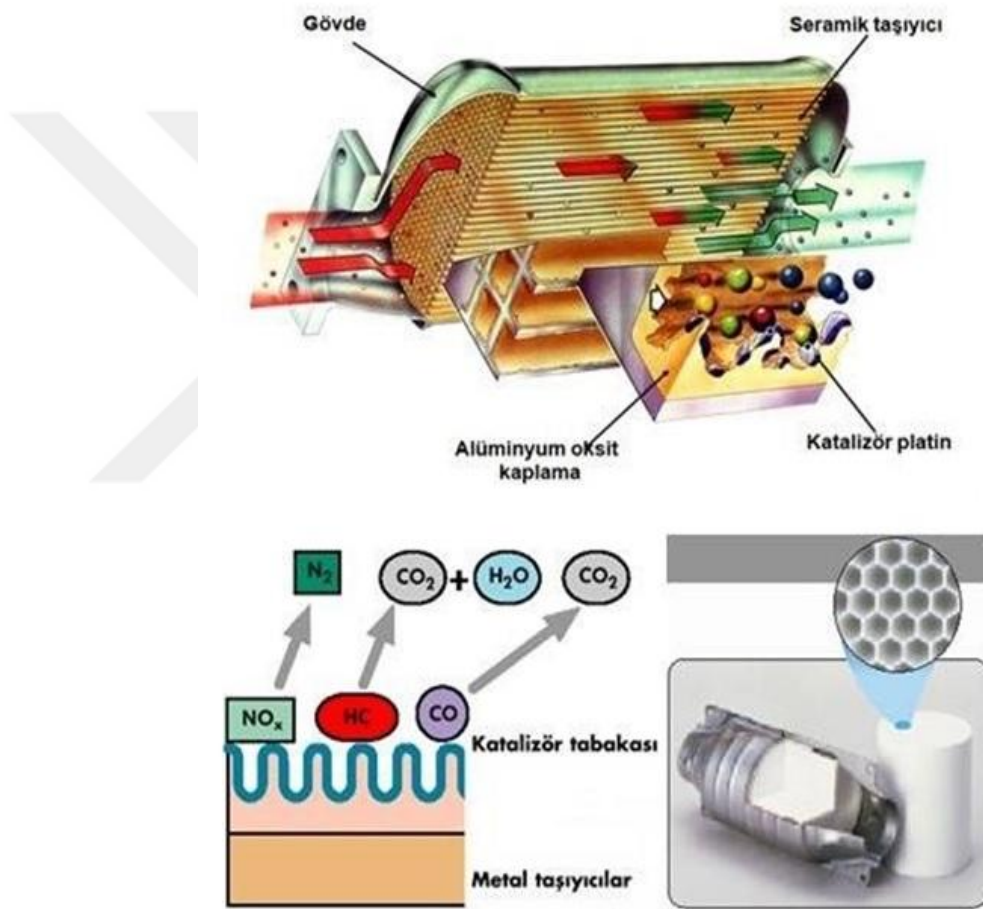
Motor sonrasında hava kirliliğini azaltmaya yönelik önlem olarak kullanılan teknikler; egzoz gazı resirkülasyonu (EGR), termal reaktörler, oksidasyon katalizörleri, üç yollu katalitik konvertörler (TWC) ve dizel motorlarında partikül tutuculardır. Bunlar arasında ise günümüzde ilgileri üzerine toplayan üç yollu katalitik konvertörlerdir.

2.2.Katalitik Konvertörlerin Yapısı

Katalitik konvertörler Şekil 2.2’de görüldüğü gibi içerisinden egzoz gazının geçtiği özel olarak tasarlanmış metal muhafaza içinde aktif katalitik malzeme içeren emisyon azaltıcı taşıt elemanlarıdır. Genellikle katalitik konvertörler üç yollu katalitik konvertörler olarak adlandırılırlar çünkü CO, HC oksidasyonunu, NO_x’in ise indirgenmesini sağlamaktadırlar. Katalitik konvertörler petek şeklinde, seramikten veya metalden yapılmış taşıyıcı elaman üzerine 20 µm kalınlığında gözenekli (poroz) tabakayla kaplı elemanlardır. Çoğu katalitik konvertörde temel seramik malzeme olarak alüminyum oksit (alümina) kullanılmaktadır. Alümina yüksek sıcaklığa dayanımı, kimyasal olarak tepkimeye girmemesi ve çok az termal genleşmeye maruz kalmasından dolayı genellikle tercih sebebidir.

Katalitik konvertörlerde petek şeklinde, yüzey alanı çok geniş, seramikten (magnesium-alüminyum silikat) veya metalden yapılmış (monolith) taşıyıcı eleman bulunmaktadır. Petek yapıdaki kanal sayısı 30-60 kanal/cm² kadardır. Bu taşıyıcının yüzeyi 20 µm kalınlığında gözenekli (poroz) tabakayla (washcoat) kaplıdır. Tipik bir monolith, 1mm genişlikteki kare kesitli geçiş kanallarından oluşur, bu kanallar 0,1- 0,15 mm kalınlığındaki ince gözenekli duvarlarla ayrılır. Bu kanalların sayısı 400-600 adet/inç²’dir. Bu sayı metal taşıyıcılarda 1200 adet/inç² olabilmektedir. Yüzey kaplama malzemeleri monolith ağırlığının %5-15’i kadardır. Esas olarak Al₂O₃’den oluşmaktadır ve yüzey alanı 100-120 m²/g’dır. Böylece yüzey alanı 1 litre hacimde

20000 m²'ye kadar ulaşabilmektedir. Gözenekli alümina tabakası ise platin (Pt), palladyum (Pd), rodyum (Rh) gibi değerli (soy) metallere oluşan katalizör malzemesi ile kaplanmıştır. Bu metaller egzoz gazları ile reaksiyona girmeyip sadece normal egzoz şartlarında oluşmayacak reaksiyonların oluşması için katalizör görevi görürler. Ortalama olarak bu metallere bir katalitik konvertör başına miktarları 1-2 g'dır. Pt, Pd CO ve HC'nin oksidasyonunda, Rh ise NO_x'in indirgenmesinde rol alırlar [15, 16, 17].



Şekil 2.2. Katalitik konvertörün iç yapısı

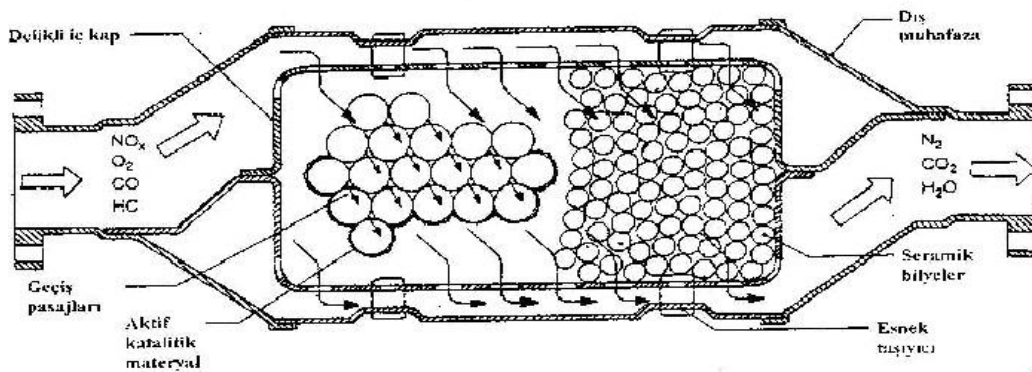
Katalitik yatak üç değişik yapıda olabilmektedir;

- 1) Seramik bilyeli
- 2) Seramik petek (monolith)
- 3) Metalik petek

2.2.1.Seramik Bilyeli Katalitik Konvertörler

Bu tip katalitikler her biri birbiri üzerinde duran küresel bilye tabakalarından oluşur. Bilyeler, yüksek sıcaklıklara dayanaklı magnezyum alüminyum silikat seramiklerden yapılıdır. Egzos gazlarına maruz kalan geniş yüzeyler ve geçiş yolları , aktif haldeki katalitik madde ile kaplanmış bilyelerin küresel temas yüzeyleriyle çevrelenmiştir. Bilye yüzeyindeki katalitikler aşırı ısınma neticesinde kullanılmaz hale gelirler ve bu yüzden yaklaşık olarak 3mm çapındaki bu gözenekli alüminyum (Al_2O_3) bilyelere 10-6 mikron derine kadar aktif metal (soy metal) olarak platin (Pt) ve Radyum (Rd) emdirilir [18].

Bu seramik bilyeler, $1000^{\circ}C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklara kadar maruz bırakıldıklarında dahi iyi bir darbe ve absorpsiyon direncine sahip olurlar. Bilyeler konvertör muhafazasının iç tarafında bir kaptadır bulunur. Bu kabın bir yüzü reaksiyona girmemiş egzoz gazına maruz kalırken diğer yüzü temizlenmiş egzoz gazına maruz kalır. Bu şekilde yerleştirilen bilyeler yol şartlarında meydana gelen çok darbelerinden zarar gören dış kaplamaya karşı daha az zarar görmektedir. Bu paketler çok yüksek sıcaklıklarda dahi kararlılığını koruyan magnezyum alüminyum silikat seramik malzemesinden yapılıdır [18]. Seramik tip bilyeli tip katalitik konvertörün yapısı şekil 2.3" de verilmiştir.

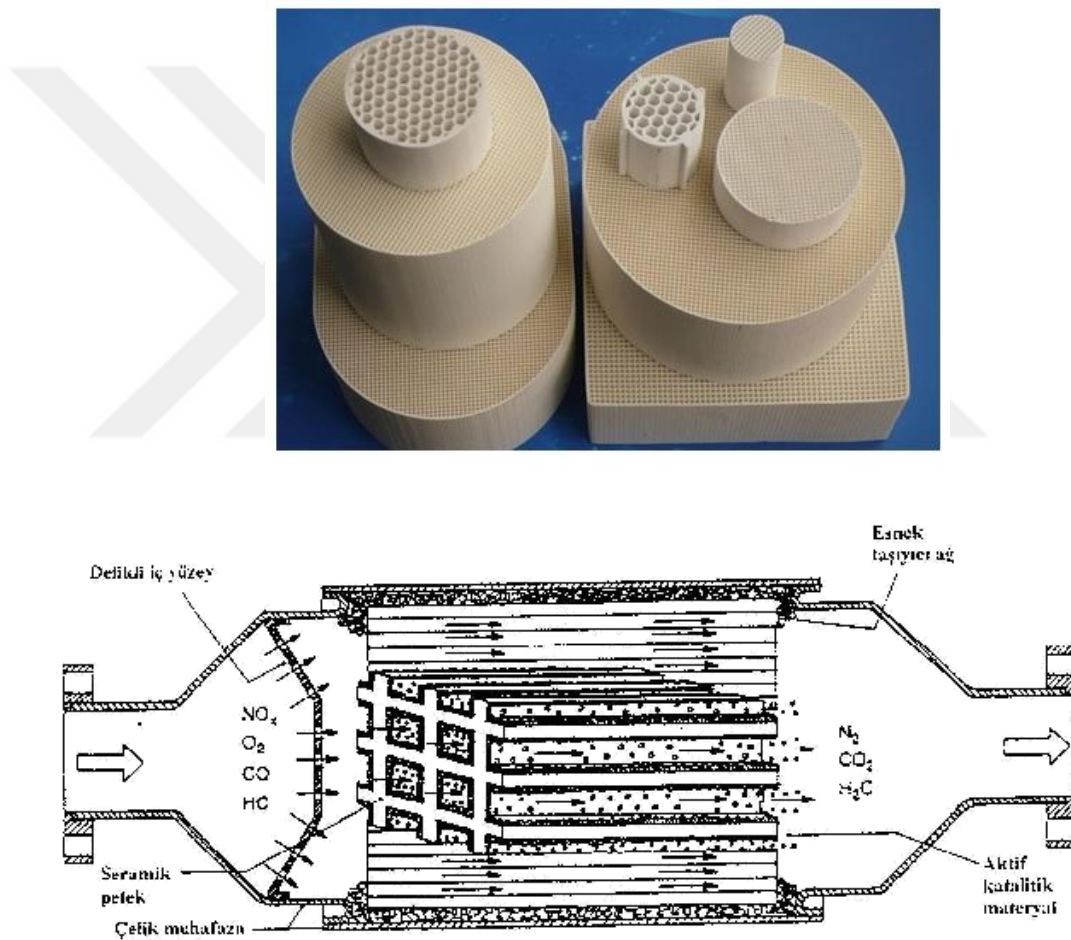


Şekil 2.3. Seramik bilyeli tip katalitik konvertör [18]

2.2.2.Seramik Petek Katalitik Konvertörler

Konvertör yapısı, egzoz gazlarının içerisinden geçtiği birbirine paralel duran yüzlerce petek kanaldan oluşan bir yapıdır. Bu kanallar 10-6 mikron derinliğe kadar alüminyum (Al_2O_3) kaplamayla kaplanmıştır. Bu kaplama katalitik kanalların yüzey alan etkinliğini

700 kat kadar artırır. Daha sonra bu kaplamaya platin (Pt) ve radyum (Rd) eklenilir. Peteklerin kanallarının 1mm^2 'sinde hemen hemen $0.15\text{-}0.30\text{ mm}$ kalınlığına kadar gözenekli yüzeyler vardır. Burada her 1cm^2 'de 30-60 arası kanal bulunmaktadır. 1 gr kaplama maddesi $100\text{-}200\text{m}^2$ 'lik bir alanı kapatabilir ve bu miktar tek kıvrımlı petek maddesini %5-%15'i kadardır. Seramik petek yapıları kırılğandır ve bu yüzden gövdenin iç kısmına tel ağ asılmıştır. Bu sayede ısının petek üzerindeki genleşme ve büzülmesi engellenir [19]. Şekil 2.4'da seramik veya kolonlu (Monolith) tip katalitik konvertörün görünümü verilmiştir.

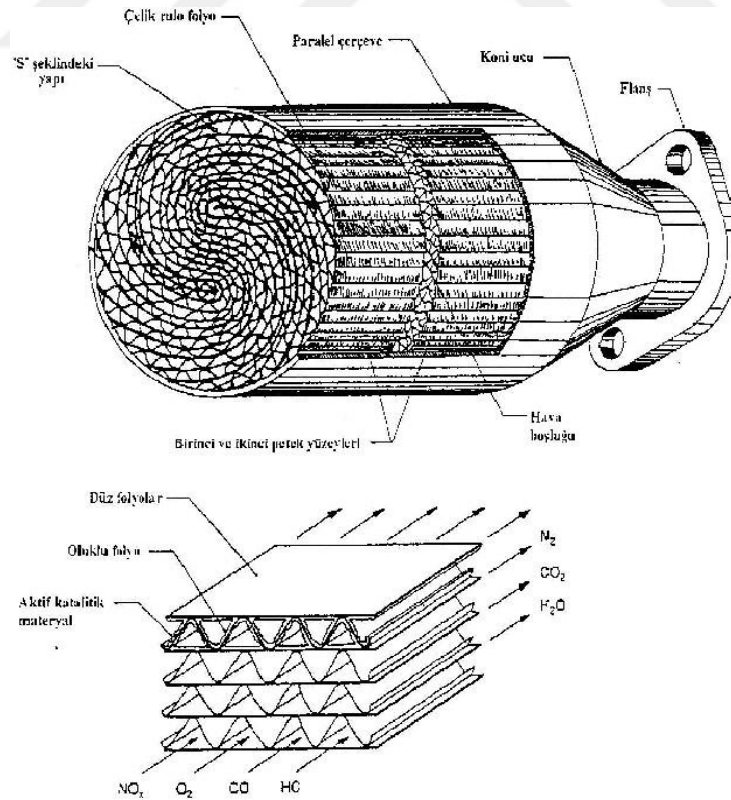


Şekil 2.4. Seramik veya kolonlu (monolith) tip katalitik konvertör [8]

2.2.3. Metalik Petek Katalitik Konvertörler

Petekğin yüzeyinin kalınlığı $0,04$ ve $0,05\text{ mm}$ aralığında değişen kanallı yada üst üste binmiş ince çelik folyolardan oluşur. Bu folyo, rulo yada "S" şeklinde olabilir. Genelde iki farklı petek yüzeyi mevcuttur ve aralarında ise çok az boşluk bırakılmıştır. Bu boşluk

ikinci yüzeyde taze bir laminer akış oluşumu ve egzoz gazlarının içerden kolayca akışını sağlar. Böylelikle zararlı gazlar konvertör yardımıyla kolaylıkla zararsız hale getirilirler. Spiral yada “S” şeklindeki metalik yüzey termal genişlemenin sebep olduğu tansiyon dağıtımını daha iyi sağlar ve böylece konvertörün metalik dengesini ve ömrü artırılmış olur. Düz ve kanallı folyolar arasında yüksek sıcaklığa mahsur kalan temas bölgesinde güçlü bir lehimleme gereklidir [18]. Konvertörün oluşum yapısı şekil 2. 5’de verilmiştir.

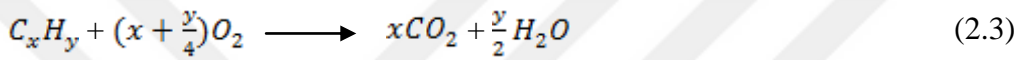


Şekil 2.5. Metalik petekli veya kolonlu tip katalitik konvertör [18]

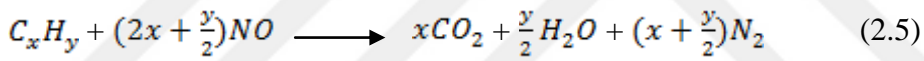
2.3. Katalitik Konvertördeki Reaksiyonlar

Katalitik konvertöre giren egzoz gazları, konvertörün yapısındaki katalizörler yardımıyla kimyasal tepkimeye girerek indirgenir ve birçok kimyasal reaksiyon oluştururlar. Bunlardan başlıcaları aşağıdaki gibidir[20].

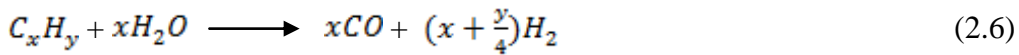
Oksidasyon reaksiyonları:



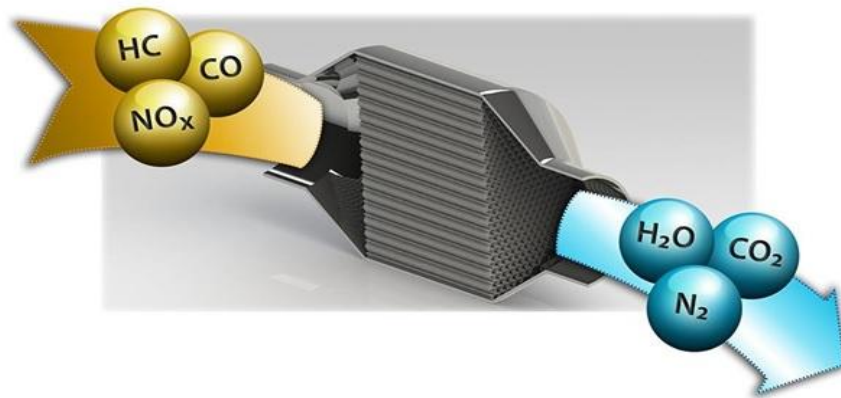
NO_x indirgenmesi:



Buhar (Steam Reforming):



Su gaz değişimi:

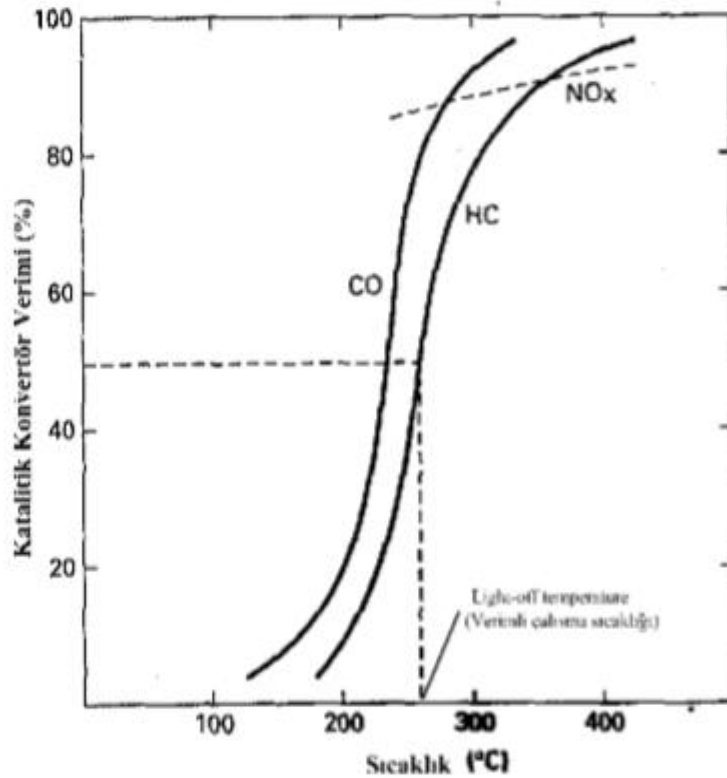


Şekil 2.6. Katalitik konvertörlerde emisyon dönüşümleri

2.4. Katalitik Konvertörün Verimini Etkileyen Bileşenler

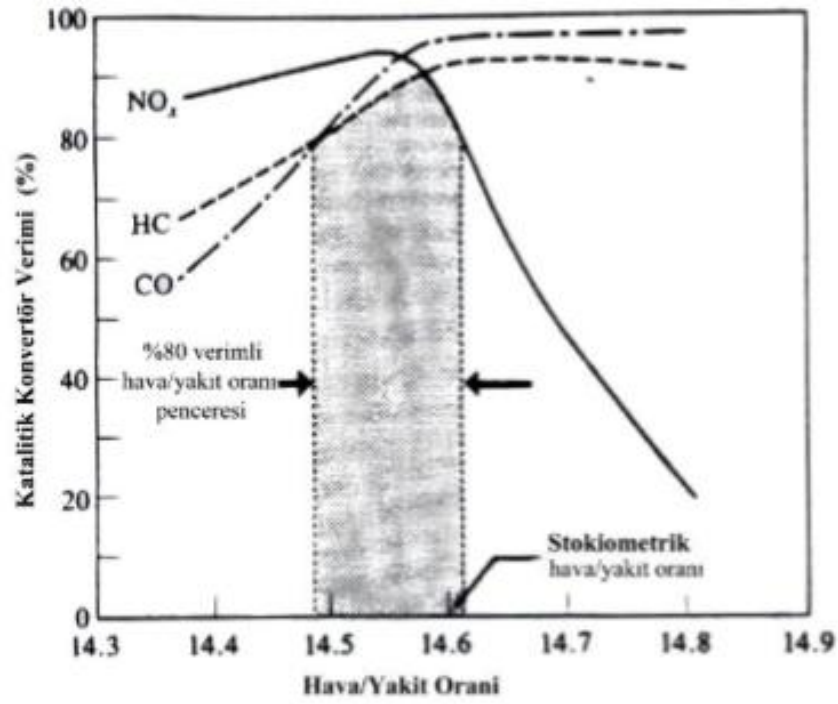
Üç yollu katalitik konvertörlerin verimini etkileyen en önemli etkenlerin başında sıcaklık gelmektedir. Katalitik konvertörlerin verimli çalışabilmesi için konvertör içi sıcaklık değerinin 400°C 'nin üzerinde olması gerekmektedir. Motor ilk çalıştırıldığında katalitik konvertör aktif çalışma sıcaklığına ulaşamadığından istenilen verim elde edilememektedir.

Katalitik konvertörün %50 verime ulaştığı sıcaklığa verimli çalışma sıcaklığı (light-off temperature) denilmektedir. Katalitik konvertörlerde özellikle motorun ilk çalışma (soğuk çalışma) anında %50 verimle çalışma sıcaklığına hızlı bir şekilde (60 saniyeden daha kısa bir sürede olması tercih edilir) ulaşabilmesi için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Bunlar farklı izolasyon malzemeleri kullanmak, katalitik konvertörü ısıtmak, katalitik konvertör öncesi egzoz gazına ön ısıtma uygulamak vb. uygulamalardır. Üç yollu katalitik konvertörün sıcaklığa bağlı olarak dönüştürme verimi Şekil 2.6'te verilmiştir [21]



Şekil 2.7. Üç yollu katalitik konvertörün sıcaklığa bağlı olarak dönüştürme verimi [21]

Ayrıca üç yollu katalitik konvertörlerde HC, CO ve NO_x için dönüşüm verimleri hava/yakıt oranının fonksiyonu şeklindedir. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi hava/yakıt oranının stokiometrik orana yakın olduğu dar bir pencerede bu üç kirletici emisyon için yüksek dönüştürme verimi elde edilmektedir.



Şekil 2.8. Üç yollu katalitik konvertörün hava/yakıt oranına bağlı olarak dönüştürme verimi [9]

3.BÖLÜM

SAYISAL ÇALIŞMA FLUENT ADIMLARI

3.1. Giriş

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), akışkanlar mekaniği problemlerinin analizi ve çözümlenmesi için sayısal yöntemleri ve algoritmaların kullanıldığı bir bilim dalıdır. Bu bilim sayesinde oldukça karmaşık problemlerin modellenerek bilgisayarda simülasyonu gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle CFD uygulamaları, mühendislik problemlerinin çözümlenmesinde oldukça önemlidir. Bir çok alanda kullanım alanı bulan CFD uygulamaları, uygulaması yapılacak bir çalışma için referans teşkil edecek sonuçları ortaya koyarak bu çalışma üzerindeki stratejilerin belirlenmesine imkan sağlar. Bu hem zaman hem de maliyet açısından mühendislik uygulamalarına fayda sağlamaktadır.

CFD analizleri sayesinde, model üzerinde detaylı analiz yapma, mevcut bir dizayn üzerinde problemleri araştırma ve giderme, yeni dizaynlar için tasarım parametrelerini belirleme gibi sonuçlar elde edilebilir.

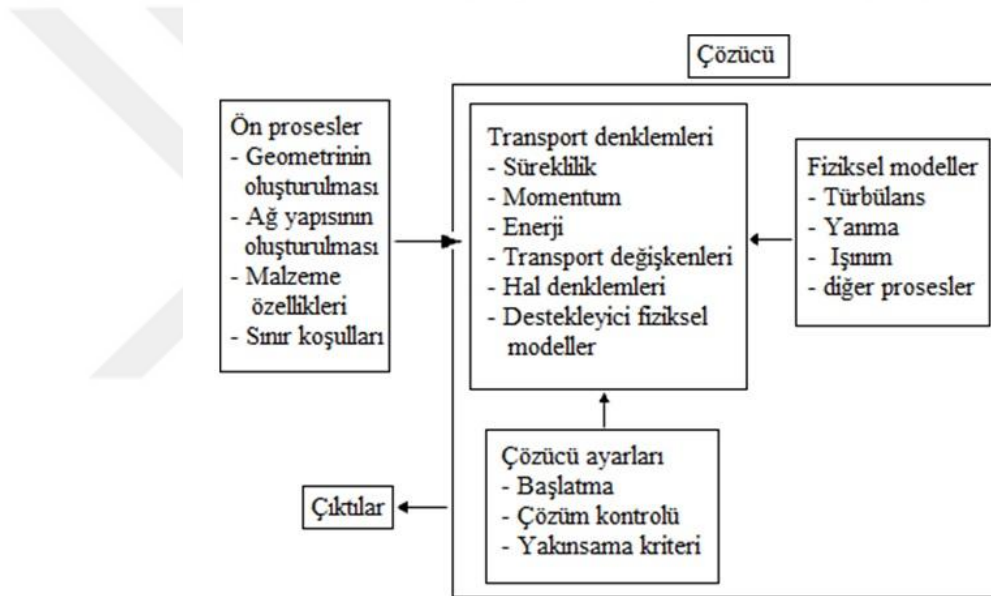
3.2. CFD' de Çözümleme

CFD çözümleri, tanımlanan bir problem için uygun model ve ağ yapısının oluşturulmasından sonra tanımlanan numerik modellemeyle gerçekleşir. CFD bu numerik modellerin çözümünde, sonlu farklar, sonlu hacim ve sonlu elamanlar yöntemlerini kullanır. Çözümler, ilgili hacim veya yüzeydeki sonlu setler üzerinde ayrıştırma yapılarak gerçekleşir. CFD uygulamalarında sonlu hacim yöntemi için 3.1 denklemi ve çözümleme adımları şekil 3.1'de verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi V dA = \int_A \Gamma \nabla \phi dA + \int_V S_\phi dV \quad (3.1)$$

Bu denklem de ϕ çözülecek her bir denklemi (süreklilik, enerji, momentum vs.) ifade eder. Eşitliğin sol tarafındaki ilk terim geçişi rejimi, ikinci terimi taşınımı ve sağ taraftaki ilk terim difüzyonu ikinci terim ise üretimi ifade etmektedir.

Nümerik modellemedeki kısmi diferansiyel denklemler ayrıştırılarak cebirsel denklemler sistemine dönüştürülür ve sayısal olarak çözülür [22].



Şekil 3.1. CFD çözümlene prosesi [22].

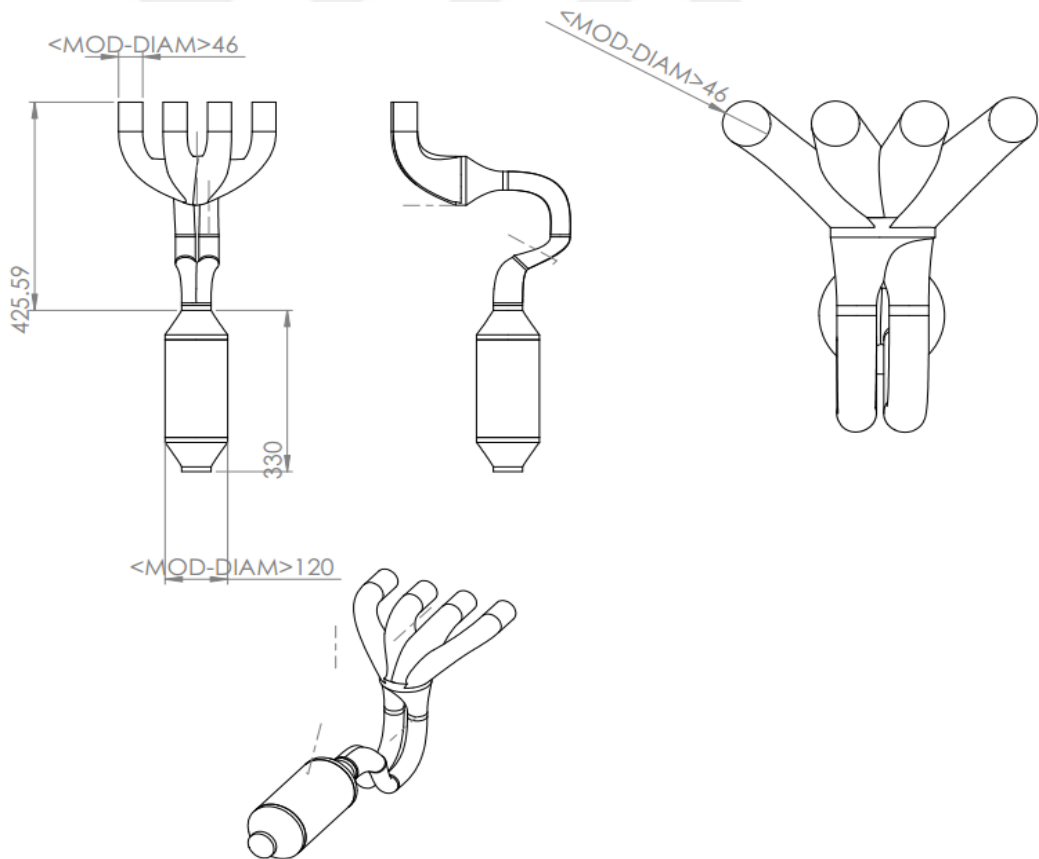
3.3. Materyal ve Yöntem

Bu tez çalışmasında benzin ile çalışan motora sahip olan araçlardaki katalitik konvertör Solidworks programında modellenmiş ve Ansys-Workbench programında mesh yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan mesh üzerinde bölgeler adlandırılarak ısıtıcının etkisi üzerine akış analizi, sınır şartları, akışkan türü, hız, sıcaklık, malzeme, kimyasallar ve tepkimeler değerlendirilerek analizler yapılmıştır.

3.4. Model Oluşturma ve Mesh Yapısı

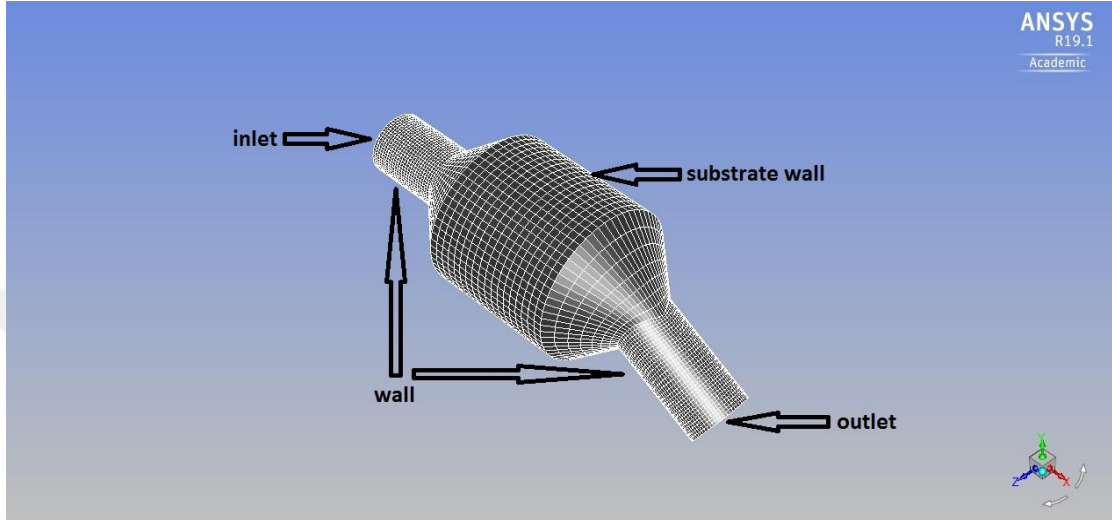
Analizi yapılacak katalitik konvertör modeli Solidworks programında çizilip Workbench programına aktarılmıştır. Katı modelde giriş (inlet) ve çıkış (outlet) yüzeyleri, iç giriş ve çıkış konvertör filtresi (default-interior), orta gövde iç filtresi (default-interior:010), orta gövde filtre girişi (parous-in), orta övde filtre çıkışı (parous-out), orta gövde filtre dış tabakası (substrite-wall), giriş ve çıkış filtreleri dış tabakası (wall) olmak üzere 8 bölge oluşturulmuştur. Akabinde egzoz boru hattı çizimi ile model tamamlanmıştır. Model, Makine Mühendisliği bölümüne ait motorlar laboratuvarında kullanılan deney motoru Ford 1.8 benzinli motor ölçüleri dikkate alınarak oluşturulmuştur.

SolidWorks programında hazırlanan modelin teknik çizimleri ve ölçüleri şekil 3.2'de görölmektedir.

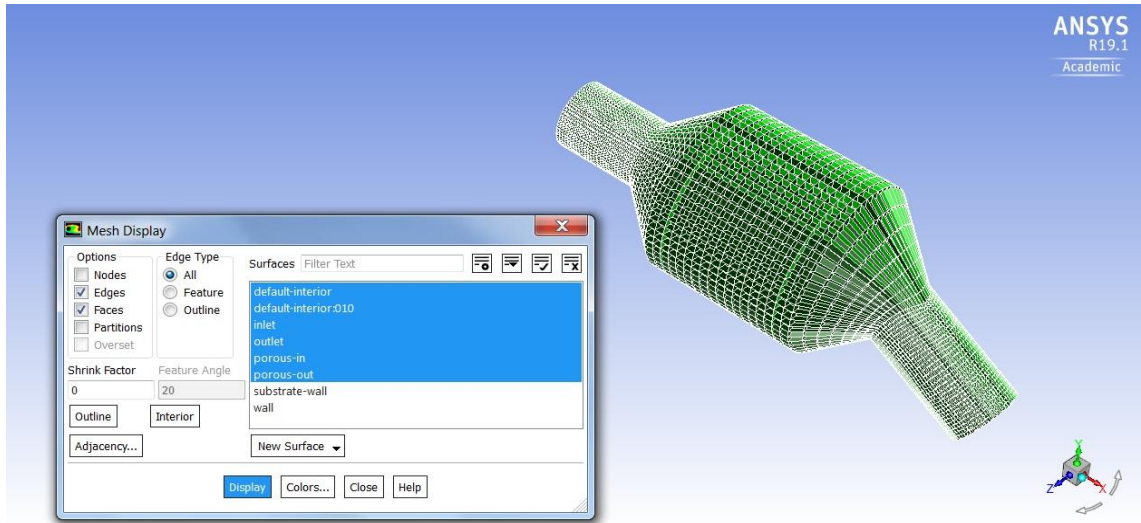


şekil 3.2. Modelin teknik çizimleri

Şekil 3.3'de katalitik konvertörün model isimlendirilmeleri ve şekil 3.4'de ise grid ag yapılı hali görülmektedir. Model öncelikli olarak egzoz boru hattı hariç oluşturulmuş akabinde ısıtıcı tasarımı gerçekleştirilmiş olup ısıtıcı ve egzoz boru hattı ile birlikte parça birleştirilmiştir.

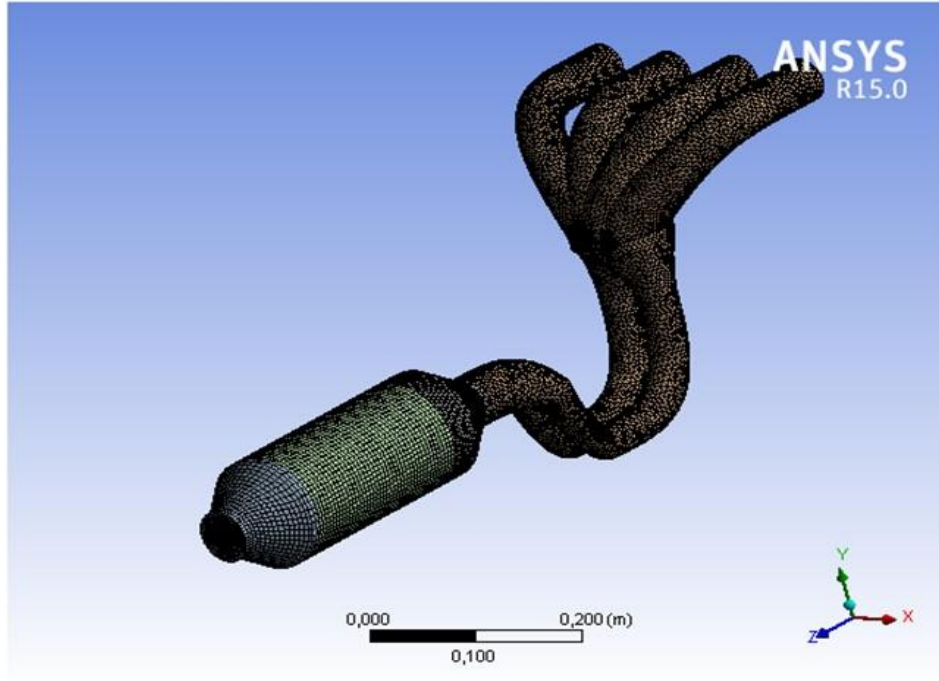


Şekil 3.3. Katı modelin dış bölgelerinin görünümü



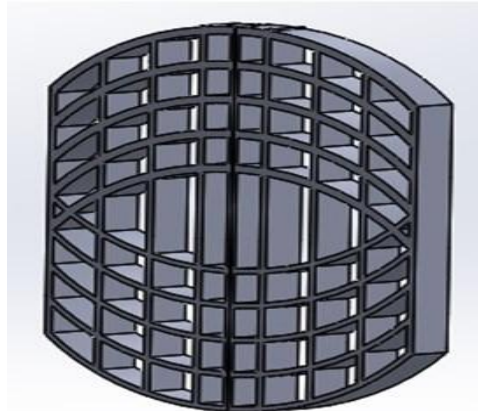
Şekil 3.4. Katalitik konvertörün iç mesh yapısı

Şekil 3.5 Katalitik konvertörün ve egzoz hattının grid ag yapısı gösterilmiştir. Sayısal çalışmada dikkate alınan Node sayısı 112388 ve element sayısı 368509 olarak ele alınmıştır.



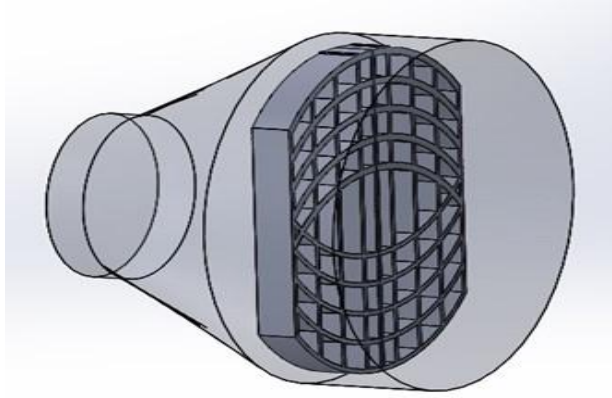
Şekil 3.5. Katalitik konvertörün ağ yapısı

Konvertör içerisindeki tepkimeleri istenilen verimde ve uygun sıcaklıkta gerçekleştirebilmek adına sisteme bir ısıtıcı yerleştirilmiştir. Bu ısıtıcı katalitik konvertörün giriş kısmına yakın bölgede tepkimelerin başladığı noktadadır. Gerçekte ölçüm yapılan motor verilerindeki sıcaklık verilerini sağlaması amacı ile ölçülen değerler ısıtıcı kapasitesi olarak belirlenmiştir. Kullanılan ısıtıcı profilinin görünümü şekil 3.6. de verilmiştir.



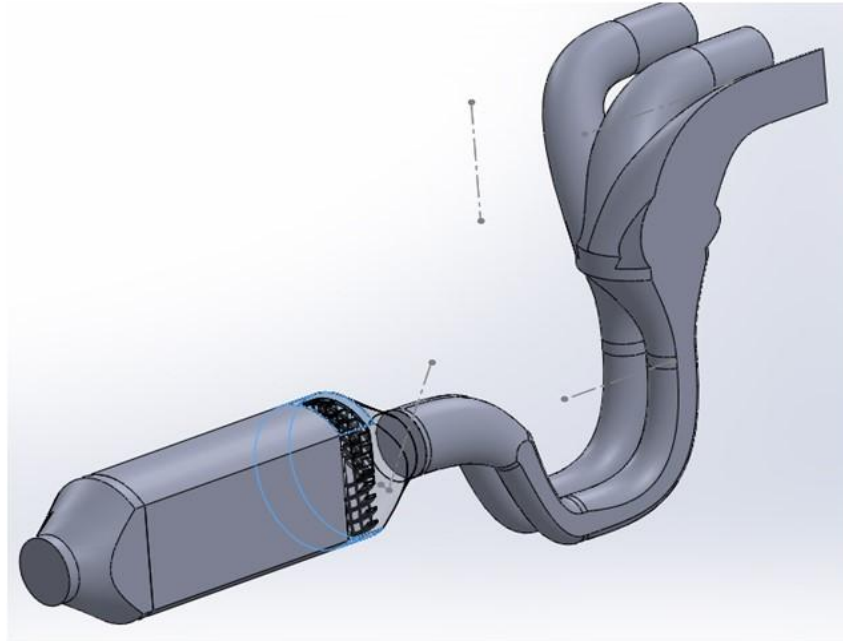
Şekil 3.6. Oluşturulan ısıtıcı modeli

Burada ısıtıcı yapısı hem hava geçişinin kolaylığı hem de bütün yüzey boyunca eşit ısı dağılımını verecek şekilde ayarlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.7. Isıtıcının konvertöre adaptasyonu

Şekil 3.8’de Isıtıcı yapısı ve katalitik konvertöre yerleşimi şekil üzerinde gösterilmiştir. Analizlerde rolanti motor devrinde 0, 100 ve 500 W ısıtıcı değerleri ile verim de ne kadarlık bir iyileşme sağlandığı araştırılmıştır.



Şekil 3.8. Isıtıcının konvertördeki yeri ve komple sistem görünümü

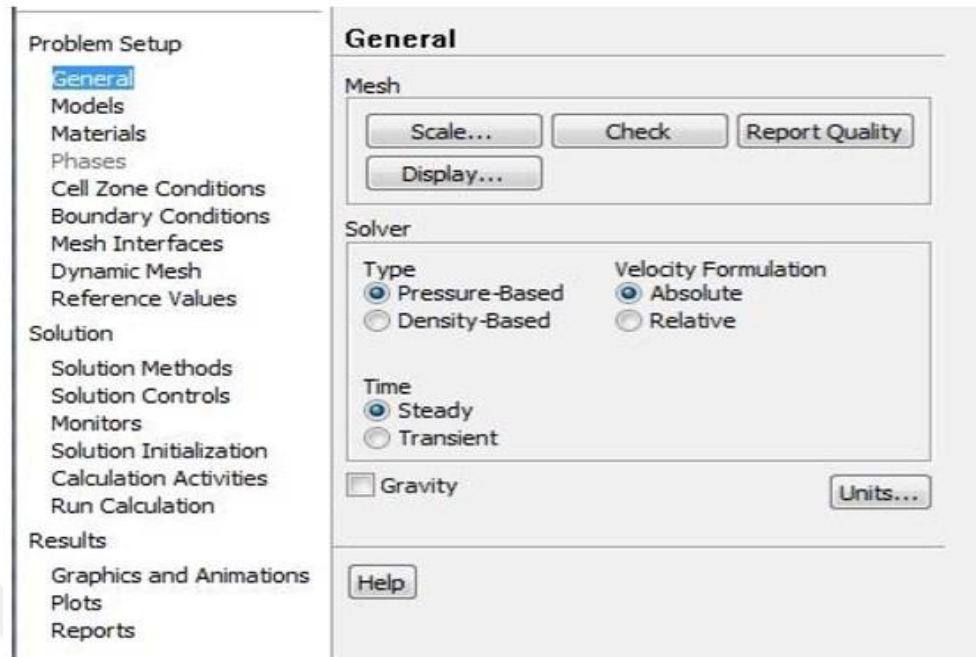
3.5. Sınır Şartları ve Kabuller

Modelin FLUENT programında çalıştırılması aşamasında çözüm için bazı kabullerin yapılması ve sınır şartlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Katalitik konvertör için yapılan kabuller:

1. Problem üç boyutludur.
2. Akışın zamandan bağımsız olduğu kabul edilmiştir.
3. Türbülanslı akış için k-ε türbülans modeli tercih edilmiştir.
4. İş akışkanı hava ile azot olup azotun sabit basınçta özgül ısı değeri (cp) sıcaklığın bir fonksiyonu olarak iki farklı sıcaklık aralığında 300-1000 K ile 1000-5000 K aralığında verilmiştir.
5. Porous bölgenin porozite oranı, iç dirençleri ve viskoz dirençlerin büyüklükleri yönlere bağlı olarak tanımlanmıştır. Viskoz dirençler yön 1 de: 3.846e+07, yön 2 ve yön 3'te: 3.846e+10, iç dirençler (Inertial resistance) yön 1'de: 20.414, yön 2 ve yön 3'te 20414 alınmıştır.
6. Ortam sıcaklığı 18 °C olarak alınmış olup programda 291.15K olarak verilmiştir.
7. Basınç hız çifti için çözüm yöntemi COUPLE olarak ele alınmıştır.
8. Çıkış sınır şartı olarak basınç çıkışı (pressure outlet) seçilmiştir. Çıkış basıncı olarak atmosfer basıncı kabul edilerek ölçülen fark basınç "sıfır" olarak tanımlanmıştır.
9. Gözenekli hacmin dış kısmına duvar sınır şartı verilmiştir. Duvarda kaymanın bulunmadığı sınır şartı tanımlaması yapılmıştır.

Ansys FLUENT programında yukarıda bahsi geçen kabuller doğrultusunda program girdileri sağlanmıştır. Şekil 3.9'da seçimlerden general kısmı örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.9. Genel ayar görseli

Çözümün yakınsaması için tüm değişkenlerin sabit denebilecek şekilde azalma göstermesi gerekmektedir. Çözümün istenen hassasiyete kadar devam etmesi istenir. Bu çalışmada her bir değişken için 10^{-4} residual(kalıntı) değerleri olacak şekilde sonuca ulaşılmıştır.

4. BÖLÜM

AKIŞ ANALİZ ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRME

4.1. Giriş

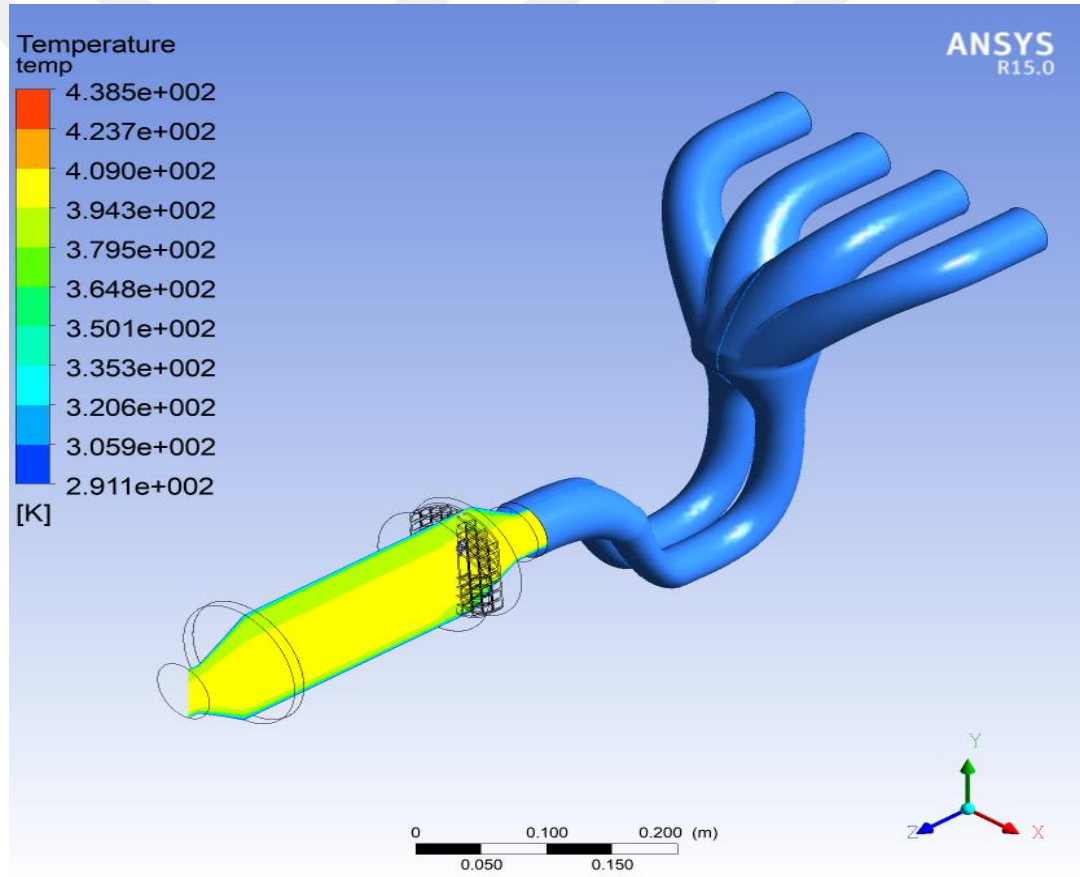
Emisyonların minimize edilmesinde iki yöntem kullanılır. Bunlar emisyonların yanma esnasında azaltılması veya yanma sonrası azaltılmasıdır. Genel olarak benzinli motorlarda emisyonları azaltmak için 3 yollu katalitik konvertörler, oksidasyon katalisti ve EGR(egzoz gazı resirkulasyonu) yöntemleri kullanılır. Gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında katalitik konvertör ele alınmıştır. Katalitik konvertör sisteminin ısı artırılmaya çalışılmış bu amaçla bir ısıtıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Bir içten yanmalı motordan çıkan egzoz gazlarının sıcaklığı rölanti devrinde 300-400 °C'ye tam yükte ise 900 °C'ye kadar ulaşabilir. Katalitik konvertörlerin yüksek bir çevrim performansına sahip olabilmesi için 400- 800 °C ısı bandında çalışması gerekmektedir. Çıkan egzoz gazlarının sıcaklığı 800-1000 °C'ye kadar çıkarsa soy metaller sinterleşmeye yol açar. Bu da önemli bir ölçüde termal yaşlanmayı hızlandırır. İdeal motor sıcaklığında çalışan bir konvertör kabaca 100.000 km'ye kadar yüksek çevrim performansı ile çalışır [23].

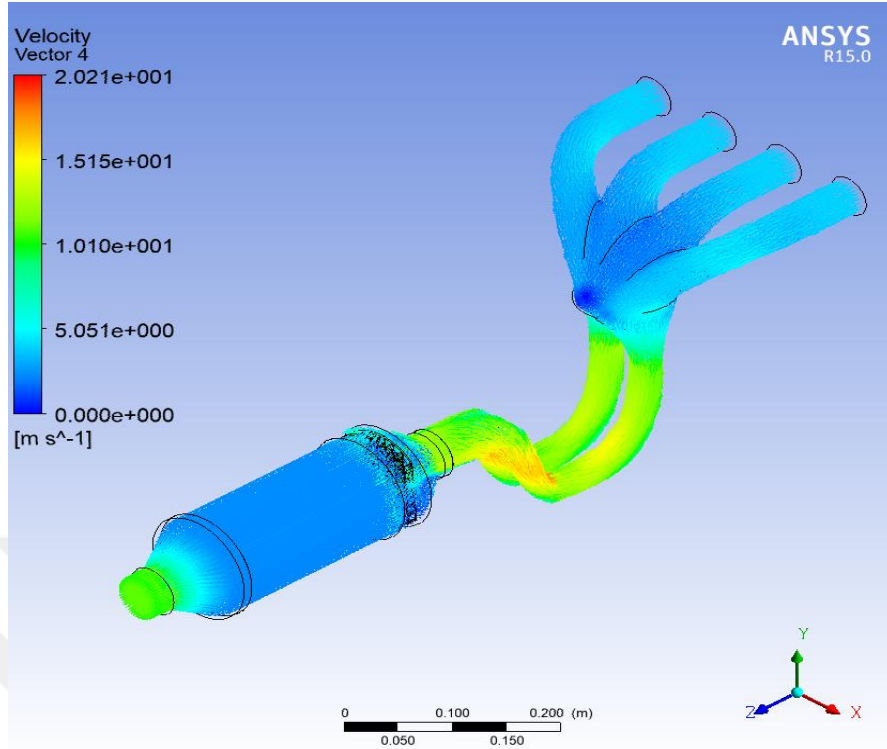
300 °C'nin üzerinde çalışan bir konvertörün kararlı bir durumdaki verimi, karbonmonoksit (CO) değeri için %98-%99 arasında, hidrokarbon (HC) için ise %95'in üzerindedir. Fakat 300 °C'nin altındaki sıcaklıklar için katalitik pratik olarak verimsiz olacaktır[23]. Bu bağlamda gerçekleştirilen bu tez çalışması ile konvertörün verimli çalışma aralığının artırılması hedeflenmiş ve ön ısıtma gerçekleştirilerek sayısal analizi irdelenmiştir. Katalitik konvertörün hızlı ısınma ve sönme sıcaklığı egzoz gazındaki aktif maddelerin etkin olmasına veya en aza indirgenmesine yol açacaktır. Bu süre normalde bir dakika olarak literatürde belirtilmesine rağmen 30 saniye ye kadar düşmektedir.

4.2. Fluent Analiz Sonuçları

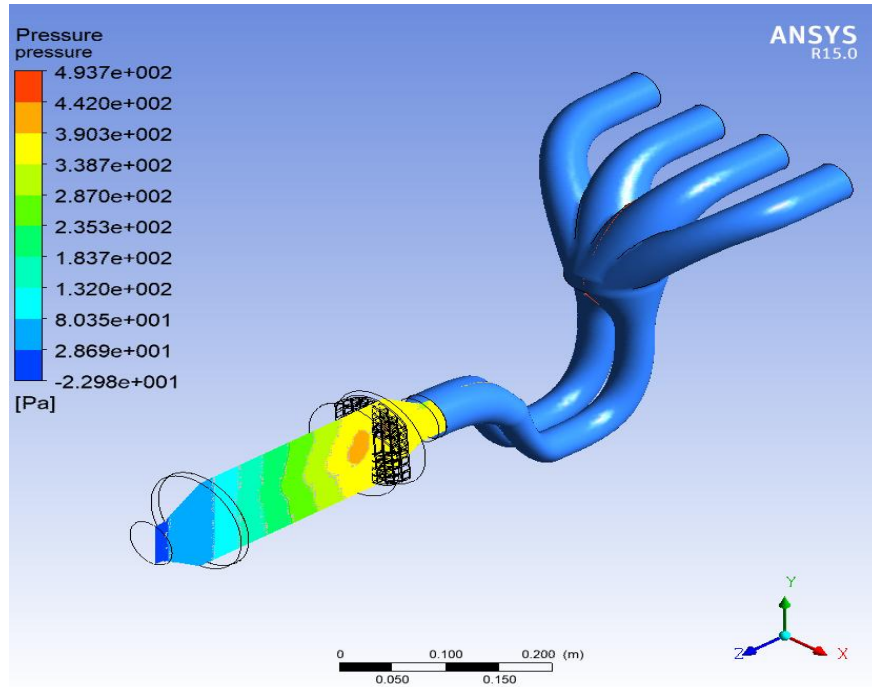
Katalitik konvertörün giriş kısmına yerleştirilen ısıtıcının yeri ve görseli şekil 4.1. de sıcaklık dağılımı için verilmiştir. Şekil 4.2 ve 4.3'de hız dağılımı ve basınç dağılımı görülmektedir. Analizler rolanti motor devrinde (900 d/d) ele alınmış olup ısıtıcının 0, 100 ve 500 W değerleri için sıcaklık değişimleri irdelenmiştir. Katalitik konvertörün yaklaşık max. sıcaklık değeri 409 K ve düzgün dağılımlı olarak değiştiği görülmüştür.



Şekil 4.1. Rölanti motor hızında 0 W'daki sıcaklık dağılımı



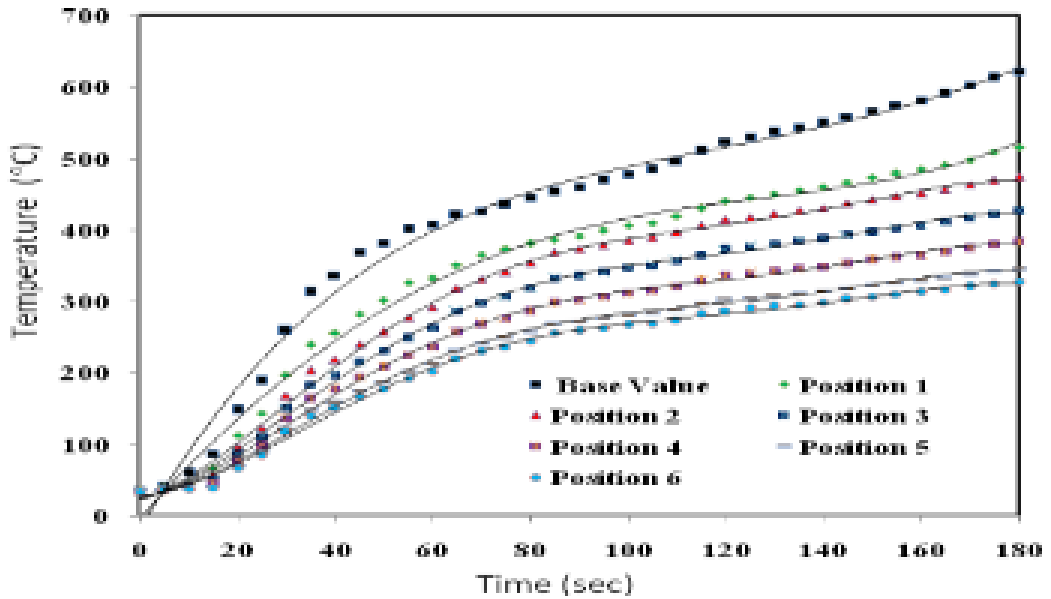
Şekil 4.2. Rölanti motor hızında 0 W'daki hız dağılımı



Şekil 4.3. Rölanti motor hızında 0 W'daki basınç dağılımı

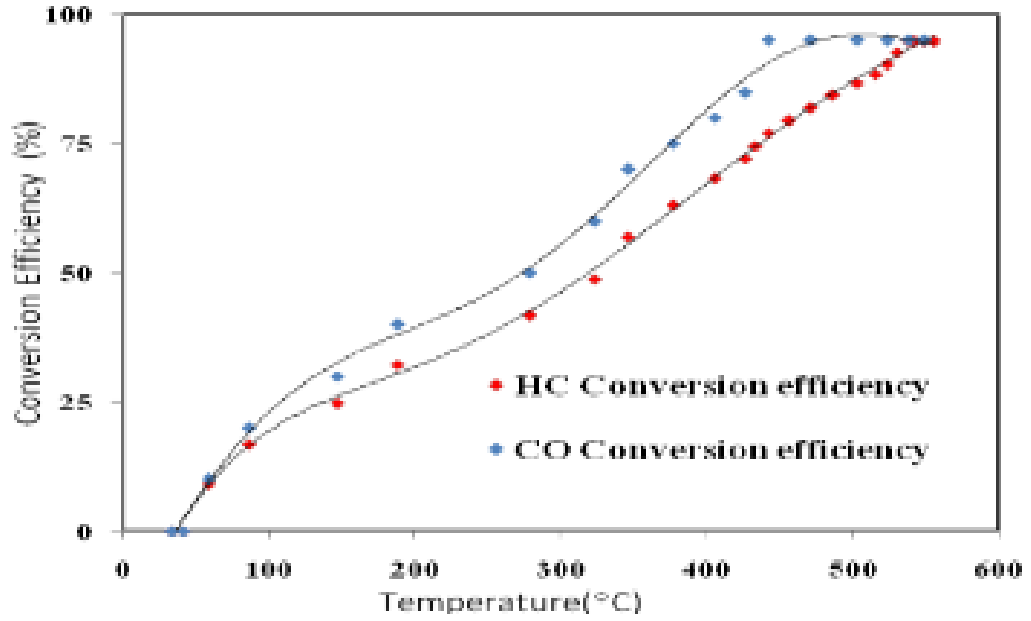
Isıtıcının farklı ısı değerlerindeki değişimlerine bağlı olarak konvertör giriş, çıkış ve porous sıcaklıklarının zaman ile değişimleri şekil 4.7 ile 4.9 arasında görülmektedir. Zaman sürecinde ilk 10 sn motorun kendine gelmesi rantabl olması için beklenilmiş ve sonrasında değerler alınmıştır.

Mahadeven ve Sendilvelan'ın [24], yaptığı deneysel çalışmada katalitik konvertörün farklı mesafelerde (150, 300,..900 mm) egzoz manifolduna yerleştirilmesi ve 2000 d/d motor hızında sıcaklık değişimlerini incelediği çalışmada HC ve CO dönüşüm verimlerini de dikkate almıştır. Şekil 4.4 de sıcaklığın zaman ile değişimini verdiği grafikte pozisyon 1'de (150 mm mesafe sonuçları) CO yanma sıcaklığına 44 sn ve HC yanma sıcaklığına 52 sn'de ulaştığı belirtilmiştir. Mesafenin artması emisyon yanma sıcaklık sürelerinin daha geç saniyelerde elde edilmesine neden olmuştur[Şekil 4.6].



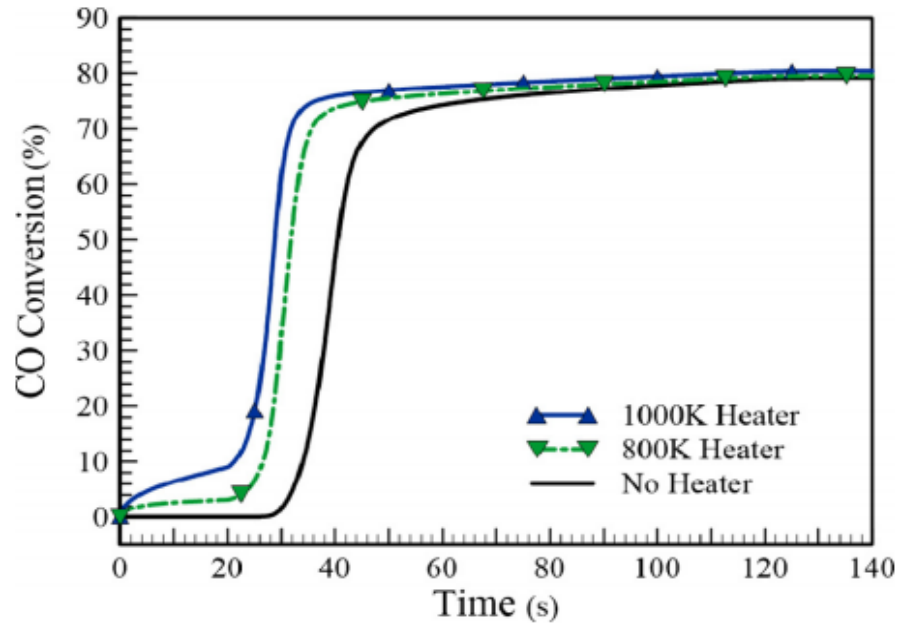
Şekil 4.4. Katalitik konvertörün farklı konumları için sıcaklık zaman değişimleri [24]

Elde ettikleri veriler ışığında CO yanma sıcaklığını 286 C ve HC yanma sıcaklığına 323 C de ulaştıklarını gözlemlemişlerdir (Şekil 4.5). Literatür ile karşılaştırma yapıldığında bu tez çalışmasından elde edilen verilen uyum sağladığı gözlemlenmiştir. Isıtıcı konulması ile daha erken bir sürede CO ve HC yanma ısılarına ulaşıldığı 320C üzerinde elde edilen verilerden görülmektedir.

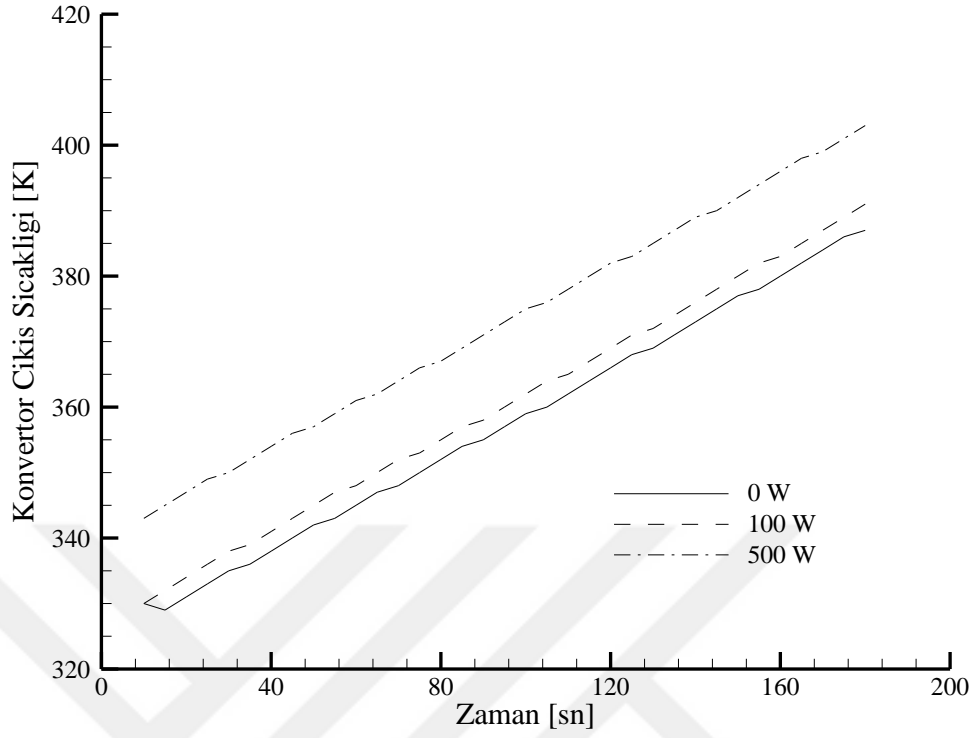


Şekil 4.5. HC ve CO dönüşüm verimlerinin sıcaklık ile değişimi [24]

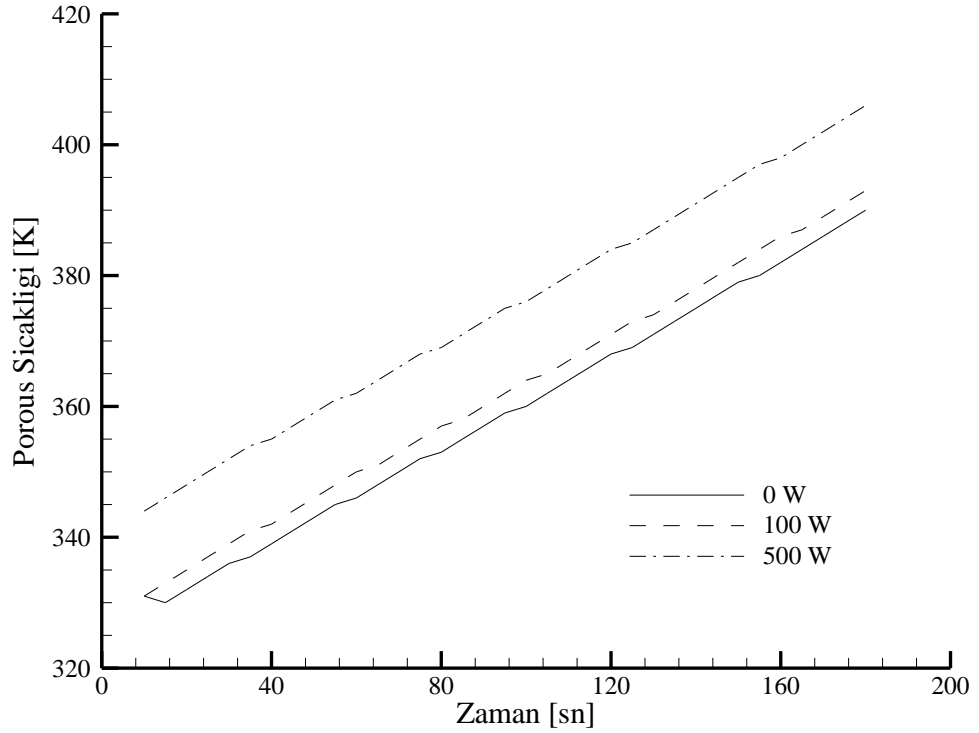
Mianzarasvand vd.[25] sayısal CFD çalışmalarında farklı ısıtıcı sıcaklıkları (600,800 ve 1000K) için HC ve CO emisyonlarının değişimini incelemiştir. Şekil 4.6'da görüldüğü üzere ısıtıcısız durum ile ısıtıcı kullanılan konvertor durumunda daha hızlı bir sürede dönüşüm elde edildiği gözlemlenmiştir.



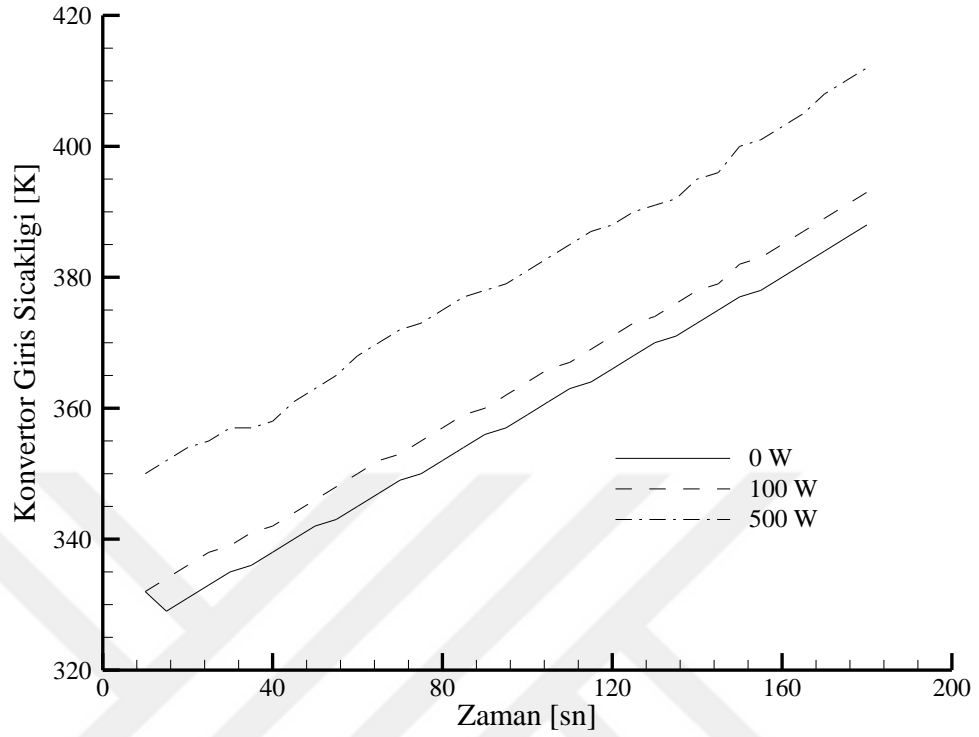
Şekil 4.6. Farklı ısıtıcı sıcaklıklarında HC ve CO değişimleri [25]



Şekil 4.7. Rölanti motor hızında konvertor çıkış sıcaklık-zaman değişimleri



Şekil 4.8. Rölanti motor hızında porous sıcaklık-zaman değişimleri



Şekil 4.9. Rolanti motor hızında konvertor giriş sıcaklık-zaman değişimleri

Sonuçlar değerlendirildiğinde literatürdeki çalışmalarında katkısı ile ısıtıcı katalizör kullanmak CO ve HC emisyonlarının dönüşümü üzerine daha etkin sonuçlar vermiştir.

5.BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada katalitik konvertör kanalı içerisinde gerçek bir ticari araçtan alınan ölçüm değerlerine göre oluşturulan ısıtıcı model ile akış, hız, basınç ve sıcaklık değerleri ANSYS-FLUENT sayısal çözümlenmeleri yapılmıştır. Çözümlenmeler öncesinde ve sonrasında elde edilen veriler literatürde yapılmış çalışmalarla detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır.

Katalitik konvertör geometrisi Solidworks programında çizilip Workbench programına aktarılmıştır. Fluent akış analiz programında sınır şartları tanımlanarak problem çözülmeye çalışılmıştır. Isıtıcı katalitik konvertör kullanımı sayesinde iyileşmeler olduğu daha kısa sürede arzu edilen sıcaklık değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ref 24 ile ref 25 sonuçlarının tez çalışma sonuçları ile kıyaslanması neticesinde verim artışının sağlanabilmesi için katalitik konvertörlerde ısıtıcı kullanılması önerilmektedir.

Tez çalışmasının devamında veya gelecekte egzoz gazı içerisinde bulunan diğer bileşenleri de içeren kimyasal kinetik çalışmalarının daha ayrıntılı ve daha fazla denklemden oluşan daha kompleks modeller kullanılarak daha hassas sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, katalitik konvertör şekil yapısı, malzemesi, kullanılan ısıtıcının şekli ve yeri gibi parametreler değiştirilerek incelenebilir. Araştırmacılar farklı konvertör yapısı modelleyip farklı giriş hızları ve açıları için çalışmalarını yenileyebilirler.

KAYNAKLAR:

1. Web sayfası: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>, (Erişim tarihi: 30.07.2014).
2. Heywood, J.B., 1998. Motor Vehicle Emissions Control: Past Achievements, Future Prospects. In Handbook of Air Pollution From Internal Combustion Engines., Cambridge, MA., 360pp
3. Web sayfası: http://www.tenneco.com/catalytic_converters/, (Erişim tarihi: 29.08.2014).
4. Telli, Z. K., 1998. Yakıtlar ve Yanma (3. Baskı). Palme Yayıncılık, Ankara, 54 s.
5. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E., ve Soruşbay, C., 2013. İçten Yanmalı Motorlar. Birsen Yayınevi, İstanbul, 138 s.
6. Çevre Vakfı., 1995. Motorlu kara taşıtlarından kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi paneli. Ankara Valiliği Çevre Koruma Vakfı Yayınları, 5, Ankara, 24 s.
7. Milli Eğitim Bakanlığı., 2011. Motorlu araçlar teknolojisi, egzoz emisyon kontrolü. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 4-7 s.
8. Marmara Araştırma Merkezi., 1993. Hava kirliliği kaynakları ve kontrolü. Marmara Araştırma Merkezi, Kocaeli, 81 s.
9. Heywood, J. B., 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals(Second Edition). McGraw-Hill, New York, USA. 649 pp.
10. Alkaya, B., Yıldırım, A. M., 2000. Taşıt kaynaklı kirleticilerin azaltılma yöntemleri. **Ekoloji Çevre Dergisi**, 9(34): 15-20.
11. Özsezen, A.N., Eyidoğan, M., Türkcan, A., Alptekin, E., Şanlı, A., Çanakçı, M., Kılıçaslan, İ., 2009. Binek tipi bir taşıtta katalitik konvertör veriminin deneysel olarak incelenmesi. **Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 1(1): 1-7.
12. Soruşbay, C., Ergeneman, M., Öztürk, T., Sel, E., 2002. Binek araçlarında sürüş koşullarının kirletici egzoz emisyonlarına etkisi.
(Web sayfası:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.itu.edu.tr%2Forus_bay%2FDOCS%2FDOCS%2FHKK2010.pdf&date=2015-06-09), (Erişim Tarihi: Haziran 2015).
13. Chevron Inc.,1996. Motor gasolines technical review (FTR-1), Chevron Products Company., Chevron USA., 34-53.

14. Iynkaran, K., Tandy, D.J., 1989. Applied Thermofluids and Pollution Control, Prentice Hall, Singapore, 345 pp.
15. Kutlar O.A, Ergeneman, M. Arslan, H. Mutlu., 1998. Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler, Birsen Yayınevi, İstanbul, 32 s.
16. Koltsakis, G.C., Stamatelos, A.M., 1997. Catalytic automotive exhaust after treatment, **Progress in Energy and Combustion Science.**, Germany. 23, 1-39 s.
17. Heywood, J.B., 1988. Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill., New York, USA
18. Lindner, D., van Yperen, R., Lox, E.S., Ostgathe, K., Kreuzer, T., 1996. Reduction of Exhaust Gas Emissions by Using Pd-Based Three-Way Catalysts, **SAE paper**, No: 960602,
19. Dhara S., 1983. The extraction of platinum group metals from automotive catalyst. In proceeding of the 1983 IPMI International Seminar, Germany.
20. Kutlar, O. A., Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M., 1998. Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler., Birsen Yayınevi., İstanbul.
21. Pulkrabek, W. W., 1997. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine (Second Edition)., New Jersey, USA., Prentice Hall., 349-353 p.
22. ANSYS, “Ansys FLUENT Theory Guide Version 15.0”, ANSYS (2015).
23. Web sayfası: <https://dpfteknolojileri.com/katalitik-konvertorun-calisma-ozellikleri/> (Erişim Tarihi: Aralık 2018).
24. Mahadeven G., Sendilvelan S., 2017. Temperature analysis of dynamic catalytic convertor system with pre-catalyst in a multi cylinder spark ignition engine to reduce light-off time, International Journal Of Heat And Technology, Vol. 35, No. 1, 97-102 p.
25. Mianzarasvand F., Shirneshan A., Afrand M., 2017. Effect of electrically heated catalytic converter on emission characteristic of a motorcycle engine in cold-start conditions: CFD simulation and kinetic study, Applied Thermal Engineering 127. 453–464 p.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Uğur GÜLLÜ
 Uyuğu: Türkiye (TC)
 Doğum Tarihi ve Yeri: 5 Mart 1989, Sinop
 Medeni Durumu: Evli
 Tel: +90 541 897 83 92
 email: ugur.gullu@hes.com.tr
 Yazışma Adresi: Kıranardı Mahallesi Göksu siteleri F blok No:100/38 Melikgazi
 KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimler Enstitüsü	Devam Ediyor
Lisans	EÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği	2013
Lise	Kayseri Lisesi, Kayseri	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2010- Halen	Hes Kablo A.Ş.	Mekanik Bakım Onarım Uzmanı
2010–2010	Railtur Vagon A.Ş.	AR-GE tasarım (Part Time)

YABANCI DİL

İngilizce,

YAYINLAR

1. Albayrak Çeper B., 2017. Addivities of ecological systems of changing burning system at a copper melting furnace., "Ecology 2017" Poster sunumu, ss 45.
2. Albayrak Çeper B.,2017. Fire safety and applications in industry., "International Conferance On Renewable Fuels Combustion and Fire", 6th.,