Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi
2018, 4(2): 108-114
Araştırma Makalesi/Research Article
gmbd.gazipublishing.com

Soğuk Çalışma Durumunda Katalitik Konvertörün Bir Boyutlu Modellenmesi

Nureddin DİNLER[*,a], Fatih AKTAŞ[a], Doğacan BOZKURT[a], Salih KARAASLAN[a], Nuri YÜCEL[a]

[a] *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü ANKARA 06570, TÜRKİYE*

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 27.06.2018
Kabul: 13.07.2018

Anahtar Kelimeler:
Katalitik konvertör,
İçten yanmalı motor,
Egzoz emisyonu

*Sorumlu Yazar:
e-posta:
ndinler@gazi.edu.tr

ÖZET

Çevre duyarlılığı her geçen gün daha da artmaktadır. İnsanlar çevreye dost ürünler kullanmak istemektedirler. Taşıtlar ise insanların vazgeçilmez araçlarından birisi haline gelmiştir. Daha az hava kirleten taşıtların kullanılması da ülkeler tarafından zorunlu hale getirilmiştir. İçten yanmalı motorlarda en fazla hava kirletici egzoz gazı salımı motorun soğuk olarak çalıştığı sürede olmaktadır. Bu çalışmada soğuk çalışma sırasında bir katalitik konvertörün bir boyutlu model kullanılarak ticari bir yazılım ile incelenmesi yapılmıştır. Grid sayısı, grid şekil faktörü, kanal sayısı gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak bir boyutlu modelin literatür ile uyumlu olarak kabul edilebilir olduğu belirlenmiştir. Katalitik konvertör içindeki kanal sayısının da önemli olduğu gösterilmiştir.

DOI: 10.30855/gmbd.2018.04.02.005

One-Dimensional Modeling Of Catalytic Converter In Cold Start Conditions

ARTICLE INFO

Received: 27.06.2018
Accepted: 13.07.2018

Keywords:
Catalytic converter,
Internal combustion engine,
Exhaust gas emissions

Corresponding Authors
e-mail:
ndinler@gazi.edu.tr

ABSTRACT

Environmental awareness is increasing day by day. People want to use environmental friendly products. Vehicles have become one of the essential tools of people. The use of less polluting vehicles has also been made mandatory by countries. In internal combustion engines, the highest level of air pollutant exhaust gas emissions occur while the engine is running in cold start conditions. In this study, a catalytic converter was examined with a commercial software using a one-dimensional model during cold start. The effects of parameters such as grid number, grid shape factor, number of channels are examined. As a result, it has been determined that the one-dimensional model can be accepted in accordance with the literature. It has also been shown that the number of channels in the catalytic converter are important.

DOI: 10.30855/gmbd.2018.04.02.005

1. GİRİŞ*(INTRODUCTION)*

İçten yanmalı motorlarda en önemli konulardan birisi yanma sonrasında ortaya çıkan hava kirletici egzoz gazlarının çevreye en az etkisi olacak şekilde egzozdan atılmasıdır.

Hava kirliliği yönünden bakıldığında motorlardaki emisyonların ölçümü çok önemlidir. Egzoz gazı emisyonları görünür ve görünmez emisyonlar olarak ikiye ayrılabilir [1].

Motor egzozu gazında aşağıdaki bileşikler bulunur:

1. Karbon dioksit
2. Su buharı
3. Azotoksitler
4. Yanmamış hidrokarbonlar
5. Karbon monoksit
6. İs (Duman)

Bunlardan ilk beşi görünmez, sonuncusu ise görünür emisyon olarak tarif edilebilir. Görünmez emisyonlardan karbon dioksit ve su buharı diğerleri ile kıyaslandığında zararsız olarak kabul edilebilir [1]. Egzoz gazlarının silindiri terk etmesinden sonra hava kirletici egzoz gazlarının azaltılması işlemi termal veya katalitik olabilir. Bu işlemler için termal reaktörler ve katalitik konvertörler kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılmayan termik reaktörler 1970'li yılların başında kullanılmaktaydı. Günümüzde termal reaktörler yerlerini katalitik konvertörlere bırakmışlardır [2,3]. Benzinli taşıtlarda katalitik konvertörler 1975 yılından itibaren kullanılmaktadır. İlk katalizörler oksijen katalizörleridir. Bu katalizörler egzozdaki karbonmonoksit ve uçucu organik bileşikleri oksitleyerek oksijen ve su buharına dönüştürmek için tasarlanmışlardı. 1980'lerde gündeme gelen üç yollu katalitik konvertörler, günümüzde buji ateşlemeli motor kullanan taşıtların tamamında kullanılmaktadır. Üç yollu katalitik konvertör olarak tanımlanmasının sebebi CO, HC ve NO_x emisyonlarının aynı anda oksidasyon ve indirgeme reaksiyonlarına girmesidir [4].

Modeller prosesleri ve özellikleri en iyi şekilde temsil etmemelerine rağmen, motorların ve motor çevrimlerinin geliştirilmesi ve anlaşılması için güçlü birer araçtırlar. Yeni motor ve parça tasarımlarında modellerin ve bilgisayarların kullanılmasıyla çok büyük zaman ve para tasarrufu sağlanmaktadır. Modeller basit ve kolay kullanımlılardan, çok kompleks ve güçlü bilgisayar kullanımı gerektirenlere kadar geniş bir aralıktadırlar. Genellikle daha kullanışlı ve doğru, hassas modeller oldukça karmaşıktırlar [5].

Mladenov vd. (2010) yaptıkları çalışmada katalitik konvertör için üç farklı kanal geometrisi ile bir, iki ve üç boyutlu modeller kullanılmıştır. Kütle transferi modellemesinde kullanılan 18 farklı sayısal modeli kıyaslamışlardır. Detaylı olarak katalitik konvertör için monolitin kanallarında akış, kütle transferi modellemelerini incelemişlerdir [6]. Kumar vd. (2012) katalitik konvertör kontrolü ve tanılama için model geliştirmişlerdir. Modelde zamana bağlı çözüm de yapılmaktadır. Temelde oksijen konsantrasyonunu hesaplamışlardır. Çalışma, katalizör aktivitesi için basit yaşlanma (aging) modeli de içermektedir [7]. Kumar ve Mazumder (2010) yaptıkları çalışmada tam boy katalitik konvertörü üç boyutlu olarak HAD yazılımı kullanarak modellemişlerdir. Çözüm alanı simetrik olduğu için bu durum dikkate alınarak modelleme yapılmıştır. Kumar ve Mazumder modellemelerinde kimyasal reaksiyon denklemlerinin çözümünde karmaşık heterojen kimyasal denklemleri eklemişlerdir. Katalitik konvertör modellenirken monolit kanalları da dikkate alınmıştır [8]. Güncel bir çalışmada ise, ön-hesaplamalı küçük ölçekler kullanılarak çok-ölçekli modelleme için metodoloji geliştirilmiştir [9]. Modellemede önce reaksiyon hızları hesaplanmıştır. Sonra, iki boyutlu simetrik model kullanılarak düzgün ve düzgün olmayan kalınlıkta washcoat için difüzyon modelini kullanmışlarıdır. Basit bir boyutlu tek kanal modelinin uniform olmayan poroz tabaka (washcoat) için doğru bir şekilde olduğunu göstermişlerdir. Daha sonra, harici taşınım direnci eklenerek basit bir boyutlu psodo-homojen kanal modeli ile etkin ortalama hızların hesaplandığını göstermişlerdir. HAD yazılımı kullanarak modelledikleri katalitik konvertör ise üç boyutlu ve tek bir hacim olarak modellenmiştir. HAD yazılımı ile çözülmüştür [9]. Tsinoglou vd. (2004) yaptıkları sayısal çalışmada ticari bir yazılım kullanmışlardır. Katalitik konvertörü tek parça olarak modellemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları diğer deneysel araştırmacıların deneysel çalışmaları ile kıyaslamışlardır. Hesaplanan radyal hız bileşeninin ölçülen değerlerle uyumlu olduğunu göstermişlerdir. Akış direnç modeli (FRM) şeklinde bir model geliştirmişlerdir. İki ve bir boyutlu olarak modelleme ve noktalar kullanan modeli (akış direnç modeli) HAD sonuçları ile kıyaslamışlar ve elde edilen hız profillerinin uyumlu olduğunu grafikler ile göstermişlerdir [10]. Holder vd. (2006) üç yollu katalitik konvertör uygulamaları için global heterojen reaksiyon mekanizması geliştirmek için bir boyutlu monolitik katalizör modeli kullanmışlardır. Sayısal modelde yarı-ayrıklaştırma veya hat yöntemini (method of lines) kullanmışlardır. Reaksiyon hızları otomotiv uygulamalarında palladyum-rodyum katalizörleri için kabul edilebilir uyum içerisinde modifiye edilmiştir. Reaksiyon mekanizmaları kullanılarak katalitik konvertörün dönüşüm verimini hesaplamışlardır. Sonuçları grafik halinde detaylı olarak vermişlerdir [11]. Mianzarasvand vd. süreksiz şartlar altında bir motosikletin elektrikle ısıtılmış katalitik konvertörünün soğuk çalışma emisyonlarını incelemişlerdir. Katalitik konvertörün % 50 verim ile çalışmaya başladığı sıcaklık (light-off temperature) için sıcaklığın 450 K olmasının yeterli olduğu ve

motoru çalıştırmadan önce katalitik konvertörün 35 saniye ısıtılması gerektiği sonucuna varmışlardır [12]. Üç yollu katalitik konvertörde CO ve HC oksidasyonu ile CO_2 ve H_2O, NO_x'in indirgenmesi ile N_2 oluşumunda çok sayıda reaksiyon olmakla beraber bunların başlıcaları şöyledir [3].

Oksidasyon reaksiyonları:

$CO + ½\ O_2 \rightarrow CO_2$ (1.1)

$H_2 + ½\ O_2 \rightarrow H_2O$ (1.2)

$C_xH_y + (x + y/4)\ O_2 \rightarrow x\ CO_2 + y/2\ H_2O$ (1.3)

NOx indirgenmesi:

$2\ CO + 2\ NO \rightarrow 2CO_2 + N_2$ (1.4)

$C_xH_y + (2x + y/2)\ NO \rightarrow x\ CO_2 + y/2\ H_2O + (x + y/2)\ N_2$ (1.5)

Buhar Reforming (Steam Reforming):

$C_xH_y + x\ H_2O \rightarrow x\ CO + (x + y/4)\ H_2$ (1.6)

Su gaz değişimi:

$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2O$ (1.7)

Katalitik konvertörler ile ilgili literatürde oldukça çok çalışma bulunmaktadır. Katalitik konvertörlerin deneylerinden önce hızlı olarak test edilmeleri önemlidir. Çünkü hesaplamalı yöntemler deneysel çalışmalara göre daha ucuz olmaktadır. Bu çalışmada, AVL-BOOST yazılımı kullanılarak üç yollu katalitik konvertörün motorun soğuk çalışması durumunda modellemesi yapılmıştır. Sonuçlarda soğuk çalışma durumunda CO emisyonları incelenmiştir.

2. SAYISAL ÇALIŞMA *(NUMERICAL STUDY)*

AVL BOOST yazılımında modellenen katalitik konvertörün doğruluğunu kontrol etmek amacıyla literatürden Mianzarasvand vd. [12] ait güncel bir makale seçilmiştir. Böylece, katalitik konvertöre giren egzoz gazının bileşimi ve sonuçlar kıyaslamalı olarak incelenebilmiştir.

Tablo 1. Giriş sınır şartları *(Inlet boundary conditions)* [12]

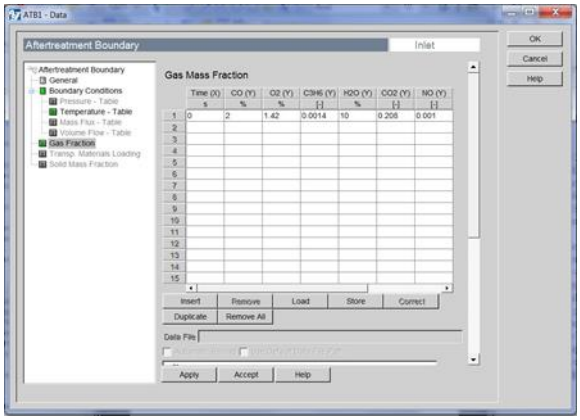
CO konsantrasyonu	2	vol %
O_2 konsantrayonu	1.2	vol %
C_3H_6 konsantrasyonu	0.0014	vol %
H_2O konsantrasyonu	10	vol %
NO konsantrasyonu	0.001	vol %
Kütlesel debi	0.002	kg/s
Eksenel gaz hızı	1.1	m/s
Başlangıç sıcaklığı	300 ve 400	K
Gazın yoğunluğu	0.903	kg/m^3
Gazın ısıl iletkenliği	0.0454	W/mK
Katalizör tabakasının ısıl iletkenliği	1.675	W/mK

AVL Boost yazılımında katalitik konvertörün modellemesinde katalitik konvertöre ait olan değerlerin de tanımlanması gereklidir (Tablo 1). Yine aynı makaledeki katalitik konvertöre ait değerler kullanılmıştır (Tablo 2).

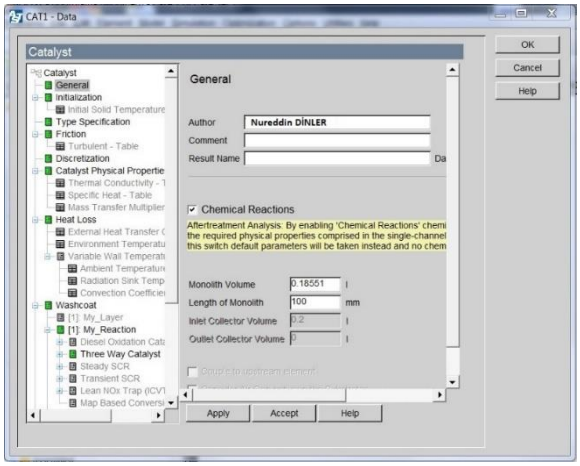
Tablo 2. Katalitik konvertörün özellikleri *(Properties of catalytic converter)* [12]

Katalizör tabakası malzemesi	Metal	
Katalizör tabakası çapı	48.6	mm
Yoğunluğu	2500	kg/m^3
Özgül ısısı	100	j/kgK
Katalizör tabakası uzunluğu	100	mm
Isıl iletkenliği	1.675	W/mK
Değerli metal oranı	Pt/Rh = 5	

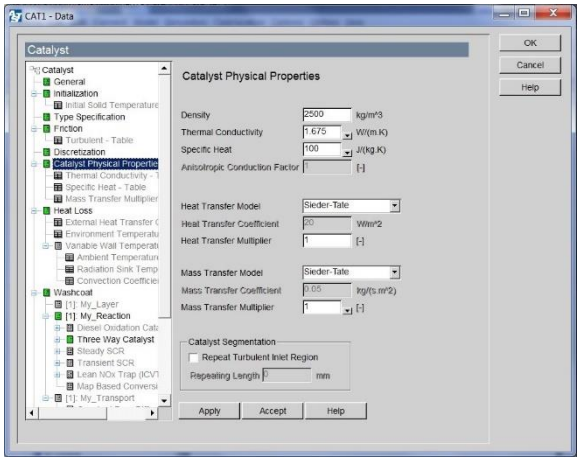
Şekil 1'de yazılıma Tablo 1'de verilen egzoz gazı değerlerinin tanımlandığı pencere verilmiştir. Şekil 1, 2, 3 ve 4'de katalitik konvertöre ait olan fiziksel özelliklerin tanımlandığı pencerelerin görüntüsü görülmektedir. Açılan bu pencerelerde de katalitik konvertöre ait olan hacim, uzunluk, yoğunluk, ısıl iletkenlik gibi fiziksel özelliklere ait değerler Tablo 2'ye uygun olarak girilmiştir.



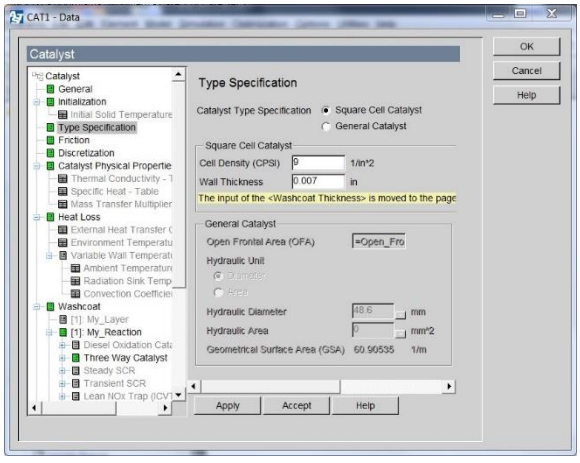
Şekil 1. Katalitik konvertöre giren gazın bileşenlerinin tanımlanması *(Defining the components of catalytic converter)*



Şekil 2. Katalitik konvertörün fiziksel özelliklerinin tanımlanması *(Defining the physical properties of catalytic converter)*



Şekil 3. Katalitik konvertörün yoğunluk, ısıl iletkenlik vb. özelliklerinin tanımlanması *(Defining the density, thermal conductivity, etc. properties of catalytic converter)*

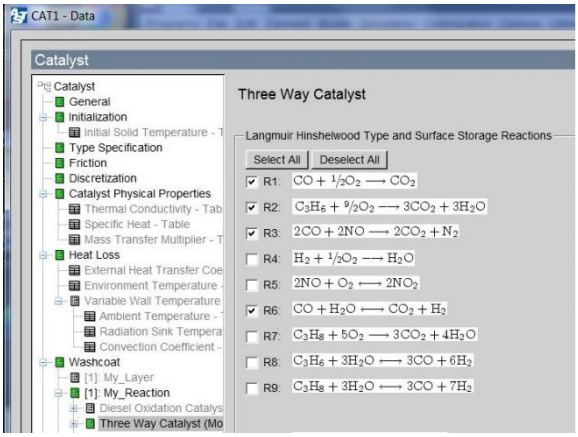


Şekil 4. Kanal (hücre) yoğunluğu, duvar özelliklerinin tanımlanması *(Defining the channel (cell) density, wall thickness properties of catalytic converter)*

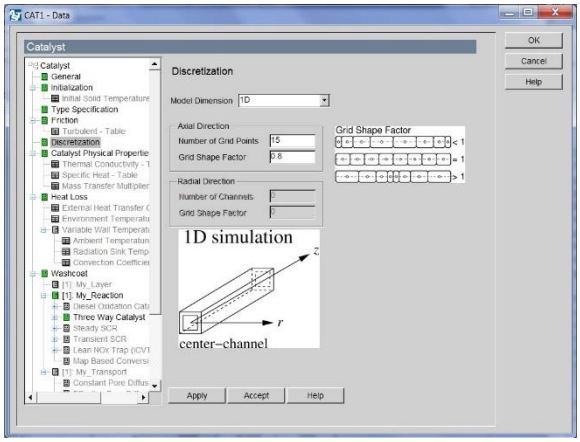
Şekil 5'de ise katalitik konvertör içerisinde gerçekleşen yüzey denklemlerinin tanımlanması yapılmıştır. Denklemler literatüre uygun olarak seçilmiştir. Yazılımda seçilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$CO + ½\ O_2 \rightarrow CO_2 \quad (2.1)$$
$$C_3H_6 + 9/2\ O_2 \rightarrow 3\ CO_2 + 3\ H_2O \quad (2.2)$$
$$2\ CO + 2\ NO \rightarrow 2CO_2 + N_2 \quad (2.3)$$
$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2O \quad (2.4)$$

Bir boyutlu modeller üç boyutlu modellere göre daha basit yapıdadırlar ve geliştirilmeleri daha kolaydır. Kullanım kolaylığı olduğu için bir boyutlu (1D) model tercih edilmiştir. Böylece, hem bir boyutlu model test edilmiş, hem de grid yapısının ve grid şekil faktörünün sonuçların nasıl etkilediği incelenmiştir. Şekil 6'da ise kullanılacak modelin, grid sayısının ve grid şekil faktörünün seçildiği pencere görülmektedir.



Şekil 5. Temel denklemlerin tanımlanması *(Defining the basic equations)*

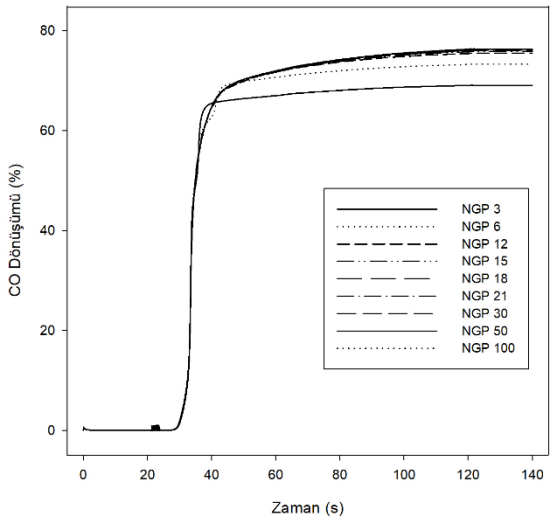


Şekil 6. Grid Sayısı, Grid Şekil Faktörünün Tanımlanması *(Defining grid number, grid shape factor)*

3. SONUÇLAR *(RESULTS)*

Geometrik özellikler, fiziksel özellikler ile sınır ve başlangıç şartlarının tanımlanmasından ve kullanılacak model ile ilgili tanımlamalardan sonra elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler halinde sunulmuştur.

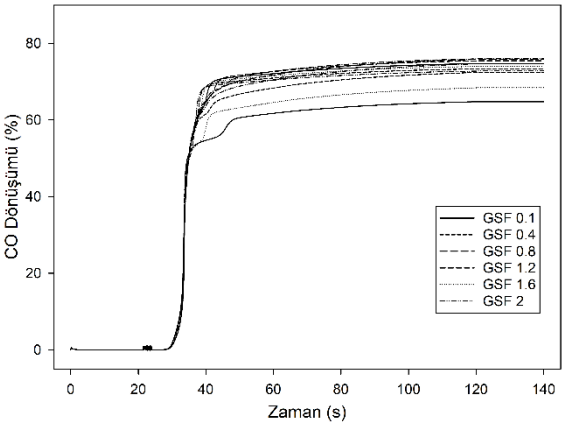
Sonuçlar üzerinde etkisi olabileceği için grid sayısı ve grid şekil faktörü öncelikli olarak incelenmiştir. Grid sayısının ve grid şekil faktörünün etkileri Şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir. Grid sayısı çok kaba bir değer olan 3'ten başlanarak 100'e kadar artırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Grid sayısı değeri 30'dan yüksek olduğunda CO dönüştürme veriminde değişiklik olmadığı görülmüştür.



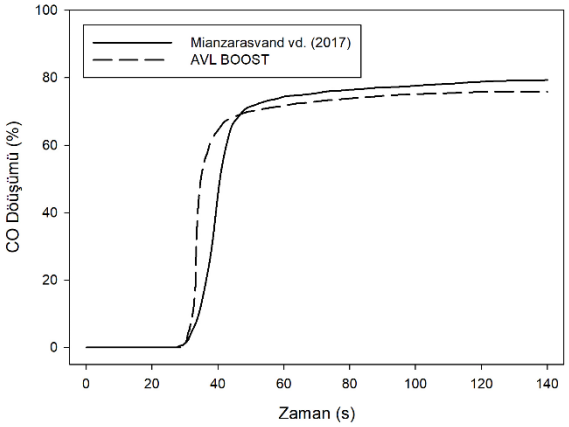
Şekil 7. CO dönüşüm veriminin grid sayısına bağlı değişimi (NGP: Number of Grid Points) *(CO conversion efficiency depending on number of grid points)*

Grid şekil faktörünün de sonuçlar üzerine etkisi olabileceği için grid şekil faktörü 0.1'den 2.0'e kadar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Şekil faktörünü 2'ye yakın olduğu değerlerde CO dönüşüm verimi değerleri oldukça yakın olarak elde edilmektedir.

Şekil 9'da ise yazılımdan elde edilen sonuç ile literatürden bulunan makaleden elde edilen sonuçlar görülmektedir. Literatür[Mianzarasvand vd. (2017)] ile elde edilen sonuçlar arasındaki fark kullanılan bir boyutlu modelden ileri gelmektedir. Çünkü bir boyutlu modellerde tek bir yön dikkate alınırken uzaysal olarak diğer yönler dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle de özellikle katalitik konvertörün ısınması ile light-off sıcaklığına ulaştığında 1B model daha yüksek değerler verirken, katalitik konvertörün verimli çalıştığı bölgede ise daha düşük değerler elde edilmektedir.



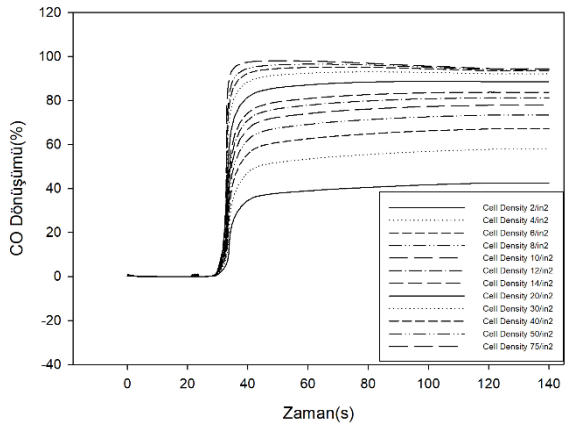
Şekil 8. CO dönüşüm veriminin grid şekil faktörüne (GSF) bağlı değişimi *(CO conversion efficiency depending on grid shape factor (GSF))*



Şekil 9. Simülasyonda elde edilen CO dönüşüm veriminin doğrulanması *(Validation of simulated CO conversion efficiency)*

Doğrulama çalışmasından sonra katalitik konvertörler için önemli konulardan birisi de kanal sayısının yoğunluğudur. Genellikle kanal sayısı inç (parmak) kare başına düşen kanal sayısı ile nitelendirilir. Kanal sayısı yoğunluğu ise 2 adet/inç^2'den 75 adet/inç^2'ye kadar artırılarak elde edilen sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir. Kanal sayısının artması ile birlikte katalitik konvertörün içerisinde oluşan reaksiyonlarla ısı açığa çıktığı için katalizör tabakası hızla ısınmakta ve bunun sonucunda katalitik konvertör daha aktif olarak çalışarak hızlıca yüksek dönüştürme verimlerine ulaşabilmektedir.

Şekil 10. CO Dönüşüm veriminin hücre yoğunluğuna bağlı değişimi *(CO conversion efficiency depending on cell density)*



4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME *(CONCLUSION AND DISCUSSION)*

Soğuk çalışma durumunda bir katalitik konvertörün modellenmesinin yapıldığı bu çalışmada bir boyutlu model kullanılarak kabul edilebilir aralıkta sonuç elde edilmiştir. Modelin 1B olması ile birlikte grid sayısının ve grid şekil faktörünün sonuçlar üzerinde etkileri unutulmamalı ve bu iki değere dikkat edilmelidir. Katalitik konvertörün içindeki kanal sayısı katalitik konvertörün etkinliğini yakından etkilemektedir. Özellikle ekonomiklik ve basitlik amacıyla tasarlanacak katalitik konvertörler geliştirilirken bu durum göz ardı edilmemelidir.

Gelecekte daha karmaşık modeller ile çözümler elde edilerek deneysel sonuçlar ile kıyaslanması uygun olacaktır.

TEŞEKKÜR *(ACKNOWLEDGMENT)*

Üniversite Ortaklığı Programı kapsamında AVL BOOST yazılımı sağladığı için AVL LIST GmbH'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR *(REFERENCES)*

[1] V. Ganesan, *Internal Combustion Engines*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, USA., 1996.

[2] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, New York, USA., 1988.

[3] O. A Kutlar, M. Ergeneman, H. Arslan and M. Mutlu,. *Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1988

[4] Chevron Inc., *Motor Gasolines Technical Review (FTR-1)*, Chevron Products Company, Chevron USA Inc., USA, 1996.

[5] W. W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of The Internal Combustion Engine*, Prentice Hall, New Jersey, USA, 1997.

[6] N. Mladenov, J. Koop, S. Tischer and O. Deutschmann, "Modeling of Transport and Chemistry in Channel Flows of Automotive Catalytic Converters", *Chemical Engineering Science*, vol. 65, pp. 812-826., 2010.

[7] P. Kumar, I. Makki, J. Kerns, K. Grigoriadis, M. Franchek and V. Balakotaiah, "A Low-Dimensional Model for Describing the Oxygen Storage capacity and Transient Behavior of a Three-Way Catalytic Converter", *Chemical Engineering Science*, Vol. 73, pp. 373–387, 2012.

[8] A. Kumar and S. Mazumder, "Toward Simulation of Full-Scale Monolithic Catalytic Converters with Complex Heterogeneous Chemistry", *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 34, pp. 135-145, 2010.

[9] T. Nien, J. P. Mmbaga, R. E. Hayes and M. Votsmeier, "Hierarchical Multi-Scale Model Reduction in the Simulation of Catalytic Converters", *Chemical Engineering Science*, Vol. 93, pp. 362–375, 2013.

[10] D. N. Tsinoglou, G. C. Koltsakis, D. K. Missirlis and K. J. Yakinthos, "Transient Modelling of Flow Distribution in Automotive Catalytic Converters", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 28, pp. 775–794, 2004.

[11] R. Holder, M. Bollig, D. R. Anderson, J. K. Hochmuth, "A Discussion on Transport Phenomena and Three-Way Kinetics of Monolithic Converters", *Chemical Engineering Science*, Vol. 61, pp. 8010-8027, 2006.

[12] F. Mianzarasvand, A. Shirneshan and M. Afrand, "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*, vol. 127, pp 453-464, 2017.

Nureddin DİNLER*
1997 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü birincilikle bitirdi. Aynı yıl, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans çalışmalarına başladı. 2001 yılında yüksek lisans, 2006 yılında doktorasını tamamladı. 1998 yılında Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2009 yılında Yardımcı Doçent olarak atandı. Halen, aynı Bölümde Doktor Öğretim Üyesi olarak çalışmaya devam etmektedir. İçten yanmalı motorlar, akışkanlar mekaniği, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, enerji ve enerji dönüşüm sistemleri konularında çalışmaktadır.

Fatih AKTAŞ
2012 yılında Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden, 2015 yılında ise Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nden yüksek lisans derecelerini aldı. Halen doktora eğitimine devam etmektedir. Ayrıca 2014 yılından itibaren Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. İlgi alanları arasında içten yanmalı motorlar ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği konuları bulunmaktadır.

Doğacan BOZKURT
2018 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. İçten yanmalı motorlar ve otomotiv konuları ilgi alanına girmektedir.

Salih KARAASLAN
2003 yılında Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Onur Öğrencisi olarak mezun oldu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans ve doktorasını tamamladı. Halen, Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Doktor Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. İlgi alanları arasında içten yanmalı motorlar, karayolu tünellerinde ve yeraltı raylı taşıma sistemlerinde yangın, yangın kontrolü ve havalandırma, deneysel ve hesaplamalı akışkanlar mekaniği, kalite, iş güvenliği ve çevre yönetim sistem kurulumu, konvansiyonel enerji sistemleri bulunmaktadır.

Nuri YÜCEL
1979 yılında İ.T.Ü. Makina Fakütesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Amerika Birleşik Devletlerinde Polytechnic Unviersity New York'ta yüksek lisans ve doktorasını tamamladı. 1988-1990 yılları arasında Anadolu Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Yardımcı Doçent olarak çalıştı. 1990 yılından itibaren Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde çalışmaya başlamıştır. Halen, aynı Bölümde Profesör olarak çalışmaktadır. İlgi alanları arasında içten yanmalı motorlar, akışkanlar mekaniği ve uygulamaları, ısı ve madde transferi, ısıtma soğutma ve havalandırma, konvansiyonel enerji sistemleri ve teknolojileri bulunmaktadır.