

Konvansiyonel ve Çatı Tipi Yanma Odalarında Akış ve Isı Transferinin Dinamik Ağ Yapısı Kullanılarak Analizi

Y. Varol¹, M. Fırat²

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elazığ/ Türkiye, ysnvarol@gmail.com,

²Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elazığ/Türkiye, mujdatfirat@gmail.com

Analysis of Heat Transfer and Fluid Flow Inside Conventional and Pent-Roof Type Combustion Chamber using Dynamic Mesh Model

Abstract—In this study, flow and heat transfer were investigated numerically the conventional type and roof type combustion chamber. Dynamic mesh model was used to analyzed in cylinder flow and heat transfer characteristics during intake stroke. k-ε turbulence model was chosen for the solution equations of turbulence. Governing equations were solved with finite volume method and FLUENT-12.0 commercial software. The results were expressed in the inner velocity profile and temperature distribution, and comparison to both type chamber are presented. Heat transfer and flow characteristics of the roof type combustion chamber for better performance than conventional type combustion chamber showed.

Keywords—Internal combustion engines, Computational fluid dynamics(CFD), Heat transfer, Combustion chambers

I. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlar, teknolojiadaki gelişmeler, farklı performans beklentileri ve çevresel zararların en aza indirilmesi amacıyla sürekli büyük bir gelişim ve değişim içerisinde. Bu çalışmalar, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde yeni yöntemlerin ve bilgisayar kapasitelerinin geliştirilmesiyle birlikte oldukça hızlanmıştır[1]. Çalışılan problemler arasında içten yanmalı motorlarda silindir içi akış ve ısı transferi karakteristiklerinin belirlenmesi ilk sıralardadır. Yapılan araştırmalarında, silindir içi akış, ısı transferi ve türbülans gibi parametrelerin, motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarını doğrudan etkilediğini belirlenmiştir[2,3].

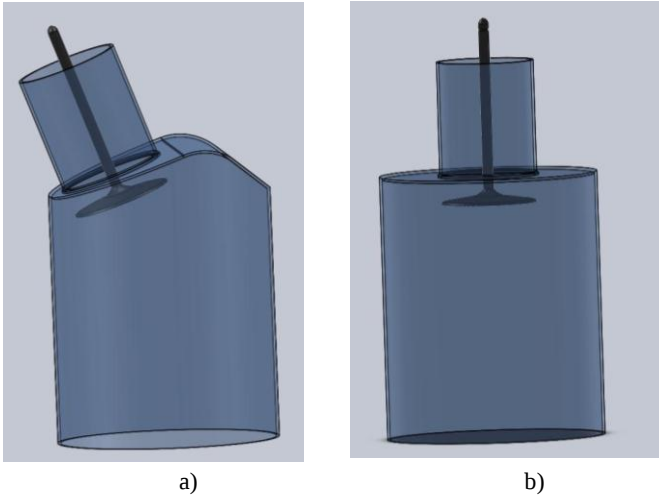
Silindir içi akış ve ısı transferinin belirlenmesi için deneysel ve sayısal olarak çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Deneysel çalışmalar ağırlıklı olarak laser destekli hız ölçme yöntemi[4] ve parçacık hızı görüntüleme yöntemi olmak üzere iki farklı yöntemle yapılmaktadır[5,6]. Sayısal çalışmalarda ise, sonlu hacim ve sonlu eleman gibi

yöntemleri kullanan ticari kodlar (FLUENT, KIVA, STAR-CD, FIRE vs.) [7] ve C++ ve Fortran gibi kişisel yazılımlar kullanılmaktadır [8,9]. Konu üzerinde Milton ve ark. yaptıkları çalışmada silindir içinde hava yakıt karışımının akış karakteristiklerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmanın sayısal kısmında Fluent ticari yazılımını kullanmış ve deneysel verilerle uyumlu olduğunu görmüşlerdir[10]. Varol ve ark. çalışmalarında çatı tip yanma odasında, silindir içi akış ve ısı transferini Fluent ticari yazılımı kullanarak göstermişlerdir [11]. Song ve ark. yaptıkları çalışmada farklı tip yanma odaları ve piston geometrileri kullanmış ve silindir içi akış alanlarını incelemişlerdir. Farklı piston geometrilerinin girdap ve hız alanlarını etkilediğini göstermişlerdir [12].

Bu çalışmanın temel amacı da, konvansiyonel tip ve çatı tip yanma odalarında, motor çalışma şartlarında emme zamanı boyunca, akış ve ısı transferi karakteristiklerinin belirlenmesidir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak geometrik değişikliklerin akış ve ısı transferine etkisi belirlenecektir.

II. YANMA ODASI MODELLERİNİN TANITILMASI

Bu çalışmada temel yanma odası ve silindir modeli olarak günümüz motorlarında geliştirilerek kullanılan eksenden kaçık kübik çatı tipli bir yanma odası modeli seçilmiştir. Emme ve egzoz supapları yan yana ve 22° lik açıyla konumlandırılmıştır. Bunların tam karşısına buji yanma odasının ortasına yakın bir mesafeye yerleştirilmiştir. Bu yanma odası tipi supap açılarının da yardımı ile emme zamanı boyunca silindir içerisine daha fazla hava- yakıt karışımı almayı ve supap kenarlarında oluşan jetlerin eğimli yüzeylere çarpmasıyla da daha iyi bir karışım sağlamayı amaçlar. Çalışmada kullanılan çatı tipi yanma odası ve konvansiyonel tip yanma odası sırasıyla Şekil 1 (a) ve Şekil 1 (b) de verilmiştir. Şekiller Solid Works programı yardımıyla çizilmiştir.



Şekil 1. Yanma odası geometrileri

III. DENKLEMLER

Silindir içi akış ve sıcaklık alanlarının hesaplanması için yönetici denklemler çözülmüştür. Zamana bağlı türbülanslı akış için radyasyon ısı transferi ihmal edilerek süreklilik, momentum, enerji ve türbülans denklemleri çözülmüştür.

Çalışma iki boyutlu ve zamana bağlıdır, türbülans modellemesinde k-ε model kullanılmıştır, radyasyon ısı transferi diğer ısı transferi şekillerine göre ihmal edilmiştir, cidarlar da duvar sınır şartı uygulanmıştır, kaldırma kuvvetleri de ihmal edilmiştir. Yapılan bu kabuller neticesinde yönetici denklemler yazılmıştır;

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemleri

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} = \\ - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} = \\ - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda \nabla^2 V + 2\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Enerji Denklemi

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho e \mathbf{V}) = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (4)$$

Bu çalışma da standart k- türbülans modeli seçildi. Bu model yanma odasının da yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanıldığı için tercih edildi. Bu yöntemle göre türbülans yayılım ve kinetik enerji denklemi aşağıda ki gibidir;

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu_{eff} + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + Gk + Gb - \rho \epsilon - Y_M \quad (5)$$

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu_{eff} + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} (Gk + C_{\epsilon 3} Gb) - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (6)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (7)$$

Bu denklemlerde Gk ortalama hız değişiminden dolayı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, Gb kaldırma kuvvetinden dolayı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, YM bütün yayılma oranlarında sıkıştırılabilir türbülans genişleyen çalkantıların katkısını simgelemektedir. C_{1ε}, C_{2ε} ve C_{3ε} model sabitleridir. σ_k ve σ_ε sırasıyla k ve ε için türbülans Prandtl sayılarıdır. Çözümlerde model sabitleri için aşağıdaki değerler kullanılmıştır;

$$C_{1\epsilon} = 1.44; C_{2\epsilon} = 1.92; C_\mu = 0.09; \mu_k = 1.0; \sigma_\epsilon = 1.3$$

Denklemler çözülürken kullanılan sınır şartları ise;

Giriş sıcaklığı, T_{giriş} = 303 K,

Yanma odası çeper sıcaklıkları, T_{cidar} = 493 K,

Piston üst yüzey sıcaklığı, T_{piston} = 493 K

Silindir duvarında, u_x = 0, u_y = 0

Piston yüzeyinde u_x = 0, u_y = u_{piston}

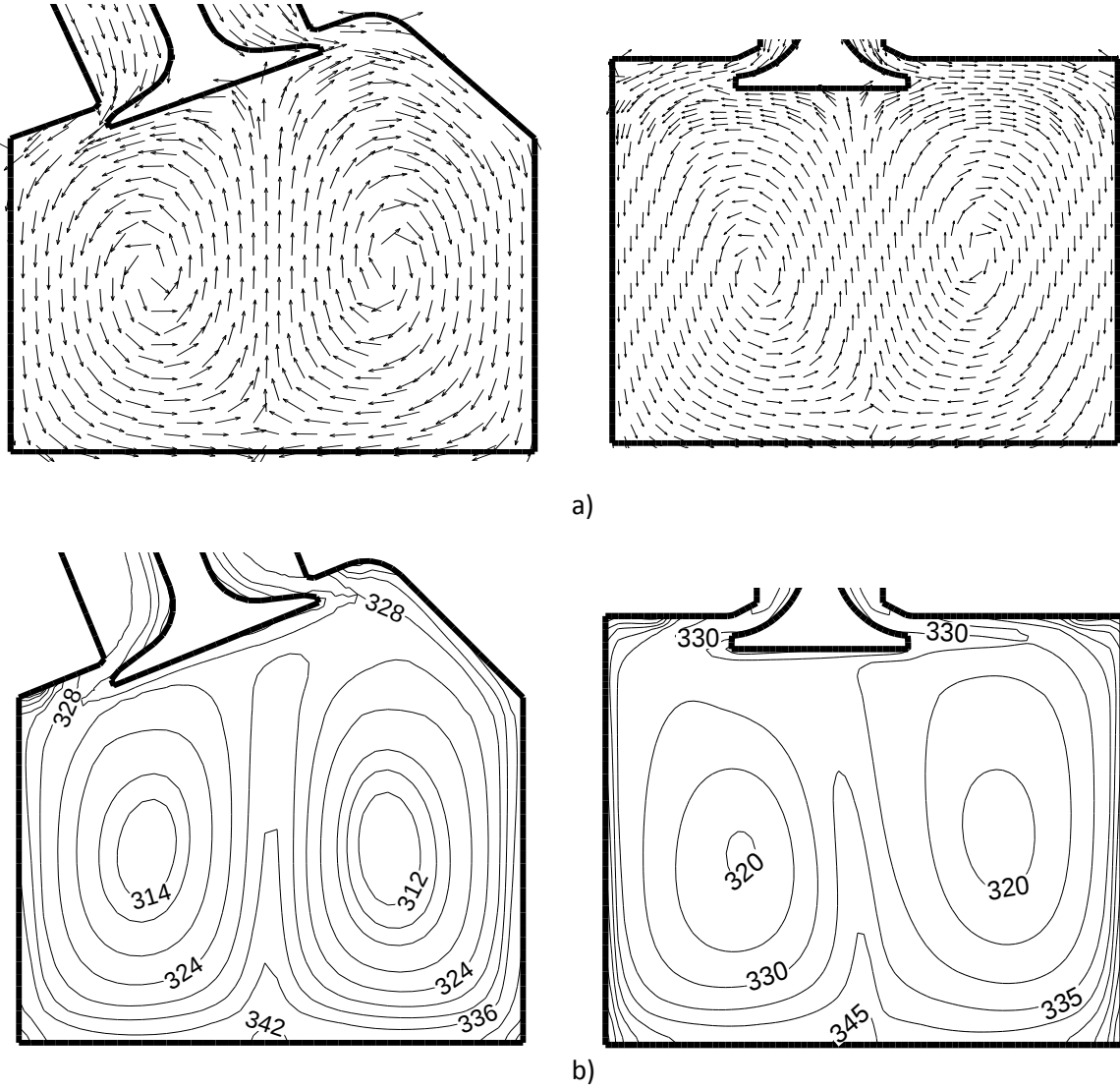
şeklinde.

IV. SAYISAL ÇÖZÜM

Çalışmada kullanılan motor geometrilerinde iki boyutlu olarak akış analizleri yapılmıştır. Çalışmada ısı transferi, akış, türbülans, kimyasal reaksiyonlar ve çift fazlı akış gibi farklı problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan FLUENT ticari yazılımı kullanılmıştır [13]. Bu yazılım sonlu hacimler yöntemini kullanarak Navier-Stokes ve enerji denklemlerini çözen bir HAD yazılımıdır. İçten yanmalı motorların dizayn ve analizinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonlu hacimler yöntemi bu çalışmada olduğu gibi karmaşık geometrilerin çözümünde oldukça hassas sonuçlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, türbülanslı akışın çözümü için k-ε türbülans model kullanılmıştır. Çözüm algoritması olarak Patankar tarafından önerilen basınç-hız birleşik denklemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan SIMPLE (Semi-Implicit Methods for Pressure Linked Equations) algoritması kullanılmıştır [14]. Emme zamanının tam çözümü için dinamik ağ yapısı kullanılmıştır. Bu yapıyla piston üst ölü noktadan(ÜÖN) alt ölü noktaya(AÖN) doğru hareket ederken hesaplama alanı genişlemekte ve genişleyen alanda ağ yapısı yeni düğüm noktaları üretmektedir. Piston ÜÖN'da iken yaklaşık 10.000

eleman la çözüm yapılırken AÖN' ya geldiğinde yaklaşık 50.000 eleman oluşturulmuştur.

V.BULGULAR



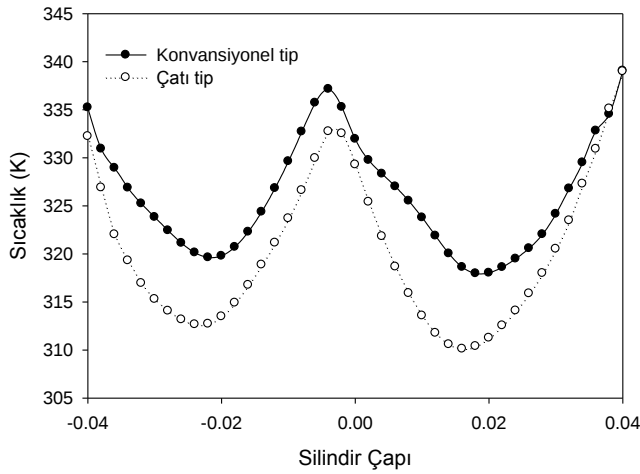
Şekil 2. 90° krank mili açısı için silindir için a) hız vektörleri, b) sıcaklık eş eğrileri

Konvansiyonel yanma odası (düz tip yanma odası), yeni nesil yanma odasıyla karşılaştırıldığı zaman yeni nesil yanma odasında elde edilen sonuçlar daha iyi algılanabilir. Şekil 2' de 3000 d/d için düz tip yanma odasında silindir içerisinde düşey eksende orta noktada 90° KMA için yatay eksen boyunca hız, ve sıcaklık değişimleri verilmiştir. Grafiklerden de anlaşılabileceği gibi, yeni nesil yanma odası, özellikle sıcaklık değişimi olarak, eski tip yanma odasından oldukça iyi bir performans göstermektedir. Sıcaklık dağılımlarında düz tip yanma odası,

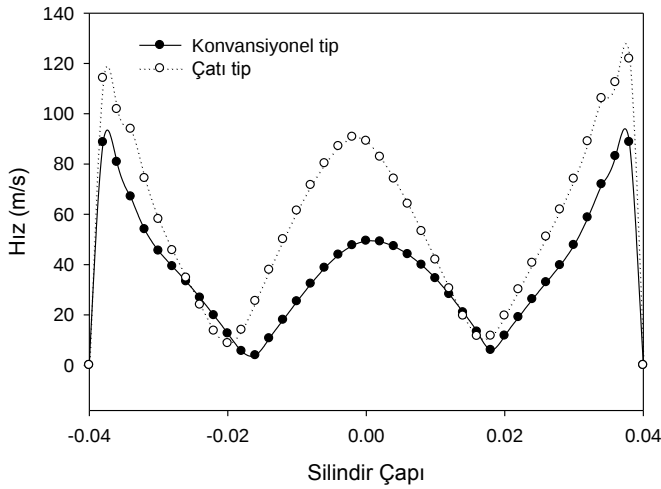
aynı devir ve krank açısında, silindir içerisine alınan taze dolgunun daha fazla ısınmasına neden olmuştur. Bu durumun akışkanın hızlı genişlemesine ve volümetrik verimin düşmesine

neden olacağı düşünülmüştür. Her iki yanma odası için analizin daha doğru yapılabilmesi için silindir içi hız ve sıcaklık değişimleri grafiksel olarak da ifade edilmiştir.

Şekil 3. de emme zamanında pistonun alt ölü noktaya doğru hareketi sırasında silindir içerisinde silindir yatay ekseni boyunca sıcaklık grafiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlarda konvansiyonel tip yanma odasında taze dolgunun daha fazla ısındığı açıkça görülmektedir. Çatı tip yanma odasında ise bir miktar daha az ısınma mevcuttur. Konvansiyonel tip yanma odasında geometrik yapıdan kaynaklanan ve akışın rahat hareketini engelleyen ölü noktaların meydana geldiği ve bu sebeple dolgunun ısındığı düşünülmektedir.



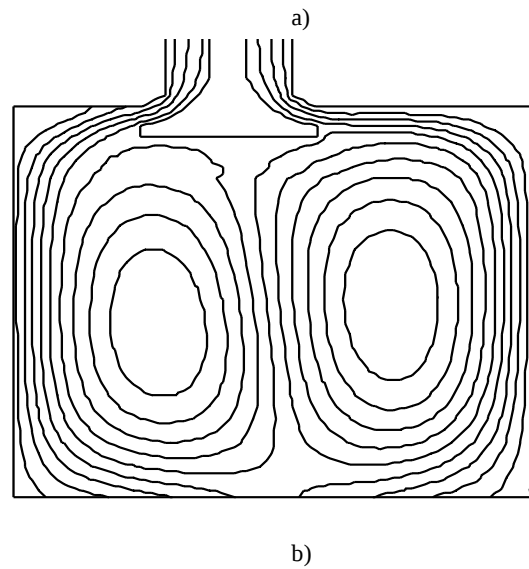
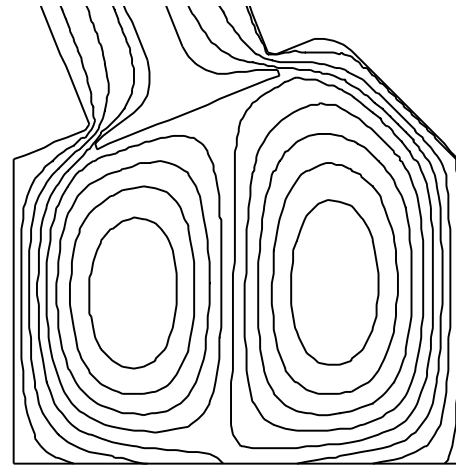
Şekil 3. 90° krank mili açısında silindir içi sıcaklık değişimi



Şekil 4. 90° krank mili açısında silindir içi hız değişimi

Silindir içi yatay eksen boyunca hız değişimi şekil 4.de verilmiştir. Elde edilen grafikte konvansiyonel tip yanma odasında hız değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Çatı tip yanma odasında silindir içi hız değişimleri daha yüksektir. Bu durumunun silindir içi türbülans yoğunluklarını etkilediği ve dolayısıyla yanmayı olumlu yönde etkilediği literatürde yapılan çalışmalarla sabittir[15,16]. Konvansiyonel tip yanma odasında geometrik şekillerin hız dağılımını da etkilediği bu grafikte açıkça görülmektedir. Emme zamanı boyunca yavaşça dolgunun silindir içerisine alınması volümetrik verimi düşürüp yanmayı olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla çatı tip yanma odasının motor performansı ve emisyon açısından daha uygun olduğu görülmektedir.

Her iki yanma odası modelinde elde edilen akım çizgileri Şekil 5'de görülmektedir. Emme zamanı boyunca, silindir eksenine göre sağdaki döngü saat ibresi yönünde oluşurken soldaki döngü ise saat ibresinin tersi yönde oluşmaktadır. Her bir dönme merkezi aynı akım fonksiyonu değerinde ve birbirine zıt yönde hareket etmektedir.



Şekil 5. 90° krank mili açısında her iki yanma odası için akım çizgileri

VI. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, içten yanmalı motorlarda kullanılan çatı tip yanma odasına sahip bir silindir ile konvansiyonel yanma odasına sahip bir silindir içerisinde akış ve ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar hız vektörleri, sıcaklık eş eğrileri ve silindir içi akım çizgileri olarak sunulmuştur. Bulgular neticesinde çatı tip yanma odasının daha rahat bir akış gözlenmiştir. Konvansiyonel tip yanma odasında ölü noktalar meydana gelirken bu durumun çatı tip yanma odasında oldukça azaldığı görülmüştür. Bu durumun buji bölgesinde homojen karışım oluşmasını ve yanmayı iyileştirmesi düşünülmüştür. Elde edilen sıcaklık eş eğrileri incelendiğinde çatı tip yanma odasında emme zamanında silindir içerisine giren dolgu miktarının artması beklenmektedir. Elde edilen bulgularla çatı tip yanma odasının daha kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Fırat üniversitesi bilimsel araştırma projeleri koordinasyon birimi (FÜBAP) tarafından 1874 no. lu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] M.Fırat, “Yeni nesil yanma odalarında akış ve ısı transferinin sayısal olarak modellenmesi”, Yüksek lisans tezi, Fırat üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü, 2010.
- [2] G. Borman, K. Nishiwaki, “Internal combustion engine heat transfer”, *Prog. Energy Combust. Sci.* Vol. 13 pp. 1–46, 1993.
- [3] J.B. Heywood, “*Internal Combustion Engine Fundamental*”, McGraw-Hill, New York, 1998.
- [4] K.Y. Kang, J.H. Baek, Turbulence characteristics of tumble flow in a four-valve engine, *Exp. Therm. Fluid Sci.* Vol. 18, pp.231–243, 1998.
- [5] N. Kampanis, C. Arcoumanis, R. Kato, S. Kometani, Flow, Combustion and Emissions in a Five-Valve Research Gasoline Engine, *SAE Tech. Papers Series* pp. no. 2001-01-3556.
- [6] R.F. Huang, C.W. Huang, S.B. Chang, H.S. Yang, T.W. Lin, W.Y. Hsu, Topological flow evolutions in cylinder of a motored engine during intake and compression strokes, *Fluids Struc.* Vol. 20 , pp.105–127, 2005.
- [7] N. Dinler, “Buji ateşlemeli motor silindirinde akış ve yanmanın sayısal olarak incelenmesi”, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [8] Z. Johan, A.C.M. Moraes, J.C. Buell, R.M. Ferencz, “In-cylinder cold flow simulation using a finite element method”, *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.* Vol. 190, pp.3069–3080, 2001.
- [9] R. Akar, “Combustion chamber design with computational fluid dynamic”, MSc Thesis, Inst. Nat. Appl. Sci., 2005.
- [10] B.E. Milton, M. Behnia, D.M. Ellerman, “Fuel deposition and re-atomisation from fuel/air flows through engine inlet valves”, *Int. Heat Fluid Flow* Vol. 22, pp. 350–357, 2001.
- [11] Y. Varol, H. F. Oztop, M. Fırat, A. Koca, “CFD modeling of heat transfer and fluid flow inside a pent-roof type combustion chamber using dynamic model”, *Int.Comm. Heat Mass Transfer* Vol.37, pp. 1366–1375, 2010.
- [12] J. Song, C. Yao, Y. Liu, Z. Jiang, Investigation on flow field in simplified piston bowls for DI diesel engine, *Eng. Appl. Comp. Fluid Mech.* Vol.2, pp.354–365, 2008.
- [13] FLUENT 12.0 User Guide, 2009
- [14] S.V. Patankar, “*Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*”, Hemisphere, New York, 1980.
- [15] A. Bilgin, Numerical Simulation Of The Cold Flow In An Axisymmetricnon-Compressingengine-Likegeometry, *Int. J. Energy Res.*, Vol. 23, pp. 899-908, 1999.
- [16] K. Y. Kang , R. D. Reitz, The effect of intake valve alignment on swirl generation in a DI diesel engine, *Exp. Thermal and Fluid Science* Vol. 20, pp. 94-103, 1999.