

به کارگیری شبکه دینامیکی و تغییر توپولوژی شبکه در تحلیل جریان سرد در موتورهای احتراق داخلی

ساسان قمی^{۱*}، فرهاد طالبی^۲، سعید اسماعیلی اوغاز^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: روش عددی، جریان سرد، موتورهای احتراق داخلی، شبکه دینامیکی، تغییر توپولوژی.</p>	<p>در این مقاله، جریان مغشوش در سیکل موتورینگ (بدون احتراق) موتور احتراق داخلی شامل مکش، تراکم، انبساط و تخلیه به روش عددی با استفاده از نرم افزار منبع باز OpenFOAM تحلیل شده است. یک هندسه دو بعدی به کار گرفته شده است و مرزهای متحرک در سوپاپها و پیستون به کمک یک شبکه دینامیک مدل سازی شده است. سه روش تغییر توپولوژی، یعنی افزودن/حذف لایه های سلولی، شبکه های با مرز لغزنده و بالاخره اتصال و قطع متناوب مرزها به ترتیب در مدل سازی حرکت پیستون، حرکت سوپاپها در سیلندر و ارتباط مجرای ورودی و محفظه سیلندر استفاده شده است. مدل k-ε استاندارد برای جریان مغشوش به کار گرفته شده است و مسئله برای دو سرعت ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه حل شده است. نمودارهای سرعت و فشار لحظه ای نشان داده شده است. عدم تقارن جریان در مجرای تخلیه، بخصوص در انتهای مرحله، آشکار است. همچنین افزایش سرعت چرخش با افزودن سرعت موتور مشاهده می شود. استفاده از شبکه سازی دینامیک مناسب امکان دستیابی به جزئیاتی از جریان را فراهم ساخته است که بتوان شبیه سازی عددی را جایگزین روش های دشوار و پرهزینه آزمایشگاهی نمود.</p>

۱- مقدمه

متغیر و عملکرد سریع داخل سیلندر و از طرف دیگر توسعه روش های عددی منجر به کاربرد روزافزون شبیه سازی های عددی شده است. مدل های عددی به سه دسته: ترمودینامیک یا صفر بعدی، پدیده شناختی و دینامیک سیالات عددی چند بعدی تقسیم می شوند که به ترتیب به تحلیلی پیچیده، زمان بر و از طرف دیگر دقیق و ریزنگرانه منجر می شوند. اخیراً مرور کاملی بر مدل سازی فرایندهای موتور توسط چپودی [۱] انجام شده است. در مدل های دینامیک سیالات محاسباتی، حل معادلات ناویر-استوکس برای دستیابی به سرعت متوسط و میدان سرعت مغشوش استفاده می شود. این مدل ها مبنای

با افزایش رقابت در صنعت خودرو و الزام محدودیت های بیشتر زیست محیطی، دستیابی به تحلیل های دقیق از طرح های جدید در هندسه و شرایط عملکرد موتورها مورد توجه محققین قرار گرفته است. در سال های اخیر، افزایش هزینه های تجهیزات آزمایشگاهی بخصوص در شرایط

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: sasanghomi@students.semnan.ac.ir

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

۲. استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه سمنان

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

انتخاب شبکه مناسب دینامیک می‌توان به جزئیات کاملی از جریان داخل سیلندر دست یافت. به گونه‌ای که شبیه‌سازی عددی بتواند جایگزین روش‌های بسیار پرهزینه و دشوار (بخصوص برای داخل سیلندر) PIV^۳ یا LDA^۴ شود. همچنین میزان همگن بودن شرایط جریان در شروع احتراق، که نقش بسزایی در بهبود کارایی آن دارد، بررسی می‌شود.

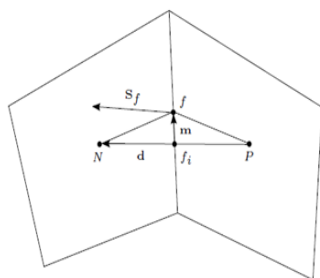
مشخصات موتور انتخابی در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱- مشخصات موتور نمونه

اندازه	جزء
147	طول شاتون (mm)
92	قطر سیلندر (mm)
75	کورس (mm)
15	فاصله لقی (mm)
30	قطر سوپاپ (mm)

۲- روش ایجاد شبکه

یک شبکه مناسب بر اساس مشخصه‌هایی همچون کجی^۵، عدم تعامد^۶، نرمی^۷ و نسبت ابعادی^۸ تعیین می‌شود [۴]. کجی مشخصه انحنای مرز مشترک سلولی است. همانگونه که در شکل ۱ دیده می‌شود نقاط P و N مراکز دو سلول مجاور، f مرکز مرز مشترک و S_f بردار نرمال مرز مشترک است. در اینصورت کجی مطابق رابطه ۱ تعریف می‌شود:



شکل ۱- نمایش هندسی کجی سلول

امکانات محاسباتی مختلفی قرار گرفته‌اند که در نرم‌افزارهای مختلف با کاربرد عمومی مانند FLUENT و STAR-CD یا نرم‌افزارهای خاص مانند KIVA-3V مشاهده می‌شوند. اگرچه استفاده از نرم‌افزارهای تجاری به دلیل قابلیت‌های مختلف و همه جانبه بودن آن‌ها مورد اقبال عمومی و حتی صنعتی قرار دارد، عدم دسترسی به کد مرجع و همچنین هزینه زیاد تهیه و بروز رسانی آن‌ها باعث شده که در محیط‌های علمی میل به استفاده از نرم‌افزارهای منبع باز^۱ از جمله OpenFOAM شدت یابد. یکی از مراحل مهم و تأثیرگذار بر دقت و سرعت همگرایی در تحلیل‌های دینامیک سیالات محاسباتی ایجاد یک شبکه مناسب است. در مواردی که مرزهای دامنه محاسباتی متحرک هستند باید از شبکه دینامیک استفاده شود و از آنجایی که شبکه دینامیک در طول محاسبات حرکت می‌کند لازم است تا در پایان هر گام زمانی تصحیح شود تا کیفیت شبکه در طول محاسبات حفظ شود. به این منظور، موقعیت نقاط شبکه در هر گام زمانی توسط یک حلگر تعیین می‌شود. لوچینی و همکاران [۲] از حل معادله لاپلاس در تعیین موقعیت نقاط شبکه در تحلیل جریان تراکم‌پذیر در موتور استفاده کردند. آن‌ها همچنین از بهبوددهنده مش^۲ برای ایجاد تغییرات توپولوژی مناسب استفاده کردند تا کیفیت شبکه در طول محاسبات حفظ شود. کرنیاوان و همکاران [۳] به بررسی عددی و تجربی جریان سرد در یک موتور دیزل پرداختند. از مدل $k - \epsilon$ در جریان تراکم‌پذیر و گذرای سیال همگن با خواص ثابت استفاده کردند. آن‌ها در بررسی خود تأثیر هندسه کاسه پیستون را بر میزان جریان چرخش طولی و عرضی بررسی کردند.

هدف کار حاضر ایجاد شبکه دینامیک مناسب با استفاده از نرم‌افزار OpenFOAM برای مدل کردن جریان سرد ناشی از حرکت پیستون و سوپاپ‌ها در سیلندر یک موتور چهارزمانه است. فرض اصلی این است که در صورت

³ Particle Image Velocimetry

⁴ Laser Doppler Anemometry

⁵ Skewness

⁶ Nonorthogonality

⁷ Smoothness

⁸ Aspect Ratio

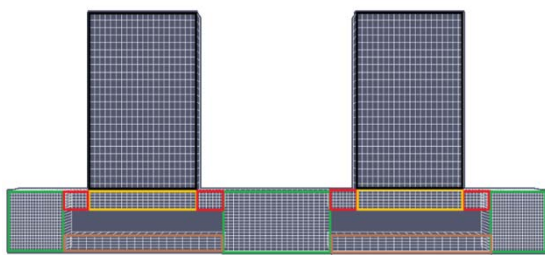
¹ Open Source

² Mesh Modifier

- افزودن یا حذف کردن لایه: در این حالت باید مقادیر حدی ضخامت لایه‌های سلول تعیین شود. سپس در هنگام حرکت در صورت فشرده شدن یا باز شدن بیش حد سلول‌ها حلگر مربوطه نسبت به حذف یا ایجاد لایه اقدام می‌کند.

- شبکه‌های لغزنده^۲: با تعریف مرزهای لغزنده امکان حرکت نسبی شبکه‌ها فراهم می‌شود. در این صورت در مرز لغزنده امکان جدا شدن سلول‌ها از یکدیگر وجود دارد.

- اتصال/ جدا کردن مرز بلوک‌ها^۳: برای ایجاد شرایط باز شدن یا بسته شدن یک دریچه بکار می‌رود. به گونه‌ای که ناحیه‌های دو طرف یک مرز را می‌توان به هم متصل یا به صورت صلب مجزا نمود.



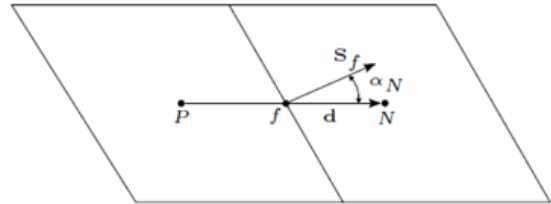
شکل ۳- شبکه حل با ۱۳ بلوک مجزا

در کار حاضر، از هر سه نوع تصحیح کننده به ترتیب برای ایجاد لایه‌های جدید، لغزش بلوک‌ها و باز و بسته شدن مجاری ورود و خروج استفاده شده است.

تعیین موقعیت لحظه‌ای سلول‌ها توسط روش دسترسی به شبکه^۴ صورت می‌گیرد. در این مقاله روش خاص اصلاح شبکه برای حرکت سیلندر و پیستون در نرم‌افزار OpenFOAM به نام مش حجم کنترلی بر مبنای توپولوژی ساده موتور^۵ به کار گرفته شده است. حلگر این روش که مطابق روابط ۲ و ۳ بر اساس معادله لاپلاس توسعه داده شده است، تجزیه کننده صفحه‌ای لاپلاس^۶ نامیده می‌شود.

$$\psi = \frac{|m|}{|d|} \quad (1)$$

عدم تعامد یکی دیگر از مشخصات مهم شبکه محسوب می‌شود. مطابق شکل ۲، زاویه بین خط واصل مراکز سلول‌ها و بردار نرمال مرز مشترک عدم تعامد نامیده می‌شود.



شکل ۲- نمایش هندسی عدم تعامد

هرچه مقدار دو کمیت فوق کمتر باشد، شبکه مناسب‌تری ایجاد شده است.

با توجه به پیچیدگی و اغتشاش جریان در موتور در این مقاله از حلگر گذرای جریان مغشوش بر مبنای روش PISO به نام SonicTurb-DyMEngine استفاده شده است. در این حلگر، مدل $k - \epsilon$ استاندارد انتخاب شده و جریان به صورت تراکم‌پذیر مدل شده است. همچنین به کارگیری المان‌های چهار ضلعی و شبکه چند بلوک که امکان ریز کردن شبکه در مناطق خاص را فراهم کرده است باعث بالا رفتن کیفیت شبکه می‌شود. همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود، محدوده حل شامل مجاری ورود و خروج، فاصله بین سوپاپ‌ها و سرسیلندر و ناحیه مجاور دیواره سیلندر و ناحیه مجاور پیستون، مجموعاً به ۱۳ بلوک مجزا تقسیم شده است.

به منظور اعمال حرکت به مرزهای شبکه که می‌تواند همراه با حذف یا اضافه کردن لایه‌های جدید همراه باشد از یک روش تصحیح شبکه^۱ استفاده می‌شود که به سه صورت انجام می‌شود:

² Sliding Mesh

³ Attach/detach Boundary

⁴ Mesh Manipulation

⁵ SimpleEnginetopoFVmesh

⁶ Laplace Face Decomposition

¹ Mesh Modifier

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \quad (11)$$

$$C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

که در آن G_k ترم تولید انرژی جنبشی بواسطه گرادیان سرعت است:

$$G_k = -\overline{\rho u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (12)$$

و G_b ترم تولید انرژی جنبشی بواسطه بویانسی است:

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (13)$$

که β ضریب انبساط گرمایی است.

همچنین Y_M ترم اتلاف انبساط است:

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2 \quad (14)$$

که M_t عدد ماخ توربولانسی است:

$$M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}} \quad (15)$$

و a سرعت صوت است.

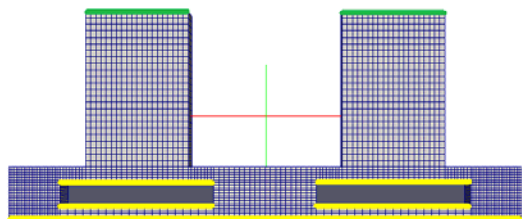
ثوابت موجود در روابط مطابق زیر هستند:

جدول ۲ - ثوابت مدل توربولانسی

$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	C_μ	σ_k	σ_ε
۱,۴۴	۱,۹۲	۰,۰۹	۱	۱,۳

۴- شرایط مرزی

شرط مرزی به کار گرفته شده برای سرعت با توجه به شکل ۴ مطابق جدول ۳ است:



شکل ۴- شرط مرزی سرعت

$$\nabla \cdot (\gamma \nabla u) = 0 \quad (2)$$

$$x_{new} = x_{old} + u \Delta t \quad (3)$$

۳- معادلات

معادلات حاکم بر جریان به ترتیب شامل معادله پیوستگی، معادله مومنتوم، معادله انرژی و معادله حالت گاز ایده آل است:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{\rho u'_i u'_j})$$

ترم مربوط به تنش‌های رینولدز با استفاده از مدل بوزینسک بیان شده است:

$$-\overline{\rho u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (6)$$

$$-\frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij}$$

که k انرژی جنبشی جریان آشفته است.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + p)] = \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(k + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i (\tau_{ij})_{eff} \right]$$

$$(\tau_{ij})_{eff} = \mu_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu_{eff} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (8)$$

که k ضریب هدایت حرارتی است.

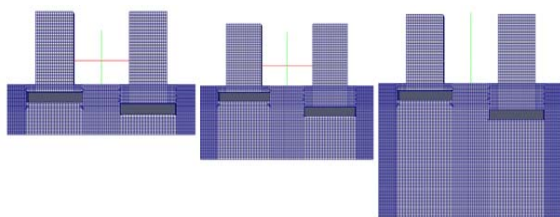
$$p = \rho RT \quad (9)$$

همچنین معادلات مربوط به مدل اغتشاشی $k - \varepsilon$ استاندارد به صورت زیر هستند:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (10)$$

$$+G_k + G_b - \rho\varepsilon - Y_M$$

می‌شود، در حین حرکت، حلگرهای تصحیح شبکه این تعداد را در حد مناسب تغییر می‌دهند. مقدار مانده معادلات مومنتم برای مؤلفه‌های سرعت و معادله بقای جرم برای توزیع فشار در حد 10^{-6} به دست آمده است. نمودار برداری میدان سرعت و کانتورهای فشار در دو دور موتور مختلف ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه در شکل‌های ۸ تا ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۷- تغییر تعداد شبکه در حین حرکت

با توجه به اهمیتی که ترتیب قرار گرفتن شکل‌ها در نتیجه‌گیری دارند، این شکل‌ها به صورت تمام صفحه آورده شده است.

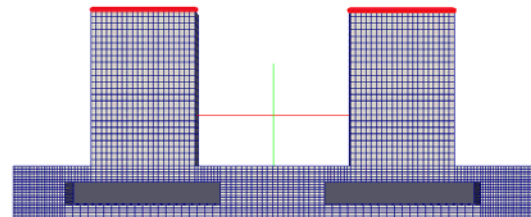
مطابق شکل ۸، توزیع سرعت در دور ۱۵۰۰ rpm برای هر یک از مراحل چهارگانه موتور سرد یعنی به ترتیب مکش، تراکم، انبساط و تخلیه در یک سطر نشان داده شده است. حداکثر سرعت در مرحله مکش در داخل سیلندر اتفاق می‌افتد و باعث چرخش شدید در محفظه می‌شود. آثار این چرخش تا اواخر تراکم در محفظه مشاهده می‌شود. اگر چه در سیال ایده‌آل مقدار چرخش ثابت می‌ماند، اما در جریان لزج به تدریج کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل عدم تقارن محوری به دلیل قرار گرفتن سوپاپ‌ها، جریان در طول تراکم نامتقارن باقی می‌ماند. بخصوص در انتهای تراکم بیشترین چرخش در مجاورت سوپاپ خروجی رخ می‌دهد. این مسئله باعث ایجاد احتراق غیر همگن می‌شود.

بعد از شرایط تقریباً همگن مرحله انبساط، مجدداً در مرحله تخلیه، شدت جریان و چرخش در مجاورت سوپاپ دود بیشتر است، که قطعاً فرسایش و تخریب در این سوپاپ را تشدید می‌کند.

جدول ۳- شرط مرزی سرعت

Moving wall velocity	
مرزهای رنگ زرد	Pressure inlet outlet velocity
مرزهای رنگ سبز	مقدار صفر
مرزهای دیگر	

شرط مرزی به کار گرفته شده برای فشار با توجه به شکل ۵ مطابق جدول ۴ است:

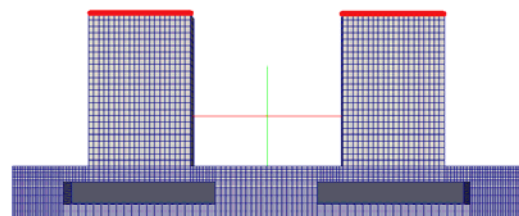


شکل ۵- شرط مرزی فشار

جدول ۴- شرط مرزی فشار

Total pressure	
مرزهای رنگ قرمز	ZeroGradient
مرزهای دیگر	

شرط مرزی به کار گرفته شده برای دما با توجه به شکل ۶ مطابق جدول ۵ است:



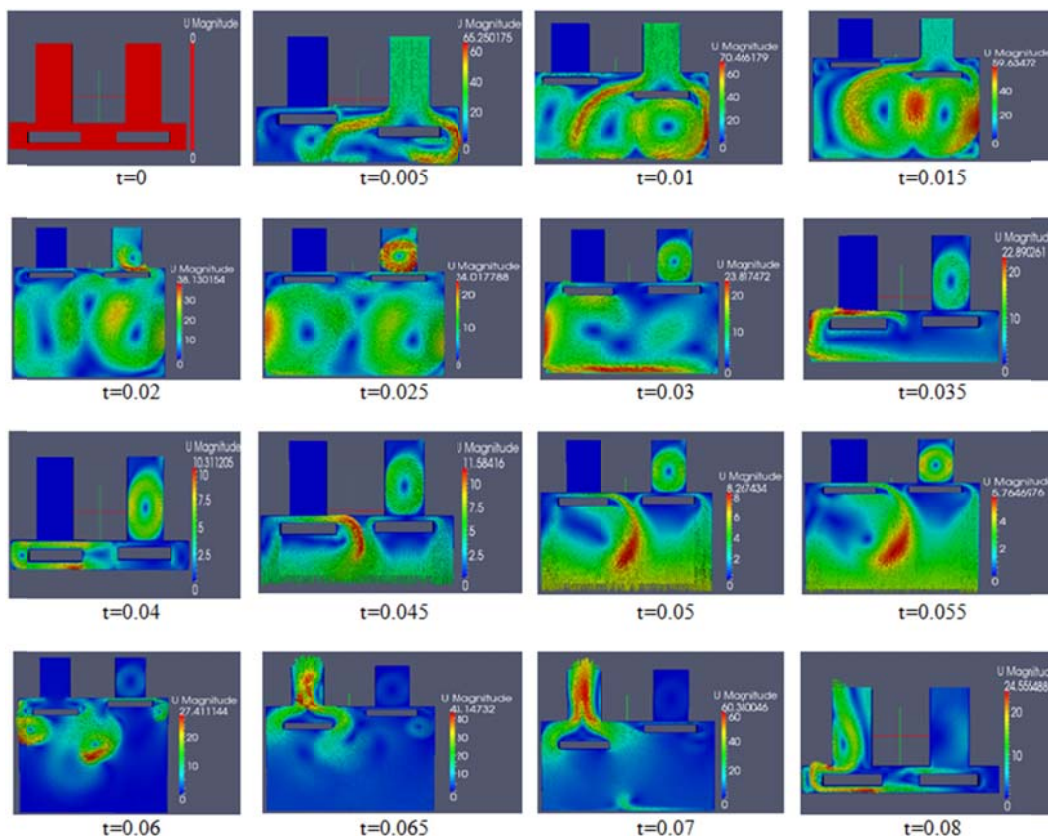
شکل ۶- شرط مرزی دما

جدول ۵- شرط مرزی دما

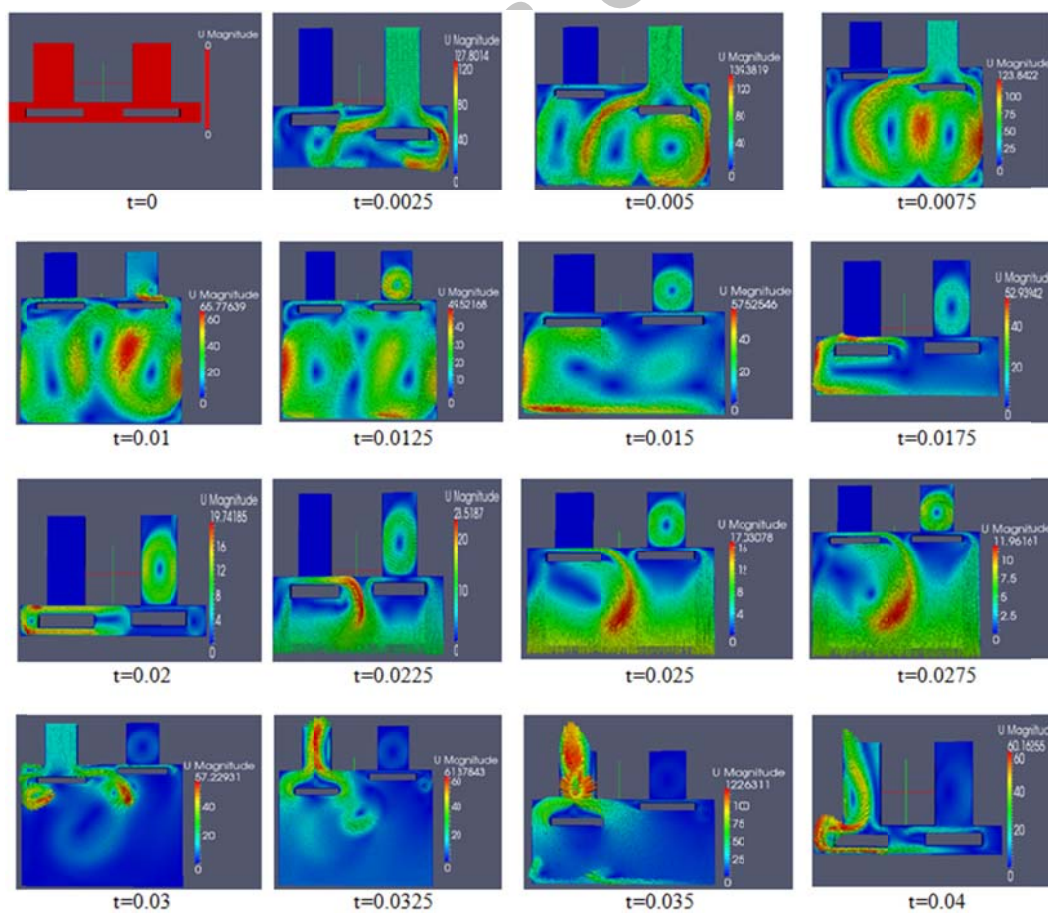
InletOutlet	
مرزهای رنگ قرمز	ZeroGradient
مرزهای دیگر	

۵- نتایج و بحث

بر اساس یک بررسی تجربی و به منظور دستیابی به مشخصه‌های قابل قبول، تعداد سلول‌های اولیه در هر بلوک تعیین شده است. همانگونه که در شکل ۷ مشاهده



شکل ۸- میدان سرعت سیال در دور ۱۵۰۰ rpm طی یک سیکل سرد در زمان‌های مختلف



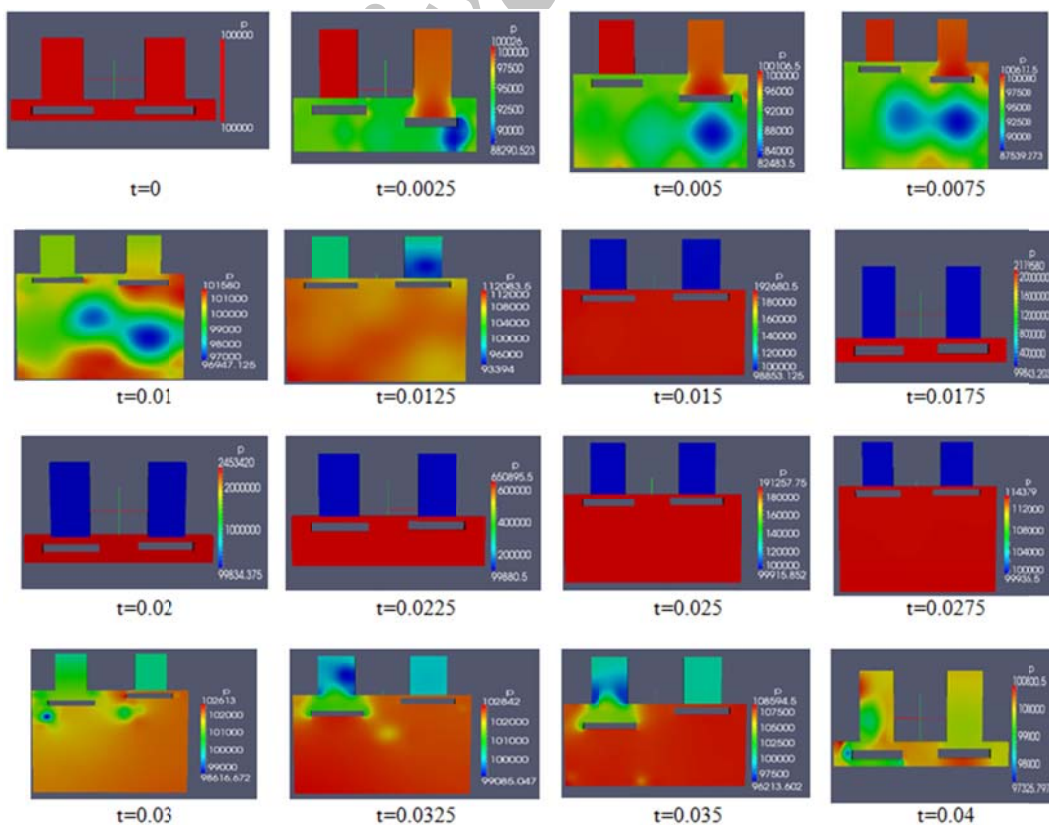
شکل ۹- میدان سرعت سیال در دور ۳۰۰۰ rpm طی یک سیکل سرد

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ توزیع فشار در داخل سیلندر را در طی یک سیکل در دو سرعت ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه نشان می‌دهند. هم‌فشاری محفظه پس از بسته شدن کامل سوپاپ‌ها آشکار است. همچنین کاهش نسبی فشار در سرعت بیشتر که علی‌رغم افزایش سرعت رخ می‌دهد نشانگر کاهش راندمان حجمی در دوره‌های بالاتر است. به عبارت دیگر، تأثیر کاهش زمان باز شدن سوپاپ‌ها بر دبی مکش بیشتر از افزایش سرعت جریان است. با کمتر شدن دبی ورودی جرم هوای ورودی در طی مکش کاهش می‌یابد و لذا در دور بالاتر، فشار سیلندر به طور نسبی کاهش می‌یابد.

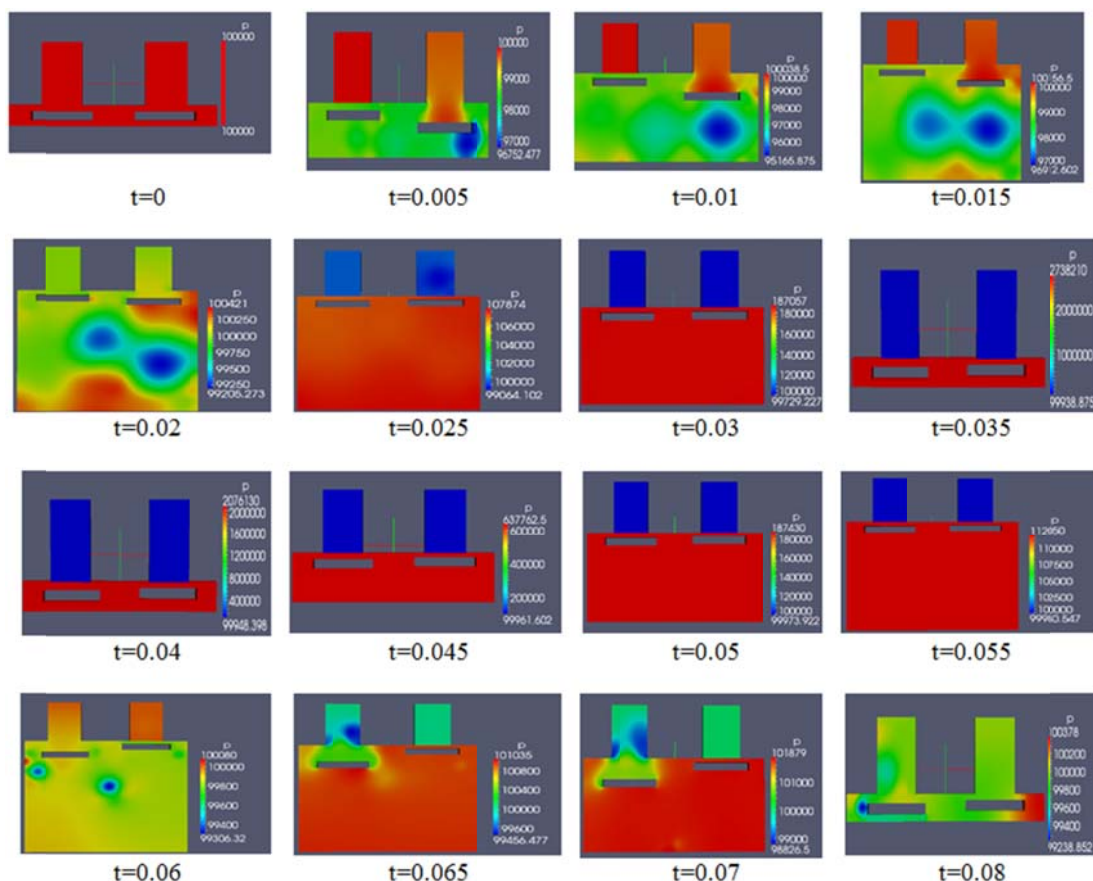
مشاهده توزیع فشار در مرحله تخلیه نشان می‌دهد که فشار در دهانه خروجی سیلندر ابتدا قدری افزایش و سپس کاهش می‌یابد. این رفتار با توجه به تغییرات سرعت پیستون در یک کورس توجیه می‌شود. ابتدا با افزایش سرعت حرکت پیستون فشار موضعی در دهانه مجرای خروج قدری زیاد می‌شود. به لحاظ تئوری، حداکثر سرعت خطی پیستون در زاویه حدود 75° در مکش و 64.5° در تخلیه رخ می‌دهد [۱۵].

در شکل ۹ توزیع سرعت مراحل چهارگانه در دور rpm ۳۰۰۰ نشان داده شده است. مقایسه شکل‌های ۸ و ۹ اثر افزایش دور را بر میدان سرعت مشخص می‌کند. سرعت جریان و میزان چرخش متناسب با دور موتور افزایش می‌یابد. در عین حال در مرحله تراکم، ساختار جریان چرخش از دو سلول چرخنده به سه سلول تغییر می‌یابد. همچنین اثر اینرسی سیال بر جریان ورودی به سیلندر در اولین نمودار مرحله تراکم نشان داده شده است. با اینکه بعد از نقطه مرگ پایینی حرکت پیستون در جهت کاهش حجم است، اما اینرسی سیال باعث می‌شود که با باز بودن سوپاپ ورودی همچنان جریان هوا به داخل سیلندر ادامه یابد. بخصوص در دور بیشتر، سرعت ورود محسوس‌تر است.

وجود گردابه تشکیل شده در دهانه مجرای خروجی در انتهای تخلیه منجر به شرایط نامتقارن در کانال خروجی می‌شود. بعلاوه، وجود آن نقش مؤثری در افزایش فشار سیلندر در مرحله تخلیه دارد. اندازه این گردابه که در اثر جدایش جریان و دنباله ایجاد شده روی لبه مجرای خروج تشکیل می‌شود را می‌توان با طراحی مناسب منیفولد دود کاهش داد.



شکل ۱۰- میدان فشار سیال در دور rpm ۱۵۰۰ طی یک سیکل سرد



شکل ۱۱- میدان فشار سیال در دور ۳۰۰۰ rpm طی یک سیکل سرد

۶- نتیجه‌گیری

است. شبکه مناسب می‌بایست چند ناحیه‌ای با قابلیت حذف/اضافه شدن لایه‌ها، لغزش در مرز ناحیه‌ها و اتصال/بستن مرزها باشد. رفتارهای فیزیکی مشاهده شده می‌تواند در بهینه‌سازی هندسه منیفولدها و کاسه پیستون به منظور ایجاد جریانی با چرخش زیاد در زمان احتراق و به دور از جدایش و دنباله در مکش و تخلیه به‌کار گرفته شود.

به کمک شبکه مناسب شبیه‌سازی جریان متناوب در موتورهای احتراق داخلی علی‌رغم پیچیدگی زیاد ناشی از: - رژیم‌های متفاوت در مکش، جریان در محفظه بسته (در تراکم و انبساط) و بالاخره در تخلیه - حرکت مرزی در پیستون و حرکت شیئی (سوپاپ) در سیال با دقت بسیار در نمایش جزئیات جریان امکان‌پذیر

مراجع

- [1] Chiodi, M. (2011), "An innovative 3D-CFD-approach towards virtual development of internal combustion engines". Strauss GMBH, Morlenbach, Germany.
- [2] Lucchini, T., D'Errico, G., Jasak, H., Tukovic, Z. (2007), "Automatic mesh motion with topological changes for engine simulation", SAE Int. Congress and Exp., Detroit, Michigan, April 16-19, Paper No. 2007-01-0170.

- [3] Kurniawan, W.H., Abdullah, S., Shamsudeen, A. (2007), "A computational fluid dynamics study of cold flow analysis for mixture preparation in a motored four stroke direct injection engine", J. Appl. Sci., Vol. 7, No. 9, pp. 2710-2724.
- [4] Jasak, H. (1996), "Error analysis and estimation in the finite volume method with applications to fluid flow". PhD Thesis, Imperial College, University of London.
- [5] Heywood, J. B. (1998), "Internal Combustion Engine Fundamentals". McGraw-Hill, International Edition, New York.

Archive of SID

ANALYSIS OF COLD FLOW IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES BY USING DYNAMIC MESH AND CHANGING TOPOLOGY

S. Ghomi^{1,*}, F.Talebi², S. Esmaili³

1. M.Sc. Student, Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
2. Faculty Member, Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
3. M.Sc. Student, Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

*Corresponding Author: sasanghomi@students.semnan.ac.ir

ARTICLE INFO

Keywords:

Numerical Method,
Cold Flow,
Internal Combustion
Engines,
Dynamic Mesh,
Changing Topology.

ABSTRACT

In this article, turbulent flow in a cycle of internal combustion engine has been analyzed by OpenFOAM software. The cycle consists of suction, compression, expansion and exhaust. A two-dimensional geometry has been used and moving boundaries in valves and piston have been simulated by using dynamic mesh. Three types of changing topology have been used which consist of add or removal layers of cells for simulation of moving piston, sliding mesh for simulation of valves and attach or detach boundaries for simulation of intake and exhaust ports. The k- ϵ standard model has been used for turbulent flow and the problem has been solved for two rotational speeds 1500 and 3000 rpm, respectively. The contours of pressure and vector plots of velocity are presented. Asymmetry of flow in exhaust port at the end of the cycle is evident. Also swirl increases due to increasing of rotational speed. Using dynamic mesh has caused achieving of flow's details. So, numerical simulation could replace difficult experimental methods.
