



اثر صفحه چرخش جریان بر احتراق و عملکرد موتور ملی تنفس طبیعی

امیر حسین حمد^{۱*}، آرش محمدی^۲، محسن محسنی راد^۳، رسول همتیان^۴، مجید سیامکی^۵

^۱ شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، a_hamad@ip-co.com

^۲ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران، amohammadi@srutu.edu

^۳ شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، m_mohsenirad@ip-co.com

^۴ شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، r_hemmatian@ip-co.com

^۵ شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، m_siamaki@ip-co.com

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱ دی ۱۳۹۶

پذیرش: ۲ اسفند ۱۳۹۶

کلیدواژه‌ها:

موتور ملی EF7

صفحه چرخش جریان

احتراق

عملکرد

چکیده

یکی از روشهایی که اثر قابل توجهی روی کاهش مصرف سوخت دارد، استفاده از صفحه چرخش جریان در راهگاه ورودی هوای موتور می باشد. صفحه چرخش جریان با افزایش چرخش هوا در ورودی موتور باعث کاهش مدت زمان احتراق و مصرف سوخت می شود. در این تحقیق اثر صفحه چرخش جریان با قابلیت تغییر زاویه در ورودی راهگاه هوا روی عملکرد موتور ملی بررسی شده است. ابتدا با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی زاویه صفحه روی مسیر مخروط پاشش سوخت، انرژی جنبشی جریان داخل سیلندر و عدد چرخش جریان بررسی شده است. سپس در اتاق آزمون عملکرد موتور توان، گشتاور، اثر زمانبندی متغیر دریچه ها، بازده تنفسی، زمانبندی جرقه، بازده حرارتی، مدت زمان احتراق، نرخ افزایش فشار، مصرف سوخت ویژه ترمزی و فشار داخل استوانه بر حسب دور موتور مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مصرف سوخت در چرخه رانندگی متداول اروپا مورد اندازه گیری قرار گرفت. نتیجه نشان می دهد که توان موتور با بکارگیری صفحه چرخان تغییری نمی کند ولی مدت زمان احتراق کاهش پیدا می کند.



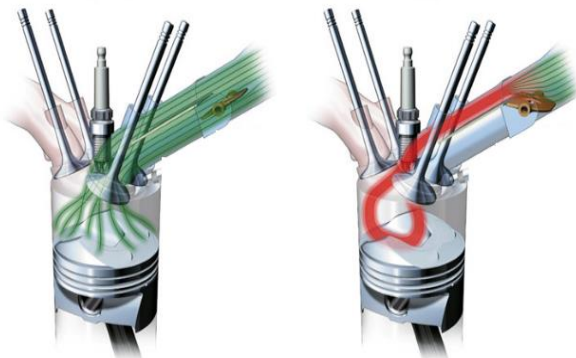
تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

این دو شرکت ادعا کرده اند که استفاده از صفحه چرخش جریان، تشکیل مخلوط سوخت و هوا داخل سیلندر را بهبود می دهد، توان و گشتاور را افزایش می دهد و این در حالی است که مصرف سوخت و آلودگی را کاهش می دهد. عملکرد آن به این صورت است که در حالت بی باری آیین صفحه بسته است. در زمانی که راننده در سرعتهای پایین شتاب می گیرد این صفحه به آرامی شروع به باز شدن می کند و با این کار تشکیل مخلوط داخل سیلندر بهبود می یابد و مدت زمان احتراق کاهش پیدا می کند.

در زمینه شبیه سازی جریان در محفظه احتراق و بررسی چرخش جریان داخل سیلندر کارهای بسیاری انجام شده است. گای و همکاران [۱] از نرم افزار فلونتت برای بهینه سازی چندراهه هوا استفاده کردند. آنها ضریب جریان را به کمک دینامیک سیالات محاسباتی و آزمایش بدست آوردند. مقایسه ای بین نتایج میز جریان و نتایج عددی اعتبار روش آنها را نشان داد. لاین [۲] از روش شبیه سازی ادیهای بزرگ جریان برای محاسبه جریانها چرخشی داخل سیلندر استفاده کردند.

در شکل (۳) صفحه چرخش جریان در خروجی چندراهه هوا بصورت شماتیک نشان داده شده است. اگر این صفحه با زاویه صفر استفاده شود (سمت چپ شکل ۳)، کارکرد موتور مشابه حالت کارکرد عادی و بدون صفحه چرخش می باشد. در حالت بار کامل و دورهای بالا بدلیل اینکه لازم است سوخت و هوای زیادی وارد سیلندر ها بشود از این حالت استفاده می شود. چنانچه این زاویه از صفر افزایش پیدا کند (سمت راست شکل ۳) سطح مقطع عبوری جریان کاهش پیدا می کند و هوا با سرعت بیشتری از بالای صفحه نسبت به پایین آن وارد محفظه احتراق می شود. این اختلاف سرعت باعث افزایش سرعت چرخش جریان عمود بر محور سیلندر می شود و باعث اختلاط بهتر سوخت و هوا می شود.



شکل ۳: صفحه چرخش جریان در ورودی راهگاه هوا

با بررسی موتورهایی که از تکنولوژی صفحه چرخش جریان در خروجی چندراهه هوا استفاده کرده اند و با بهره گیری از دانشی که در

کاهش حجم و مصرف سوخت در نسلهای جدید موتورهای احتراق داخلی بطور شفاف یک وظیفه عمده در طراحی موتورهای احتراق داخلی است. کاهش مصرف سوخت، عملکرد و آلاینده های خروجی موتور را تحت تأثیر قرار می دهد. برای رسیدن به هدف کاهش مصرف می توان از روشهای نوین و هوشمند خنک کاری در موتور استفاده کرد و یا احتراق داخل سیلندر بهبود را بهبود داد. هر چه مخلوط داخل سیلندر یکنواخت تر باشد، احتراق به احتراق همگن نزدیک می شود و آلاینده های حاصل از فرآیند احتراق در موتور کاهش پیدا می کند. یکی از روشهای نوین که تشکیل مخلوط را در محفظه بهبود می دهد و زمان احتراق را کاهش می دهد استفاده از صفحه چرخش جریان در ورودی راهگاه هوا می باشد. این صفحه در چندراهه هوای ورودی نصب می شود و از طریق یک صفحه فلزی جریان خروجی چندراهه را به دو قسمت تقسیم می کند و چون از قسمت بالایی صفحه جریان بیشتری عبور می کند چرخش جریان عمود بر محور سیلندر^۲ افزایش پیدا می کند. این ساز و کار در کمپانی های مشهوری چون آتودی و مرسدس بنز نیز به کار گرفته شده است (شکلهای ۱ و ۲).



شکل ۱: نمونه بکار گرفته شده از صفحه چرخش جریان توسط کمپانی بنز



شکل ۲: نمونه بکار گرفته شده از صفحه چرخش جریان توسط کمپانی آتودی

³ idle

¹ Tumble flap
² Tumble

تراکم پذیر روی شبکه متحرک حل شده است. از مدل آشفته $\kappa-\epsilon$ که برای جریانهایی با عدد رینولدز بالا بکار می رود به همراه قانون تابع دیوار به منظور کاهش زمان محاسبه برای محاسبه جریان در نزدیکی دیوار محفظه احتراق استفاده شده است.

پیوستگی جرم در معادله (۱) آورده شده است:

$$\frac{\partial(\rho m)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho m u) = \nabla \cdot \left[\rho D \nabla \left(\frac{\rho m}{\rho} \right) \right] + \dot{\rho}_m^c + \rho^s \delta_{m1} \quad (1)$$

که $\rho m (m^3/kg)$ چگالی گونه ρm چگالی کل، u (m/s) بردار سرعت سیال، از قانون پخش فیکس برای مدلسازی پخش سیال استفاده شده است و D ضریب پخش می باشد و δ_{m1} تابع دلتای کروئکر است. در جریان آشفته ضرایب انتقال از پخش جریان آشفته که وابسته به انرژی جنبشی آشفته و نرخ اتلاف آن است، بدست می آید.

معادلات مومنتم جریان در معادله (۲) آورده شده است:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = -\frac{1}{a^2} \nabla p - A_0 \nabla \left(\frac{2}{3} \rho k \right) + \nabla \cdot \sigma + F^s \quad (2)$$

p (kPa) فشار سیال، a یک کمیت بی بعد است که در روش مقیاس گردایان فشار (PGS) (این روش به منظور افزایش سرعت محاسبه در اعداد ماخ کم که فشار به آرامی و یکنواخت تغییر می کند) بکار گرفته می شود. A_0 در جریان آشفته برابر یک، σ تانسور تنش برشی لزجت سیال، F^s نرخ مومنتمی است که در اثر پاشش سوخت به مخلوط داخل سیلندر اضافه می شود و g بردار نیروی حجمی است.

۲-۲- مدل تلاطم

در یک موتور آشفتهگی در نتیجه فرآیندهای با سرعت بالا در چرخه موتور اتفاق می افتد. آشفتهگی جریان در یک موتور فاکتور مهمی در تعیین انتقال حرارت، مخلوط سوخت و هوا، تبخیر و احتراق می باشد. طراحان می خواهند که می خواهند که میزان آشفتهگی در نزدیکی نقطه مرگ بالا زیاد باشد. زیرا در نزدیکی نقطه مرگ بالا جرقه شمع اتفاق می افتد و جریان با آشفتهگی بالا منجر به پخش شعله سریع می شود. عواملی که در تولید آشفتهگی اثر دارد سرعت پیستون، شرایط جریان ورودی به محفظه احتراق و طراحی چندراهه هوای ورودی می باشد. استفاده از صفحه چرخش جریان یکی از ایده های طراحی می باشد که ثابت شده است آشفتهگی جریان را تحت تاثیر قرار می دهد [13, 15].

معادله انرژی جنبشی κ و نرخ اتلاف آن ϵ به شکل زیر است:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u k) = -\frac{2}{3} \rho \kappa \nabla \cdot u + \sigma : \nabla u + \nabla \cdot \left[\left(\frac{\mu}{Pr_k} \right) \nabla k \right] - \rho \epsilon + \dot{W}^s \quad (3)$$

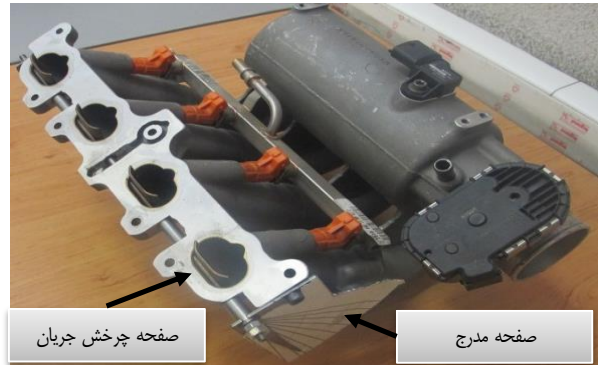
$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \epsilon) - \left(\frac{2}{3} c_{\epsilon 1} - c_{\epsilon 3} \right) \rho \epsilon \nabla \cdot u + \nabla \cdot \left[\left(\frac{\mu}{Pr_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right] + \frac{\epsilon}{k} [c_{\epsilon 1} \sigma : \nabla u - c_{\epsilon 2} \rho \epsilon + c_s \dot{W}^s] \quad (4)$$

ترم لزجت تلاطم بصورت زیر بدست می آید:

$$\mu_t = c_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (5)$$

ضرایب ثابت معادلات (۳) و (۴) بصورت زیر می باشد:

زمینه طراحی چندراهه هوا در طی سالها در مرکز تحقیقات موتور بدست آمده است، ساز و کار صفحه چرخش جریان در خروجی چندراهه هوای موتور EF7 طراحی شده است. در شکل (۴) منیفد هوای ورودی که صفحه چرخش جریان در خروجی آن نصب شده، دیده می شود. ساز و کار صفحه چرخان بگونه ای طراحی شده است توسط یک صفحه مدرج که قابلیتیکه در کنار چندراهه نصب شده است قابلیت چرخش و تنظیم زاویه دلخواه را داشته باشد. در شکل (۵) چندراهه هوا با صفحه چرخش جریان که روی موتور EF7 برای انجام آزمون نصب شده است را نشان می دهد.



شکل ۴: صفحه چرخش جریان در چندراهه هوای ورودی EF7



شکل ۵: نصب چندراهه هوا با صفحه چرخان روی موتور EF7 رای آزمون آزمایشگاهی

برای طراحی صفحه چرخش جریان در خروجی چندراهه هوای موتور EF7 ابتدا لازم است با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی اثر این صفحه روی تشکیل مخلوط و چرخش جریان داخل سیلندر بررسی شود. تا بعد از سنجش معیارهای مورد نظر روی موتور نصب شود و برای تحلیل نهایی موتور به اتاق آزمون برده شود و در آنجا عملکرد موتور بررسی شود. برای انجام شبیه سازی از نرم افزار فلوئنت استفاده شده است و عملکرد موتور در آزمایشگاه ایپکو مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- معادلات حاکم بر مدلسازی

۲-۱- جریان سیال

در این قسمت معادلات حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت بطور خلاصه بررسی می شود. معادلات ناویر استوکس سه بعدی برای جریان

ضرایب a'_{mr}, b'_{mr} که می توانند متفاوت از a_{mr} و b_{mr} ضرایب باشند، بطور تجربی تعیین می شوند. k_{br} و k_{fr} با توجه به مدل آربینوس برای شبیه سازی سینتیک شیمیایی محاسبه شده اند:

$$\begin{aligned} k_{br} &= A_{br} T^{\epsilon_{br}} \exp\{-E_{br}/T\} \\ k_{fr} &= A_{fr} T^{\epsilon_{fr}} \exp\{-E_{fr}/T\} \end{aligned} \quad (10)$$

E_{br} و E_{fr} دمای فعال سازی برای واکنش r می باشند. و حرارت آزاد شده سینتیک شیمیایی در معادله انرژی با رابطه

$$\dot{Q}^c = \sum_r Q_r \dot{\omega}_r \quad (11)$$

که Q_r منفی حرارت واکنش در دمای صفر مطلق است. توضیح کامل در مورد معادله های در مرجع [۱۲] آورده شده است.

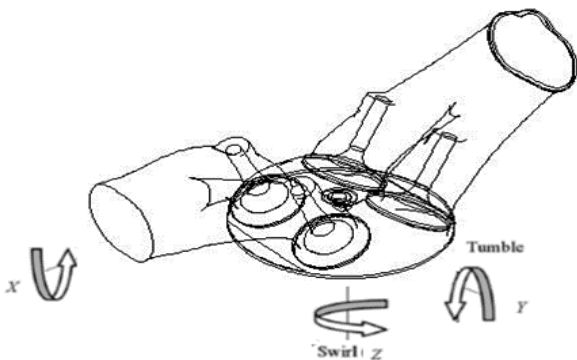
۳- چرخش جریان

چرخش جریان دارای سه مولفه می باشد، حرکت دورانی مخلوط دور محور سیلندر و حرکت آن دور دو محور عمود بر آن می باشد که به عنوان یک پارامتر تشکیل مخلوط سوخت و هوا، انتقال حرارت، کیفیت احتراق و آلودگی را تحت تاثیر قرار می دهد [۵]. در واقعیت اندازه گیری چرخش جریان در داخل سیلندر بسیار مشکل است و بر اساس نتایج آزمون میزجریان که آزمون در حالت پایا است تعیین می شود [۶].

چرخش جریان بصورت زیر بصورت بدون بعد بیان می شوند:

$$\begin{aligned} SR &= \frac{60 H_z}{2\pi I_z \omega} \\ TR_x &= \frac{60 H_x}{2\pi I_x \omega} \\ TR_y &= \frac{60 H_y}{2\pi I_y \omega} \end{aligned} \quad (11)$$

که H_x, H_y, H_z مومنتم زاویه ای گازهای داخل سیلندر در سه راستای x و y و z هستند. I_x, I_y, I_z ممان اینرسی گازهای داخل سیلندر در سه راستای x و y و z هستند. ω سرعت موتور بر حسب دور در دقیقه می باشد. در شکل (۶) بصورت شماتیک چرخش جریان حوال سه محور نشان داده شده است.



شکل ۶: شماتیک تعریف چرخش جریان tumble و swirl

$$\begin{aligned} c_{\epsilon 1} &= 1.44 ; c_{\epsilon 2} = 1.92 ; \\ c_{\epsilon 1} &= -1.0 ; Pr_k = 1.0 ; \\ Pr_{\epsilon} &= 1.3 ; c_{\mu} = 0.09 \end{aligned}$$

$c_{\epsilon 1}, c_{\epsilon 2}, c_{\epsilon 3}, Pr_{\epsilon}, Pr_k, c_{\mu}$ ضرایب ثابت هستند که بطور تجربی تعیین شده اند [۱۲].

۲-۳ مدل انرژی

بقای انرژی در معادله (۵) آورده شده است:

$$\frac{\partial(\rho I)}{\partial t} + \nabla \cdot (uI) = -p \nabla \cdot u + (1 - A_0) \sigma \cdot \nabla u - \nabla \cdot J + \dot{Q}^c \quad (5)$$

$A_0 \rho \epsilon + \dot{Q}^c + \dot{Q}^s$ انرژی داخلی ویژه و J بردار شار حرارتی مجموع انتقال حرارتها بر اثر هدایت و پخش انتالپی است. h_m انتالپی ویژه گونه m ، \dot{Q}^c (\dot{Q}^s) که در اثر برخوردهای قطرات پاشیده شده ناشی می شود.

۲-۴ تابع دیوار انتقال حرارت

از آنجا که برای محاسبه عددی در لایه مرزی شبکه باید بسیار ریز شود و این کار زمان انجام محاسبه را بسیار بالا می برد، از تابع دیوار برای کم کردن محاسبه ها و صرف جویی در زمان استفاده می شود. تابع دیوار برای جریان سیال در لایه مرزی پایا، غیر یکنواخت و دما ثابت برقرار است. بنابراین این تابع برای جریان داخل سیلندر قابل استفاده نیست. با بکار بردن راه حل تقریبی به معادله انرژی یک بعدی شامل جریان ناپایا و تراکم پذیر به همراه واکنش شیمیایی، تابع دیوار برای ضریب انتقال حرارت h ارائه شده است [۱۲]:

$$h = \frac{\rho v_l c_p}{Pr_l} \frac{F}{y} \quad (6)$$

$$F = \begin{cases} \frac{R' Pr_l^* RPR}{R' < 11.05} \\ \frac{1}{\kappa} \ln R' + B + 11.05 (Pr_l^* RPR - 1) & R' > 11.05 \\ 1.0 \end{cases}$$

$$R' = \frac{c_{\mu}^{0.25} k^{0.5} y}{v_l}$$

۲-۴ احتراق

واکنش های شیمیایی که در داخل سیلندر اتفاق می افتد به شکل زیر است:

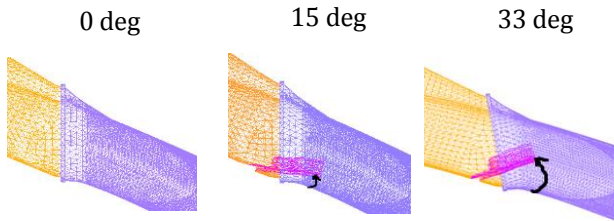
$$\sum_m a_{mr} x_m \leftrightarrow \sum_m b_{mr} x_m \quad (8)$$

x_m یک مول از گونه شیمیایی m و a_{mr} و b_{mr} ضرایب استوکیومتری برای گونه m در واکنش r می باشد. نرخ واکنشهای سینتیک $\dot{\omega}_r$ برای واکنش r به شکل زیر تعریف می شود:

$$\dot{\omega}_r = k_{fr} \prod_m (\rho_m / W_m)^{a'_{mr}} - k_{br} \prod_m (\rho_m / W_m)^{b'_{mr}} \quad (9)$$

۴- تولید شبکه محاسباتی

قبل از شبیه سازی عددی، شبکه محاسباتی محافظه احتراق موتور با استفاده از نرم افزار ایجاد شبکه نرم افزار انسیس ایجاد شده است. در هنگام فرآیند حل وقتی پیستون حرکت می کند، ساختار داخلی شبکه بطور خودکار تغییر می کند و به این ترتیب حرکت پیستون شبیه سازی می شود. تعداد کل سلولهای شبکه از حدود ۱۷۰۰۰۰۰۰ در نقطه مرگ پایین به حدود ۸۰۰۰۰۰ در نقطه مرگ بالا تغییر می کند. شکل (۷) هندسه محاسباتی را در نقطه مرگ بالا نشان می دهد. در جدول ۲ مقایسه ای بین تعداد گره های شبکه و فشار بیشینه و زاویه میل لنگ متناظر آن انجام شده است. این جدول نشان می دهد که نتیجه های بدست آمده مستقل از تعداد گره ها می باشد زیرا با افزایش تعداد گره ها از ۸۰۰۰۰۰ به ۹۵۰۰۰۰ تغییر در نمودار فشار دیده نمی شود. مشخصات فنی موتور EF7 در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۸: صفحه چرخش جریان در سه زاویه ۰ درجه (بدون صفحه)، ۱۵ درجه و ۳۳ درجه

زاویه حداکثر ۳۳ درجه با توجه به این انتخاب شده است که انتخاب زاویه بیش از این مقدار ضریب جریان را به شدت کاهش می دهد و از این رو سوخت و هوایی که وارد سیلندر می شود به شدت کاهش پیدا می کند.

جدول ۲: تغییر تعداد گره ها

اندازه شبکه در نقطه مرگ پایین	بیشینه فشار چرخه (مگاپاسکال)	زاویه لنگ فشار بیشینه (درجه)
۳۵۰۰۰۰	۶/۶	۳۸۱
۵۰۰۰۰۰	۷/۱	۳۸۰
۸۰۰۰۰۰	۷/۴	۳۷۷
۹۵۰۰۰۰	۷/۴	۳۷۷

۵- شرایط مرزی شبیه سازی موتور

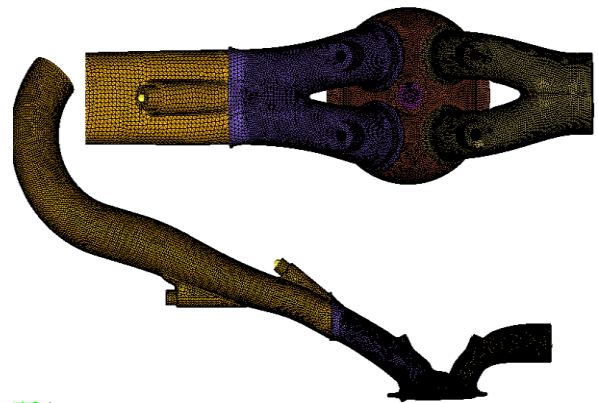
در شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی محافظه احتراق موتور EF7 به شرایط مرزی در ورودی رانر هوا، خروجی دود از راهگاه خروجی و پاشش سوخت نیاز است. داده های لازم از حل مدار عملکرد یک بعدی به کمک نرم افزار GTpower بدست آمده است. شرایط مرزی مربوط به شرایط کارکرد موتور ۲۰۰۰ دور در دقیقه و ۲ بار می باشد. این شرط کارکرد با توجه به این انتخاب شده است که در حالت بار جزئی کارکرد موتور جریان برگشتی گازهای حاصل از احتراق چرخه قبل به راهگاه هوای ورودی اتفاق می افتد و همچنین بیشترین اثر مثبت صفحه چرخش جریان در حالت بار جزئی و در دورهای کم موتور است. شکل (۹) بلندشدگی سوپاپ هوا و دود بر حسب زاویه میل لنگ می باشد.

شکل های (۱۰) و (۱۱) فشار و دمای هوای ورودی رانر بر حسب زاویه میل لنگ را نشان می دهد که از تحلیل یک بعدی بدست آمده است. در شکل (۱۰) نوسانات فشار دیده می شود که به علت موجهای رفت و برگشتی فشار می باشد. افزایش دمای ناگهانی تا نزدیک ۹۰۰ کلوین در شکل (۱۱) به علت برگشت گازهای داخل محافظه احتراق به راهگاه ورودی می باشد که زمینه ای را برای احتراق فراهم نمی کند. چون این گازهای حاصل از احتراق دمای بالایی دارند، به تبخیر سوخت در

جدول ۱: مشخصه های فنی موتور

قطر پیستون	۷۸/۶ میلی متر
طول کورس پیستون	۸۵ میلی متر
نسبت تراکم	۱۱
حجم جابجایی	۱۶۴۶ CC
طول شاتون	۱۳۳/۵
قطر سوپاپ هوا	۳۰ میلی متر
قطر سوپاپ دود	۳۰ میلی متر
سوخت	بنزین
زمان جرقه شمع	۳۲ BTDC

در شکل (۸) شبکه محاسباتی و موقعیت صفحه چرخش جریان نشان داده شده است. سه موقعیت زاویه ای در شکل (۸) نشان داده شده است، زاویه صفر (بدون صفحه چرخش جریان)، زاویه ۱۵ درجه و ۳۳ درجه برای صفحه چرخش جریان نشان داده شده است.



شکل ۷: شبکه محاسباتی در نقطه مرگ بالا

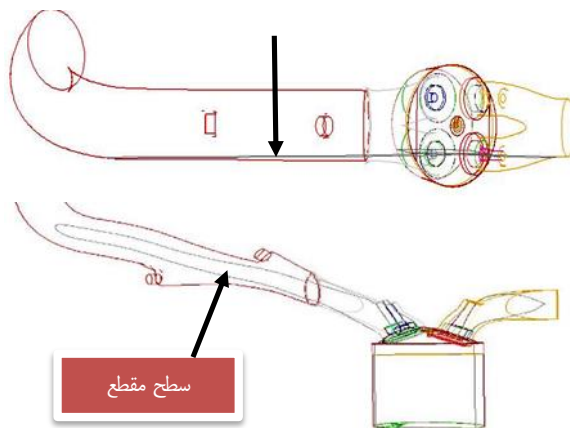
۶- اعتبار سنجی نتایج

در جدول (۴) مقایسه ای بین نتایج آزمایشگاهی و عددی مقدار هوای داخل سیلندر انجام شده است. مقدار هوای ورودی داخل سیلندر ۲۰۷ میلی گرم بر چرخه می باشد که شبیه سازی سه بعدی نرم افزار فلونتت و نتایج آزمایشگاهی اعداد یکسانی را نشان می دهند. در مورد مقدار سوخت تبخیر شده داخل سیلندر نتایج آزمایشگاهی عدد ۱۴/۷۳ میلی گرم بر چرخه و نتایج آزمایشگاهی عدد ۱۴ میلی گرم را نشان می دهد که پنج درصد خطا بین نتایج عددی و آزمایشگاهی وجود دارد. علت خطا مرتبط به مدل های تبخیر سوخت و لایه سوخت روی سطح چندراهه هوا در نرم افزار فلونتت می باشد.

جدول ۴: مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی هوا و سوخت داخل سیلندر

متغیر	تجربی	شبیه سازی
مقدار هوای داخل استوانه (mg/cycle)	۲۰۷	۲۰۷
مقدار سوخت داخل استوانه (mg/cycle)	۱۴,۷۳	۱۴,۰

در شکل (۱۲) سطح مقطعی که از میان سوپاپ هوا عبور می کند نشان داده شده است. تمامی کانترهای شبیه سازی در این صفحه بررسی شده است.

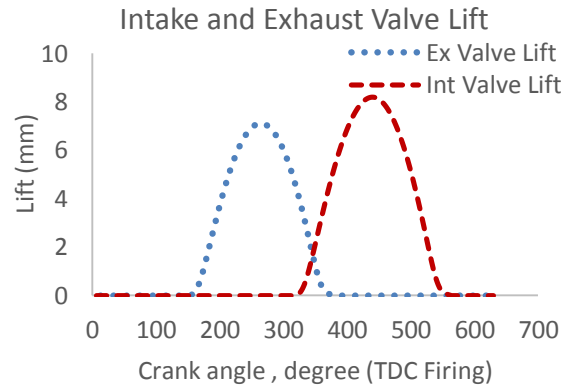


شکل ۱۲: نمای صفحه برش زده شده از میان سوپاپ هوا

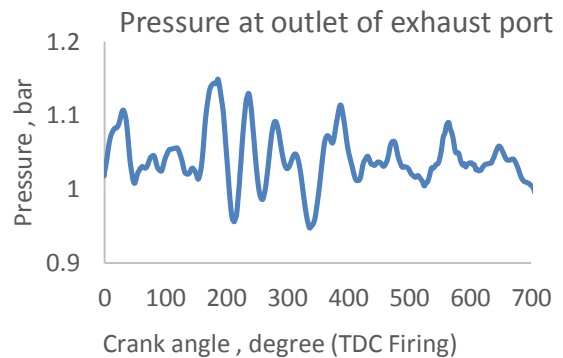
۷- بحث در نتایج دینامیک سیالات محاسباتی

در شکل های (۱۳) و (۱۴) دمای قطرات پاشیده شده سوخت در حالت پایه (بدون چرخش جریان) و در حالت زاویه ۳۳ درجه برای صفحه جریان در انتهای زمان پاشش (۲۰۰ درجه میل لنگ) نشان داده شده است. دمای قطرات سوخت ۳۳۰ کلوین می باشد که این مقدار با توجه به نتایج آزمایشگاهی در نظر گرفته شده است. چون تبخیر سوخت انرژی از قطرات می گیرد دمای قطرات در انتهای مخروط پاشش با یک درجه کاهش همراه است. با مقایسه شکل های (۱۳) و (۱۴) روشن است که در انتهای زمان پاشش قطرات سوخت به صفحه چرخش جریان برخورد نمی کند و دمای قطرات در دو حالت یکسان است.

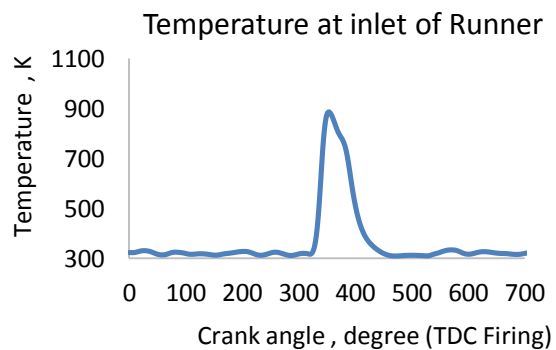
راهگاه هوای ورودی و تشکیل مخلوط کمک می کند. دمای روی پیستون ۵۲۴ کلوین، سیلندر ۴۹۰ کلوین و دمای سرسیلندر ۵۱۶ کلوین در نظر گرفته شده که این مقادیر از نتایج تجربی بدست آمده است [۷]. در جدول (۳) داده های پاشش سوخت در دور ۲۰۰۰ د.د.د و ۲ بار آورده شده است.



شکل ۹: بلند شدگی سوپاپ هوا و دود بر حسب زاویه میل لنگ



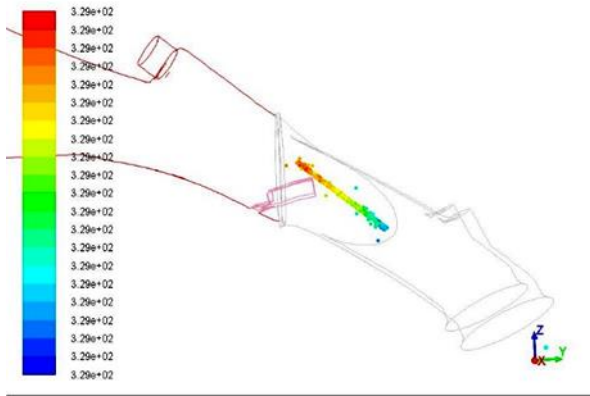
شکل ۱۰: فشار هوای ورودی رانر بر حسب زاویه میل لنگ



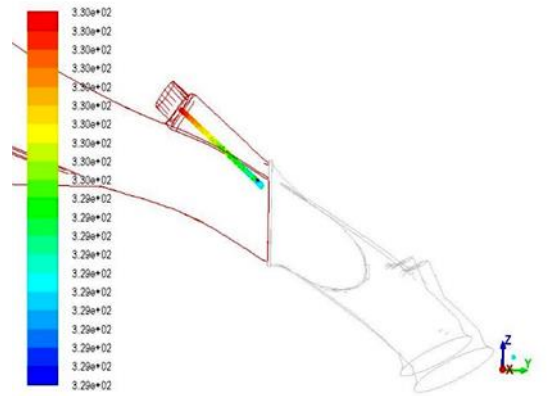
شکل ۱۱: دمای هوای ورودی رانر بر حسب زاویه میل لنگ

جدول ۳: داده های پاشش سوخت

زمان شروع پاشش	۱۲۵/۷ درجه
زمان پایان پاشش	۲۰۰ درجه
دبی جرمی پاشش سوخت	۰/۰۰۰۷۷ کیلوگرم بر ثانیه
دمای قطرات سوخت	۳۳۰ کلوین



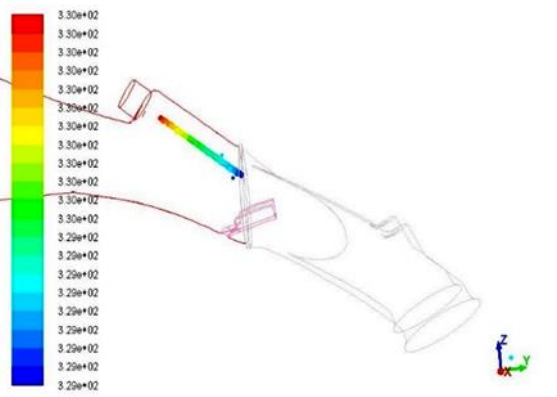
شکل ۱۶: دمای قطرات سوخت در زاویه ۳۰۰ درجه میل لنگ با صفحه چرخش جریان در زاویه ۳۳ درجه



شکل ۱۳: دمای قطرات سوخت در زاویه ۲۰۰ درجه میل لنگ در حالت پایه (بدون صفحه چرخش جریان)

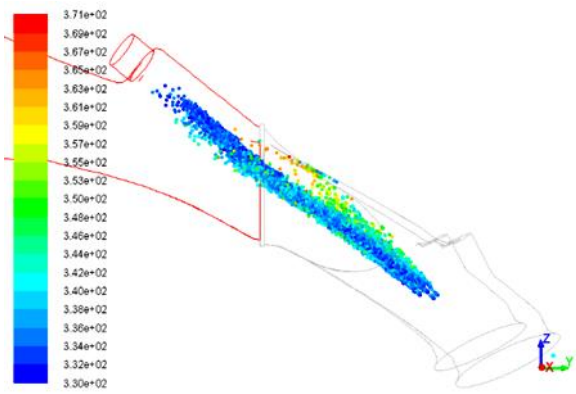
بنابراین با زاویه ۳۳ درجه که بیشترین زاویه ای بوده است که برای صفحه چرخش جریان در نظر گرفته شده است، برخوردی میان قطرات سوخت و صفحه چرخش جریان وجود ندارد.

در شکل های (۱۷) و (۱۸) دمای قطرات پاشیده شده سوخت در حالت پایه (بدون صفحه چرخش جریان) و در حالت زاویه ۳۳ درجه برای صفحه جریان در زاویه ۳۶۰ درجه میل لنگ نشان داده شده است. در این زاویه سوپاپ هوا در حال باز شدن می باشد و چون موتور در حالت بار جزئی کار می کند بنابراین جریان برگشتی از گازهای داغ حاصل از احتراق به داخل پورت ورودی هوا اتفاق می افتد. این جریان برگشتی می تواند به تبخیر سوخت کمک کند. اگر دو شکل (۱۷) و (۱۸) را با هم مقایسه کنیم مشخص است که در حالت وجود صفحه چرخش جریان، قطرات سوخت دمای بیشتری دارند و بنابراین سریعتر نسبت به حالت پایه تبخیر می شوند. دلیل آن این است که به علت وجود صفحه چرخش جریان سرعت گازهای داغ برگشتی به داخل پورت هوا افزایش پیدا می کند و نفوذ گازهای داغ به رانر هوای ورودی افزایش پیدا می کند.

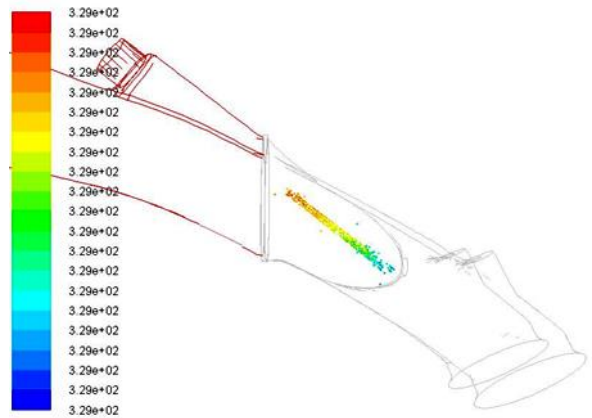


شکل ۱۴: دمای قطرات سوخت در زاویه ۲۰۰ درجه میل لنگ با صفحه چرخش جریان در زاویه ۳۳ درجه

در شکل های (۱۵) و (۱۶) دمای قطرات پاشیده شده سوخت در حالت پایه (بدون صفحه چرخش جریان) و در حالت زاویه ۳۳ درجه برای صفحه جریان در زاویه ۳۰۰ درجه میل لنگ نشان داده شده است. این زاویه از این نظر مورد توجه می باشد که قطرات سوخت از روی صفحه چرخش جریان (شکل ۱۰) عبور می کنند.

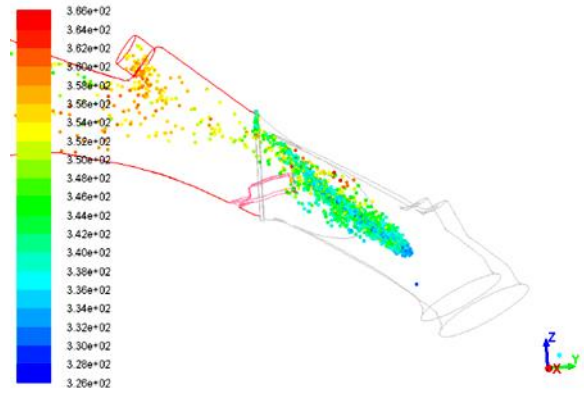
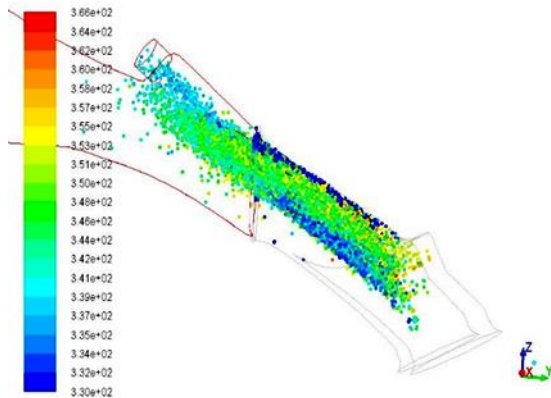


شکل ۱۷: دمای قطرات سوخت در زاویه ۳۶۰ درجه میل لنگ در حالت پایه (بدون صفحه چرخش جریان)



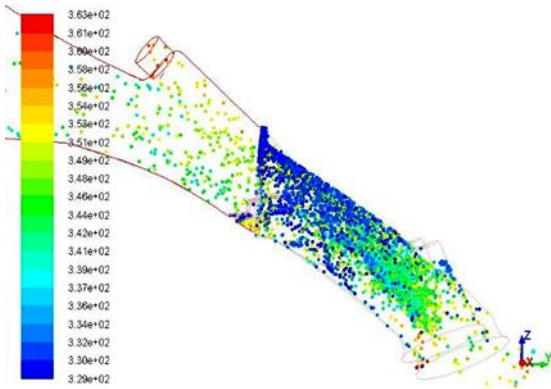
شکل ۱۵: دمای قطرات سوخت در زاویه ۳۰۰ درجه میل لنگ در حالت پایه (بدون صفحه چرخش جریان)

تامبل در دور ۲۰۰۰ د.د.د و فشار ۲ بار مربوط به زاویه صفر (بدون صفحه چرخش) و بیشترین آن مربوط به زاویه ۱۵ درجه می باشد.



شکل ۱۸: دمای قطرات سوخت در زاویه ۳۶۰ درجه میل لنگ با صفحه چرخش جریان در زاویه ۳۳ درجه

شکل ۱۹: دمای قطرات سوخت در زاویه ۴۴۵ درجه میل لنگ در حالت پایه (بدون صفحه چرخش جریان)



شکل ۲۰: دمای قطرات سوخت در زاویه ۴۴۵ درجه میل لنگ با صفحه چرخش جریان در زاویه ۳۳ درجه

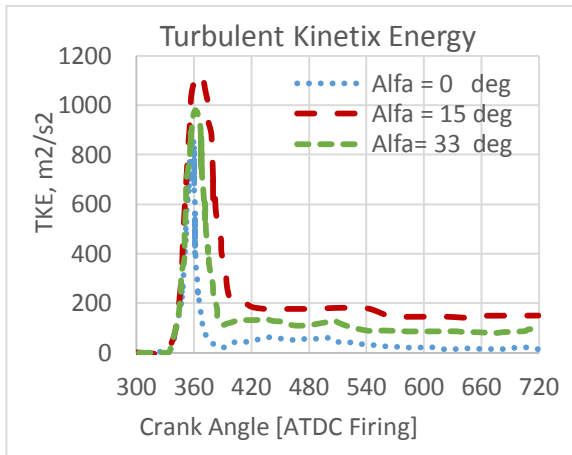
در شکل (۲۲) نمودار انرژی جنبشی داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ برای سه زاویه برای صفحه چرخش جریان (۰، ۱۵ و ۳۳) آورده شده است. با توجه به نمودار دیده می شود. با باز شدن سوپاپ هوا (۳۳ درجه) و ورود مخلوط سوخت و هوا با سرعت زیاد به داخل سیلندر انرژی جنبشی گازهای داخل سیلندر بطور ناگهانی افزایش می کند. در نقطه مرگ بالا در زمان قیچی سوپاپ (۳۶۰ درجه) به بیشترین مقدار خود می رسد. سپس مقدار آن کاهش پیدا می کند که علت آن افزایش حجم سیلندر و کاهش انرژی جنبشی جریان داخل سیلندر می باشد. در زمانی که سوپاپ هوا به بیشینه بلندشدگی خود می رسد (۴۵۰ درجه)، انرژی جنبش به کمینه مقدار خود می رسد. از ۴۵۰ درجه تا ۵۴۰ درجه که نقطه مرگ پایین است، تغییر چندانی نمی کند. از ۴۵۰ درجه افت کمی در انرژی جنبشی دیده می شود که علت آن بسته شدن سوپاپ هوا و حرکت رو به بالای پیستون می باشد. بعد از زاویه ۵۹۰ درجه تا

در شکل های (۱۹) و (۲۰) دمای قطرات پاشیده شده سوخت در حالت پایه (بدون صفحه چرخش جریان) و در حالت زاویه ۳۳ درجه برای صفحه جریان در زاویه ۴۴۵ درجه میل لنگ نشان داده شده است. در این زاویه سوپاپ هوا در بیشترین میزان باز شدگی خود است می باشد. در این حالت جریان از داخل پورت به داخل محفظه احتراق وارد می شود. در این حالت نیز به علت وجود صفحه جریان سرعت بعد از صفحه چرخش جریان افزایش پیدا می کند. اگر دو شکل (۱۹) و (۲۰) با هم مقایسه شوند، مشخص است که قطرات بیشتری در حالت صفحه چرخان به سمت نصب به حالت پایه وارد محفظه احتراق می شوند و در ضمن پخش قطرات در پورت ورودی هوا بهتر انجام می شود. بنابراین با وجود صفحه چرخان انتظار تشکیل مخلوط بهتری در داخل سیلندر را داریم.

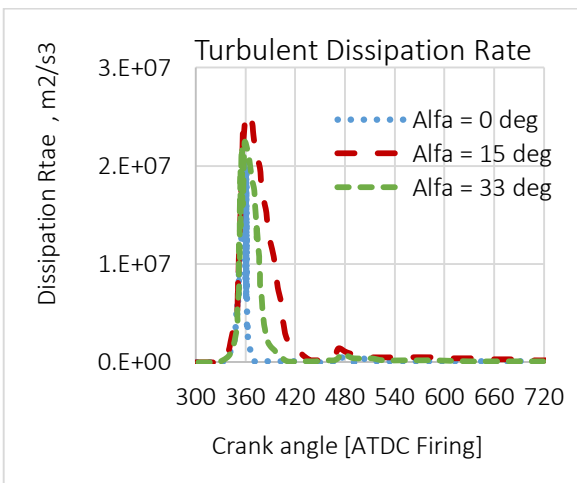
در شکل (۲۱) نمودار عدد چرخش جریان^۱ بر حسب زاویه میل لنگ برای سه زاویه برای صفحه چرخش جریان (۰، ۱۵ و ۳۳) آورده شده است. این عدد نسبت سرعت میانگین چرخش جریان به سرعت موتور می باشد. زاویه ۳۶۰ درجه (نقطه مرگ بالا در حالت قیچی سوپاپ) می باشد. با باز شدن سوپاپ هوا جریان به داخل سیلندر وارد می شود و بنابراین عدد تامبل شروع به افزایش می کند. در ابتدا چون جریان برگشتی از داخل سیلندر به راهگاه ورودی هوا داریم، این عدد منفی است. با افزایش بازشدگی سوپاپ جریان از راهگاه هوا وارد محفظه احتراق می شود و بنابراین مقدار آن مثبت می شود. و حداکثر مقدار آن در زاویه ۴۴۵ درجه است که مطابق با حداکثر بازشدگی سوپاپ هوا می باشد. سپس با حرکت رو به پایین پیستون هر چند سوپاپ هوا باز است، مقدار آن کاهش پیدا می کند و به مقدار ۰/۷۶. در زاویه ۵۴۹ درجه (۹ درجه بعد از نقطه مرگ پایین) می رسد. بعد از این نقطه به علت حرکت رو به بالای پیستون مقدار آن به ۰/۷۷. افزایش پیدا می کند. در زاویه ۵۷۲ درجه سوپاپ هوا بسته می شود. عدد چرخش برای سه زاویه صفحه چرخش ۰، ۱۵ و ۳۳ در نمودار آورده شده است. کمترین عدد

¹ Tumble Number

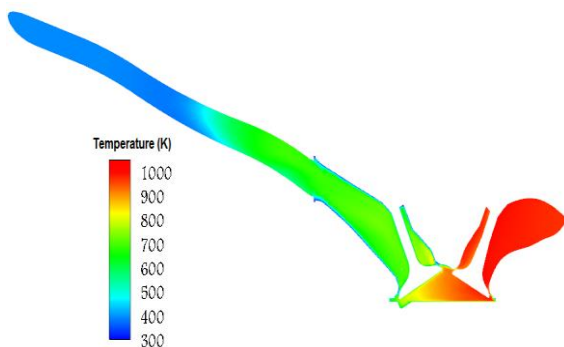
سیلندر دما در راهگاه و اثر هوای ورودی افزایش پیدا می کند و به حدود ۵۰۰ کلوین می رسد که در شکل (۲۴) دیده می شود.



شکل ۲۲: نمودار انرژی جنبشی جریان داخل سیلندر در مقابل زاویه میل لنگ در شرایط ۲۰۰۰ د.د.د و فشار ۲ بار

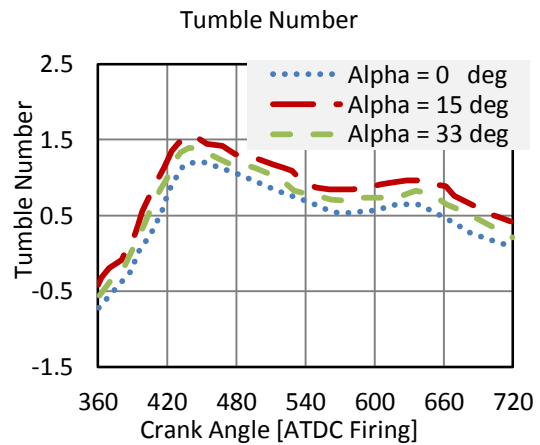


شکل ۲۳: نمودار اتلاف انرژی جریان داخل سیلندر در مقابل زاویه میل لنگ در شرایط ۲۰۰۰ د.د.د و فشار ۲ بار



شکل ۲۴: کانتور دما در زاویه ۳۶۰ درجه میل لنگ در حالت پایه (بدون صفحه چرخش جریان)

۷۲۰ درجه (انتهای تراکم) تغییر در انرژی جنبشی تلاطم دیده نمی شود. که علت آن این است که در اثر حرکت رو با بالای پیستون به سیال انرژی داده می شود و از طرفی به علت لزجت سیال و کاری که توسط آن انجام می شود، انرژی جنبشی تلف می شود، بنابراین برآیند آن بگونه ای است که انرژی جنبشی سیال تغییر نمی کند. در شکل (۲۲) انرژی جنبشی سیال برای سه زاویه صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵ و ۳۳ درجه نشان داده شده است. زاویه ۱۵ درجه بیشترین مقدار انرژی جنبشی را برای نسبت به دو زاویه ۰ و ۳۳ درجه را برای دور ۲۰۰۰ دور در دقیقه و بار ۲ بار دارد.



شکل ۲۱: عدد چرخش جریان (عدد تامل) در مقابل زاویه میل لنگ در شرایط ۲۰۰۰ د.د.د و فشار ۲ بار

در شکل (۲۳) نمودار اتلاف انرژی جنبشی جریان در مقابل زاویه میل لنگ آورده شده است. بیشتریت اتلاف انرژی جنبشی جریان در زمان باز شدن سوپاپ هوا اتفاق می افتد. زیرا سرعت با ورود هوا با داخل سیلندر بطور ناگهانی افزایش پیدا می کند. بنابراین کار نیروهای لزجت سیال باعث اتلاف انرژی می شود و رفتار آن بطور دقیق رفتار انرژی جنبشی سیال را دارد. در لحظه ای که سوپاپ هوا به بیشینه بلند شدگی خود می رسد و سرعت هوای ورودی به بیشترین مقدار می رسد، بیشینه اتلاف انرژی جنبشی را داریم. با بسته شدن سوپاپ هوا مقدار اتلاف انرژی سیال به حداقل خود می رسد که علت آن کم بودن سرعتهای داخل محفظه احتراق است.

در شکل‌های (۲۴) و (۲۵) کانتور دما در زاویه ۳۶۰ درجه (قیچی سوپاپ) در حالت بدون صفحه چرخش جریان و در حالت وجود صفحه چرخش جریان (۳۳ درجه) نشان داده شده است. در زاویه ۳۲۰ درجه سوپاپ هوا باز می شود و به علت اینکه فشار هوای داخل سیلندر کمتر از فشار هوا در راهگاه هوا می باشد جریان برگشتی از گازهای داخل سیلندر به راهگاه هوا اتفاق می افتد. گازهای داخل سیلندر در اثر احتراق چرخه قبل دمای آن حدود ۹۰۰ کلوین در نقطه مرگ بالا است و دمای هوای راهگاه هوا حدود ۳۲۰ کلوین می باشد. در اثر ورود گازهای داغ داخل

بعد از بررسیهای که روی نتایج شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی انجام شد بنظر می رسد که صفحه چرخش جریان می تواند در سرعت و بار کم روی موتور اثر مثبتی روی تشکیل مخلوط داخل سیلندر داشته باشد. از این رو برای بررسی نهایی لازم است اثر صفحه چرخش جریان در اتاق آزمون آزمایشگاه انجام شود.

۸-آزمون با ساز و کار صفحه چرخش جریان

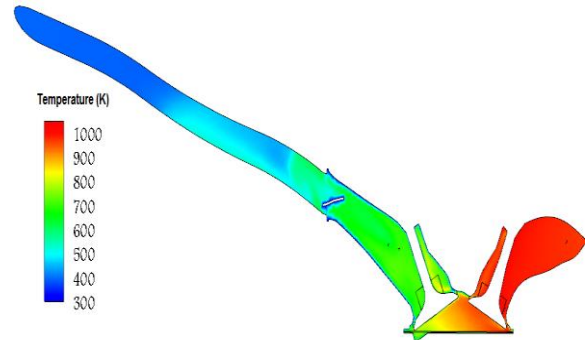
پس از انجام شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی و انجام آزمایش روی نمونه چندراهه هوای ساخته شده به همراه صفحه چرخش جریان در آزمایشگاه میز جریان که نشان داد معیارهای لازم برای نمونه ساخته شده وجود دارد، به انجام آزمون در اتاق آزمون موتور پرداخته می شود. این آزمایش عملکرد موتور در اتاق آزمون آزمایشگاه مرکز تحقیقات موتور انجام شده است.

۸-۱- شرایط آزمون

این آزمون در شرایط مرزی با فشار سطح دریا ۱,۰۱۳۲۵، اتمسفر و با کنترل دمای هوای ورودی بین ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد انجام گردیده است در این مطالعه بررسی نقاط تمام بار با استفاده از سامانه صفحه چرخش جریان در سه حالت دربیچه کاملاً باز، با دربیچه ثابت (معادل پورت high tumble) و با دربیچه متغیر (tumble flap) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. همچنین نقاط چرخه NEDC (معادل چرخه شهری و برون شهری یا مصرف سوخت ترکیبی خودرو) نیز که در ۱۱ نقطه کاری شبیه سازی گردیده است جهت ارزیابی مصرف سوخت با استفاده از سامانه (tumble flap) و در سه حالت مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل (۲۸) نمای اتاق آزمون موتور که در آن عملکرد موتور مورد بررسی قرار گرفته است، دیده می شود.



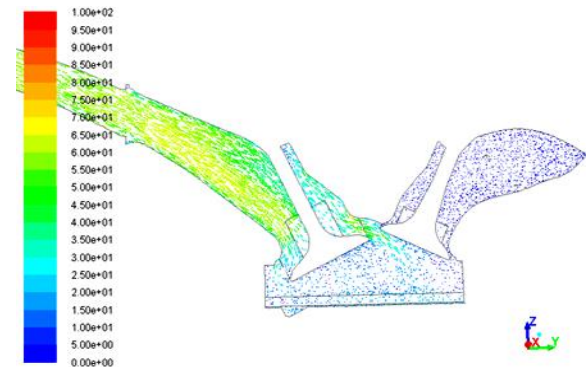
شکل ۲۸: نمای اتاق آزمون موتور EF7



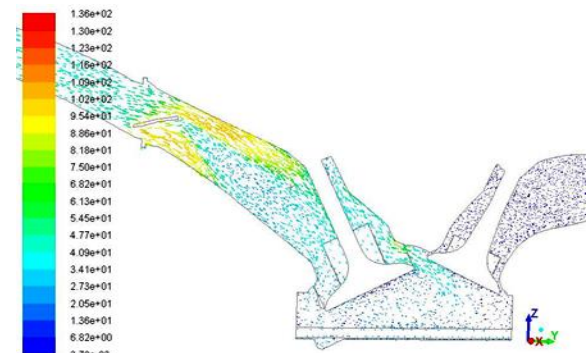
شکل ۲۵: کانتور دما در زاویه ۳۶۰ درجه میل لنگ (با صفحه چرخش جریان در زاویه ۳۳ درجه)

در شکل (۲۵) کانتور دما با صفحه چرخش جریان دیده می شود. همانطور که دیده می شود در اثر افت فشار ناشی از وجود صفحه چرخش جریان گازهای برگشتی کمتر از حالت شکل (۲۴) به داخل رانر نفوذ می کند و همین علت زمینه را برای تبخیر قطرات سوخت در راهگاه هوای ورودی فراهم می کند.

در شکل (۲۶) و (۲۷) بردارهای سرعت در زاویه ۴۰۰ درجه میل لنگ (۴۰ درجه بعد از قیچی سوپاپ) در حالت بدون صفحه چرخش جریان (زاویه صفر) و در حالت وجود صفحه چرخش جریان (۳۳ درجه) نشان داده شده است. در این زاویه سوپاپ هوا به بیشینه بلندشدگی نزدیک می شود. با مقایسه این دو شکل اثر صفحه چرخش جریان روی مخلوط سوخت که از داخل راهگاه هوا به سیلندر وارد می شود، دیده می شود.



شکل ۲۶: بردار سرعت در زاویه ۴۰۰ درجه میل لنگ در حالت پایه



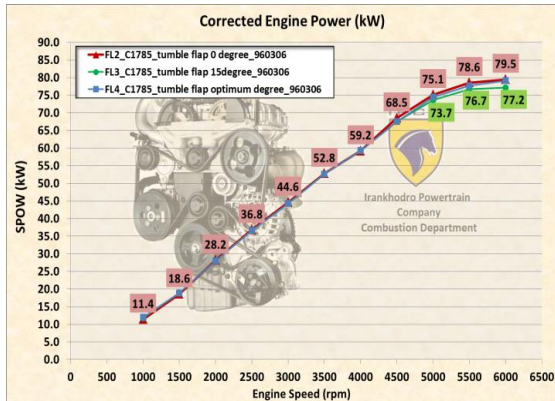
شکل ۲۷: بردار سرعت در زاویه ۴۰۰ درجه میل لنگ (با صفحه چرخش جریان در زاویه ۳۳ درجه)

۸-۳ نتایج آزمون موتور

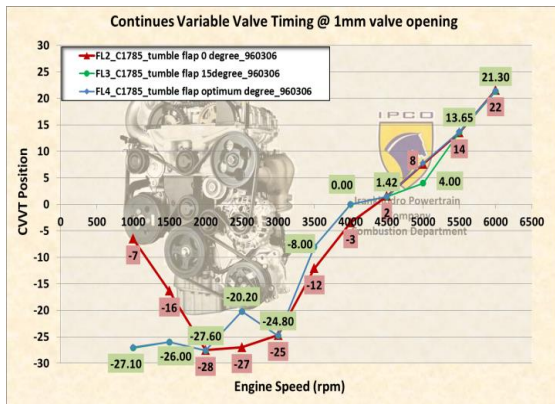
در شکل (۳۰) نمودار گشتاور موتور بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و ۳۰ درجه بهینه آورده شده است. همانطور که در شکل (۳۰) مشخص است میزان اثر بخشی افزایش tumble در سرعت های کم با توجه به پایین بودن سرعت پیشروی شعله در این نقاط بیشتر خواهد بود چرا که این افزایش tumble منجر به کوتاه شدن زمان احتراق و متعاقب آن بهبود احتراق و افزایش سرعت شعله در این نقاط می گردد. این امر منجر به بهبود گشتاور موتور در سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و در حدود ۵ نیوتن متر گردیده است. در سرعت های بالاتر با توجه به اینکه با افزایش tumble مقدار ضریب جریان کاهش میابد میزان گشتاور موتور نیز بهبودی نخواهد داشت. در صورت افزایش tumble بصورت غیر قابل تغییر (استفاده از پورت high tumble) افت گشتاور موتور تا ۵ نیوتن متر در سرعت ۶۰۰۰ د.د.د قابل مشاهده است. در شکل (۳۰) نمودار توان موتور بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و ۳۰ درجه بهینه آورده شده است. همانطور که در شکل دیده می شود توان موتور همواره با دور افزایش پیدا کرده است. بر خلاف گشتاور بر حسب دور توان موتور بر حسب دور تغییر قابل توجهی نکرده است. فقط در دور ۵۰۰۰ د.د.د تا ۶۰۰۰ د.د.د اندکی کاهش توان دیده می شود.



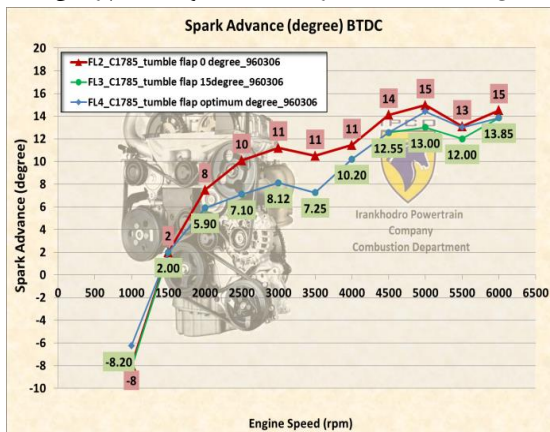
شکل ۳۰: گشتاور در سه حالت برای صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵



شکل ۳۱: توان در سه حالت برای صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵



شکل ۳۲: زمانبندی متغیر در سه حالت و صفحه چرخش ۰، ۱۵



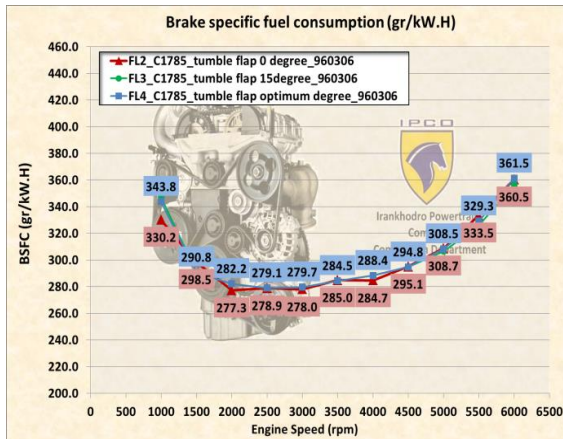
شکل ۳۳: زمانبندی جرعه در سه حالت با صفحه چرخش ۰، ۱۵

شکل (۳۲) نمودار زمانبندی CVVT در سه زاویه مختلف دریچه کنترل

بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و ۳۰ درجه بهینه آورده شده است. با افزایش پیشروی شعله به کمک دریچه افزایش tumble در سرعت ۱۰۰۰ د.د.د احتمال وقوع کوبش کاهش خواهد یافت از اینرو امکان افزایش بازده تنفسی موتور بوسیله سامانه زمانبندی متغیر پیوسته دریچه ها (CVVT) وجود دارد که این امر منجر به بهبود احتراق موتور و افزایش ۵ نیوتن متری گشتاور در این نقطه گردیده است. در سرعت های بالاتر با توجه به اینکه کوتاه شدن زمان احتراق تا مرز کوبش با تغییر زمانبندی جرعه نیز وجود دارد tumble امکان جدیدی ایجاد نخواهد نمود از اینرو سامانه CVVT نیز مشابه قبل خواهد بود.

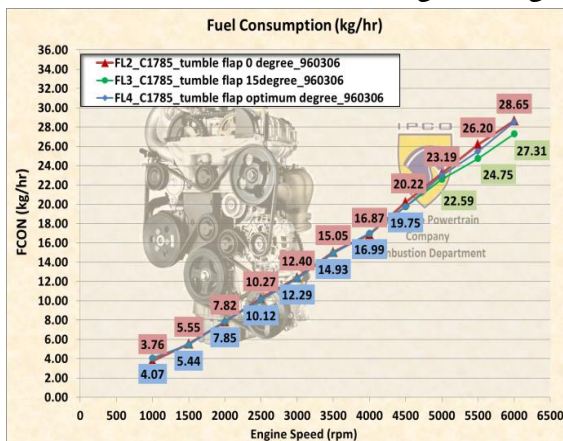
شکل (۳۳) نمودار زمانبندی جرعه در سه زاویه مختلف دریچه کنترل بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و ۳۰ درجه بهینه آورده شده است. با کوتاه شدن زمان احتراق بوسیله ساز و کار دریچه کنترل tumble زمان جرعه نیز تغییر خواهد نمود زمان جرعه در نقاط تمام بار تا مرز کوبش انتخاب میگردد از اینرو با افزایش tumble و کوتاه شدن زمان احتراق میزان آوانس جرعه بصورت چشمگیری باید کاهش یابد.

شکل (۳۶) نمودار مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه آورده شده است. با توجه به افزایش بازده تنفسی موتور در سرعت ۱۰۰۰ دد میزان مصرف سوخت موتور نیز در این سرعت افزایش داشته است در سرعتهای بالای ۵۰۰۰ دد با کاهش ضریب جریان ناشی از افزایش tumble (حرکت چرخنده حول محور افقی داخل محفظه احتراق) مقدار سوخت مصرفی موتور نیز در این نقاط کاهش یافته است.

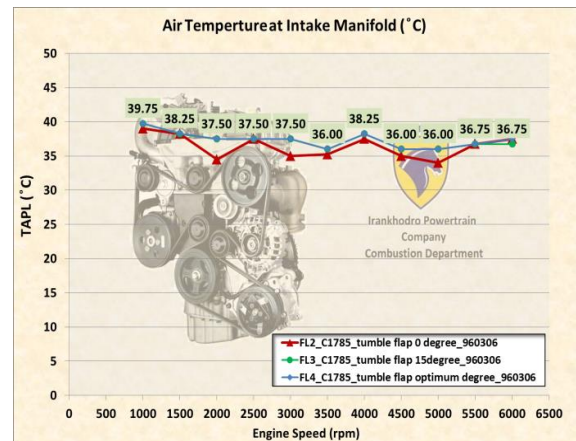


شکل ۳۶. نمودار مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور در سه حالت برای صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه

شکل (۳۷) نمودار مصرف سوخت موتور بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه آورده شده است. با توجه به افزایش بازده تنفسی موتور در سرعت ۱۰۰۰ دد میزان مصرف سوخت موتور نیز در این سرعت افزایش داشته است در سرعتهای بالای ۵۰۰۰ دد با کاهش ضریب جریان ناشی از افزایش tumble (حرکت چرخنده حول محور افقی داخل محفظه احتراق) مقدار سوخت مصرفی موتور نیز در این نقاط کاهش یافته است.



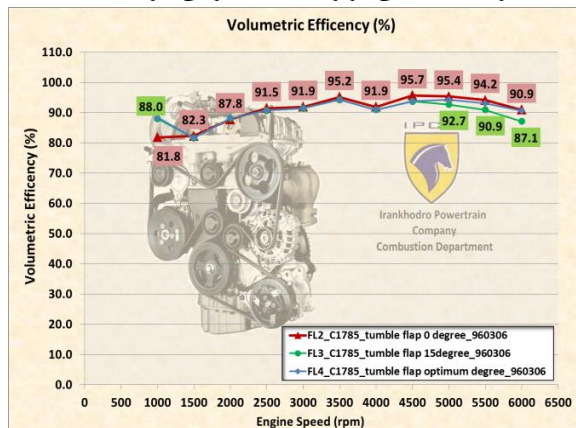
شکل ۳۷. نمودار مصرف سوخت موتور در سه حالت برای صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه



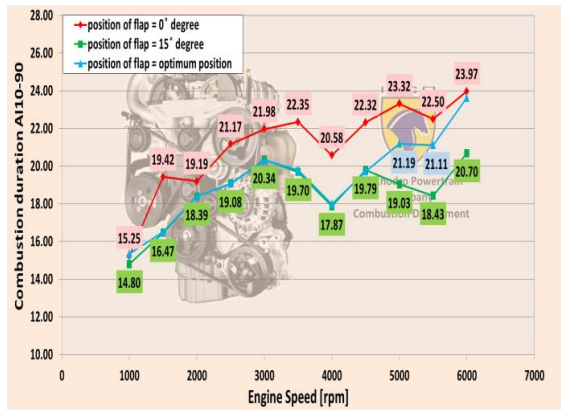
شکل ۳۴. نمودار دمای چندراهه هوا در سه حالت برای صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه

شکل (۳۴) نمودار دمای هوای چندراهه هوا در سه زاویه مختلف دریچه کنترل بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه آورده شده است. مطابق شکل (۳۴) با بکارگیری ساز و کار صفحه چرخش جریان محدوده دمای هوا چندراهه تغییر چندانی نمی کند و بین ۳۵ تا ۴۰ درجه تغییر می کند.

شکل (۳۵) نمودار بازده تنفسی موتور بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه آورده شده است. در شکل (۳۵) ساز و کار CVVT استفاده شده است. با کوتاه شدن زمان احتراق بوسیله ساز و کار دریچه کنترل tumble و همچنین افزایش پیشروی سرعت شعله با افزایش حرکت چرخنده حول محور افقی tumble در سرعت ۱۰۰۰ دد بازده تنفسی در این سرعت به شکل چشمگیری افزایش داشته است. از سرعت ۵۰۰۰ دد و بالاتر با توجه به کاهش ضریب جریان در شرایطی که از پورت high tumble (صرف نظر از tumble flap) استفاده شود بازده تنفسی موتور افت محسوسی خواهد داشت.

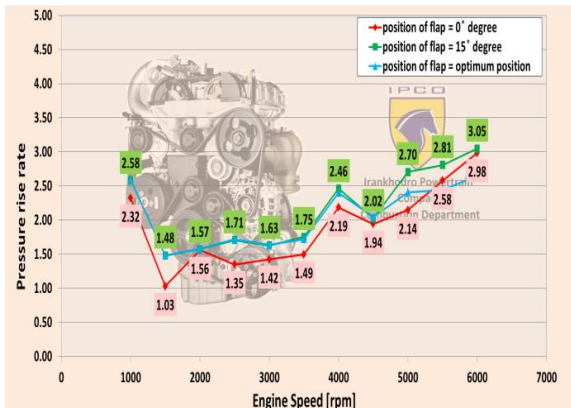


شکل ۳۵. نمودار بازده تنفسی موتور در سه حالت برای صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه



شکل ۳۹: نمودار مدت زمان احتراق موتور در سه حالت برای صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه

شکل (۴۰) نمودار نرخ افزایش فشار احتراق بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه آورده شده است. با بکارگیری ساز و کار صفحه چرخش جریان نرخ افزایش فشار داخل سیلندر بین ۰ تا ۵/۵ بار بر درجه افزایش داشته است. که معنی آن افزایش بازه احتراق و کمی افزایش صدای موتور می باشد که البته مقدار آن کم است.

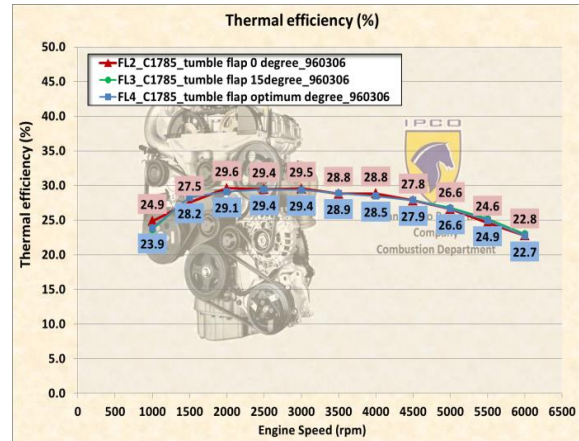


شکل ۴۰: نمودار نرخ افزایش فشار احتراق موتور در سه حالت برای صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه

۹- آزمون مصرف سوخت EF7 با استفاده از ساز و کار Tumble Flap در چرخه NEDC

پس از انجام آزمون روی موتور در شرایط مختلف دور و زاویه های مختلف برای صفحه چرخش جریان آزمون موتور EF7 با استفاده از صفحه جریان چرخان با زاویه های ۰، ۱۵ و زاویه بهینه نتایج مصرف سوخت در چرخه و مقدار مصرف سوخت بر حسب لیتر در جدول ۵ آورده شده است. مصرف سوخت در زاویه صفر برای صفحه چرخان ۶/۹۷۴ لیتر بر صد کیلومتر و در حالت بهینه برای صفحه چرخان ۶/۹۰۸ لیتر بر صد کیلومتر می باشد.

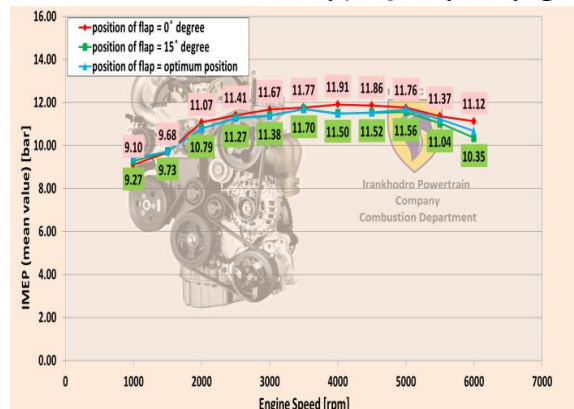
شکل (۳۸) نمودار بازه حرارتی موتور بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه آورده شده است. مطابق نمودار مشخص است که بکارگیری ساز و کار صفحه چرخان اثری روی بازه حرارتی موتور نداشته است و این موضوع یک نکته مثبت در بکارگیری این نوع تکنولوژی است.



شکل ۳۸: نمودار بازه حرارتی موتور در سه حالت برای صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه

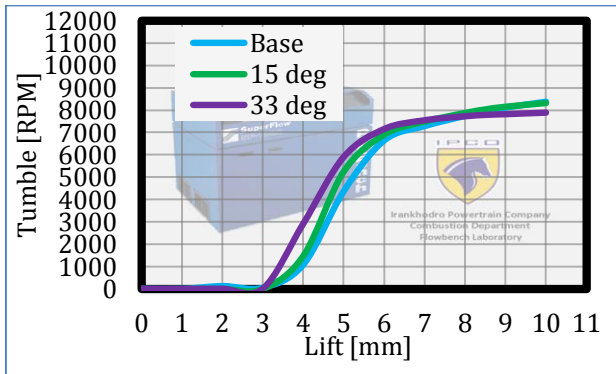
شکل (۳۸) نمودار فشار موثر متوسط اندیکاتوری موتور بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه آورده شده است. با توجه به افزایش بازه تنفسی موتور در سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و افزایش سرعت پیشروی شعله به کمک سامانه CVVT و کاهش [IMEP] در سرعت های ۴۰۰۰ د.د.د به دلیل کاهش ضریب جریان در حین استفاده از tumble flap می باشد.

شکل (۳۹) نمودار شاخص ۵ تا ۹۰ درصد سوخته بر حسب دور در بین ۵۰۰ تا ۶۵۰۰ د.د.د در بازه های ۵۰۰ د.د.د دیده می شود. نتایج برای سه زاویه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه آورده شده است. کاهش زمان احتراق به کمک سامانه tumble flap بین ۵ تا ۱۰ دجه در تمامی دورها بطور کامل مشهود است.



شکل ۳۸: نمودار فشار موثر متوسط اندیکاتوری موتور در سه حالت برای صفحه چرخش جریان ۰، ۱۵ و زاویه بهینه

صفحه چرخان جریان روی اسپری سوخت مایع در دور متوسط بررسی شده است. ابتدا حداکثر زاویه صفحه چرخش جریان برای عدم برخورد مخروط پاشش و صفحه چرخش جریان بدست آمد. این زاویه پس از شبیه سازی ۳۳ درجه تعیین شد. همچنین شبیه سازی نشان داد که زاویه که در دور متوسط زاویه بهینه برای ایجاد حداکثر جریان چرخان عمود بر محور سیلندر زاویه ۱۵ درجه است. همچنین انرژی جنبشی جریان در این زاویه حداکثر می باشد. پس از شبیه سازی به منظور بررسی اثر صفحه چرخش جریان روی عملکرد موتور در دوره های مختلف، آزمون در اتاق آزمون روی موتور EF7 انجام شد. بررسیها نشان داد که توان موتور با استفاده از این تکنولوژی تغییر چندانی نمی کند ولی مدت زمان احتراق تا ده درجه کاهش پیدا می کند که اثر مثبتی روی تولید آلایندگی ها دارد. همچنین میزان مصرف سوخت در چرخه رانندگی استاندارد اروپایی مورد بررسی قرار گرفت، که کاهش مصرف سوخت را نشان داد.



شکل ۴۲: نتایج میز جریان

فهرست علائم

C_p	گرمای ویژه مخلوط
C_s	گرمای ویژه فاز جامد محیط متخلخل
$D_{ }^d$	ضریب پخش حرارت در محیط متخلخل
h_v	ضریب انتقال حرارت جابجایی محیط متخلخل
k_g	ضریب هدایت حرارتی سیال
k_s	ضریب هدایت حرارتی فاز جامد
P	فشار
q_r	انتقال حرارت تشعشع در فاز جامد
R	ثابت گازهای مخلوط
T_g	دمای گاز
T_s	دمای فاز جامد
u	بردار سرعت
φ	پروژیتی محیط متخلخل
ρ_s	چگالی محیط متخلخل
σ	بردار تنش سیال
μ	لزجت دینامیکی

جدول ۵: مصرف سوخت موتور در چرخه رانندگی NEDC در سه حالت

مصرف سوخت (lit/100 km)	زاویه صفحه چرخش (درجه)
۶,۹۷۴	صفر
۶,۹۲۲	۱۵
۶,۹۰۸	زاویه بهینه

۱۰- آزمون میز جریان

پس از انجام آزمون اولیه بر روی Tumble Flap و انتخاب طرح اول از میان دو طرح موجود، یک نمونه اولیه کامل (چهار استوانه) به منظور ارزیابی در اتاق آزمون طراحی شده و آزمون های میز جریان بر روی آن انجام شد.

میزان Tumble های هر چهار استوانه در حد قابل قبولی مشابه یکدیگر می باشد و زیاد بودن tumble استوانه ۴ ربطی به چندراهه هوا و Tumble Flap نداشته و در آزمون مینا نیز این اختلاف مشاهده شده و مربوط به بستار مورد ارزیابی قرار گرفته می باشد. در ارتباط با ضریب جریان راهگاه ورودی، به صورت مقایسه استوانه به استوانه، استوانه های ۱ و ۴ نسبت به ۳ و ۲ وضعیت مطلوب تری دارند و استوانه ها ۲ و ۳ و به خصوص استوانه شماره ۲ دارای ضریب جریان راهگاه ورودی کمتری می باشند، که در زاویه ۳۳ درجه اختلاف بین بهترین و بدترین استوانه تا ۸٪ نیز افزایش می یابد که نیاز به اصلاح در بحث جانمایی و طراحی در این خصوص مشاهده می شود.



شکل ۴۱: نمای اتاق میز جریان

همانطور که در نمودار شکل ۴۲ مشخص است میزان اثر بخشی افزایش tumble در میزان برخواستگی کمتر از ۶ میلی متر با افزایش باز کردن دریچه کنترل حرکت دورانی حول محور افقی (tumble flap) افزایش محسوسی دارد بهترین حرکت دورانی حول محور افقی در زاویه ۱۵ درجه و در بیشینه و در برخواستگی ۸ میلی متر رخ میدهد.

نتیجه گیری

در این مقاله اثر صفحه چرخش جریان در چندراهه هوا روی عملکرد موتور EF7 بررسی شده است. در ابتدا با استفاده نرم افزار فلوئنت اثر

مراجع

- World conference on Experimental heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics, Brussels, Belgium, 1997, pp. 387-392 (Professional Engineering Publishing, London).
- [10] Finlay, I. C., Boyle, R. J., Pirault, J. P., and Biddulph, T. Nucleate and film boiling of engine coolants flowing in a uniformly heated duct of small cross section. SAE paper 870032, 1987.
- [11] Campbell, N. A. F., Hawley, J. G., Robinson, K., Joyce, S., and Haigh, M. Prediction for nucleate boiling - results from a thermal bench marking exercise under low flow conditions. SAE paper 2002-01-1028, 2002.
- [12] Campbell, N. A. F., Tilley, D. G., MacGregor, S. A., and Wong, L. Incorporating nucleate boiling in a precision cooling strategy for combustion engines. SAE paper 971791, 1997.
- [13] Kandlikar, S. G. and Bulut, M. An experimental investigation on flow boiling of ethylene-glycol/water mixture. In Proceedings of the 33rd National Heat Transfer Conference Albuquerque, New Mexico, USA, 15-17 August 1999, paper NHTC99-78 (ASME International, New York).
- [14] Ambrogi, G., McAssey Jr, E. V., Cozzone, G., and Hoover, C. The effect of off-design operation on the thermal performance of propylene-glycol and ethylene-glycol engine coolants. SAE paper 971827, 1997.
- [15] Lee, H. S. and O'Neill, A. T. Boiling curves and visual observations of subcooled flow boiling of water over a horizontal plate heater in a rectangular channel. In Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Orlando, Florida, USA, 5-11 November 2005, paper IMECE 2005-79390 (ASME International, New York).
- [1] Lain, V. M., Thierry, C. A., Towards large eddy simulation in internal combustion engine: simulation of a compressed tumble flow, SAE 2004-01-1995, 2004.
- [2] Thornton, J. H., Swirl and tumble in direct injection engine using synthetic jet actuators, MSc thesis, Ohio state university, 2016.
- [3] Pitcher, G. F., An investigation and comparison between standard steady flow measurement and those in a motored engine, PhD thesis, Loughborough university, 2011.
- [4] Barbouchi, Z., Bessrou, J., turbulence study in internal combustion engine, Journal of engineering and technology reseach, Vol. 1, Issuw. 9, pp. 194-202, 2009.
- [5]. Priscilla; and Meena, P. (2013). A comprehensive study on in-cylinder IC engine due to swirl flow. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2(7), 1156-1161.
- [6]. Barbouchi, Z.; and Bessrou, J. (2009). Turbulence study in the internal combustion engine. *Journal of Engineering and Technology Research*, 1(9), 194-202.
- [7] Gollin, M., McAssey, E. V., and Stinson, C. Comparative performance of ethylene glycol/water and propylene glycol/water coolants in the convective and forced flow boiling regimes. SAE paper 950464, 1995.
- [8] McAssey Jr, E. V., Stinson, C., and Gollin, M. Evaluation of engine coolants under flow boiling conditions. In Proceedings of the ASME Heat Transfer Division, vol. 1, 1995, HTD-Vol.317-1, pp.193-200 (ASME International, New York).
- [9] Bhowmick, S., Branchi, C., McAssey Jr, E. V., Gollin, M., and Cozzone, G. Prediction of heat transfer in engine cooling systems. In Proceedings of the Fourth



Effect of tumble flap on combustion and performance of NA national engine

A. H. Hamad^{1*}, A. Mohammadi², M. Mohsenirad³, R. Hemmatian⁴, M. Siamaki⁵

¹Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran, a_hamad@ip-co.com

²Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran, amohammadi@srttu.edu

³Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran, m_mohsenirad@ip-co.com

⁴Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran, r_hemmatian@ip-co.com

⁵Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran, m_siamaki@ip-co.com

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 22 December 2017

Accepted: 21 February 2018

Keywords:

EF7 engine

Tumble flap plate

Combustion

performance

ABSTRACT

One of methods that has considerable effects on decrease of fuel consumption, is use of tumble flap in intake manifold of engine. Tumble flap with increasing tumble of air at inlet port of engine causes decrease duration of combustion and fuel consumption. In this research, effect of tumble flap with capability of changing angle of flap in inlet port on performance, duration of combustion of EF7 engine was investigated. First, with using of CFD, angle of flap on power, torque, CVVT effect, volumetric efficiency, spark time, thermal efficiency, duration of combustion, rate of increasing pressure, specific fuel consumption and indicated pressure versus engine speed were studied. Also, fuel consumption in NEDC cycle was considered. The result shows that with using of tumble flap, power of engine does not change, but duration of combustion decreases.

