



بررسی مقایسه‌ای تأثیر هم‌پوشانی دریاچه‌ها بر موتورهای اشتعال تراکمی مخلوط همگن

رعنا خدائی^۱، رحیم خوشبختی سرای^{۲*}، الهه نشاط اسفهلانی^۳

^۱دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران، rana_kh665@yahoo.com

^۲دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران، khoshbakhti@sut.ac.ir

^۳دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران، elaheh.neshat@gmail.com

*نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۴۱۱-۳۴۵۹۴۷۶

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۹ بهمن ۱۳۹۲

پذیرش: ۲۵ اسفند ۱۳۹۲

کلیدواژه‌ها:

موتور اشتعال تراکمی مخلوط همگن

سامانه زمان‌بندی متغیر دریاچه‌ها

دود بازگشتی

شبیه‌سازی چندمنطقه‌ای

بازده

یکی از روش‌های پیشنهادی برای غلبه بر مشکلات موتورهای اشتعال تراکمی مخلوط همگن (HCCI)، استفاده از سامانه زمان‌بندی متغیر دریاچه‌ها (سامانه VVT) است. با توجه به اینکه مقدار دود بازگشتی (EGR) عامل تعیین‌کننده‌ای در پایش موتورهای HCCI است، سامانه VVT با تأثیر بر EGR بر بسیاری از خصوصیات موتور HCCI تأثیرگذار است. با تنظیم زمان بسته شدن دریاچه خروجی و هم‌چنین باز شدن دریاچه ورودی، به دلیل تغییر مقدار گازهای داغ درون محفظه احتراق در مرحله تبادل گاز، می‌توان موقعیت مناسب شروع احتراق را در موتور HCCI تعیین نمود. در این تحقیق، سعی بر این خواهد بود تا با شبیه‌سازی چندمنطقه‌ای و جفت کردن آن به شبیه‌سازی تبادل گاز، تأثیر زمان‌بندی متغیر دریاچه‌ها بر خصوصیات احتراقی، عملکردی و آلایندگی موتورهای HCCI بررسی شود. با اعمال راهکار انتخابی برای VVT نهایتاً مشاهده می‌گردد که با ثابت فرض نمودن زمان باز شدگی دریاچه‌های ورودی و خروجی، هم‌پوشانی مثبت دریاچه‌ها راهکار مناسبی برای احتراق HCCI است؛ به‌گونه‌ای که ضمن بهبود خصوصیات عملکردی موتور شامل فشار متوسط مؤثر داخلی (IMEP) و کار و بازده‌های موتور، آلاینده‌ها را نیز کاهش می‌دهد.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

(۱) مقدمه

فرآیند HCCI فرآیندی احتراقی در موتور سمبه‌ای است که می‌تواند بازده‌های بزرگی در حد موتوره‌های اشتعال تراکمی پاشش مستقیم CIDI^۱ ایجاد کند، در حالی که بر خلاف این موتورها، تولید آلاینده‌های NO_x و ذرات معلق (PM)^۲ آن‌ها بسیار کم است. موتوره‌های HCCI بر اساس تأمین مخلوط رقیق پیش‌آمیخته کار می‌کند که توده‌حجمی درون استوانه با تراکم به وسیله سمبه محترق می‌شود. موتور HCCI بهترین خصوصیات موتوره‌های اشتعال جرقه‌ای و اشتعال تراکمی را ترکیب می‌کند [۱].

خصوصیت HCCI این است که هوا و سوخت قبل از شروع احتراق ترکیب می‌شوند و مخلوط در نتیجه تراکم به خود اشتعالی می‌رسد. بنابراین HCCI از این نظر شبیه SI است که در هر دو نوع موتور، مخلوط اولیه قبلاً ترکیب شده است [۲] که این موجب کاهش آلاینده‌های ذرات معلق می‌شود [۳] و از این نظر شبیه CIDI است که در هر دو نوع موتور، احتراق در نتیجه خوداشتعالی صورت می‌گیرد [۲]. مخلوط در نتیجه تراکم مشتعل می‌گردد و تلفات خفانشی ندارد که این موجب افزایش بازده خواهد شد. به هر حال، علی‌رغم هردوی اینها، احتراق به طور همزمان در تمام حجم محفظه اتفاق می‌افتد [۱] و در آن پیشروی شعله وجود ندارد [۲].

علیرغم کارکرد متعادل HCCI و فواید چشمگیر آن در شرایط کاری پایا، موانع بسیاری باید پشت سر گذاشته شوند تا موتور HCCI به طور گسترده بتواند برای استفاده در خودروها استفاده شود. به همین دلیل تحقیقات بسیار گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف لازم است که اهم آن‌ها شامل: گسترش محدوده کاری تا بارهای نزدیک بیشینه، محدود نمودن سرعت آزادسازی حرارت احتراقی در بارهای بزرگ، تأمین کارکرد آرام در حالت گذرای سریع، دست‌یابی به احتراق در حالت سرد، کسب استانداردهای آلاینده‌های مخصوصاً برای هیدروکربن‌ها و مونوکسید کربن [۴].

یکی از روش‌های پیشنهادی برای غلبه بر چالش‌های این نسل جدید موتورها، استفاده از سامانه زمان‌بندی متغیر دریچه‌ها (سامانه VVT) است. با توجه به اینکه مقدار گازهای داغ باقی‌مانده از چرخه قبل عامل تعیین‌کننده در پایش موتوره‌های HCCI است، سامانه VVT با تأثیرگذاری بر EGR بر بسیاری از خصوصیات موتور HCCI تأثیرگذار است. در این تحقیق سعی بر این خواهد بود تا ضمن معرفی کامل روش HCCI، با بسط دادن شبیه‌سازی چندمنطقه‌ای (multi zone) و اتصال آن به شبیه‌سازی تبادل گاز، تأثیر سامانه VVT بر خصوصیات احتراقی، عملکردی و آلاینده‌های موتوره‌های HCCI بررسی شود.

(۲) تشریح شبیه‌سازی

چون سازوکارهای سینتیک شیمیایی بر احتراق HCCI حاکم است، از شبیه‌سازی چند منطقه‌ای همراه با سازوکار سینتیک شیمیایی مفصل برای بررسی احتراق استفاده شده است [۵].

فرضیات در نظر گرفته شده در شبیه‌سازی چند منطقه‌ای بدین قرار است:

- مخلوط سوخت هیدروکربنی و هوا به صورت همگن وارد محفظه احتراق می‌شود.

- در شبیه‌سازی چرخه احتراق، جرم کل داخل محفظه ثابت فرض می‌شود.

- انتقال حرارت از نوع همرفت مابین سیال داخل محفظه احتراق در منطقه لایه مرزی و دیواره آن و انتقال حرارت از نوع هدایتی بین مناطق در نظر گرفته می‌شود.

- در هر یک از مناطق خواص ترمودینامیکی، غلظت گونه‌ها، دما و دیگر مشخصات مخلوط یکنواخت است.

- بین مناطق مختلف انتقال حرارت و جرم اتفاق می‌افتد.

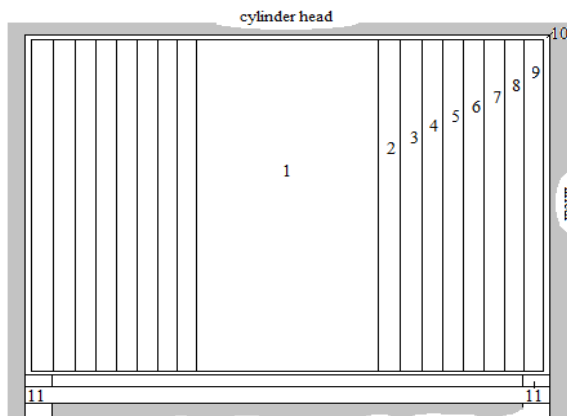
- در هر لحظه فشار در داخل محفظه احتراق یکنواخت است و اختلاف فشار بین مناطق به وسیله انتقال جرم بین مناطق جبران و در هر لحظه شرایط یکسان بودن فشار در درون محفظه احتراق ارضا می‌شود.

- مخلوط درون محفظه احتراق، گاز کامل و معادله حالت گاز کامل به عنوان یکی از معادلات اصلی استفاده می‌شود [۵].

- زمان بازماندن دریچه‌های ورودی و خروجی ثابت در نظر گرفته می‌شود.

(۳) پیکربندی مناطق

شکل ۱ نشان‌دهنده نحوه پیکربندی استفاده شده در کار حاضر است. همان‌گونه که از شکل پیداست، محفظه احتراق به چهار نوع منطقه طبقه‌بندی می‌شود: منطقه هسته (منطقه ۱)، مناطق خارجی (مناطق ۲ تا ۹)، لایه مرزی (منطقه ۱۰)، شکاف‌ها (منطقه ۱۱).



شکل ۱: پیکربندی مناطق

1 Compression ignition direct injected engines

2 Particular matter

درون استوانه در هر درجه میل لنگ با استفاده از معادله حالت گاز کامل قابل محاسبه خواهد بود [۵]:

$$PV = \frac{m}{MW} R_u T \quad (۲)$$

با توجه به این که در هنگام انتقال جرم هیچ نوع واکنشی صورت نمی‌گیرد، تعداد مول‌ها قبل و بعد از انتقال جرم در کل استوانه مقداری ثابت است، پس تغییرات مولی هر منطقه بدین شرح محاسبه می‌شود:

$$\Delta mole_i = mole_{i,new} - mole_{i,old} \quad (۳)$$

۵) تبادل گاز

پس از این که چرخه بسته موتور با باز شدن دریچه خروجی به اتمام می‌رسد، مرحله تبادل گاز استوانه آغاز می‌شود. در این مرحله دیگر چرخه کاری بسته نیست و تبادل جرم با بیرون محفظه احتراق وجود خواهد داشت. معادلات مرحله تبادل گاز برای محاسبه خصوصیات درون محفظه، مشابه معادلات استفاده شده در چرخه بسته (بین IVC و EVO) است ولی با توجه به وجود جریان جرمی به درون محفظه احتراق و خارج از آن، معادلاتی برای نشان دادن این تبادل جرم و محاسبه غلظت گونه‌ها نیاز است.

معادله بقای انرژی برای مرحله تبادل گاز بدین شرح است:

$$\sum m_i C_{vi} \frac{dT_g}{dt} = \frac{dQ}{dt} - \left(\frac{mRT_g}{V} \right) \frac{dV}{dt} + \sum \frac{dm_{in}}{dt} h_{in} - \sum \frac{dm_{out}}{dt} h_{out} - \sum C_{vi} T_g \frac{dm_i}{dt} \quad (۴)$$

جریان جرمی درون دریچه‌ها با استفاده از معادلات جریان تک بعدی هم آنتروپی درون یک شیپوره و با در نظر گرفتن ملاحظات احتمال

وقوع خفگی در جریان $\left(\frac{P_u}{P_d} \leq \left[\frac{2}{\gamma+1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right)$ قابل محاسبه است [۷]:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{C_D A_R P_u}{(R_u T_u)^{1/2}} \left(\frac{P_u}{P_d} \right)^{1/\gamma} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{P_u}{P_d} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right]} \quad \text{if } \frac{P_u}{P_d} > \left[\frac{2}{\gamma+1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (۵)$$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{C_D A_R P_u}{(R_u T_u)^{1/2}} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} \quad \text{if } \frac{P_u}{P_d} \leq \left[\frac{2}{\gamma+1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (۶)$$

که در آن، u نماد بالادست جریان و d نماد پایین دست جریان است و C_D ضریب تخلیه است که به صورت نسبت سطح جریان مؤثر (AE) به سطح جریان مرجع (A_R) تعریف می‌شود [۸].
متغیر آخر معادله بقای انرژی مشابه معادله (۱) قابل بیان است.

هسته به شکل یک استوانه است که ضخامت این لایه برابر ۴۰ درصد قطر استوانه در نظر گرفته شده است. مناطق خارجی به شکل استوانه های متحدالمرکز و با ارتفاع یکسان است و به صورت پوسته استوانه ای، هسته مرکزی را احاطه کرده اند. ضخامت کلیه این استوانه ها با هم برابر است. پیرامون استوانه به صورت لایه نازکی به شکل استوانه توخالی به عنوان یک منطقه در نظر گرفته می شود که در واقع همان لایه مرزی خواهد بود. ضخامت افقی این لایه ۳ درصد قطر استوانه و ضخامت عمودی آن ۳ درصد ارتفاع استوانه در هر لحظه است. منطقه شکاف، بخشی از فضای مرده درون استوانه است و شامل تمامی شکاف هایی است که مستقیماً به محفظه احتراق متصل اند، مانند مناطق بالا و پشت اولین حلقه تراکم، شکاف های درزبند بالایی و غیره. ضخامت لایه مرزی و حجم V_{core} به عنوان نسبتی از حجم کل استوانه، متغیرهای قابل تنظیم شبیه سازی اند. به دلیل خنکتر بودن دما در درزها (منطقه ۱۱ در پیکربندی)، مخلوط موجود در این مناطق محترق نمی شود و به همین دلیل درزها منشاء اصلی آلاینده های مونوکسیدکربن و هیدروکربن های نسوخته می باشند. حجم درزها در شبیه سازی مقدار ثابت و ۳ درصد حجم لقی ۱ در نظر گرفته شده است.

۴) انتقال حرارت و جرم

انتقال حرارت به دو بخش اصلی تقسیم می گردد. بخشی از انتقال حرارت بین مخلوط سوخت و هوا و دیواره استوانه اتفاق می افتد. این بخش از انتقال حرارت از نوع جابه جایی است. بخش دیگر انتقال حرارت، بین مناطق موجود در داخل استوانه اتفاق می افتد. این بخش، از نوع انتقال حرارت همرفتی است. انتقال حرارت بین مناطق طبق سازوکار هدایتی صورت می گیرد. بنابراین شار حرارتی طبق معادله فوریه بدین شرح است:

$$\dot{q} = -k_{tot} \frac{dT}{dy} \quad (۱)$$

در این معادله \dot{q} شار حرارتی، Δ فاصله بین دو منطقه مجاور و k_{tot} ضریب هدایت حرارتی کل دو منطقه مجاور است. برای محاسبه ضریب هدایتی کل از روش یانگ^۲ و مارتین^۳ استفاده شده که این روش را کومنینوس^۴ و همکاران در شبیه سازی موتور HCCI در [۶] استفاده کرده اند. در این روش ضریب هدایت حرارتی کل به صورت مجموع دو ضریب هدایتی آرام و آشفته بیان می شود.

در شبیه سازی در چرخه بسته موتور، قانون بقای جرم برای محفظه احتراق قابل اعمال است. برای اینکه فشار درون محفظه احتراق یکنواخت بماند، انتقال جرم بین مناطق در نظر گرفته می شود. فشار

1 Clearance Volume

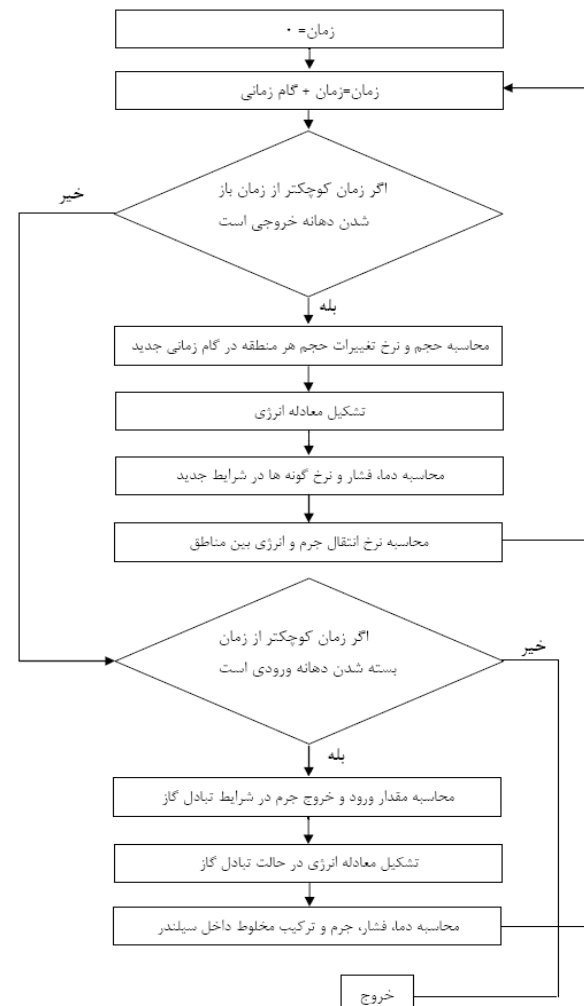
2 Yang

3 Martin

4 Komninos

۶) الگوی استفاده شده

همان گونه که قبلاً اشاره گردید، برای شبیه سازی با استفاده از شبیه سازی چندمنطقه ای، تعداد ۱۱ منطقه (شامل شکاف ها) در نظر گرفته شده است. در هر بازه زمانی نرم افزار توسعه یافته متغیرهای دلخواه را محاسبه می کند. گام زمانی در شبیه سازی برای تمام مراحل یکدهم زاویه میل لنگ تنظیم شده است. برای حل معادلات سینتیک شیمیایی که از نوع معادلات دیفرانسیل سخت^۱ اند از برنامه DVODE^۲ استفاده شده است [۵]. الگوی شبیه سازی در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به روند شبیه سازی، رویه حل تا همگرا شدن شبیه سازی از طریق کاهش اختلاف چرخه دما، فشار، جریان سوخت و جریان جرمی مخلوط ورودی به کمتر از ۰،۰۰۱ ادامه می یابد. این انتخاب برای مرتفع نمودن فرض حداقل بودن اختلافات چرخه ای در موتور HCCI انتخاب شده است.



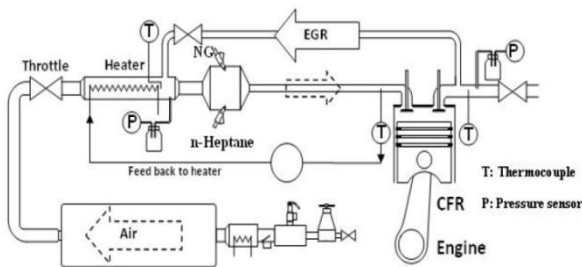
شکل ۲: تفکیک مراحل در شبیه سازی چندمنطقه ای

۷) تجهیزات آزمایشگاهی

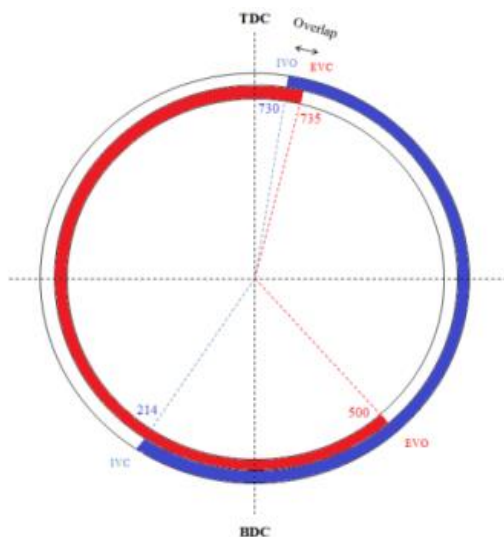
میز آزمونها موتوری تحقیقاتی CFR است (شکل ۳) که مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است. موتور طوری تنظیم شده است که در حالت دریچه باز^۳ عمل می کند. شکل ۴ نشان دهنده نمودار زمان بندی دریچه ها در این موتور است.

جدول ۱: مشخصات فنی موتور

واکوشا ^۴	نوع موتور
۶۱۲	حجم جابه جایی
گاز طبیعی	سوخت
۸،۲۶	شعاع استوانه (سانتی متر)
۱۱،۴	طول پیمایش سمبه (سانتی متر)
۲۴	طول دسته سمبه (سانتی متر)
۱۰	زاویه باز شدن دریچه ورودی (درجه)
۲۱۴	زاویه بسته شدن دریچه ورودی (درجه)
۵۰۰	زاویه باز شدن دریچه تخلیه (درجه)
۱۵	زاویه بسته شدن دریچه تخلیه (درجه)
۱۷،۲۵	نسبت تراکم هندسی



شکل ۳: میز آزمون



شکل ۴: زمان بندی دریچه ها در موتور CFR

3 Wide open throttle
4 Waukesha

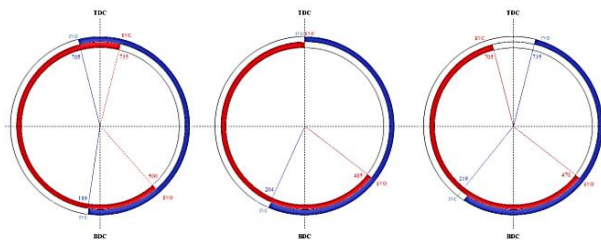
1 Stiff

2 Double precision variable coefficient ordinary differential equation

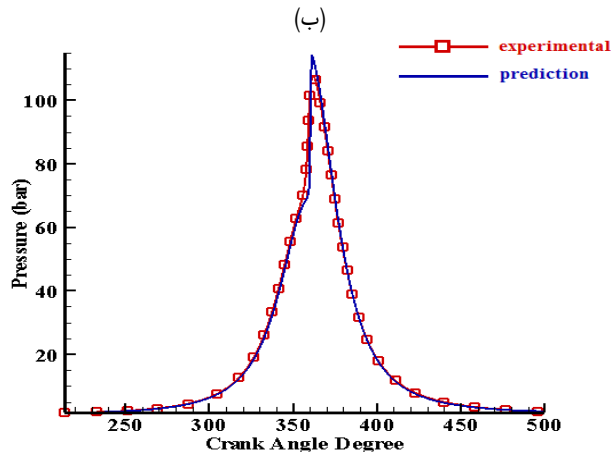
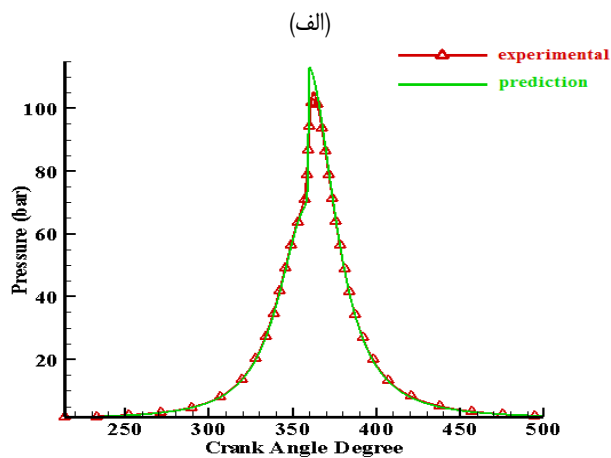
NVO معمولاً به وسیله زودتر بسته شدن نسبی دریچه خروجی در مرحله تخلیه و دیرتر باز شدن نسبی دریچه ورودی در مرحله مکش ایجاد می شود [۹]. نمودار زمان بندی دریچه ها برای سه حالت انتخاب شده در شکل ۵ چشمگیر است. همان گونه که در شکل پیداست، در این کار تحقیقاتی زمان بازماندن دریچه های ورودی و خروجی ثابت در نظر گرفته شده است.

۱۰) ارزیابی صحت شبیه سازی

شکل ۶ نشان دهنده مقایسه تغییرات فشار داخل استوانه بر حسب زاویه میل لنگ حاصل از نتایج آزمایشگاهی، با نتایج حاصل از شبیه سازی انجام شده برای دو حالت عملکردی انتخابی است.



شکل ۵: نمودار زمان بندی دریچه ها برای راهکار VVT انتخاب شده



شکل ۶: نمودار زمان بندی دریچه ها برای راهکار VVT انتخاب شده: (الف)

حالت عملکردی I و (ب) حالت عملکردی II

۸) شرایط عملکردی

در این کار تحقیقاتی، دو حالت مختلف از شرایط عملکردی که شرایط آزمایشگاهی آن ها در دسترس بوده است، بررسی شدند که مشخصات آن ها به شرح جدول ۲ است.

۹) راهکار VVT انتخاب شده

باتوجه به اینکه EGR داخلی تأثیر تعیین کننده ای بر پایش احتراق HCCI دارد، سامانه VVT با تأثیر بر این متغیر، روش مفیدی در پایش احتراق HCCI است. در کار حاضر، سه حالت مختلف از زمان بندی دریچه ها به گونه ای در نظر گرفته شده است که در حالت اول هم پوشانی مثبت^۱ متقارن، در حالت دوم هم پوشانی صفر و در حالت سوم روی هم افتادی منفی^۲ متقارن حول نقطه مکث بالا ایجاد می گردد. مشخصات راهکار انتخاب شده به همراه حالت مرجع در جدول ۳ گردآوری شده است.

در حالت پایه، زمان بندی دریچه ها به گونه ایست که هم پوشانی مثبت دریچه ها به مقدار ۵ درجه و در سمت راست نقطه مکث بالا واقع شده است. در حالت ۱، این هم پوشانی تا ۳۰ درجه پهن شده و به صورت متقارن نسبت به نقطه مکث بالا در نظر گرفته شده است. در حالت ۲، این هم پوشانی صفر شده است و در حالت ۳، هم پوشانی منفی به مقدار ۳۰ درجه و متقارن نسبت به نقطه مکث بالا فرض شده است.

جدول ۲: شرایط عملکردی انتخاب شده

Parameters	Test condition I	Test condition II
\dot{m}_{fuel} (mgr/s)	82.32	85.70
\dot{m}_{air} (gr/s)	4.45	3.96
EGR (%)	0.00	9.67
IMEP (bar)	2.63	2.80
P_{ivc} (bar)	1.56	1.57
T_{ivc} (K)	444.20	444.05
$T_{coolant}$ (°C)	100.31	100.27
λ	2.85	3.34

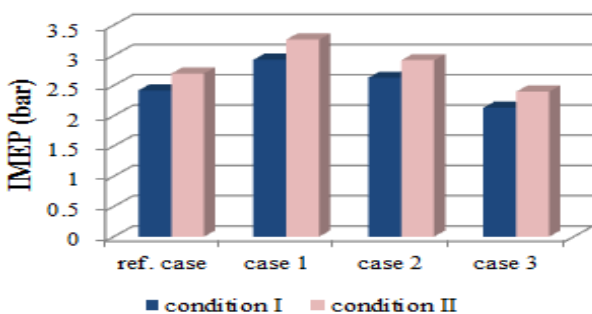
جدول ۳: مشخصات سامانه VVT اعمال شده به شبیه سازی فعلی

حالات	IVC	EVO	IVO	EVC
حالت مرجع	214	500	730	735
حالت اول	189	500	705	735
حالت دوم	204	485	720	720
حالت سوم	219	470	735	705

¹ PVO: Positive Valve Overlap

² NVO: Negative Valve Overlap

در چنین حالتی گازهای تازه که از دریچه ورودی وارد می‌شوند، با راندن گازهای خروجی به سمت دریچه خروجی به خروج این گازها کمک می‌کنند. لذا فشار و دمای درون استوانه کاهش می‌یابد. از طرف دیگر وقتی هم پوشانی کلاً قبل از نقطه مکث بالا اتفاق می‌افتد، حرکت سببه نیز به خروج گازهای داغ و پرفشار کمک می‌کند و خود سبب کاهش فشار درون استوانه می‌شود. به دلیل کاهش دمای درون استوانه در این دو حالت، به تعویق افتادن زمان شروع احتراق نیز دور از انتظار نخواهد بود. مشاهده می‌گردد که بیشترین فشار بیشینه در حالت دوم که IVO و EVC بر نقطه مکث بالا منطبق اند، حادث می‌گردد. علت این امر را می‌توان بدین گونه توجیه نمود که با بسته شدن دریچه خروجی در نقطه مکث بالا، وقتی به طور همزمان دریچه ورودی نیز باز می‌گردد، موجب ورود حجم بیشتری گاز به درون استوانه می‌شود و نهایتاً سبب افزایش فشار درون استوانه می‌گردد. از طرفی بسته شدن دریچه خروجی زودتر اتفاق افتاده و سبب افزایش مقدار IEGR داغ گشته است و از طرف دیگر با باز شدن دریچه ورودی در همان نقطه (نقطه مکث بالا)، حرکت سببه به سمت پایین ورود مخلوط تازه به درون استوانه را تسریع می‌کند و هیچ گونه جریان برگشتی وجود نخواهد داشت و نهایتاً فشار درون استوانه افزایش می‌یابد. شکل ۸ تغییر IMEP را با تغییر زمان بندی دریچه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در کلیه حالت‌ها و در هر دو حالت عملکردی انتخابی حجم جابه‌جا شده مقدار ثابتی دارد، می‌تواند به عنوان معیاری از توان خروجی موتور بررسی شود. مادامی که نرخ افزایش فشار به اندازه‌ای نیست که حالت انفجاری در موتور پدید آید، بزرگ بودن IMEP مطلوب خواهد بود که در موتور حالت انفجاری وجود ندارد. همان گونه که مشاهده می‌شود کمترین مقدار IMEP متعلق به حالت NVO متقارن است، که به علت افزایش کار منفی در نتیجه احتراق سریعتر است. با به تأخیر افتادن EVC با توجه به کاهش مقدار گازهای برگشتی، مقدار مخلوط تازه بیشتری وارد محفظه احتراق می‌گردد و IMEP افزایش می‌یابد [۱۰]. IMEP بزرگتر سبب تولید کار بیشتر می‌شود. مقایسه جدول‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که افزایش هم پوشانی دریچه‌ها از دیدگاه مصرف سوخت ویژه نتایج بهتری را به دست می‌دهد.

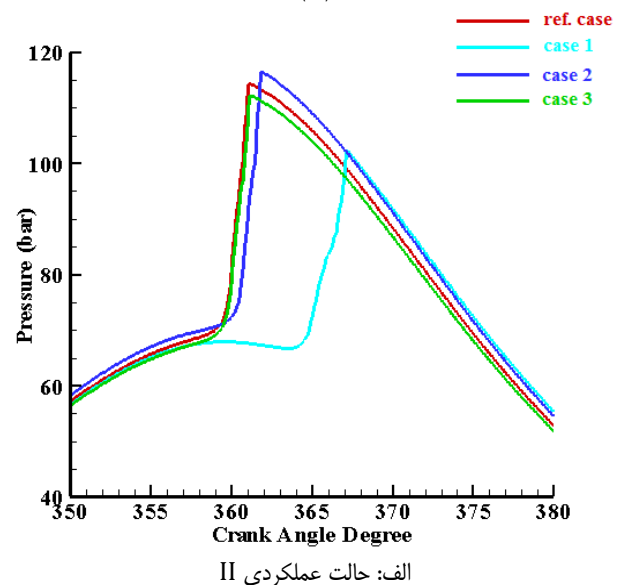
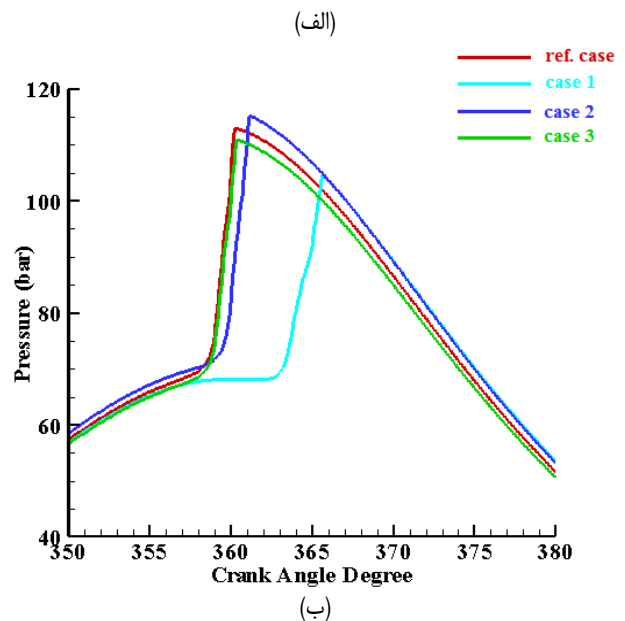


شکل ۸: تغییرات IMEP در دو حالت عملکردی انتخابی

مطابق شکل ۶، در هر دو شرایط عملکردی منتخب، نتایج حاصل از شبیه‌سازی بخوبی با نتایج آزمایشگاهی هم خوانی داشته و مقادیر فشار در مراحل تراکم، احتراق و انبساط نزدیک به مقدار واقعی پیش‌بینی گردیده است. بنابراین با توجه به این نمودارها می‌توان صحت شبیه‌سازی احتراقی چندمنطقه‌ای توسعه یافته را تأیید کرد.

۱۱) نتایج و بحث

شکل ۷ (الف) و ۷ (ب) بترتیب نشان دهنده تغییرات فشار درون استوانه در هنگام تغییر زمان بندی دریچه‌ها با راهکار انتخابی است. در حالت نخست در باز شدن دریچه ورودی قبل از نقطه مکث بالا تعجیل می‌شود، این کار فشار بیشینه درون استوانه را کاهش می‌دهد.



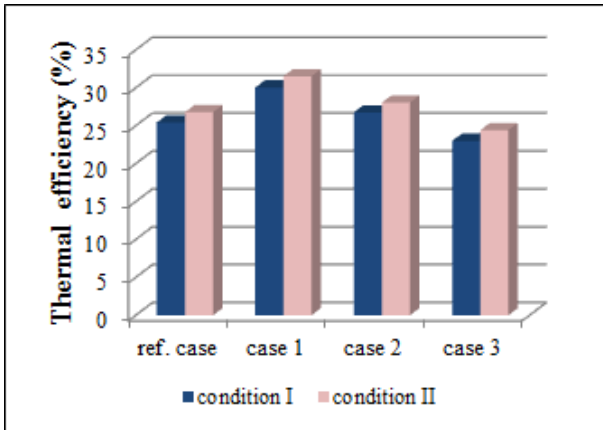
شکل ۷: تغییرات فشار درون استوانه در دو حالت عملکردی انتخابی: (الف) حالت عملکردی I و (ب) حالت عملکردی II

جدول ۵: نتایج سامانه VVT اعمال شده به شبیه‌سازی: حالت عملکردی II

Parameter Case NO.	W (j)	IMEP (bar)	φ	SOC (CA)	DOC (CA)	IEGR (%)	ISFC (kwh)	η_v	η_{comb}	η_{ith}	CO (%)	NO _x (ppm)	UHC (ppm)	P _{IVC}	T _{IVC}
حالت مرجع	165.26	2.70	0.324	359.7	1.334	4.356	278.9	90.3	96.3	26.8	6.39E-02	3.77E+00	1.18E+03	1.5131	444.0
حالت اول	199.60	3.26	0.328	364.6	2.49 ^a	4.412	235.8	90.8	96.8	31.5	5.46E-02	7.30E-01	1.04E+03	1.3681	424.5
حالت دوم	178.69	3.26	0.326	360.3	1.387	4.43	265.9	92.4	96.5	28.1	5.89E-02	3.17E+00	1.15E+03	1.4672	434.9
حالت سوم	146.79	2.40	0.321	359.4	1.415 _y	6.424	306.2	87.2	96.2	24.4	6.02E-02	3.06E+00	1.20E+03	1.5392	448.2

جدول ۴: نتایج سامانه VVT اعمال شده به شبیه‌سازی: حالت عملکردی I

Parameter Case NO.	W (j)	IMEP (bar)	φ	SOC (CA)	DOC (CA)	IEGR (%)	ISFC (kwh)	η_v	η_{comb}	η_{ith}	CO (%)	NO _x (ppm)	UHC (ppm)	P _{IVC}	T _{IVC}
حالت مرجع	148.13	2.42	0.303	358.8	۱.۳۵۵	4.423	294.8	90.6	96.1	25.4	5.96E-02	2.23E+00	1.20E+03	1.5111	444.2
حالت اول	179.17	2.93	0.307	363.2	2.334	4.429	248.4	91.1	96.5	30.0	5.67E-02	6.26E-01	1.10E+03	1.3660	424.6
حالت دوم	160.85	2.63	0.305	359.6	1.456	4.451	279.8	92.8	96.2	26.7	6.06E-02	2.00E+00	1.18E+03	1.4652	434.9
حالت سوم	130.52	2.13	0.3	358.8	1.43 _z	6.461	326.1	87.5	96.0	22.9	6.00E-02	1.84E+00	1.22E+03	1.5372	448.4



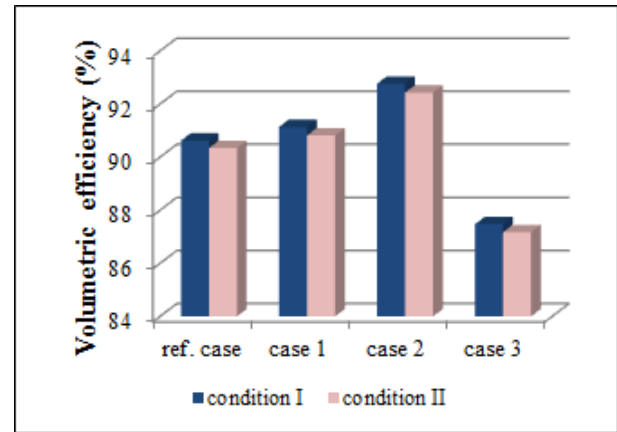
شکل ۱۱: مقایسه بازده حرارتی درحالات مختلف راهکار VVT انتخابی

همان گونه که از شکل ۹ مشخص است، بازده تنفسی با از بین رفتن هم پوشانی دریچه ها کاهش می یابد. این به علت فشار بزرگ درون استوانه در مرحله مکش است که در برابر ورود هوای تازه به درون استوانه مقاومت به وجود می آورد [۱۱]. از طرف دیگر افزایش گازهای باقی مانده از چرخه قبلی به کاهش بازده تنفسی می انجامد.

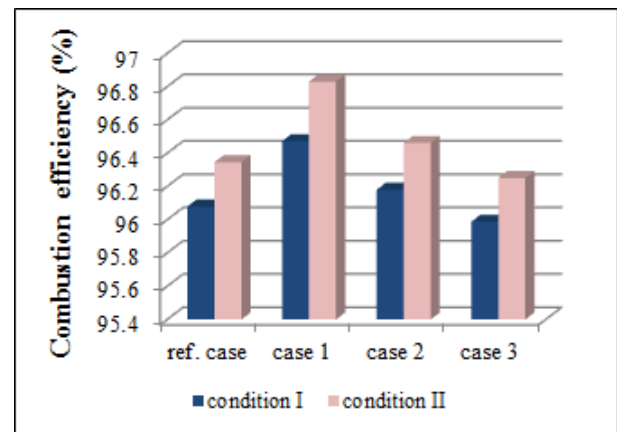
توجه به شکل ۱۰ و مقادیر ثبت شده در جداول ۴ و ۵ نشان می دهد که در کلیه حالت ها، بازده احتراقی در حدود ۹۶ درصد و بیشترین اختلاف در بازده تولیدی حدود ۰٫۴ درصد است که مقدار بسیار ناچیزی بوده و مصداقی بر این موضوع است که بازده احتراقی با اعمال راهکار VVT انتخاب شده تغییر چندانی از خود نشان نمی دهد. بازده حرارتی مقیاسی از خروجی مفیدی است که موتور در مقایسه با مقدار سوخت ورودی به دست می دهد. این خروجی مفید اغلب به عنوان کار تولیدی به ازای انرژی حاصل از سوختن سوخت، شناخته می شود. باتوجه به شکل ۱۱ مشاهده می گردد که بازده حرارتی با به تعجیل افتادن EVC و به تأخیر افتادن IVO کاهش می یابد که علت آن کاهش کار تولیدی موتور است.

با بررسی داده های جداول ۴ و ۵ مشاهده می گردد که با از بین رفتن هم پوشانی دریچه ها و به دنبال آن ایجاد هم پوشانی منفی، مقدار CO و UHC تولیدی افزایش می یابد. این موضوع متأثر از فشار درون استوانه در مرحله انبساط است. هرچه این فشار کمتر باشد، مقدار هیدروکربن های نسوخته بیشتری در این مرحله به داخل محفظه باز می گردند و در واکنش ها شرکت می کنند. لذا مقدار CO افزایش می یابد. با رجوع به شکل ۷ و بررسی مقدار فشار در مرحله انبساط، مقدار افزایش و کاهش CO در مقایسه حالت های مختلف توجیه پذیر است. روند تغییرات UHC نیز مشابه CO است.

شکل های ۹، ۱۰ و ۱۱ بترتیب نشان دهنده بازده تنفسی، احتراقی و حرارتی موتور در حالت های مختلف راهکار VVT اند. مقادیر ثبت شده در جدول های ۴ و ۵ نشان می دهند که فشار و دما در لحظه بسته شدن دریچه ورودی با از بین رفتن هم پوشانی مثبت دریچه ها در حالت نخست و در پی آن ایجاد هم پوشانی منفی، روند افزایشی دارند که این به علت افزایش مقدار EGR داخلی است که دمای درون محفظه احتراق را گرمتر می کند. این موضوع سبب کوتاه تر شدن مدت احتراق می گردد. توضیح این که افزایش مدت احتراق در حالت عملکردی I به علت حضور EGR خنک شده خارجی است. افزایش دمای درون استوانه تأثیر مستقیم بر روی مقدار NO_x تولیدی دارد به طوری که مشاهده می گردد با افزایش دما، مقدار NO_x افزایش یافته است.



شکل ۹: مقایسه بازده تنفسی درحالات مختلف راهکار VVT انتخابی



شکل ۱۰: مقایسه بازده احتراقی درحالات مختلف راهکار VVT انتخابی

- [3] S.M. Aceves, D.L. Flowers, J. Martinez-Frias, J.R. Smith, HCCI combustion: Analysis and experiments, SAE International, Paper No. 2001-01-2077, 2001
- [4] P.M. Diaz, D. Prasad, T. Nibin, S. Muthuraman, HCCI engines - A preliminary analysis, Journal of Kones Internal Combustion Engines, Vol. 4, pp. 1-9, 2008
- [5] A. Rahimi Mamghani, Presenting optimized synthetic simulation for combined normal heptane and natural gas HCCI combustion to predict combustion and pollution, MSc Thesis, Sahand University of Technology, Iran, 2010
- [6] N.P. Komninou, D.T. Hountalas, D.A. Kouremenos, Description of in-cylinder combustion processes in HCCI engines using a multi-zone model, SAE International, Paper No. 2005-01-0171, 2005
- [7] J.B. Heywood, Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill Book Company, 1988
- [8] P. Kongsereparp, Chemical kinetic based simulation for an HCCI engine and its combustion, PhD Thesis, University of Alberta, Canada, 2008
- [9] A.F.M. Mahrous, A. Potrzebowski, M.L. Wyszynski, H.M. Xu, A. Tsolakis, P. Luszcz, A modelling study into the effects of variable valve timing on the gas exchange process and performance of a 4-valve DI homogeneous charge compression ignition (HCCI) engine, Energy Conversion and Management, Vol. 50, pp. 393-398, 2009
- [10] N. Milovanovic, R. Chen, Influence of the variable valve timing strategy on the control of a homogeneous charge compression (HCCI) Engine, SAE International, Paper No. 2004-01-1899, 2004
- [11] J. Jang, C. Bae, Effects of valve events on the engine efficiency in a homogeneous charge compression ignition engine fueled by dimethyl ether, Fuel, Vol. 88, pp. 1228-1234, 2009

۱۲) نتیجه گیری

نتایج عمده به دست آمده، از مقایسه هم پوشانی مثبت، صفر و منفی در موتور HCCI نشان می دهد که چنانچه مدت زمان بازماندن درجه های ورودی و خروجی ثابت نگه داشته شود، ایجاد هم پوشانی مثبت در اطراف نقطه مکث بالا می تواند راهکار مناسبی برای احتراق HCCI باشد. با این کار خصوصیات احتراقی اعم از IMEP، کار و بازده های تنفسی، احتراقی و حرارتی بیشتر و مصرف سوخت ویژه کمتر خواهد بود. مقدار آلاینده های CO ، NO_x و UHC نیز کمتر خواهد بود.

فهرست علائم

P	فشار، Pa
T	دما، K
V	حجم، m^3
\dot{q}	شار حرارتی
K	ضریب هدایت حرارتی
Ru	ثابت جهانی گازها
γ	نسبت گرماهای ویژه
زیرنویس ها	
g	گاز
tot	کلی
u	بالادست جریان
d	پایین دست جریان

References

- [1] Homogeneous charge compression ignition (HCCI) technology, A Report to U.S. Congress, 2001
- [2] M. Yao, Z. Zheng, H. Liu, Progress and recent trends in homogeneous charge compression ignition (HCCI) engines, Elsevier, 2009



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineersearch.ir



A comparative study of effect of valve overlap on HCCI engines

R. Khodaei¹, R. Khoshbakhti Saray^{2*}, E. Neshat Esfahlani³

¹Mechanical Engineering Department, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran, rana_kh665@yahoo.com

²Mechanical Engineering Department, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran, khoshbakhti@sut.ac.ir

³Mechanical Engineering Department, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran, elaheh.neshat@gmail.com

*Corresponding Author, Phone Number: +98-411-3459476

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 18 February 2014

Accepted: 16 March 2014

Keywords:

HCCI engine

VVT

EGR

Multi-zone model

Efficiency

ABSTRACT

One of the suggested methods, to overcome drawbacks of HCCI engines, is using of the variable valve timing technology (the VVT system). The VVT system can affect HCCI engines characteristics due to the EGR's main role in controlling the HCCI combustion. The auto-ignition in HCCI engines can be facilitated by adjusting the timing system of exhaust-valve-closing and, to some extent, the timing system of intake-valve-opening in order to capture a proportion of hot exhaust gases in the engine cylinder during the gas exchange process.

In the present paper, a comparative analysis is performed to investigate the effect of the VVT system on the combustion, the performance and the emission characteristic of HCCI engines. For this purpose, a multi-zone model was developed and coupled with a gas exchange model. Results were compared to experimental results, obtained from a single-cylinder engine. Finally, it can be concluded that if the duration of opening of the intake and exhaust valves were kept constant, positive-valve-overlapping was an reliable strategy for the HCCI combustion as it could improve combustion characteristics such as the IMEP, the work and engines efficiencies and reduce exhaust emissions.

© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.