

## بررسی عددی عملکرد یک موتور اشتعال جرقه‌ای مجهز به سیستم

### زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها

محمد مهدی دوستدار<sup>۱</sup> و حامد حمیدی<sup>۲</sup>

دانشکده فنی مهندسی

دانشگاه امام حسین (ع)

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۵)

#### چکیده

زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها به عنوان یکی از عوامل موثر بر کارکرد یک موتور بنزینی در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. زمان باز شدن، بسته شدن، مدت زمان باز ماندن و مقدار خیز سوپاپ‌های ورودی و خروجی به عنوان پارامترهایی هستند که در مقوله زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها می‌توان به آنها پرداخت و تاثیر هر یک از آنها را در عوامل عملکرد ترمودینامیکی موتور و اتلافات حرارتی بررسی نمود. در این مقاله با استفاده از برنامه پیش پردازنده K3PREP یک مش متحرک با سازمان شامل سوپاپ‌ها و راهگاه‌های ورودی و خروجی تولید شده است. آن‌گاه به کمک برنامه شبیه‌ساز KIVA-3V و با توجه به تغییرات اعمالی بر روی هر یک از پارامترهای زمان‌بندی سوپاپ‌ها به تحلیل نتایج به دست آمده پرداخته شده است. شبیه‌سازی بر روی یک موتور اشتعال جرقه‌ای صورت گرفته است. مقایسه نتایج این شبیه‌سازی با نتایج تجربی حاکی از تطابق رضایت‌بخش است.

**کلید واژه‌ها:** شبیه‌سازی عددی، موتور اشتعال جرقه‌ای، زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها، حلگر KIVA-3V.

## Numerical Investigation of a SI-Engine Performance Equipped with a Variable Valve Timing System

M. M. Doustdar and H. Hamidi

Engineering Department of

Imam Hossein University

(Received: 17/October/2016 ; Accepted: 26/May/2017)

#### ABSTRACT

Variable timing of valves is one of the effective factors on performance of a spark ignition (SI) engine. The time of opening, closing, duration of open state, and the amount of lift for inlet and exhaust valves are the parameters that must be considered in variable valve timing issue. These parameters influence thermodynamic performance factor and heat loss of an engine. In this paper at first, using K3PREP pre-processor, a structured moving mesh was generated for valves as well as for inner and outlet runners. Then, using KIVA-3V as the main solver, the variation effects of each valve timing parameters on the engine performance were studied. The simulation was done on a SI- engine. Comparison between simulation and experiment results indicates satisfactory agreement.

**Keywords:** Numerical simulation, SI- engine, Variable valve timing, KIVA-3V solver

۱- دانشیار (نویسنده پاسخگو): mdostdar@ihu.ac.ir

۲- پژوهشگر: hamedhamidi.408@gmail.com

## ۱- مقدمه

وجود مقررات سخت گیرانه‌ای که در رابطه با انتشار آلاینده‌ها در اتومبیل‌های درون شهری با تاکید بر سرعت پایین موتور در آنها وضع شده است، ضرورت استفاده از این فناوری را هر چه بیشتر روشن می‌سازد. زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها به طور پیوسته، می‌تواند باعث بهبود رفتار سوپاپ‌ها در هر شرایط کاری شود. راهبردهایی که برای بهبود زمان‌بندی سوپاپ‌های ورودی و خروجی و پیشرفت‌هایی که در کاربرد این فناوری در موتورهای بنزینی به کار رفته در تعدادی از مقالات مربوط به این زمینه آورده شده است [۹-۷]. داکورث و بارکر [۱۰] تاثیر همپوشانی سوپاپ‌ها بر روی عملکرد موتور را با تاکید بر بازخورانی گازهای خروجی مورد بررسی قرار داده‌اند. لئون و همکاران [۱۱]، راهبرد زمان‌بندی متغیر میل سوپاپ‌های مختلفی را برای کاهش  $NO_x$ ، CO و HC در شرایط بار جزئی امتحان کرده‌اند. شیگا و همکاران [۱۲]، تاثیر زود باز شدن سوپاپ ورودی را بر روی فشار و عملکرد موتور تحقیق کرده‌اند. بادمی و همکاران [۱۳] و همچنین یوندا و همکاران [۱۴]، تاثیر تاخیر در بسته شدن سوپاپ ورودی را در شرایط عملکردی بار جزئی بررسی کرده‌اند. بزا و همکاران [۱۵] یک مدل ریاضی یک بعدی برای شبیه‌سازی عملکرد یک موتور مجهز به فناوری زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها را توسعه دادند.

هدف این مقاله بررسی عملکرد یک موتور اشتعال جرقه‌ای چهار زمانه با یک سوپاپ ورودی و یک سوپاپ خروجی جهت بررسی جریان مخلوط درون محفظه احتراق، میزان حرارت آزاد شده، حرارت تلف شده طی یک چرخه و تحلیل تغییرات به وجود آمده در فشار موثر متوسط و قدرت خروجی موتور و... با توجه به تغییراتی که بر اساس مکانیزم زمان‌بندی متغیر سوپاپ اعمال می‌شود، می‌باشد.

## ۲- برنامه رایانه‌ای

برنامه رایانه‌ای تهیه شده در این پژوهش یک برنامه اصلاح شده کیوا ۳-وی است. مدل‌سازی به کار رفته در این برنامه مبتنی بر مدل اصطلاحاً قطره - جدا است. در این مدل فاز مایع به صورت بسته‌هایی از ذرات در میدان حل در نظر گرفته می‌شود. هر بسته حاوی تعدادی قطره است. کلیه قطرات موجود در یک بسته دارای خواص ترمودینامیکی، اندازه و سرعت یکسان می‌باشند. از روش لاگرانژی برای محاسبه سرعت و جابجایی بسته‌ها و از روش اویلری برای حل میدان

زمان باز شدن و مدت زمان باز بودن سوپاپ‌ها هر دو به بحث زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها مربوط می‌باشند. در موتورهای احتراق داخلی مورد استفاده مرسوم، زمان‌بندی سوپاپ‌های ورودی و خروجی ثابت است. معمولاً زمان‌بندی سوپاپ‌ها به نحوی انتخاب می‌شود که در یک بار و سرعت بخصوص از موتور، بهترین کارایی را از آن دریافت نمایند و باعث بهینه شدن عملکرد موتور در سرعت‌های بالا و شرایط درجه کاملاً باز گردد [۱]. کنترل سوپاپ‌ها می‌تواند باعث بهبود رفتار منحنی‌های گشتاور، قدرت ترمزی یا قدرت اندیکاتوری یک موتور طراحی شده شود. زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها همچنین می‌تواند به منظور کاهش مصرف سوخت و یا کاهش سطح آلاینده‌های منتشر شده توسط موتور موثر واقع شود [۲]. این دو مورد با کنترل حداکثر دما و مقدار گازهای باقیمانده در شروع مرحله تراکم قابل دستیابی‌اند. کهانی و شر [۳] یک راهبرد زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها را با هدف حداکثرسازی گشتاور در مرحله قدرت یک موتور اشتعال جرقه‌ای ارائه داده‌اند. استون و کاون [۴] نشان دادند که کنترل بار موتورهای بنزینی در حالت بدون خفگی با استفاده از زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها ممکن است. آنها همچنین نشان دادند که در موتورهای دیزل مهمترین دغدغه، کنترل همپوشانی سوپاپ‌ها در موتورهای پرخورانی شده است. همچنین عملکرد بهتر شروع در موتورهای دیزل با همپوشانی کنترل شده نیز توسط آنها بررسی گردید. لنز و همکاران [۵] نشان دادند که در موتورهای بنزینی کنترل بار در حالت بدون خفگی با استفاده از زمان‌بندی متغیر سوپاپ ورودی به دست می‌آید. از آنجایی که اتلافات خفگی شدیدی معمولاً در بارهای پایین رخ می‌دهد، این اتلافات با کاهش دوره زمانی سوپاپ ورودی قابل کاسته شدن است که در واقع به منزله تنظیم کردن مخلوط تزریقی می‌باشد. چندین روش برای تنظیم بار ورودی به وسیله روش زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها پیشنهاد شده است. همچنین لنز و همکاران [۵] نشان دادند، در صورتی که خفگی اتفاق نیافتد کنترل مخلوط در موتورهای اشتعال جرقه‌ای با زودتر بسته شدن سوپاپ ورودی ممکن خواهد بود. به علت پیچیدگی‌های مربوط به تهیه یک مکانیزم زمان‌بندی سوپاپ متغیر با یک هزینه قابل قبول و همچنین دوام و قابلیت اعتماد مناسب، موتور اتومبیل‌های کمی مجهز به سیستم زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها هستند [۱ و ۶]. با این

در معادلات حاکم بر فاز گازی لحاظ می‌شود. در معادله پیوستگی جرم، عبارت چشمه‌ای وجود دارد که به خاطر تبخیر قطرات است. جرم بخار شده از اسپری با نرخی که به نرخ تبخیر هر قطره و تعداد قطرات موجود در هر سلول محاسباتی بستگی دارد، به جرم جریان گاز افزوده می‌شود. این جرم بخار شده، ممنومی را با خود به جریان گاز می‌آورد که به عنوان عبارت چشمه معادله ممنوم باید محاسبه گردد. همچنین از نیروی پسای بین قطرات و گاز، تغییری در ممنوم گاز به وجود می‌آید که این اثر نیز به صورت عبارت چشمه در معادله ممنوم ظاهر می‌شود. جرم بخار شده از اسپری حاوی انرژی داخلی و انرژی جنبشی است. همچنین از اصطکاک حاصل از حرکت نسبی بین قطرات و گاز، انرژی گرمایی حاصل می‌شود که اینها عبارات چشمه معادله انرژی را به واسطه اسپری تشکیل می‌دهند. کار ادی‌ها در پراکندگی قطرات و اتلاف آشفته‌گی حاصل از این کار به صورت عبارات چشمه به ترتیب در معادله انرژی جنبشی آشفته‌گی و معادله اتلاف آشفته‌گی ظاهر می‌شوند. برای محاسبه این عبارات چشمه لازم است تا تعداد، اندازه و سرعت قطرات در هر سلول در ابتدای هر قدم محاسباتی معلوم باشند و در انتهای هر قدم نیز مقدار این کمیت‌ها با توجه به اندرکنش گاز و قطرات و براساس روابط حاکم محاسبه گردد.

معادلات حاکم بر فاز گازی و نیز بر فاز مایع و نحوه محاسبه عبارات چشمه که به چگونگی مدل‌سازی پدیده‌های فیزیکی مهم نظیر برخورد قطرات، شکست ثانویه، تبخیر و اندرکنش ادی‌های آشفته‌گی و قطرات مربوط می‌شود در مرجع [۱۶] به خوبی تشریح شده است که از ذکر آن به علت طولانی بودن در اینجا خودداری می‌شود.

### ۳- جریان مخلوط درون سیلندر

حرکت‌های دورانی مخلوط داخل سیلندر را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. حرکت دورانی اول که حول محور مرکزی سیلندر و در یک صفحه افقی رخ می‌دهد و چرخش نامیده می‌شود. حرکت دورانی دوم، حرکتی است که در یک صفحه عمودی داخل سیلندر اتفاق می‌افتد و آن را غلتش می‌نامند. مفاهیم چرخش و غلتش با هدف اختلاط هر چه بیشتر مخلوط سوخت و هوا به منظور دستیابی به مخلوطی همگن

جریان فاز گازی استفاده می‌شود. برای تخمین خواص ذرات در محل پاشش و یا در پایین دست جریان روش نمونه‌گیری مونت کارلو به کار گرفته می‌شود.

گسسته‌سازی فضایی میدان حل بر مبنای یک روش حجم محدود که به آن ALE گفته می‌شود صورت می‌گیرد. فرم بقایی معادلات تا حد ممکن در گسسته‌سازی‌ها حفظ می‌شود. از معادلات حاکم قبل از گسسته‌سازی روی سلول محاسباتی انتگرال‌گیری شده و از قضیه دیورژانس برای تبدیل انتگرال‌های حجمی به انتگرال‌های سطحی استفاده می‌گردد. حل گذرای معادلات به روش مارچینگ در قدم‌های متوالی زمانی صورت می‌گیرد. هر قدم محاسباتی خود به چند مرحله تفکیک می‌گردد. در مرحله اول برخورد، نوسان، شکست قطرات و عبارات چشمه ناشی از اسپری که به معادلات جرم و انرژی مربوط می‌شوند محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد گرادیان فشار در معادله ممنوم و اتساع ناشی از سرعت در معادلات جرم و انرژی، عبارات چشمه معادله ممنوم و عبارات ناشی از دیفیوژن جرم، ممنوم و انرژی محاسبه می‌شوند. همچنین عبارات چشمه معادلات آشفته‌گی در این مرحله تعیین می‌گردند. برای حل معادلات این مرحله روش سیمپل که یک روش تکراری دو قدمی است به کار می‌رود. گسسته‌سازی ضمنی معادلات، برای عبارات دیفیوژنی و عباراتی که به انتشار موج فشار مربوط می‌شوند، امکان استفاده از قدم‌های زمانی بزرگتر با حفظ دقت را فراهم می‌آورد.

برای محاسبه عبارات جایجایی (کنوکسیون) که در مرحله سوم صورت می‌گیرد، از روشهای صریح استفاده می‌شود. محاسبات جایجایی در تعدادی زیر قدم محاسباتی انجام می‌گیرد تا قدم محاسباتی زمانی اصلی، به واسطه شرط پایداری کورانت خیلی محدود نگردد. برای مدل‌سازی آشفته‌گی از مدل استاندارد k-ε که اصلاحاتی بر روی آن برای احتساب انبساط حجمی و اندرکنش اسپری با آشفته‌گی صورت گرفته استفاده می‌گردد. قانون دیواره نیز برای محاسبه انتقال حرارت و پسای لایه مرزی به کار گرفته می‌شود. برای حل میدان جریان، معادلات پیوستگی جرم، ممنوم، انرژی و معادلات آشفته‌گی به همراه معادله حالت و معادلات همبستگی باید در هر قدم محاسباتی برای فازگازی حل شوند. اثرات وجود فاز دوم یعنی اسپری مایع بر جریان گاز به صورت عبارات چشمه

سیلندر در حال افزایش است، گازهای در حال سوختن به صورت شعاعی از کاسه پیستون به بیرون رانده می‌شوند تا حجم بیرونی که در طول دیواره‌های سیلندر در حال افزایش است را پر نمایند. این امر نیز منجر به تولید غلتش می‌شود. غلتش نیز توسط پارامتر نسبت غلتش (TR) معرفی می‌گردد. برای داشتن دید بهتری نسبت به غلتش آن را در دو صفحه x-Z و y-Z بررسی خواهیم نمود. نسبت غلتش در این دو صفحه همانند نسبت چرخش به دست می‌آیند با این تفاوت که مومنوم زاویه‌ای و ممان اینرسی در این دو صفحه عمودی به دست خواهند آمد. نسبت‌های غلتش  $TR_x$  و  $TR_y$  به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$TR_x = \frac{\omega_x}{\omega} = \frac{\omega_x}{2\pi N}; \quad TR_y = \frac{\omega_y}{\omega} = \frac{\omega_y}{2\pi N} \quad (۵)$$

در رابطه ۵ پارامترهای  $\omega_x$  و  $\omega_y$  سرعت زاویه‌ای غلتش جریان صلب‌گونه به ترتیب در صفحات y-Z و x-Z است که مومنوم زاویه‌ای برابر مومنوم زاویه‌ای جریان اصلی دارند. مقدار نسبت غلتش کل برابر است با:

$$TR = \sqrt{TR_x^2 + TR_y^2} \quad (۶)$$

جهت غلتش نیز همانند جهت چرخش بر اساس قانون دست راست به دست می‌آید. کد Kiva-3v مقادیر غلتش در صفحات y-Z و x-Z را به صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$TR_x = \frac{\sum m_i [w(y-y_i) - v(z-z_i)]}{I_x \omega} \quad (۷)$$

$$TR_y = \frac{\sum m_i [u(z-z_i) - w(x-x_i)]}{I_y \omega} \quad (۸)$$

در روابط ۷ و ۸ مقادیر  $I_x$  و  $I_y$  برابرند با:

$$I_x = \sum m_i [(y - y_i) - (z - z_i)] \quad (۹)$$

$$I_y = \sum m_i [(x - x_i) - (z - z_i)] \quad (۱۰)$$

جریان مخلوط گاز درون سیلندر، یک جریان مغشوش است که نرخ انتقال و اختلاط در آن چندین برابر بزرگتر از پخش مولکولی است [۱۶].

و همچنین مکانیزمی موثر که منجر به پخش سریع پیشانی شعله در فرایند احتراق می‌گردد، مورد توجه قرار گرفته‌اند. چرخش معمولاً ناشی از مومنوم زاویه‌ای جریانی است که پس از عبور از درگاه ورودی در محفظه سیلندر ایجاد می‌شود. شکل درگاه ورودی، سطح فوقانی سوپاپ و شکل کاسه پیستون می‌توانند در ایجاد چرخش نقش داشته باشند چرخش عموماً با پارامتری تحت عنوان نسبت چرخش (R) معرفی می‌گردد. نسبت چرخش با تقسیم سرعت زاویه‌ای چرخش جریان صلب گونه‌ای که مومنوم زاویه‌ای برابر مومنوم جریان اصلی دارد ( $\omega_z$ ) بر سرعت زاویه‌ای میل‌لنگ ( $\omega$ ) تعریف می‌شود.

$$R = \frac{\omega_z}{\omega} = \frac{\omega_z}{2\pi N} \quad (۱)$$

در رابطه ۱، N دور موتور است. جهت چرخش با استفاده از قانون دست راست به دست می‌آید. در Kiva-3v نسبت چرخش بر اساس نسبت مومنوم زاویه‌ای کل به مرکز جرم لحظه‌ای مخلوط داخل سیلندر و دور موتور محاسبه می‌شود. مرکز لحظه‌ای جرم درون سیلندر طبق رابطه ۲ محاسبه می‌گردد:

$$X = \frac{\sum m_i x_i}{M}; \quad Y = \frac{\sum m_i y_i}{M}; \quad Z = \frac{\sum m_i z_i}{M} \quad (۲)$$

بنابراین نسبت چرخش به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$R = \frac{\sum m_i [v(x-x_i) - u(y-y_i)]}{I_z \omega} \quad (۳)$$

در روابط ۲ و ۳ پارامترهای  $x_i$ ،  $y_i$  و  $z_i$  مختصات گردابه‌ها،  $m_i$  جرم گردابه محلی،  $M$  جرم لحظه‌ای مخلوط داخل سیلندر و  $I_z$  کل ممان اینرسی مخلوط سوخت و هوای داخل سیلندر نسبت به مرکز جرم لحظه‌ای مخلوط است که می‌توان آن را با استفاده از رابطه ۴ محاسبه نمود:

$$I_z = \sum m [(x - x_i) - (y - y_i)] \quad (۴)$$

غلتش نیز دیگر حالت حرکت دورانی مخلوط سوخت و هوا داخل سیلندر است. به هنگام نزدیک شدن پیستون به نقطه مرگ بالا، مخلوط گازی واقع در مجاورت دیواره سیلندر به صورت شعاعی به سمت خط مرکز سیلندر رانده شده و با حرکت رو به مرکز مخلوط به سمت کاسه پیستون غلتش تشدید می‌گردد. همچنین در ابتدای مرحله انبساط که حجم

#### ۴- زمان‌بندی سوپاپ‌های ورودی و خروجی

در این قسمت به بررسی زمان‌بندی باز و بسته شدن سوپاپ‌های ورودی و خروجی پرداخته می‌شود.

##### ۴-۱- باز شدن سوپاپ ورودی (IVO)

حالت ایده‌آل در مورد زمان‌بندی سوپاپ ورودی این است که زمان باز شدن سوپاپ ورودی به نحوی باشد که به هنگام رسیدن پیستون به نقطه مرگ پایین حداکثر خیز را از سوپاپ ورودی دریافت نماییم تا به هنگام ورود مخلوط سوخت و هوا حداکثر جریان ممکن برقرار شود. همچنین زمان باز شدن سوپاپ ورودی باید به حد کافی قبل از نقطه مرگ بالا اتفاق بیافتد تا فشار سیلندر در ابتدای مرحله مکش کاهش نیابد. زمان باز شدن سوپاپ ورودی به عنوان یکی از پارامترهای تعیین کننده طول دوره هم‌پوشانی باید مورد توجه قرار گیرد. در اغلب موتورها زمان‌بندی سوپاپ‌ها برای یک دور مشخصه موتور تنظیم شده است که در دورهای کمتر یا بیشتر از آن دور مشخص، تلفات توان وجود خواهد داشت. در دورهای کمتر از دور طراحی موتور، سوپاپ ورودی خیلی زود باز می‌شود و هم‌پوشانی را ایجاد می‌کند که بیشتر از مقدار ضروری است. این مسئله با توجه به این که عموماً در دورهای پایین موتور فشار راهگاه ورودی کمتر است شدیدتر خواهد شد. در دورهای بیشتر از دور طراحی موتور، سوپاپ ورودی دیرتر باز می‌شود که در نتیجه آن برقراری جریان در نقطه مرگ بالا به طور کامل اتفاق نمی‌افتد که این موضوع منجر به کاهش بازده حجمی خواهد شد [۱۷].

##### ۴-۲- بسته شدن سوپاپ ورودی (IVC)

جرم هوای ورودی به داخل سیلندر، با توجه به بازده حجمی و به واسطه سطح فشار در راهگاه ورودی در طی زمان کوتاهی قبل از این که سوپاپ ورودی بسته شود مشخص می‌شود. در دورهای بالای موتور، اینرسی گاز در سیستم مکش در حالی که سوپاپ ورودی در حال بسته شدن است افزایش می‌یابد. این امر سبب می‌شود با حرکت پیستون به سمت پایین فرآیند پرشدن سیلندر ادامه یابد و عمل تراکم شروع شود. این پدیده که به اثر رم معروف است با افزایش سرعت پیستون افزایش می‌یابد. معمولاً در انتخاب زمان بسته شدن سوپاپ ورودی،

بهره برداری حداکثر از اثر رم مد نظر قرار می‌گیرد. همچنین به دلیل این که بعد از شروع مرحله تراکم، سوپاپ ورودی بسته می‌شود یک جریان برگشتی از داخل سیلندر به درون سیستم مکش، با افزایش فشار سیلندر به واسطه حرکت پیستون به طرف نقطه مرگ بالا، رخ می‌دهد. این جریان برگشتی در پایین‌ترین دورهای موتور بیشترین مقدار را داراست. این اثر اجتناب ناپذیر به واسطه انتخاب نحوه بسته شدن سوپاپ ورودی است که برای استفاده از اثر رم در دورهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۷].

##### ۴-۳- باز شدن سوپاپ تخلیه (EVO)

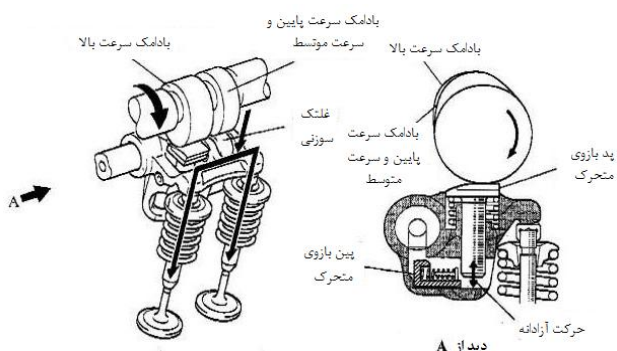
باز شدن سوپاپ تخلیه به طور کامل، قبل از انتهای کورس انبساط اتفاق می‌افتد. بنابراین دمندگی در خروج گازهای خروجی حاصل خواهد شد. در این مرحله هدف کاهش هر چه زودتر فشار سیلندر بعد از نقطه مرگ پایین نزدیک فشار مینیفولد خروجی در محدوده کامل دور موتور است. زمان‌بندی EVO بازده سیکل را تحت تاثیر قرار می‌دهد چرا که نسبت انبساط موثر را تعیین می‌کند [۱۷].

##### ۴-۴- بسته شدن سوپاپ تخلیه (EVC)

زمان بسته شدن سوپاپ تخلیه، مرحله تخلیه گازها را به اتمام می‌رساند و یکی دیگر از پارامترهای تعیین کننده دوره زمانی هم‌پوشانی سوپاپ‌ها است. برای موتورهای اشتعال جرقه‌ای که با دریاچه گاز کار می‌کنند، زمان بسته شدن سوپاپ تخلیه مقدار گازهای خروجی که به سمت داخل محفظه از طریق سوپاپ خروجی جریان می‌یابند را تنظیم می‌کند و در دورها و بارهای بالای موتور وظیفه تنظیم مقدار خروج گازهای سوخته شده را به عهده دارد. زمان‌بندی بسته شدن سوپاپ تخلیه باید بعد از نقطه مرگ بالا اتفاق بیافتد تا فشار سیلندر در محدوده نزدیک به انتهای مرحله مکش افزایش نیابد [۱۷].

#### ۵- مشخصات موتور

موتور شبیه‌سازی شده در این تحقیق دارای یک سوپاپ ورودی و یک سوپاپ خروجی است. مشخصات هر یک از سوپاپ‌ها و زمان‌بندی آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل (۲): شمایی از مکانیزم مورد استفاده جهت تغییر بادامک موثر.

ویژگی‌های عملکردی بادامک‌های به کار رفته در این مکانیزم، که باعث ایجاد تغییر در هر یک از سوپاپ‌ها می‌شود، در جدول ۲ آورده شده است.

جدول (۲): مشخصات زمان‌بندی و خیز سوپاپ‌ها با استفاده از دو نوع پروفیل بادامک به کار رفته

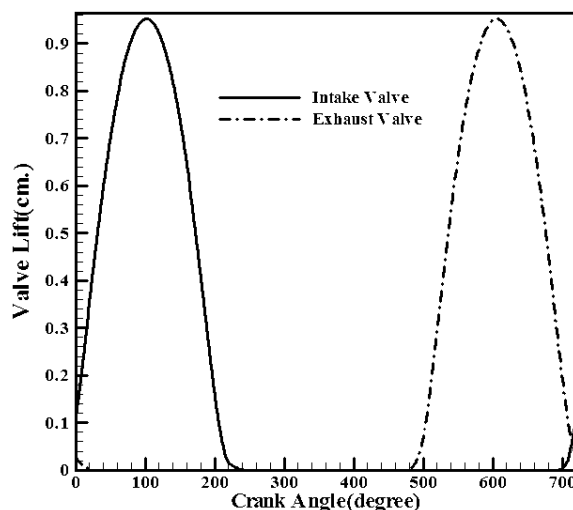
نوع سوپاپ	زمان‌بندی سوپاپ‌ها	نوع بادامک	
		سرعت پایین و متوسط	سرعت بالا
سوپاپ ورودی	باز شدن قبل از نقطه مرگ بالا (زاویه لنگ)	۱۰ تا ۳۳	۱۵ تا ۵۸
	بسته شدن بعد از نقطه مرگ پایین (زاویه لنگ)	۵۸ تا ۱۵	۹۷ تا ۵۴
	مقدار خیز (میلی متر)	۷/۲۵	۱۱/۴
سوپاپ خروجی	باز شدن قبل از نقطه مرگ پایین (زاویه لنگ)	۳۴	۵۶
	بسته شدن بعد از نقطه مرگ بالا (زاویه لنگ)	۱۴	۴۰
	مقدار خیز (میلی متر)	۷/۲۵	۱۰/۰

همان‌طوری که از جدول ۲ مشخص است، مکانیزم به کار رفته قادر است زمان باز و بسته شدن سوپاپ ورودی را به طور پیوسته، در محدوده نشان داده شده، تغییر دهد. این امر باعث تغییر دوره همپوشانی سوپاپ‌های ورودی و خروجی می‌شود. شکل‌های ۳ و ۴ منحنی‌های مربوط به دو بادامک سرعت پایین و متوسط، و سرعت بالا را به ازای این محدوده تغییرات نشان می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات سوپاپ‌های ورودی و خروجی

باز شدن سوپاپ ورودی (درجه)	-۲۰
بسته شدن سوپاپ ورودی (درجه میل‌لنگ)	۲۱۰
قطر سوپاپ ورودی (سانتی‌متر)	۳/۲
باز شدن سوپاپ خروجی (درجه میل‌لنگ)	۵۰۰
بسته شدن سوپاپ خروجی (درجه میل‌لنگ)	۷۳۰
قطر سوپاپ خروجی (سانتی‌متر)	۲/۸

شکل ۱ پروفیل خیز سوپاپ‌های ورودی و خروجی را بر حسب زاویه لنگ نشان می‌دهد.

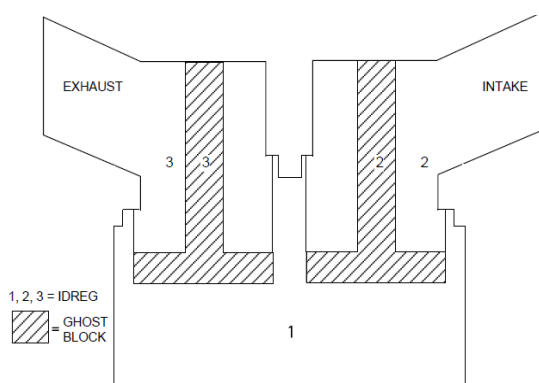


شکل (۱): مشخصات منحنی خیز سوپاپ‌های ورودی و خروجی

### ۶- مکانیزم تغییر زمان‌بندی مورد استفاده

برای بررسی اثر تغییرات زمان‌بندی سوپاپ‌ها، در این تحقیق از یک سیستم متغیر زمان‌بندی و خیز سوپاپ<sup>۱</sup>، به کار رفته در موتور 2ZZ-GE ساخت شرکت تویوتا، استفاده شده است. این مکانیزم با جابجا کردن میل بادامک باعث جابجا شدن بادامک‌هایی می‌شود که خیز سوپاپ را تامین می‌نمایند. در واقع زمان باز و بسته شدن سوپاپ‌ها و خیز آنها به واسطه تغییر از یک بادامک به بادامک دیگر تغییر می‌کند. در این مکانیزم، از یک بادامک به منظور کارکرد در سرعت‌های پایین و متوسط و از بادامک دیگر به منظور کارکرد در سرعت‌های بالاتر استفاده می‌شود [۱۸]. در شکل ۲ شمایی از مکانیزم مورد استفاده جهت تغییر بادامک موثر نشان داده شده است.

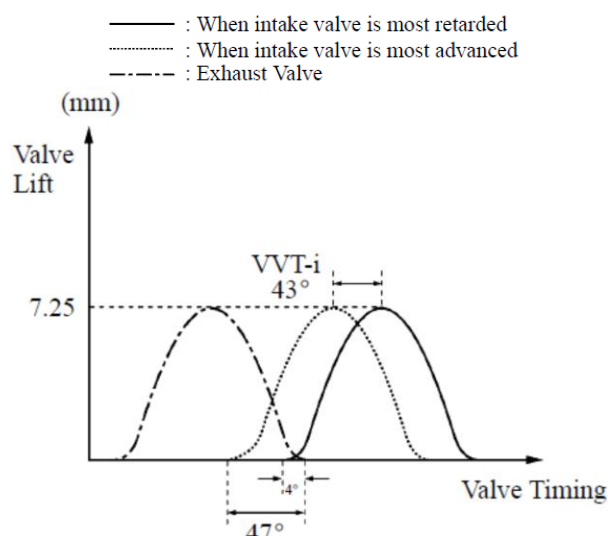
توسط آزمایشگاه تحقیقاتی لوس‌الاموس معرفی گردیده، استفاده شده است. K3prep اطلاعات ورودی مربوط به هندسه موتور را در قالب یک متن و به شکل مجموعه نقاطی گسسته از سطوح یا منحنی‌ها در قالب یک فایل ورودی تحت عنوان iprep فراخوانی می‌کند. شبکه باسازمان تولید شده توسط K3prep، از سه ناحیه محاسباتی، ۴۱ بلوک و ۱۸۵۴۶ سلول تشکیل شده است. نواحی محاسباتی مورد بحث در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.



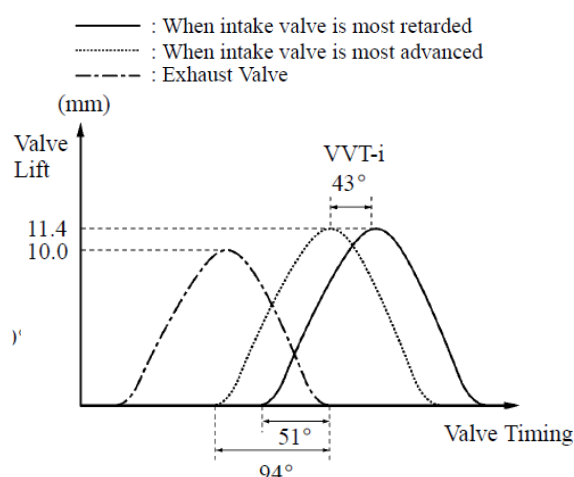
شکل (۵): نواحی محاسباتی شبکه تحت بررسی.

بلوک‌های تشکیل دهنده نواحی با اعمال دستوراتی در فایل ورودی iprep به شکل نهایی که مورد بررسی است، تبدیل خواهند شد.

انواع شرایط مرزی فیزیکی به کار رفته برای سلول‌ها در شبکه تولید شده مورد بحث عبارتند از سیال<sup>۱</sup>، متحرک<sup>۲</sup>، جامد<sup>۳</sup> و محوری<sup>۴</sup>. شرط مرزی متحرک برای سلول‌هایی که در تماس با سطوح متحرک (پیستون یا سوپاپ) هستند، شرط مرزی جامد برای سطوح سلول‌هایی که در تماس با دیواره‌های ثابت هستند، شرط محوری برای سطوح سلول‌هایی که بر روی یک محور تقارن واقع می‌شوند و شرط سیال نیز برای سطوح مشترکی که بین دو سلول فعال سیال به اشتراک گذاشته می‌شوند، به کار می‌روند. علاوه بر شرط‌های مرزی فیزیکی که به آنها اشاره شد، شرط‌های مرزی عددی نیز هستند که مورد نیاز معادلات حاکم نیستند اما تجربه نشان داده برای



شکل (۳): پروفیل خیز سوپاپ تحت تاثیر بادامک سرعت پایین و متوسط.



شکل (۴): پروفیل خیز سوپاپ تحت تاثیر بادامک سرعت بالا.

مطابق شکل ۳ بادامک سرعت پایین و متوسط با جابجا کردن ۴۳ درجه‌ای پروفیل خیز سوپاپ ورودی، می‌تواند مدت زمان دوره همپوشانی را از ۴ تا ۴۷ درجه تغییر دهد. طبق شکل ۴، مشابه این تغییر در پروفیل خیز سوپاپ ورودی که با بادامک سرعت بالا کنترل می‌شود، مشاهده می‌گردد. در این مورد نیز با جابجا شدن پروفیل خیز بادامک به اندازه ۴۳ درجه مدت زمان دوره همپوشانی از ۵۱ درجه تا ۹۴ درجه تغییر می‌کند.

## ۷- تولید شبکه

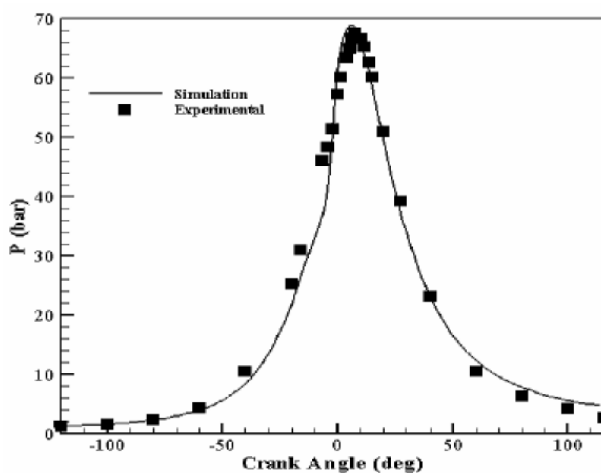
برای تولید شبکه تحت بررسی در این مقاله از نرم‌افزار تولید شبکه K3prep، که به عنوان پیش‌پردازنده نرم‌افزار Kiva-3v

- 1- Fluid
- 2- Moving
- 3- Solid
- 4- Axis

جدول ۱، که در آن از مکانیزم تغییر زمان بندی سوپاپها استفاده نشده، اجرا گردیده، آنگاه مکانیزم زمان بندی متغیر سوپاپها طبق مشخصات مذکور در جدول ۲ به آن اعمال و نتایج بررسی شده است.

#### ۸-۱- راستی آزمایی برنامه

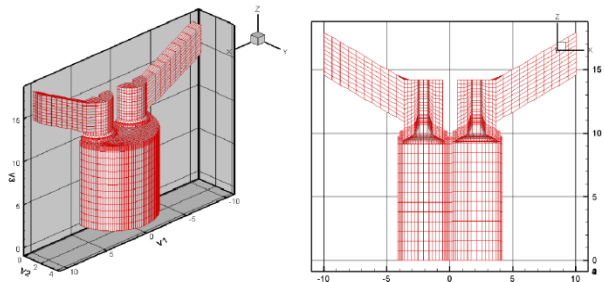
در این بخش به کمک نتایج تجربی موجود در مرجع [۲۱] به بررسی صحت و سقم نتایج به دست آمده از نرم افزار KIVA-3V پرداخته شده است. با توجه به این که منحنی های فشار-زاویه لنگ معیار مناسبی برای سنجش عملکرد موتور است، در نمودار شکل ۷ تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه لنگ از لحظه بسته شدن سوپاپ ورودی تا لحظه باز شدن سوپاپ خروجی با نتایج تجربی مقایسه شده است. در مرجع [۲۱] نیز منحنی فشار مطلق استاتیکی داخل موتور بر حسب زاویه لنگ با نتایج تجربی مقایسه شده است. مشخصات موتور استفاده شده جهت اعتبار سنجی در جدول ۳ ارائه شده است. شبیه سازی این موتور تحت دمای ورودی ۲۹۳/۱۵K، فشار ورودی ۹۹ kPa و دور ۱۶۰۰rpm انجام گرفته است. مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج تجربی حاکی از تطابق رضایت بخشی است. با توجه به استفاده از نرم افزار توسعه یافته KIVA-3V در این تحقیق و نتایج به کار گرفته شده در مرجع [۲۱]، این اطمینان حاصل خواهد شد که نتایج حاصل از شبیه سازی از اعتبار بالایی برخوردار خواهد بود.



شکل (۷): منحنی تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه لنگ [۲۱].

محاسبات مرزی در کدهای سیالاتی ضرورت دارند و در تولید این شبکه نیز از آنها استفاده شده است. شرطهای مرزی پریدیک<sup>۱</sup>، فشار ورودی<sup>۲</sup> و فشار خروجی<sup>۳</sup> سه شرط مرزی عددی هستند که برای تولید این شبکه از آنها استفاده شده است [۱۹]، [۲۰].

شکل ۶ نمای توسعه یافته ای از بلوکهای شکل ۵ (شبکه تولید شده) را نشان می دهد.



شکل (۶): نماهایی از شبکه تولید شده با k3prep.

همان طوری که از شکل های ۵ و ۶ مشخص است، چون شبکه موتور مورد نظر در راستای صفحه  $x-z$  دارای تقارن صفحه ای است، بنابراین نصف شبکه تولید شده است که این امر موجب کاهش حجم محاسبات خواهد شد.

جدول (۳): ویژگی های مشخصه موتور مدل شده جهت

اعتبار دهی [۲۱].

حجم جایجایی پیستون ( $cm^3$ )	۱۳۶۸
قطر سیلندر ( $mm$ )	۷۲
طول کورس ( $mm$ )	۸۴
تعداد سیلندر	۴
تعداد سوپاپ	۸
نسبت تراکم هندسی	۱۱
زمان باز شدن سوپاپ ورودی	۷ bTDC
زمان بسته شدن سوپاپ ورودی	۴۱ aBDC
زمان باز شدن سوپاپ خروجی	۵۵ bBDC
زمان بسته شدن سوپاپ خروجی	۷ aTDC

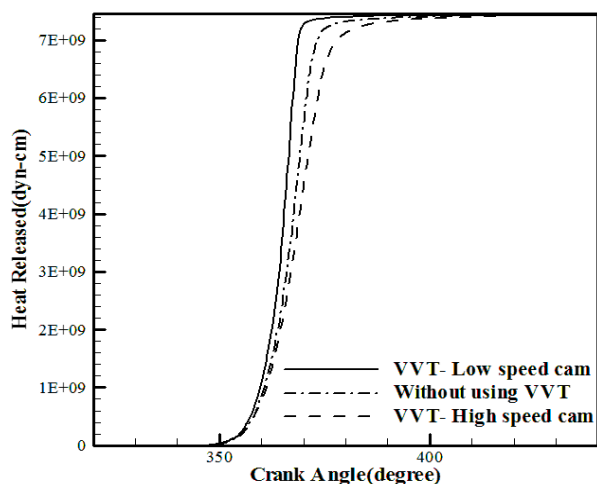
#### ۸- نتایج شبیه سازی

در این تحقیق ابتدا به راستی آزمایی برنامه Kiva-3v پرداخته شده است. سپس این برنامه برای موتور پایه طبق مشخصات

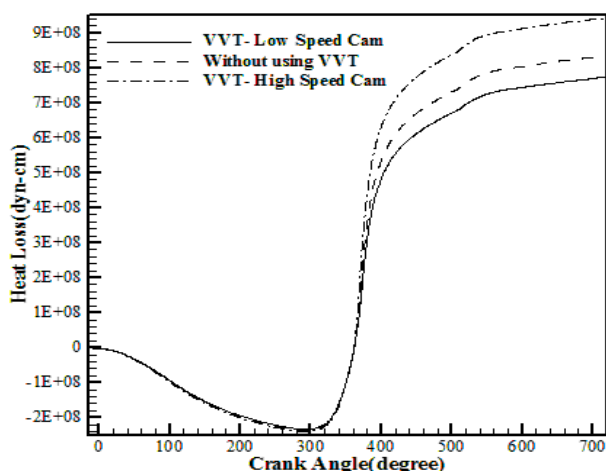
- 1- Periodic
- 2- Pressure Inflow
- 3- Pressure Outflow



مکانیزم (بادامک سرعت پایین) جهت باز و بسته کردن سوپاپ خروجی اعمال می‌نماید، حرارت تلف شده از چرخه کاهش می‌یابد (شکل ۱۱).



شکل (۱۰): نمودار حرارت آزاد شده- زاویه لنگ برای حالت‌های بدون/ با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها.

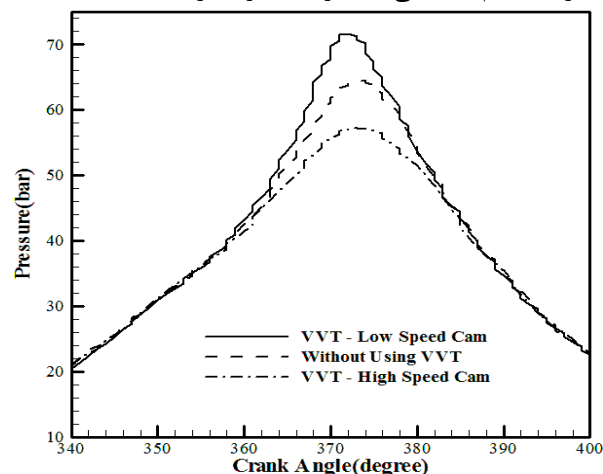


شکل (۱۱): نمودار حرارت تلف شده- زاویه لنگ برای حالت‌های بدون/ با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها.

از طرفی به دلیل افزایش فشار کاری چرخه، فشار موثر متوسط افزایش می‌یابد و در این مورد نیز افزایش فشار موثر متوسط به ازای استفاده از بادامک سرعت پایین بیشتر خواهد بود. به دلیل کاهش تلفات حرارتی و افزایش فشار کاری چرخه، قدرت خروجی نیز افزایش می‌یابد (شکل ۱۲).

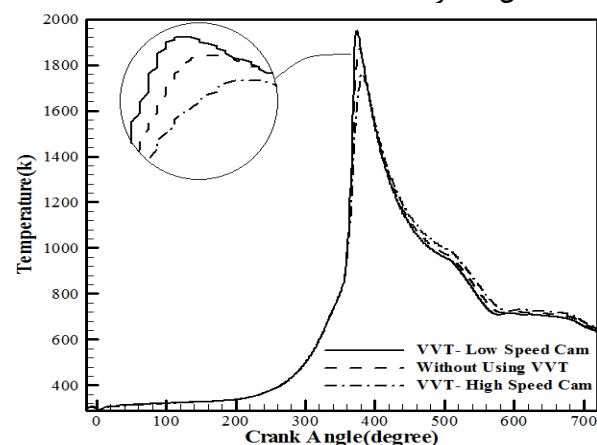
## ۸-۲- بررسی نتایج استفاده از مکانیزم زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها

همان‌طوری که از نمودار شکل ۸ مشخص است به ازای استفاده از این مکانیزم، در حالتی که از بادامک سرعت پایین استفاده شده است، حداکثر فشار محفظه احتراق افزایش می‌یابد و این افزایش فشار تبعاتی چون افزایش کار خروجی به ازای حجم جابجایی ثابت را به همراه دارد.



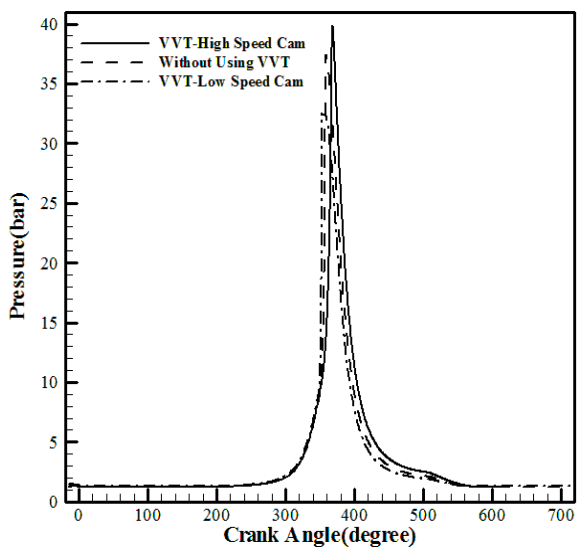
شکل (۸): نمودار فشار- زاویه لنگ برای حالت‌های بدون/ با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها.

با استفاده از این مکانیزم (استفاده از بادامک سرعت پایین) مقدار جریان مخلوط ورودی به محفظه احتراق افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند منجر به افزایش کارایی احتراق، افزایش حداکثر دمای کاری چرخه (شکل ۹) و ازدیاد حرارت تولید شده (شکل ۱۰) گردد.

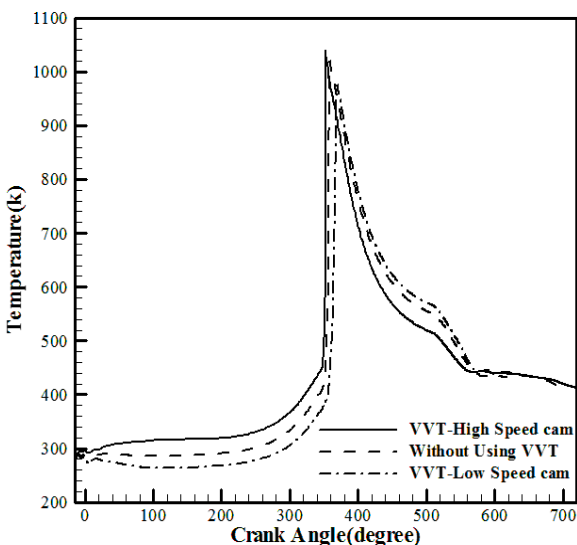


شکل (۹): نمودار دما- زاویه لنگ برای حالت‌های بدون/ با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها.

در عین حال با توجه به زمان‌بندی صحیحی که این

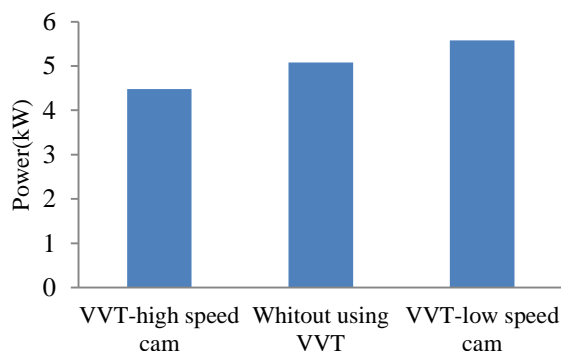
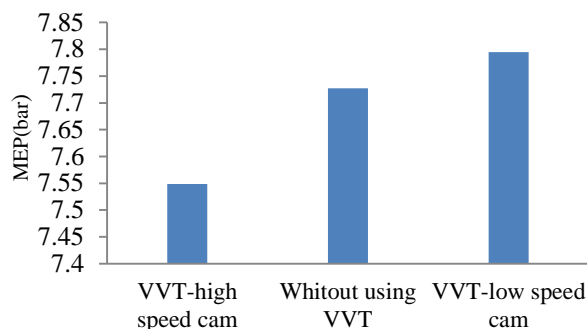


شکل (۱۳): نمودار فشار- زاویه لنگ برای حالت‌های بدون/ با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها در دور ۳۰۰۰ rpm



شکل (۱۴): نمودار دما- زاویه لنگ برای حالت‌های بدون/ با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها در دور ۳۰۰۰ rpm

با توجه به شکل‌های ۱۳ و ۱۴، حداکثر فشار و دمای محفظه احتراق با استفاده از این مکانیزم (بادامک سرعت بالا) افزایش یافته است.

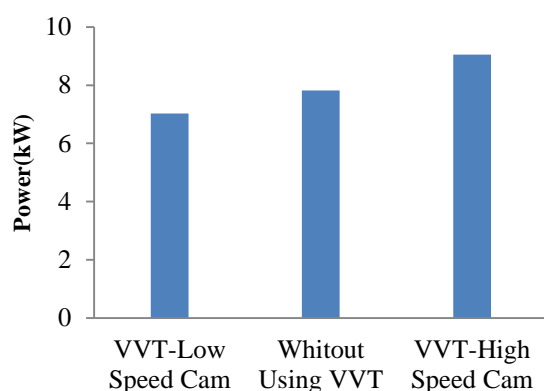
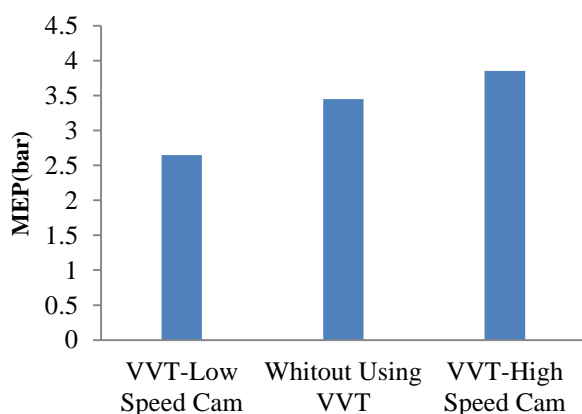


شکل (۱۲): نمودارهای فشار موثر متوسط و قدرت خروجی برای حالت‌های بدون/ با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها.

تاکنون نتایج به دست آمده در این بخش مربوط به عملکرد موتور در دور پایین (۱۶۰۰ rpm) بوده است. به منظور بررسی نحوه عملکرد مکانیزم زمان‌بندی متغیر سوپاپ‌ها برای موتور تحت بررسی در دورهای بالا، عملکرد موتور در دور ۳۰۰۰ rpm مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شکل‌های ۱۳ تا ۱۷ نشان داده شده است.

با افزایش دور موتور کیفیت احتراق به واسطه کم شدن جرم مخلوط ورودی و زمان احتراق در هر چرخه، کاهش می‌یابد که این امر باعث می‌شود میزان انرژی تولید شده افت نماید و در نتیجه با افزایش دور موتور، از فشار کاری چرخه کاسته خواهد شد. با همین استدلال می‌توان افت دمای کاری چرخه را نیز توجیه نمود. در واقع با کاهش کیفیت احتراق و کم شدن طول زمان احتراق، که نتیجه افزایش دور موتور است، دمای کاری چرخه نیز کاهش می‌یابد. مقایسه شکل‌های ۱۳ و ۱۴ با شکل‌های ۸ و ۹ موید این مطلب می‌باشد.

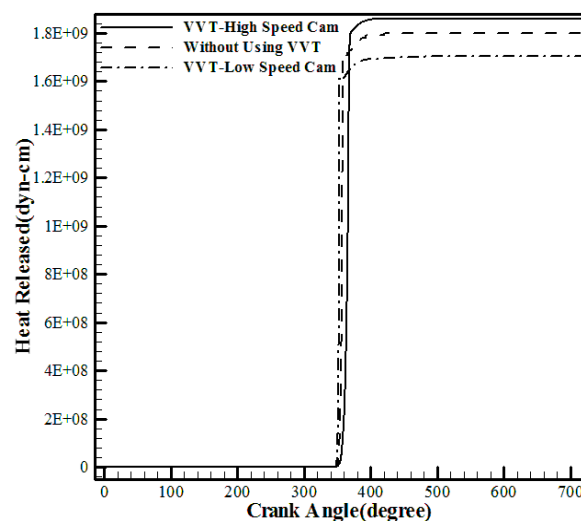
موتور، با توجه به کوتاه‌تر شدن زمان چرخه‌ها، فرصت کافی برای خارج شدن از موتور (به عبارت دیگر تلف شدن) را نمی‌یابد. بنابراین با افزایش دور موتور تلفات حرارتی کاهش می‌یابد. همان‌طوری که در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است، با استفاده از بادامک سرعت بالا، حرارت آزاد شده و حرارت تلف شده به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را در مقایسه با دو حالت دیگر به خود اختصاص داده‌اند.



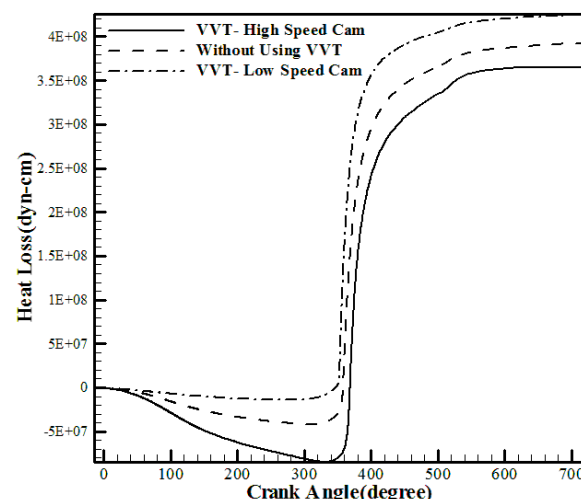
شکل (۱۷): نمودارهای فشار موثر متوسط و قدرت خروجی برای حالت‌های بدون/با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها در دور ۳۰۰۰ rpm

همان‌طوری که بحث شد با افزایش دور موتور، فشار کاری چرخه کاهش می‌یابد. این موضوع سبب می‌شود به ازای حجم جابجایی ثابت، کار خروجی از هر چرخه کاهش یابد. اما با افزایش دور موتور تعداد چرخه‌های تولید کار در واحد زمان افزایش می‌یابد که این امر باعث می‌شود، با وجود کاهش فشار چرخه، توان خروجی موتور افزایش یابد.

همان‌طوری که در شکل‌های ۱۳ تا ۱۷ نشان داده شده است بهترین عملکرد را در دور ۳۰۰۰ rpm بادامک سرعت بالا به



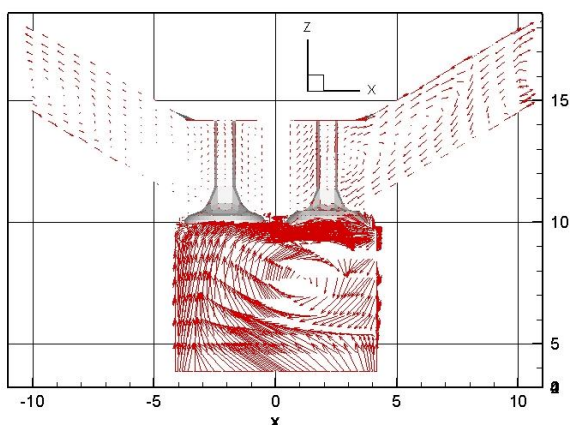
شکل (۱۵): نمودار حرارت آزاد شده - زاویه لنگ برای حالت‌های بدون/با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها در دور ۳۰۰۰ rpm



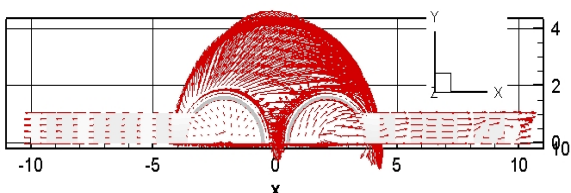
شکل (۱۶): نمودار حرارت تلف شده - زاویه لنگ برای حالت‌های بدون/با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها در دور ۳۰۰۰ rpm

افزایش دور موتور کاهش کیفیت احتراق را به همراه خواهد داشت که این امر باعث کاهش حرارت آزاد شده در یک چرخه کاری می‌شود.

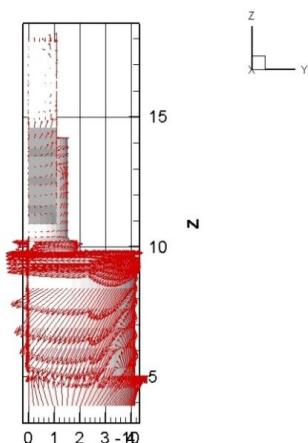
همچنین افزایش دور موتور تخلیه ناقص گازهای خروجی، کاهش میزان مخلوط سوخت و هوای ورودی به محفظه احتراق و کوتاه شدن زمان احتراق را به دنبال خواهد داشت. این عوامل سبب کاهش کیفیت واکنش احتراق و ناقص‌سوزی هیدروکربن‌ها می‌شود. همچنین انرژی حرارتی با افزایش دور



شکل (۱۹): نمایش خطوط جریان درون محفظه احتراق موتور در صفحه  $x-z$  در حالت پایه.



شکل (۲۰): نمایش خطوط جریان درون محفظه احتراق موتور در صفحه  $x-y$  در حالت پایه.

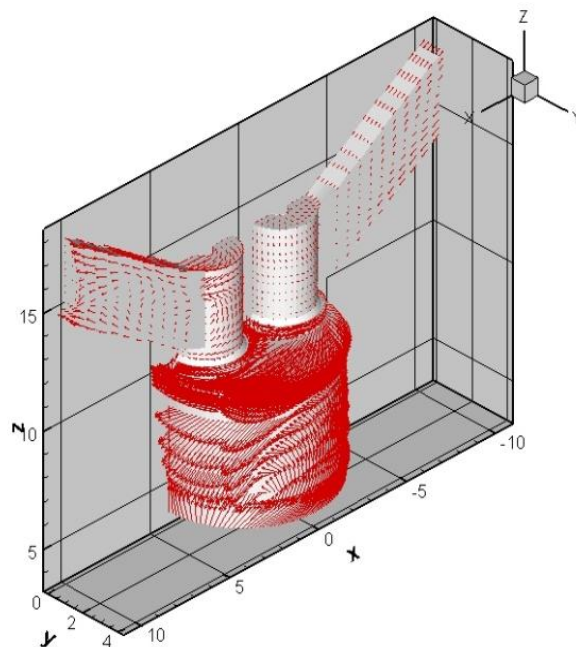


شکل (۲۱): نمایش خطوط جریان درون محفظه احتراق موتور در صفحه  $y-z$  در حالت پایه.

شکل‌های ۲۵ و ۲۶ نیز به ترتیب منحنی‌های غلتش حول محورهای  $X$  و  $Y$  و شکل ۲۷ نیز منحنی‌های چرخش که حول محور  $Z$  محفظه احتراق انجام می‌گیرد را در دور  $3000\text{rpm}$  نشان می‌دهد.

خود اختصاص داده است و دلیل این امر نیز افزایش مخلوط ورودی به محفظه احتراق و خروج صحیح گازهای حاصل از احتراق به دلیل زمان‌بندی و پروفیل بادامک سرعت بالا می‌باشد.

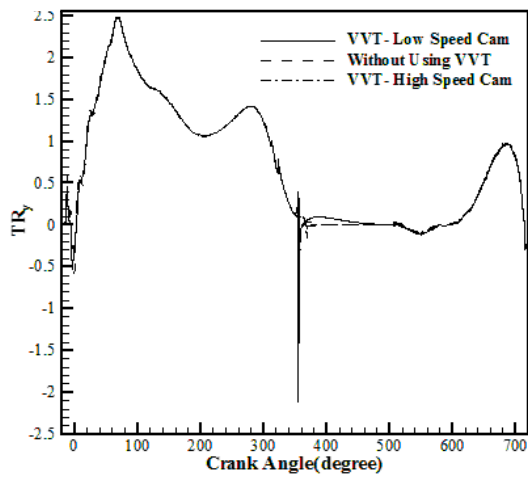
شکل‌های ۱۸ تا ۲۱ خطوط جریان درون محفظه احتراق را در زاویه لنگ  $270/1619$  درجه نشان می‌دهند. جهت خطوط جریان نشان دهنده جریان‌های غلتش و چرخش است. همان طوری که قبلاً بحث شد، نحوه جریان درون محفظه احتراق بر اختلاط مخلوط سوخت و هوا و در نتیجه کیفیت احتراق موثر است.



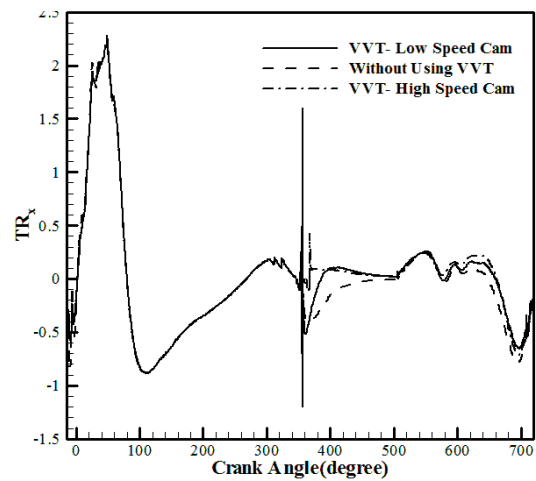
شکل (۱۸): نمایش خطوط جریان درون محفظه احتراق موتور در حالت پایه.

شکل‌های ۱۹ تا ۲۱ که در ادامه می‌آیند به ترتیب غلتش، چرخش و ترکیبی از چرخش و غلتش را نشان می‌دهند.

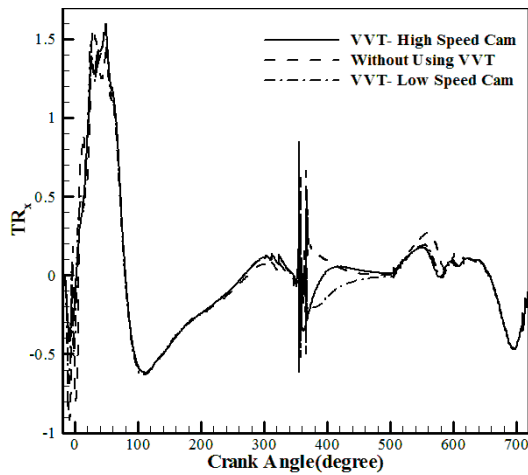
شکل‌های ۲۲ و ۲۳ به ترتیب منحنی‌های غلتش حول محورهای  $X$  و  $Y$  و شکل ۲۴ نیز منحنی‌های چرخش که حول محور  $Z$  محفظه احتراق انجام می‌گیرد را در دور  $1600\text{rpm}$  نشان می‌دهد.



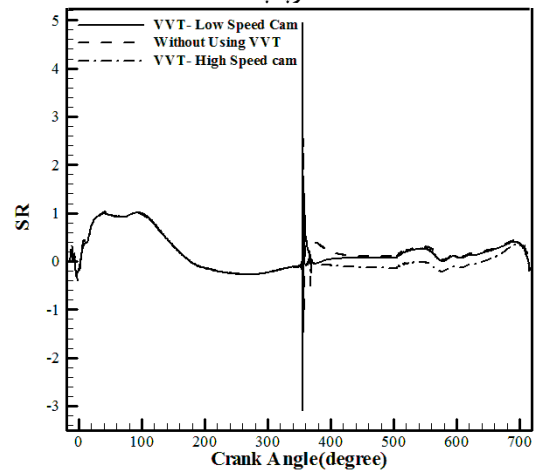
شکل (۲۳): غلتش حول محور  $y$ - زاویه لنگ، برای حالت‌های بدون / با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها.



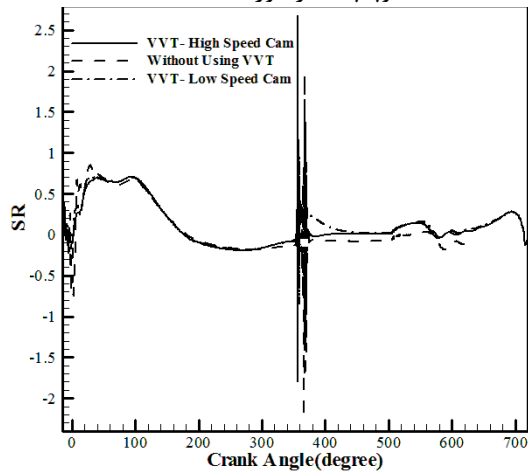
شکل (۲۴): غلتش حول محور  $x$ - زاویه لنگ، برای حالت‌های بدون / با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها.



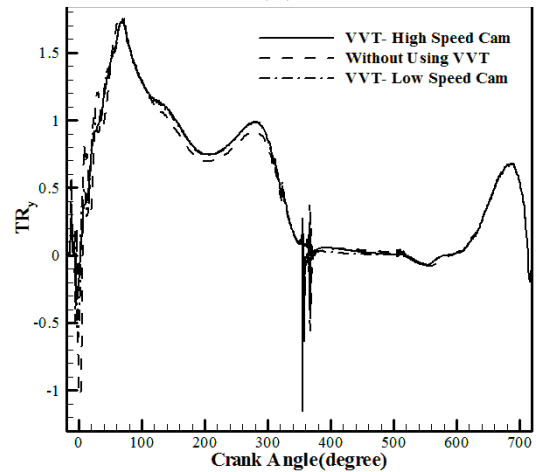
شکل (۲۵): غلتش حول محور  $x$ - زاویه لنگ، برای حالت‌های بدون / با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها در دور  $3000\text{rpm}$ .



شکل (۲۶): چرخش حول محور  $z$ - زاویه لنگ، برای حالت‌های بدون / با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها.



شکل (۲۷): چرخش حول محور  $z$ - زاویه لنگ، برای حالت‌های بدون / با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها در دور  $3000\text{rpm}$ .



شکل (۲۸): غلتش حول محور  $y$ - زاویه لنگ، برای حالت‌های بدون / با استفاده از مکانیزم تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها در دور  $3000\text{rpm}$ .

4. Stone, R., and Kwan, E. "Variable Valve Actuation Mechanisms and the Potential for Their Application", SAE paper 890673, 1989.
5. Lenz, HP., Wichart, K., and Gruden, D. "Variable Valve Timing- A Possibility to Control Engine Load Without Throttle", SAE paper 880388, 1988.
6. Gray, C. "A Review of Variable Engine Valve Timing", SAE paper 880386, 1988.
7. Schechter, M.M., and Levin, M.B. "Cam Less Engine", SAE paper 960581, 1996.
8. Moriya, Y., Watanabe, A., Uda, H., Kawamura, H., Yoshioka, M., and Adachi, M. "A Newly Developed Intelligent Variable Valve Timing System Continuously Controlled Cam Phasing as Applied to a New 3 Liter Inline 6 Engines", SAE paper 960579, 1996.
9. Jost, K. "Spark-Ignition Engine Trends", Automotive Engineering International, pp. 26-39, 2002.
10. Duckworth, R.F., and Barker, L. "A Comparative Study of Variable Camshaft Phasing and Port Throttling for Performance and Emissions", SAE paper 960580, 1996.
11. Leone, T.G., Christenson, E.J., and Stein R.A. "Comparison of Variable Camshaft Timing Strategies at Part Load", SAE paper 960584, 1996.
12. Shiga, S., Morita, M., Yagi, S., Matsumoto, T., Nakamura, H., and Karasawa, T. "Effect of Early-Closing of Intake-Valve on the Engine Performance in a Spark-Ignition Engine", SAE paper 960585, 1996.
13. Badami, M., Marzano, M.R., and Nuccio, P. "Influence of Late Intake-Valve Opening on the SI Engine Performance in Idle Condition", SAE paper 960586, 1996.
14. Ueda, N., Sakai, H., Iso, N., and Sasaki, J. "A Naturally Aspirated Miller Cycle Gasoline Engine- Its Capability of Emission, Power and Fuel Economy", SAE paper 960589, 1996.
15. Bozza, F., Gimelli, A., Senatore, A., and Caraceni, A. "A Theoretical Comparison of Various VVA Systems for Performance and Emission Improvements of SI-Engines", SAE paper 2001-0100670, 2001.
16. Amsden, A.A., O'Rourke, P.J., and Butler, T.D. "KIVA-II: A Computer Program for Chemically Reactive Flows with Sprays", Los Alamos National Laboratory Report, LA-11560-MS, May 1989.
17. Heywood, J.B. "Internal Combustion Engine

همان طوری که در شکل های ۲۲ تا ۲۷ مشخص است، استفاده از مکانیزم زمان بندی متغیر سوپاپ ها، بادامک های سرعت پایین و سرعت بالا به ترتیب در دورهای ۱۶۰۰rpm و ۳۰۰۰rpm، مقادیر چرخش و غلتش را در محدوده های مربوط به مراحل مکش و تخلیه بهبود می بخشد. تغییر الگوی جریان مخلوط درون سیلندر و تغییر نرخ آن، تاثیر به سزایی در فرایندهای مکش، تخلیه و اختلاط بار به منظور بهبود الگوی احتراق دارد. افزایش فشار، دما، قدرت، فشار موثر متوسط و سایر پارامترهایی که قبلا بحث شد، موید این مطلب است.

### ۹- نتیجه گیری

نتایج حاصل از شبیه سازی صورت گرفته در این مقاله را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

- ۱- مکانیزم تغییر زمان بندی مورد بحث در این مقاله باعث افزایش فشار کاری طی یک سیکل کاری می گردد.
- ۲- مکانیزم تغییر زمان بندی، چون باعث افزایش مقدار بار ورودی می شود، کاهش دمای خروجی سیال را به دلیل افزایش کیفیت و جرم محصولات احتراقی و جذب مقداری از انرژی حرارتی توسط این جرم اضافی به دنبال دارد.
- ۳- مقدار قدرت خروجی به دلیل استفاده از این مکانیزم افزایش قابل ملاحظه ای خواهد داشت.
- ۴- فشار موثر متوسط نیز تحت تاثیر استفاده از این مکانیزم افزایش می یابد.
- ۵- الگوی جریان مخلوط هوا و سوخت نیز به دلیل استفاده از این مکانیزم بهبود پیدا می کند.

### مراجع

1. Dresner, T., and Barkan, P. "A Review and Classification of Variable Valve Timing Mechanisms", SAE paper 890674, 1989.
2. Nagumo, S., and Hara, S. "Study of Fuel Economy Improvement Through Control of Intake Valve Closing Timing: Cause of Combustion Deterioration and Improvement", JSAE Review, Vol. 16, No. 139, 1995.
3. Kohany, T., and Sher, E. "Using the 2nd Law of Thermodynamics to Optimize Variable Valve Timing for Maximizing Torque in a Throttled SI Engine", SAE paper 99010328, 1999.

Fundamentals”, McGraw-Hill, Inc. 1998.

18. Shikida, T., Nakamura, Y., and Nakakubo, T., “Development of the High Speed 2ZZ-GE Engine”, SAE 2000 World Congress Detroit, Michigan, March 6-9, 2000.
19. Amsden, A.A. “KIVA-3: A KIVA Program with Block-Structured Mesh for Complex Geometries”, Los Alamos National Laboratory Report, LA-12503-MS, March 1993.
20. Amsden, A.A. “KIVA-3V: A Block-Structured KIVA Program for Engines with Vertical or Canted Valves”, Los Alamos National Laboratory Report, LA-13313-MS, July 1997.
21. Peng, Z.J., and Jia, M. “An Investigation and Evaluation of Variable Valve Timing and Variable Valve Actuation Strategies in a Diesel Homogeneous Charge Compression Ignition Engine Using Three-Dimensional Computational Fluid Dynamics”, Proc. IMechE, Vol. 222, 2008.