

# کاهش مدت زمان دوره گذرای گرم شدن در موتور احتراق داخلی از طریق پیش گرمایش اجزای موتور

علی قاسمیان مقدم\*

دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک (سیستم محرکه خودرو)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی  
Ghasemian.a@Gmail.com

سیدعلی جزایری

دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی  
jazayeri@kntu.ac.ir

پذیرش نهایی مقاله: ۸۸/۱۰/۱

\* نویسنده مسئول/تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۵

## چکیده

دوره گرم شدن موتور<sup>۱</sup> دوره گذرای حرارتی است که در آن، دمای موتور و اجزای آن در اثر شار حرارتی ناشی از احتراق از دمای محیط به دمای پایای کارکرد موتور و از دیدگاه حرارتی به شرایط پایای حرارتی می‌رسند. چون این زمان در موتور احتراق داخلی از نظر حرارتی گذرا محسوب می‌گردد، به کمک روش‌های تحلیل انتقال حرارت پایا قابل تجزیه و تحلیل نیست و باید از روش‌های تحلیل انتقال حرارت گذرا برای این منظور بهره برد. یکی از مناسب‌ترین روش‌های تحلیل انتقال حرارت گذرا روش ظرفیت حرارتی فشرده است که در راستای دستیابی به اهداف پژوهش پیش رو استفاده شده است. البته به کارگیری روش یاد شده مستلزم برآورده شدن شرایط خاصی است که در جای خود به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

در این پژوهش انتقال حرارت در اجزای اصلی موتور مانند سنبه (پیستون)، بدنه موتور (بلوک سیلندر)، بستار (سرسیلندر)، روغن و خنک‌کننده موتور در مرحله گذرای گرم شدن موتور به کمک روش ظرفیت حرارتی فشرده بررسی و معادلات انتقال حرارت در این دوره ارائه می‌گردد. معادلات انتقال حرارت اجزای موتور در دوره یاد شده به صورت یک دستگاه معادلات تفاضلی (دیفرانسیل) ظاهر می‌شوند. به دلیل وجود جملات غیرخطی پیچیده در معادلات یاد شده، حل تحلیلی آن‌ها به سادگی امکان‌پذیر نیست و لذا برای حل آن‌ها از نرم‌افزار متلب<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. پس از تکمیل نرم‌افزار یاد شده، رفتار حرارتی اجزای موتور، به‌ویژه خنک‌کننده آن که از اهمیت بسزایی برخوردار است استخراج می‌گردد.

پس از استخراج دمای خنک‌کننده، نتایج یاد شده با نتایج تجربی حاصل از آزمون موتور در دوره گرم شدن آن که در مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو (ایپکو)، صورت گرفته است، مقایسه می‌شود و بدین ترتیب درستی و صحت نتایج به دست آمده بررسی می‌شود. در نهایت نیز پس از تأیید روش‌های اتخاذ شده، راهکارهای پیشنهادی کاهش زمان گرم شدن موتور مطرح می‌شود و نتایج حاصل از تأثیر روش‌های یاد شده بر رفتار حرارتی خنک‌کننده ارائه می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: دوره گرم شدن موتور، روش ظرفیت کلی، خنک‌کننده

Warm up – ۱  
MATLAB – ۲

## ۱- مقدمه

■ آلودگی یکی از تبعات دنیای صنعتی امروز است. بیش از ۶۰٪ آلودگی هوا ناشی از خودروهاست و این درصد در مناطق شهری به بیش از ۸۰٪ می‌رسد. پژوهش‌های انجام شده در این راستا حاکی از آن است که ۸۰٪ آلودگی ناشی از خود خودروها نیز در شرایط گرم شدن موتور رخ می‌دهد [۱].

در این پژوهش سعی بر آن است تا به منظور هر چه کمتر کردن سطح آلاینده‌ها در دوره گرم شدن موتور، مدت زمان این دوره از طریق پیش‌گرمایش برخی از اجزای اصلی موتور که تأثیر تعیین کننده‌ای بر زمان یاد شده دارند، کاهش داده شود و از این طریق میزان آلاینده‌هایی که موتور در دوره گرم شدن تولید می‌نماید، تقلیل یابد. برای این منظور ابتدا فرآیندهای انتقال حرارت در اجزای اصلی موتورمانند سیمه، بدنه موتور، بستار، روغن و خنک‌کننده موتور در مرحله گذرای گرم شدن موتور، بررسی شده‌اند. چون دوره گرم شدن موتور احتراق داخلی از نظر حرارتی گذرا محسوب می‌گردد، از روش ظرفیت کلی استفاده شده است که توجیه به‌کارگیری این روش نیز در ادامه آورده شده است. پس از تهیه معادلات انتقال حرارت اجزا، این معادلات که به صورت دستگاه معادلات تفاضلی (دیفرانسیل) مطرح می‌شوند به کمک نرم‌افزار متلب حل می‌شود و بدین‌وسیله رفتار حرارتی اجزای موتور، به‌ویژه خنک‌کننده آن که از اهمیت بسزایی برخوردار است، استخراج می‌گردد. پس از استخراج رفتار حرارتی اجزا، روش‌هایی به منظور کاهش زمان مذکور ارائه می‌شود و در نهایت نیز تأثیر هر یک از روش‌های مطرح شده با یکدیگر مقایسه شده‌اند و نقاط قوت و ضعف هر یک تجزیه و تحلیل می‌شود. کارهای مشابه با این تحقیق در گذشته نیز انجام شده است که از آن جمله می‌توان به کار وشاق و چن [۲] و کار شایلر و کریستیان [۳] اشاره کرد. اما روش به‌کار گرفته شده در پژوهش‌های مذکور با روشی که در این تحقیق استفاده شده است متفاوت می‌باشد. در کار وشاق و چن که تحت عنوان «یک الگوی رایانه‌ای برای تحلیل حرارتی- سیالاتی در دوره گرم شدن موتور» انجام گرفته است رفتار حرارتی سامانه به وسیله پدیده‌های جابجایی و رسانش تحلیل می‌شود. در حقیقت این الگو نمایشی است از سامانه حرارتی- سیالاتی به عنوان شبکه حرارتی و متشکل از جریان‌های متفاوت سیال که با دیواره‌های جامد از یکدیگر جدا شده‌اند. در تحقیق یاد شده دیواره‌های جامد توسط روش ظرفیت حرارتی فشرده شبیه‌سازی شده‌اند. در این کار شبیه‌سازی موتور از چهار جریان سیال تشکیل شده است. این چهار جریان عبارتند از: گاز داخل موتور، هوای اطراف محفظه موتور، جریان خنک‌کننده و جریان روغن. یکی از مشخصه‌های جامع این

تحقیق مطالعه دقیق بر روی میزان اعتبار روش ظرفیت کلی است. در این شبیه‌سازی، فرض ظرفیت کلی برای ساده‌سازی حل مسأله انتقال حرارت در شرایط گذرا در نظر گرفته شده است. مراجع متعدد موجود در زمینه انتقال حرارت بر این باورند که روش ظرفیت حرارتی فشرده در مواردی معتبر است که مقدار عدد بیوی محاسبه شده کمتر از ۰/۱ باشد. مطابق این مراجع در صورتی که در پدیده انتقال حرارتی گذرا، عدد بیو از ۰/۱ بیشتر باشد، روش ظرفیت حرارتی فشرده دیگر معتبر نیست و باید از نمودارهای ارائه شده هایلر استفاده نمود. بدین ترتیب، در صورتی که عدد بیوی محاسبه شده بیشتر از ۰/۱ باشد و در عین حال روش ظرفیت حرارتی فشرده به کار گرفته شود خطایی وارد محاسبه می‌گردد که میزان درصد آن به ازای اعداد بیوی متفاوت بزرگ‌تری از ۰/۱ در این کار بررسی شده است. طبق اطلاعات ارائه شده در این کار بیشترین خطا در فرض ظرفیت حرارتی فشرده، در مورد بستار و آستری استوانه (بوش سیلندر) رخ خواهد داد. مطالعات وشاق و چن حاکی از آن است که خطای حاصل از معتبر دانستن روش ظرفیت حرارتی فشرده و به‌کارگیری آن، در بحرانی‌ترین حالات نیز هیچ‌گاه از ۱۵٪ بیشتر نخواهد شد. پس از مقایسه نتایج به دست آمده از الگو و نمونه واقعی موتور، وشاق و چن به این نتیجه رسیدند که درصد خطای یاد شده، درصد قابل قبولی است و بنابراین فرض روش ظرفیت حرارتی فشرده عملی و در الگوسازی رفتار حرارتی موتور در دوره گذرای گرم شدن موتور قابل به‌کارگیری است.

در کاری که شایلر و کریستیان انجام دادند یک الگوی رایانه‌ای برای بررسی دما، انتقال حرارت و شاخصه‌های اصطکاک در دوره گرم شدن موتور طرح‌ریزی شده است. در این تحقیق با استفاده از الگوی ظرفیت حرارتی فشرده، معادلاتی را برای انتقال حرارت محلی، تلفات اصطکاکی و مدار چرخش خنک‌کننده و روغن به صورت تجربی استخراج کرده‌اند. یکی از مشکلاتی که در تحلیل فرآیند گرم شدن موتور وجود دارد زمان طولانی است که به محاسبات اختصاص داده می‌شود و دلیل این موضوع نیز محاسبات دما و انتقال حرارت برای اجزای متفاوت الگو می‌باشد. بر همین اساس روش‌های عناصر محدود برای کارهایی که به جزئیات یک مورد خاص می‌پردازند، کاربرد دارند. در این تحقیق نیز به منظور کاهش زمان محاسبات از روش ظرفیت حرارتی فشرده برای توصیف الگو استفاده شده است. آقایان شایلر و کریستیان به منظور بررسی میزان صحت فرض خود مبنی بر به‌کارگیری روش ظرفیت فشرده، رفتار حرارتی بدنه موتور و مجموعه بستار را با دو روش عناصر محدود و ظرفیت حرارتی فشرده تجزیه و تحلیل کرده و آن‌ها را با یکدیگر مقایسه نموده‌اند. عملکرد روش ظرفیت حرارتی فشرده از مقایسه دماهای به دست آمده از روش یاد شده

$$Bio = \frac{hl}{k} = \frac{350 \times 0.01}{177} = 2 \times 10^{-2} \quad (2)$$

همان گونه که مشاهده می‌گردد مقدار به دست آمده برای عدد بیو در رسانش سمبه از میزان ۰/۱ کمتر است و در نتیجه فرض روش ظرفیت کلی در سمبه کاملاً معتبر می‌باشد.

### ۲-۱-۲- محاسبه عدد بیو برای بدنه موتور

در مورد بدنه موتور نیز باید مانند سمبه تخمین اولیه‌ای برای عدد بیو متعلق به آن در نظر گرفته و از طریق آن اعتبار روش ظرفیت فشرده بررسی شود. ضخامت بدنه در موتور XU7 به طور تقریبی برابر 5mm است و جنس آن نیز مانند اغلب موتورهای دیگر چدنی می‌باشد.

بنابراین با توجه به معادله عدد بیو می‌توان این گونه نوشت:

$$Bio = \frac{hl}{k} = \frac{h_{bl-cool} \times 0.005}{100} = h_{bl-cool} \times 5 \times 10^{-5} \quad (3)$$

با توجه به معادله (۳)، اگر  $h_{bl-cool}$  مقداری مانند  $4000 \text{ W/m}^2\text{K}$  را به خود اختصاص دهد [۶]، عدد بیو برابر ۰/۲ خواهد شد. مقدار یاد شده برای  $h_{bl-cool}$  مقدار نسبتاً بزرگی در گستره ضرایب انتقال حرارت جابجایی است که غالباً در مواردی که پدیده جوشش اتفاق بیفتد بروز می‌نماید. حتی در صورتی که چنین مقدار بزرگی نیز برای  $h_{bl-cool}$  ظاهر شود، درصد خطایی که به واسطه بیشتر شدن عدد بیو از ۰/۱ در محاسبات ظاهر می‌گردد، مطابق کار وشاق و چن کمتر از ۱۰٪ خواهد بود که قابل صرف نظر کردن است [۲]. در دوره گذرای گرم شدن موتور، پدیده جوشش در یک بازه زمانی بسیار کوتاه و در اواخر این دوره واقع می‌گردد که از نظر زمانی درصد بسیار کوتاهی از این دوره را به خود اختصاص می‌دهد. به عبارت دیگر تنها در یک گستره زمانی کوتاه در دوره گذرای گرم شدن موتور دمای بدنه موتور از دمای اشباع سیال گذرنده از داخل آن تجاوز می‌نماید و موجب به وقوع پیوستن پدیده جوشش می‌گردد. چون این زمان در مقایسه با کل زمان دوره گرم شدن موتور بسیار کوتاه می‌باشد، بنابراین می‌توان از اثرات آن صرف نظر نمود. علاوه بر این، یکی دیگر از مواردی که در تعیین ضریب انتقال حرارت جابجایی تأثیرگذار است سرعت سیال است که مقدار این عامل نیز در حالتی که سیال از داخل بدنه موتور عبور می‌کند، کوچک می‌باشد. با توجه به دو دلیل ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که احتمال این که مقدار ضریب انتقال حرارت جابجایی از میزان گفته شده فراتر رود بسیار ضعیف می‌باشد و از این رو فرض روش ظرفیت کلی معتبر خواهد بود.

### ۲-۱-۲- محاسبه عدد بیو برای بستار

در ادامه بررسی اعتبار روش ظرفیت حرارتی کلی اکنون نوبت به بستار می‌رسد. امروزه تمامی بستارهای موتورهای احتراق داخلی از آلومینیم ساخته می‌شوند. با بررسی مراجع مشخص می‌گردد که ضریب رسانش

با روش عناصر محدود بررسی شد. در این مورد روش عناصر محدود بیش از ۳۵۰۰ عنصر را در برمی‌گیرد، در حالی که روش ظرفیت حرارتی فشرده فقط ۷ عنصر را شامل می‌شود. دمای خنک کننده در دوره گرم شدن موتور از ۲۰ درجه سانتیگراد به ۸۰ درجه سانتیگراد افزایش پیدا می‌کند و پس از آن ثابت می‌ماند. پس از آن دمای هر یک از عناصر روش ظرفیت حرارتی فشرده و همچنین دمای نقاط مرکزی هر یک از بخش‌های روش عناصر محدود بر حسب زمان ثبت می‌گردد. نتایج به دست آمده با استفاده از این دو روش در دوره یاد شده شباهت خوبی به یکدیگر داشتند. کار دیگری را با همین مضمون کاپلان [۴] انجام داده است که از نظر روش تحلیل انتقال حرارت دارای اشتراکاتی با پژوهش پیش رو است. شاخصه‌ای که این پژوهش را متمایز می‌سازد این است که در این تحقیق پس از بررسی انتقال حرارت برخی از اجزا به روش مقاومت حرارتی کاپلان، به بررسی راهکارهای متفاوت کاهش پدیده گرم شدن موتور از دیدگاه حرارتی پرداخته شده است. علاوه بر این در تحقیق پیش رو، فرآیندهای حرارتی حاکم بر خنک کننده به هنگام عبور از میدل (رادیاتور) نیز تحلیل شده و پس از استخراج معادلات آن، رفتار حرارتی خنک کننده بعد از باز شدن دماپا (ترموستات) نیز دیده شده است.

## ۲- استخراج معادلات حرارتی اجزا

### ۲-۱-۲- روش ظرفیت فشرده

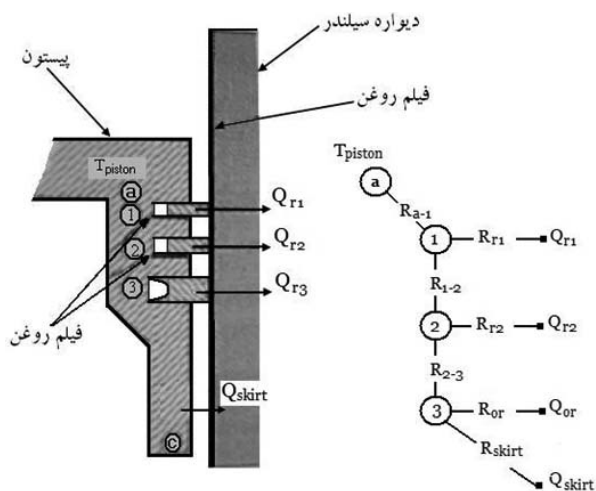
یکی از روش‌های تحلیل شرایط حرارتی گذرا استفاده از روش حرارتی ظرفیت فشرده می‌باشد که باید اعتبار آن را بررسی کرد. شرط معتبر بودن روش حرارتی ظرفیت فشرده این است که مقدار عدد بیو از ۰/۱ کمتر باشد [۵]. با توجه به معادله عدد بیو داریم:

$$Bio = \frac{hl}{k} \quad (1)$$

در معادله (۱)  $h$  ضریب انتقال حرارت،  $l$  طول مشخصه و  $k$  ضریب رسانش حرارتی جسم جامد می‌باشد.

### ۲-۱-۱- محاسبه عدد بیو برای سمبه

سمبه‌ها در اغلب موارد از جنس آلومینیوم ساخته می‌شوند. در مراجع، ضریب رسانندگی آلومینیوم داده شده است:  $177 \text{ W/mK}$  [۵]. ضخامت متوسطی که برای سمبه موتور مورد آزمایش در نظر گرفته شده برابر ۱۰ میلی‌متر است که این ضخامت همان طول مشخصه مورد نیاز در معادله عدد بیو است. عامل دیگری که مورد نیاز است ضریب انتقال حرارت جابجایی در سمت روغن است که مقدار آن نیز به طور تقریبی  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$  تخمین زده شده است. بنابراین عدد بیو در این قسمت به راحتی قابل محاسبه است.



شکل ۱) دیاگرام انتقال حرارت سمبه/آستری استوانه و الگو مقاومت حرارتی

پیدا کردن  $R_{wall}$  دارای فرآیند بسیار پیچیده‌ای است که به روش مقاومتی کاپلان شهرت دارد. در اینجا تنها به نشان دادن شکل نمادین از روندی که برای به دست آوردن  $R_{wall}$  طی می‌گردد بسنده گردید و به دلیل محدودیت‌های موجود از آوردن جزئیات روش صرفنظر شده است (شکل ۱). روش‌های محاسبه تعیین ضرایب انتقال حرارت کلی برای حلقه‌ها و دامن سمبه بر اساس روش‌هایی که  $Li$  [۷] و  $Sitkei$  [۸] به دست آورده‌اند، پیدا می‌شود. میزان انتقال حرارتی که از دسته سمبه در شرایط پایدار منتقل می‌شود، ۱۰٪ حرارتی است که به صفحه بالایی سمبه وارد می‌گردد. با توجه به این مطلب می‌توان نتیجه گرفت که میزان انتقال حرارت از طریق دسته سمبه، قبل از رسیدن سمبه به شرایط پایدار خودش از این مقدار کمتر خواهد بود، چرا که اختلاف دمای بین سمبه و میل‌لنگ در این دوره کمتر می‌باشد. از این رو، در محاسبات شرایط گذرا، انتقال حرارت از طریق دسته سمبه به صورت تابعی از حرارت کلی که سمبه را ترک می‌کند در نظر گرفته می‌شود:

$$\dot{Q}_{con} = 0.1 \times \dot{Q}_{p-s} \left( 1 - \frac{\dot{Q}_{p-s}}{\dot{Q}_p} \right) \quad (۸)$$

$\dot{Q}_{pi-s}$ : نرخ انرژی ذخیره شده در سمبه است که می‌توان آن را به صورت معادله (۹) نوشت:

$$\dot{Q}_{pi-s} = [mC]_{pi} + [mC]_{con} \left] \frac{dT_{pi}}{dt} \quad (۹)$$

پس از جایگذاری در معادله  $\dot{Q}_{con}$ ، معادله‌ای که برای آن حاصل می‌گردد بدین صورت خواهد بود:

آلومینیم از ضریب رسانش چدن که برای ساخت بدنه موتور به کار می‌رود بسیار بزرگتر می‌باشد. بنابراین، چون ضخامت بدنه موتور و بستار در جهت انتقال حرارت تقریباً یکسان است و با توجه به این حقیقت که ضریب انتقال حرارت به خنک‌کننده در هر دو مورد یاد شده مشابه یکدیگر می‌باشد، می‌توان به محاسبات عدد بیو در بدنه موتور اکتفا نمود و از تکرار آن صرفنظر کرد. بدین معنی که با توجه به مطالب ذکر شده، عدد بیو در بستار به طور قطع از مقدار تخمین زده شده برای آن در بدنه موتور کمتر خواهد گشت و در نتیجه روش ظرفیت حرارتی کلی در این مورد نیز معتبر خواهد بود.

## ۲-۲- استخراج معادلات حرارتی اجزا

### ۲-۲-۱- معادله انتقال حرارت سمبه:

$$\frac{dT_{pi}}{dt} = \left[ \frac{1}{(mC)_{pi} + (mC)_{con}} \right] \times (\dot{Q}_{pi} - \dot{Q}_{pi-oil} - \dot{Q}_r - \dot{Q}_{con}) \quad (۴)$$

که در آن:

$[mC]_{pi} + [mC]_{con}$ : ظرفیت حرارتی ترکیبی سمبه و دسته سمبه (شاتون)

$\dot{Q}_{pi}$ : نرخ انتقال حرارت ناشی از احتراق به سطح بالایی سمبه

$\dot{Q}_{pi-oil}$ : نرخ انتقال حرارت به روغن در صفحه پشتی سمبه

$\dot{Q}_r$ : نرخ انتقال حرارت از طریق حلقه (رینگ) و دامن سمبه به آستری استوانه

$\dot{Q}_{con}$ : نرخ انتقال حرارت به میل‌لنگ از طریق دسته سمبه به صورت رسانش

نحوه تعیین  $\dot{Q}_{pi}$  در ادامه توضیح داده خواهد شد.

معادلات انتقال حرارت به روغن، حلقه‌ها و دامن سمبه بدین صورت می‌باشند:

$$\dot{Q}_{pi-oil} = (hA)_{oil} (T_{pi} - T_{oil}) / dt \quad (۵)$$

$$\dot{Q}_r = (UA)_r (T_{pi} - T_{bl}) / dt \quad (۶)$$

$(UA)_r$ : ضریب انتقال حرارت کلی از سطح بالایی سمبه به آستری استوانه است که برابر است با:

$$(UA)_r = \frac{1}{R_{wall}} \quad (۷)$$

$\dot{Q}_{vtr}$  : حرارت ناشی از اصطکاک در پیچه‌ها، میل بادامک و بادامک‌ها در مورد نحوه تعیین  $\dot{Q}_{vtr}$  و  $\dot{Q}_{bl}$  در ادامه توضیح داده خواهد شد.

### ۲-۲-۴- تعیین $\dot{Q}_{pi}$ ، $\dot{Q}_{bl}$ و $\dot{Q}_{hd}$

برای به دست آوردن عوامل یاد شده از کاری که شایر و کریستیان انجام داده‌اند استفاده می‌گردد [۳]. در الگوی رایانه‌ای که آن‌ها تهیه کرده‌اند میزان نرخ انتقال حرارت ناشی از احتراق سوخت در محفظه احتراق به اجزای مختلف پیش‌بینی شده است. براین اساس آن‌ها پیش‌بینی نموده‌اند که در دوره گرم شدن موتور، ۱۴٪ تا ۱۶٪ حرارت ناشی از احتراق به تاج سمبه، ۲۴٪ تا ۲۶٪ به آستری استوانه و ۱۴٪ تا ۱۶٪ آن نیز به بستار انتقال می‌یابد. بنابراین با داشتن حرارت ناشی از احتراق می‌توان عوامل یاد شده را تعیین نمود.

برای تعیین حرارتی که در اثر احتراق در محفظه احتراق آزاد می‌گردد، معادله (۱۷) به کار گرفته می‌شود:

$$\dot{Q}_{Feul} = \dot{m}_{Fuel} \times Q_{LHV} \quad (17)$$

در معادله اخیر  $\dot{Q}_{Feul}$  شار سوخت ورودی به محفظه احتراق است که واحد آن باید برحسب kg/s باشد.  $Q_{LHV}$  نیز میزان ارزش حرارتی بالایی سوخت موردنظر است که در اینجا سوخت مورد استفاده بنزین است و مقدار آن برابر  $42/76 \times 10^6$  J/kg می‌باشد.

### ۲-۲-۵- معادله انتقال حرارت روغن:

$$\left\{ \frac{dT_{oil}}{dt} = \left[ \frac{1}{(mC)_{oil+cr}} \right] \times \left[ \dot{Q}_{pi-oil} + \dot{Q}_{hd-oil} + \dot{Q}_{vtr} + \dot{Q}_{fr-op} + \dot{Q}_{fr-cr} \right] + \dot{Q}_{con} - (hA)_{oil-amb} (T_{oil} - T_{amb}) / dt \right\} \quad (18)$$

میل‌لنگ در زیر قسمتی که روغن پاشیده می‌شود قرار گرفته است و در بسیاری از حالات در همان قسمت محفظه روغن واقع شده است؛ به همین دلیل می‌توان ظرفیت حرارتی میل‌لنگ را در محاسبات مخزن روغن وارد نمود. چون ظرفیت حرارتی روغن که در بستار جریان دارد در مقایسه با ظرفیت حرارتی خود بستار بسیار کوچک است. فرض می‌شود روغن عبوری از بستار، بستار را با دمای خود بستار ترک می‌کند، بنابراین حرارتی که به روغن از طریق بستار منتقل می‌شود عبارت است از:

$$\dot{Q}_{hd-oil} = (\dot{m}C)_{oil} (T_{hd} - T_{oil-in}) \quad (19)$$

$$\dot{Q}_{con} = \frac{\dot{Q}_r + \dot{Q}_{p-oil}}{9} \quad (10)$$

### ۲-۲-۲- معادله انتقال حرارت بدنه موتور:

$$\left\{ \frac{dT_{bl}}{dt} = \left[ \frac{1}{(mC)_{bl}} \right] \times \left[ \dot{Q}_{bl} + \dot{Q}_r - \dot{Q}_{bl-cool} - (hA)_{bl} (T_{bl} - T_{amb}) / dt \right] \right\} \quad (11)$$

$\dot{Q}_{bl}$  : نرخ انتقال حرارت ناشی از احتراق به بدنه موتور

$\dot{Q}_{bl-cool}$  : نرخ انتقال حرارت از بدنه موتور به مایع خنک‌کننده

$$\dot{Q}_{bl-cool} = (hA)_{bl} (T_{bl\ cool\ out} - T_{bl\ cool\ in}) / dt \quad (12)$$

### ۲-۲-۳- معادله انتقال حرارت بستار:

$$\left\{ \frac{dT_{hd}}{dt} = \left[ \frac{1}{(mC)_{hd}} \right] \times \left[ \dot{Q}_{hd} + \dot{Q}_{exh} + \dot{Q}_{vtr} - \dot{Q}_{hd-cool} - (\dot{m}C)_{oil} (T_{oil} - T_{oil-in}) \right] \right\} \quad (13)$$

$\dot{Q}_{hd}$  : نرخ انتقال حرارت ناشی از احتراق به بستار

$\dot{Q}_{hd-cool}$  : نرخ انتقال حرارت از بستار به مایع خنک‌کننده

$$\dot{Q}_{bl-cool} = (hA)_{bl} (T_{bl\ cool\ out} - T_{bl\ cool\ in}) / dt \quad (14)$$

$\dot{Q}_{exh}$  : نرخ انتقال حرارت از گازهای خروجی به راهگاه

$$\dot{Q}_{exh} = (hA)_p (T_g - T_w) / dt \quad (15)$$

مساحت راهگاه براساس قطر راهگاه و عرض بدنه موتور تخمین زده می‌شود. در اینجا فرض می‌شود راهگاه در تمام طول خود دارای مقطع دایروی است. برای یافتن  $h_p$  بدین صورت عمل می‌شود:

ترتیب کار به این شکل است که زمان چرخه کامل به دو بخش تقسیم می‌گردد به طوری که یک‌چهارم آن به مرحله در پیچه خروجی باز و سه‌چهارم بقیه چرخه به مرحله در پیچه خروجی بسته اختصاص داده می‌شود. بنابراین ضریب انتقال حرارت میانگین برای راهگاه در چرخه را می‌توان اینگونه نوشت:

$$h_{p-avg} = 0.25h_{evo} + 0.75h_{evc} \quad (16)$$

پیدا کردن  $h_{evc}$  و  $h_{evo}$  دارای مراحل متعددی است که اطلاعات کامل آن در مرجع [۹] آمده است.

استفاده می شود:

$$Q_{friction} = V_d \times fmep \times \#cylinder \quad (22)$$

در معادله (22)  $V_d$  حجم جابجایی و # نشان دهنده تعداد استوانه می باشد.

### ۷-۲-۲- معادله انتقال حرارت خنک کننده بدنه موتور

تنها بخشی از حرارت خروجی از دیواره های داخلی استوانه، توسط جریان خنک کننده دفع می گردد و انرژی باقی مانده، جرمی از خنک کننده را که در داخل بدنه موتور وجود دارد گرم می کند. بنابراین معادله کلی انتقال حرارت برای خنک کننده بدنه موتور بدین صورت نوشته خواهد شد:

$$\frac{dT_{bl-cool}}{dt} = \left[ \frac{1}{(mC)_{bl\ coolant}} \right] \times (\dot{Q}_{bl-cool} - \dot{Q}_{bl-cool\ flow}) \quad (23)$$

خنک کننده ای که در داخل بدنه موتور جریان دارد به صورت مخزن در نظر گرفته می شود. جریان خنک کننده بخشی از حرارت را که از طریق دیواره استوانه وارد می شود دفع می کند. معادله انتقال حرارت از دیواره استوانه به جریان خنک کننده به شکل معادله (24) می باشد:

$$\dot{Q}_{bl-cool\ flow} = (\dot{m}C)_{bl\ coolant} (T_{bl\ cool\ out} - T_{bl\ cool\ in}) \quad (24)$$

### ۸-۲-۲- معادله انتقال حرارت خنک کننده بستار

خنک کننده ای که در داخل بستار جریان دارد نیز مشابه خنک کننده بدنه موتور عمل می کند. از این رو معادله کلی انتقال حرارت برای خنک کننده بستار بدین صورت نوشته می شود:

$$\frac{dT_{hd-cool}}{dt} = \left[ \frac{1}{(mC)_{hd\ coolant}} \right] \times (\dot{Q}_{hd-cool} - \dot{Q}_{hd-cool\ flow}) \quad (25)$$

جریان خنک کننده بخشی از حرارت را که از طریق دیواره بستار وارد می شود، دفع می کند. یعنی در معادله (25) داریم:

$$\dot{Q}_{hd-cool\ flow} = (\dot{m}C)_{hd\ coolant} (T_{hd\ cool\ out} - T_{hd\ cool\ in}) \quad (26)$$

### ۹-۲-۲- معادله انتقال حرارت خنک کننده ورودی به بدنه

موتور:

در این بخش معادلات به دو حالت در می آیند.

(الف) حالتی که دمای خنک کننده خروجی از بستار کمتر از دمای باز شدن دمپا است:

$$\frac{dT_{bl\ cool\ in}}{dt} = \frac{dT_{hd\ cool\ out}}{dt} \quad (27)$$

$\dot{Q}_{fr-op}$ : نرخ انتقال حرارت ناشی از اصطکاک در تلمبه روغن

$\dot{Q}_{fr-cr}$ : نرخ انتقال حرارت ناشی از اصطکاک در میل لنگ

### ۶-۲-۲- تعیین سهم حرارت اصطکاکی اجزای مولد اصطکاک

قبل از پرداختن به معادلات دیگر، در این قسمت معادلات حرارت های اصطکاکی بررسی شود.

براساس معادلات داده شده توسط هیوود [6]، فشار مؤثر متوسط اصطکاکی کل برای موتور SI چهار استوانه ای در حالت دریچه گاز کاملاً باز به این صورت است:

$$fmep_{ss} (kPa) = 0.097 + \left( \frac{N}{100} \right) \left[ 0.015 + 0.05 \times \left( \frac{N}{1000} \right) \right] \quad (20)$$

در معادله (20)، N دور موتور بر حسب rpm است.

معادله اخیر برای شرایط کارکرد پایای موتور داده شده است. با استفاده از کاری که شایر و کریستیان انجام داده اند [3]، برای به دست آوردن مقدار فشار مؤثر متوسط اصطکاکی در دوره گذرای گرم شدن موتور، باید مقدار آن را در شرایط پایا دو برابر نمود.

$$fmep_{warm\ up} = 2 fmep_{ss} \quad (21)$$

در موتور احتراق داخلی پنج عامل اصلی را در تولید اصطکاک مؤثر می دانند که این پنج عامل عبارتند از میل لنگ، اجزای رفت و برگشتی، دریچه ها و بادامک ها، تلمبه روغن و تلمبه آب.

جدول ۱ سهم هریک از اجزای اصطکاکی موتور بر اساس fmep [6]

درصد fmep	جزء
۱۱	میل لنگ
۵۳	اجزای دارای حرکت رفت و برگشتی
۱۵	سوپاپ ها و بادامک ها
۱۰	تلمبه روغن
۱۱	تلمبه آب

هر یک از این پنج عامل سهم مشخصی را از تولید اصطکاک بر عهده دارند. جدول (۱) میزان سهم اصطکاکی هر یک از این اجزا را بر حسب درصد بیان می کند. با توجه به اطلاعات موجود در جدول (۱) و با در دست داشتن مقدار فشار مؤثر متوسط اصطکاکی، می توان سهم اصطکاکی هر جزء را تعیین نمود.

اکنون به منظور تبدیل fmep به حرارت اصطکاکی از معادله (22)

روشی که در این تحقیق به منظور حل مشکل گرم شدن موتور پیشنهاد شده است پیش گرمایش اجزای اصلی موتور مانند خنک کننده، روغن، بدنه موتور و بستار می باشد. بدین معنی که در هر یک از این موارد، دمای اولیه اجزای مذکور به میزان مشخصی افزایش داده می شود و تأثیر این افزایش دمای اولیه بر روی رفتار حرارتی خنک کننده مشاهده می گردد. همان گونه که پیش از این نیز توضیح داده شد، چگونگی تغییرات دمایی خنک کننده در طول دوره گرم شدن موتور، از طریق الگویی که در این پژوهش برای انتقال حرارت موتور در نظر گرفته می شود و صحت آن نیز با آزمون تجربی تأیید می شود استخراج می گردد.

### ۳- صحنه گذاری

پس از حل معادلات تفاضلی (دیفرانسیل) اصلی برای اجزای سمبه، بدنه موتور، بستار، روغن، خنک کننده بدنه موتور، خنک کننده بستار و خنک کننده ورودی به بدنه موتور، رفتار دمایی هر یک از اجزا حاصل می گردد. برای تعیین میزان صحت و درستی جواب های حاصل از روش نظری، باید آن را با نتایج تجربی مقایسه کرد. در آزمونی که در مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو صورت گرفته است رفتار حرارتی خنک کننده موتور XU۷ در زمان گذاری دوره گرم شدن، با اندازه گیری دمای آن در ورودی بدنه موتور استخراج شده است. این نتایج در شکل (۲) نشان داده شده است. پس از مقایسه این نتایج با نتایجی که از روش نظری برای دماهای خنک کننده در ورودی بدنه موتور به دست آمده است (شکل ۳)، مشاهده می گردد که این دو نمودار دارای اختلاف اندکی نسبت به یکدیگر می باشند. زمان گرم شدن موتور با استفاده از آزمایش در حدود ۱۷۸ ثانیه به دست آمده است و این زمان همان گونه که در نمودار نظری نیز ملاحظه می گردد ۱۷۲ ثانیه تخمین زده شده است. با مقایسه اعداد مذکور مشخص می گردد که خطای روش نظری در پیش بینی زمان گرم شدن موتور کمتر از ۴٪ است که این مطلب حاکی از مطابقت خوب روش نظری با نتایج آزمایشگاهی است. ذکر این نکته نیز ضروری به نظر می رسد که نمودار تجربی در دو افت دمایی اولیه خود رفتاری برخلاف حالت واقعی موتور از خود نشان می دهد که یکی از اصلی ترین دلایل این مسأله به سرد بودن وسایل اندازه گیری در ابتدای کار برمی گردد. همچنین یکی دیگر از دلایل اختلاف ظاهری دو نمودار در این مطلب نهفته است که در حالت واقعی، دمای کار رفته در مدار خنک کاری خودرو از یک نمودار منحنی شکل برای باز و بسته شدن و عبور خنک کننده به سمت مبدل پیروی می کند، اما در روش نظری به علت مشکل بودن شبیه سازی رفتار غشاء دماپا، از یک فرض ساده کننده برای این منظور استفاده شد.

در این حالت فرض می شود که خنک کننده خروجی از بستار بدون هیچ گونه تغییر دمایی مجدداً وارد بدنه موتور می گردد.

(ب) حالتی که دمای خنک کننده خروجی از بستار بیشتر از دمای باز شدن دماپا است:

$$\left[ \frac{dT_{bl-in}}{dt} = \frac{1}{m_{radcool} C_{Lbl} + m_{rad} C_{rad} + m_{cool} \frac{(C_{bl cool} + C_{hd cool})}{2}} \right] \times \left[ \dot{Q}_{wp} + E_{rad} C_{min} (T_{amb} - T_{hd cool}) - \dot{m}_{cool} C_{bl cool} (T_{bl-in} - T_{hd}) \right]$$

$m_{rad cool}$ : جرم خنک کننده مبدل

$m_{rad}$ : جرم مبدل

$m_{cool}$ : جرم کل خنک کننده

$\dot{Q}_{wp}$ : حرارت اصطکاکی تلمبه آب

$E_{rad}$ : ضریب تأثیر مبدل

$C_{min}$ : کمترین مقدار دو عامل  $C_{air}$ ,  $C_c$

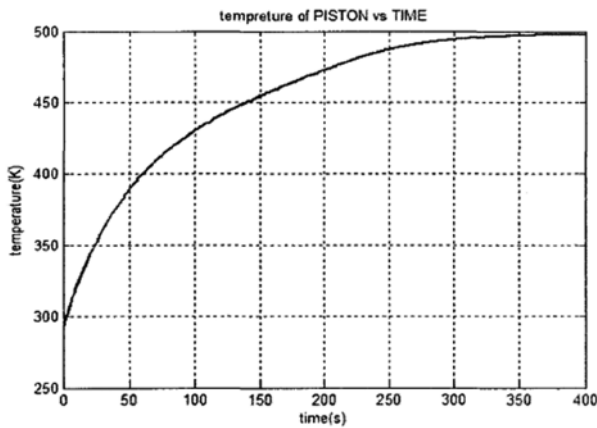
$$C_c = \dot{m}_{cool} C_{hd cool} \quad (29)$$

$$C_{air} = \rho_{air} V_{air} A_{rad} C_{air} \quad (30)$$

پس از استخراج معادلات حرارتی اجزای اصلی موتور، اکنون تغییرات دمایی هر یک از این اجزا در دوره گرم شدن موتور قابل مشاهده است که در بخش نتایج آورده شده اند.

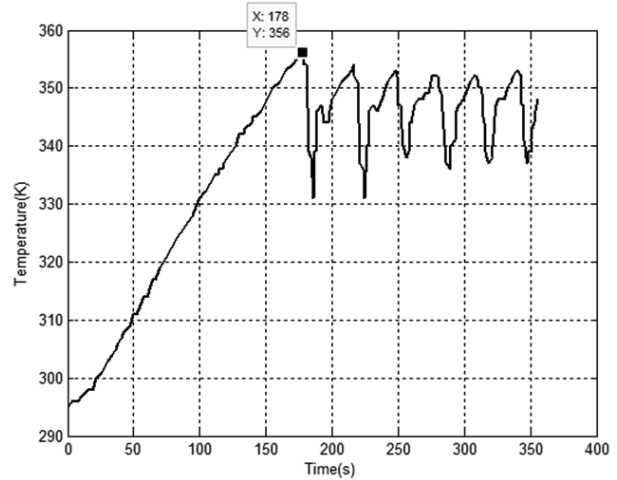
### ۳-۲- راهکارهای کاهش زمان گرم شدن موتور

در این قسمت راهکارهای کاهش زمان گرم شدن موتور و کیفیت تأثیر هر یک از آن ها بر روی رفتار حرارتی و تغییرات دمایی خنک کننده در دوره گرم شدن موتور ارائه می گردد. همان گونه که قبلاً نیز توضیح داده شد، علت اینکه تغییرات دمایی خنک کننده به عنوان خروجی های پژوهش پیش رو نشان داده شده اند این است که معیار مدت زمان گرم شدن در موتور احتراق داخلی دمای خنک کننده موتور می باشد. بدین معنی که مدت زمانی که طول می کشد تا دمای خنک کننده، از دمای اولیه آن قبل از شروع به کار موتور به دمایی برسد که در آن دما دماپا باز می شود و امکان عبور خنک کننده را به سمت مبدل فراهم نماید به عنوان طول دوره گرم شدن موتور تعریف می شود. از این رو مدت زمان دوره گرم شدن موتور با بررسی تغییرات دمایی خنک کننده پس از شروع به کار موتور و زمانی که صرف رسیدن دمای خنک کننده به دمای دماپا می شود قابل تعیین است.

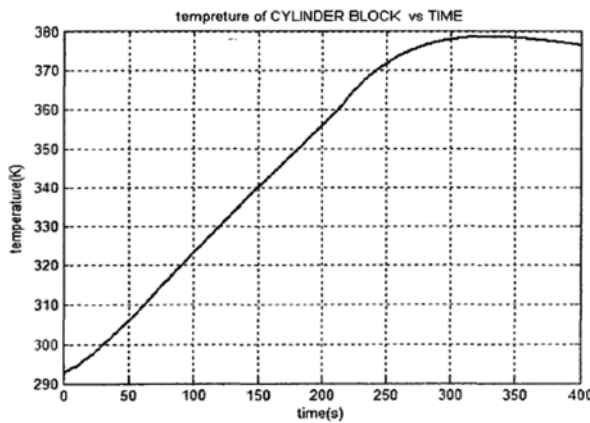


شکل ۴ رفتار حرارتی سیمه در دوره گرم شدن موتور

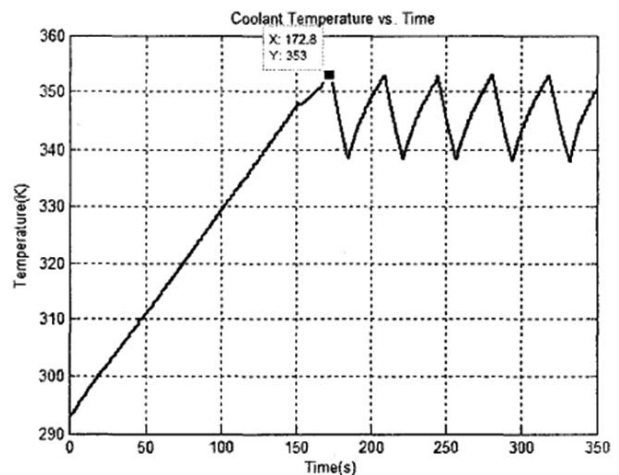
بدین ترتیب که برای عبور خنک کننده از دماها، تنها دو حالت کاملاً باز و یا کاملاً بسته در نظر گرفته شد.



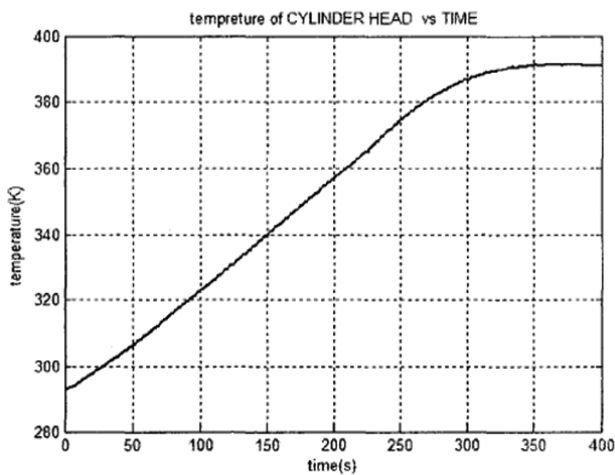
شکل ۲ رفتار حرارتی خنک کننده با استفاده از نتایج آزمایشگاهی



شکل ۵ رفتار حرارتی بدنه موتور در دوره گرم شدن موتور



شکل ۳ رفتار حرارتی خنک کننده با استفاده از روش نظری



شکل ۶ رفتار حرارتی بستر در دوره گرم شدن موتور

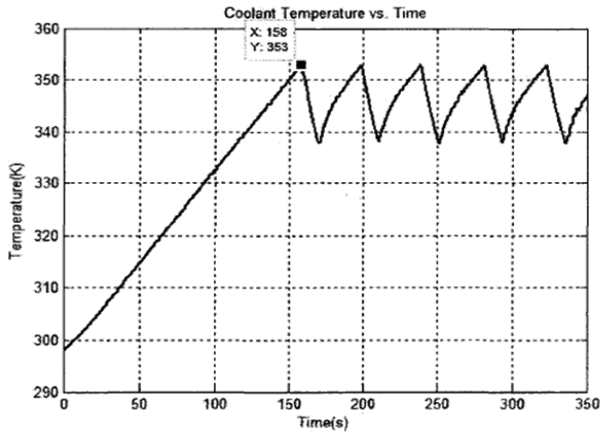
## ۴- نتایج

### ۴-۱- رفتار حرارتی اجزای موتور

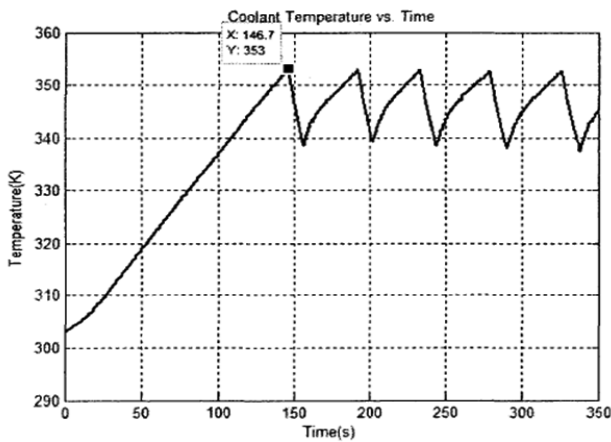
تغییرات دمایی بقیه اجزای موتور در دوره گذرای حرارتی گرم شدن موتور در ادامه آورده شده است.



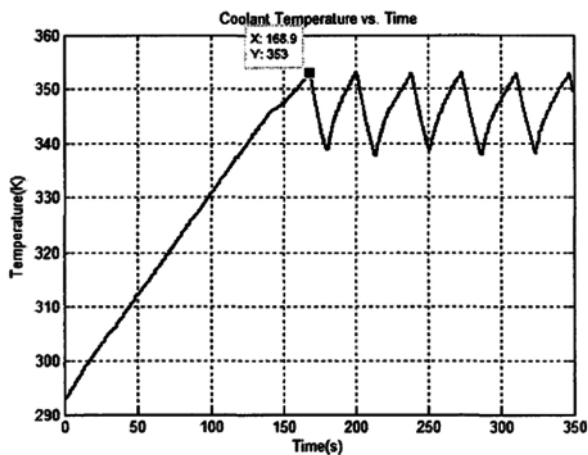
دمایی آن، دمای اولیه خنک کننده به میزان ۵، ۱۰ و ۲۰ درجه سانتیگراد افزایش داده می شود و رفتار حرارتی خنک کننده به ازای هر یک از این افزایش دماها استخراج می گردد.



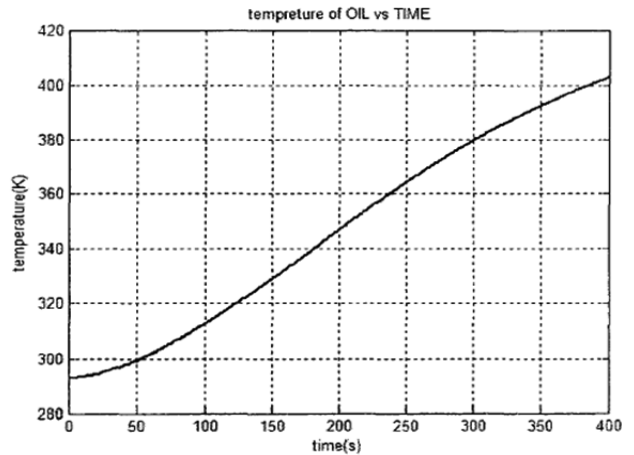
شکل ۱۰ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۵ درجه سانتیگراد پیش گرمایش خنک کننده



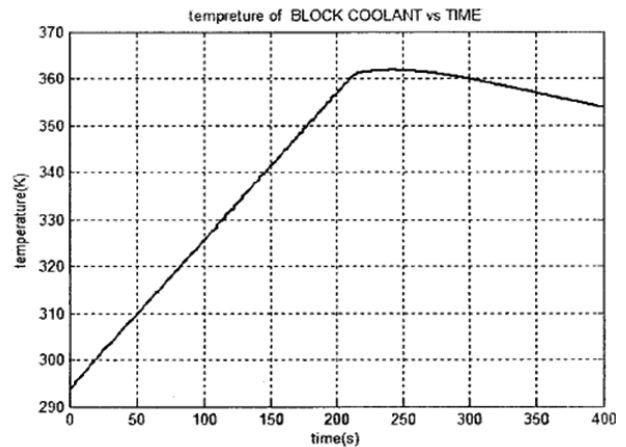
شکل ۱۱ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۱۰ درجه سانتیگراد پیش گرمایش خنک کننده



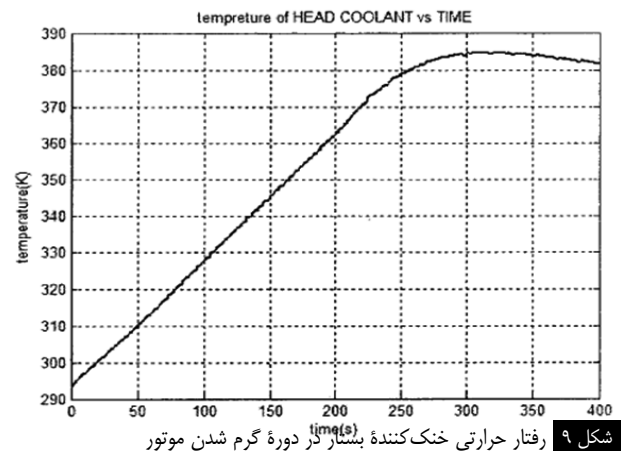
شکل ۱۲ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۲۰ درجه سانتیگراد پیش گرمایش خنک کننده



شکل ۷ رفتار حرارتی روغن در دوره گرم شدن موتور



شکل ۸ رفتار حرارتی خنک کننده بدنه موتور در دوره گرم شدن موتور

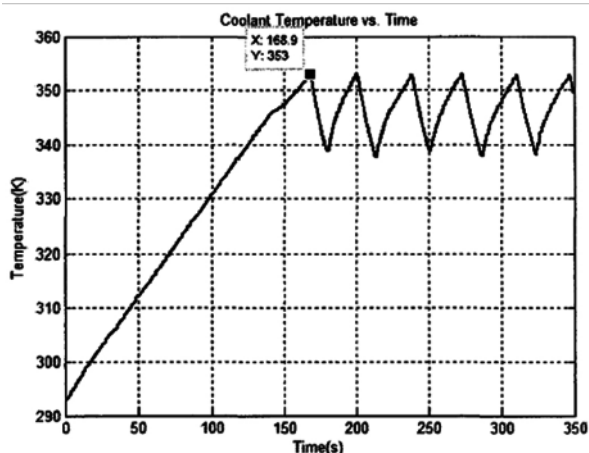


شکل ۹ رفتار حرارتی خنک کننده بنساز در دوره گرم شدن موتور

## ۲-۴- کاهش زمان گرم شدن موتور از طریق پیش گرمایش

خنک کننده

به منظور بررسی تأثیر پیش گرمایش خنک کننده بر روی تغییرات



شکل ۱۵ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۲۰ درجه سانتیگراد پیش گرمایش روغن

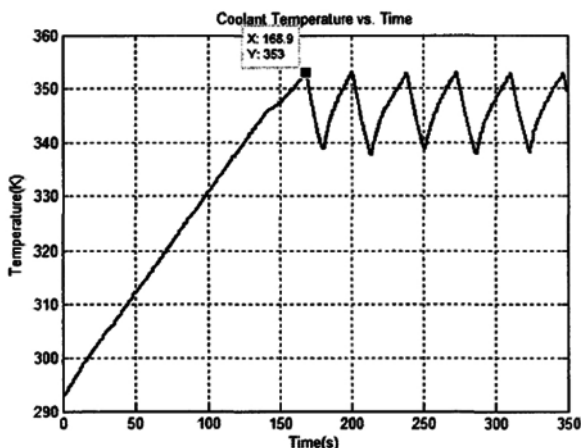
در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که زمان دوره گذاری گرم شدن موتور در ازای پیش گرمایش روغن به اندازه ۵، ۱۰ و ۲۰ درجه سانتیگراد، به ترتیب تقریباً به میزان ۳، ۷ و ۱۳ ثانیه کاهش پیدا کرده است.

#### ۴-۴- کاهش زمان گرم شدن موتور از طریق پیش گرمایش

##### بدنه موتور

در این قسمت دمای اولیه بدنه موتور را به میزان ۵، ۱۰ و ۲۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌دهد و تأثیر آن بر روی تغییرات دمایی خنک کننده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در اشکال (۱۶-۱۸) اثرات پیش گرمایش بدنه موتور به اندازه ۵، ۱۰ و ۲۰ درجه سانتیگراد بر روی مدت زمان گرم شدن موتور نمایش داده شده است. در هر یک از حالات یاد شده، زمان دوره گذاری گرم شدن موتور به ترتیب به اندازه ۸، ۱۵ و ۲۶ ثانیه کاهش پیدا کرده است.



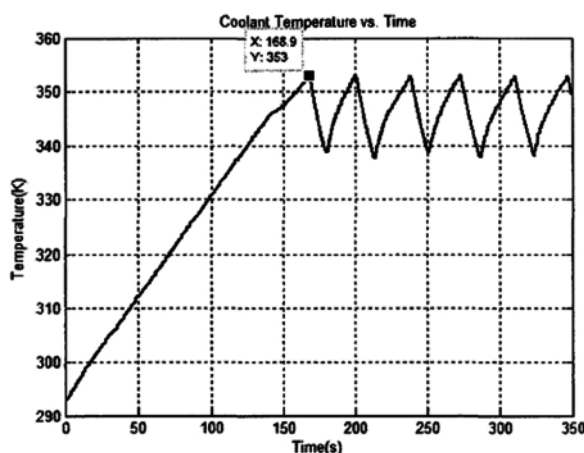
شکل ۱۶ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۵ درجه سانتیگراد پیش گرمایش بدنه موتور

از این شکل‌ها نتیجه می‌شود که، زمان دوره گذاری گرم شدن موتور در ازای پیش گرمایش خنک کننده به اندازه ۵، ۱۰ و ۲۰ درجه سانتیگراد، به ترتیب تقریباً به میزان ۱۲، ۲۵ و ۴۳ ثانیه کاهش پیدا کرده است.

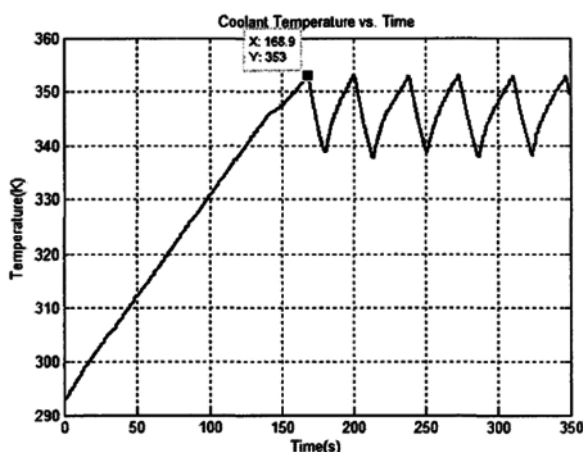
#### ۳-۴- کاهش زمان گرم شدن موتور از طریق پیش گرمایش

##### روغن

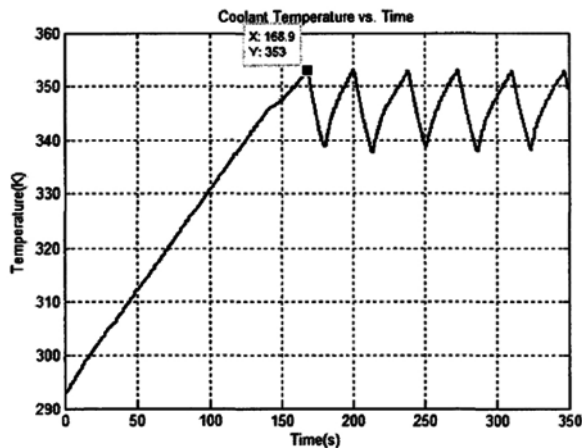
برای بررسی تأثیر پیش گرمایش روغن بر روی تغییرات دمایی خنک کننده، دمای اولیه روغن به میزان ۵، ۱۰ و ۲۰ درجه سانتیگراد افزایش داده می‌شود و رفتار حرارتی خنک کننده به ازای هر یک از این افزایش دماها استخراج می‌گردد.



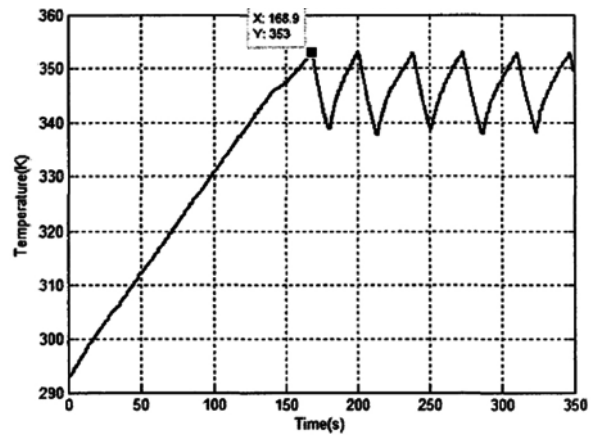
شکل ۱۳ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۵ درجه سانتیگراد پیش گرمایش روغن



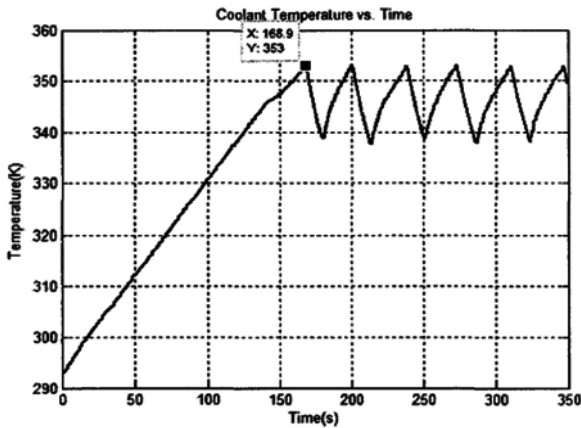
شکل ۱۴ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۱۰ درجه سانتیگراد پیش گرمایش روغن



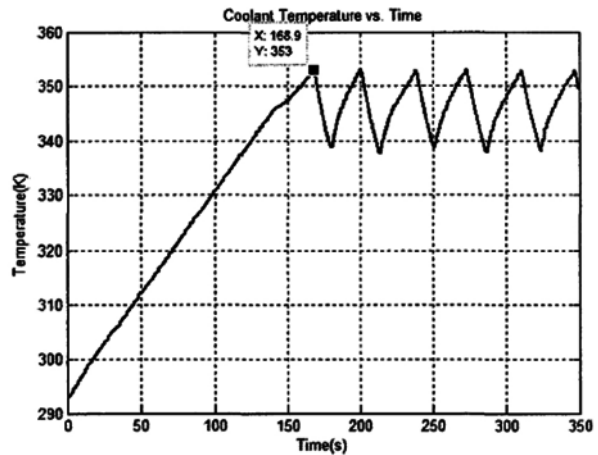
شکل ۱۷ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۵ درجه سانتیگراد پیش گرمایش بستار



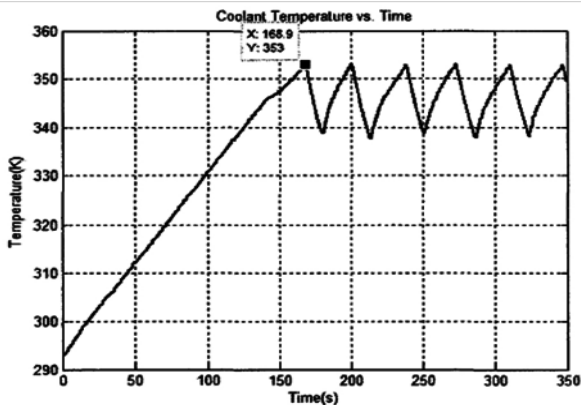
شکل ۱۸ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۱۰ درجه سانتیگراد پیش گرمایش بدنه موتور



شکل ۱۹ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۱۰ درجه سانتیگراد پیش گرمایش بستار



شکل ۲۰ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۲۰ درجه سانتیگراد پیش گرمایش بدنه موتور



شکل ۲۱ رفتار حرارتی خنک کننده به ازای ۲۰ درجه سانتیگراد پیش گرمایش بستار

#### ۴-۵- کاهش زمان گرم شدن موتور از طریق پیش گرمایش بستار

پیش گرمایش بستار بر روی رفتار حرارتی خنک کننده و مدت زمان گرم شدن موتور به ازای افزایش دمای اولیه بستار که مشابه حالت های قبلی مقادیر آن ۵، ۱۰ و ۲۰ درجه سانتیگراد می باشد در ادامه نشان داده شده است.

در شکل ها مشخص شده است که زمان دوره گذاری گرم شدن موتور در هر یک از حالات یاد شده به ترتیب تقریباً به میزان ۵، ۹ و ۱۸ ثانیه کاهش پیدا کرده است.

## ۵- بحث

کاهش گرم شدن موتور می‌باشد. علت این موضوع نیز این است که بستار به دلیل جرم نسبتاً زیادی که در مقایسه با روغن داخل خود دارد، به ازای افزایش دماهای یکسان، خنک‌کننده‌ای را که در داخل آن جریان دارد و مستقیماً با بدنه بستار در تماس است سریع‌تر گرم می‌کند. در حالی که روغن پیش‌گرم شده تماس مستقیمی با خنک‌کننده ندارد و همین امر موجب برتری بستار نسبت به روغن در امر کاهش گرم شدن موتور می‌باشد.

به طور کلی پس از مقایسه تأثیر پیش‌گرمایش چهار جزء یاد شده بر روی رفتار حرارتی خنک‌کننده و مدت زمان کاهش گرم شدن موتور می‌توان گفت که پیش‌گرمایش روغن ضعیف‌ترین تأثیر را بر هدف اصلی این پژوهش که کاهش زمان گرم شدن موتور است دارد. دلیل این واقعیت نیز این است که اختلاف دمای اولیه‌ای که برای روغن در نظر گرفته می‌شود باید به صورت غیرمستقیم به خنک‌کننده انتقال یابد؛ چرا که روغن و خنک‌کننده هیچ‌گونه تماس مستقیمی با یکدیگر ندارند و اختلاف دمای یاد شده همواره از طریق جداری که بین روغن و خنک‌کننده قرار دارد، مبادله می‌گردد.

از سوی دیگر مشاهده می‌گردد که پیش‌گرمایش خنک‌کننده بیشترین تأثیر را در کاهش زمان گرم شدن موتور دارد. علت این موضوع، همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر شد این است که معیار گرم شدن موتور در یک موتور احتراق داخلی، دمای خنک‌کننده آن است. بنابراین هنگامی که این افزایش دما به خود خنک‌کننده اعمال شود، بیشترین تأثیر را در کاهش زمان گرم شدن موتور خواهد داشت. به عبارت دیگر اگر چه بدنه موتور و بستار- به‌خصوص بدنه موتور- تأثیر خوبی بر کاهش زمان گرم شدن موتور دارند، اما چون باید افزایش دمای خود را به خنک‌کننده منتقل کنند، در مقایسه با خود خنک‌کننده ضعیف‌تر عمل می‌کنند.

## ۶- نتیجه‌گیری

از مقایسه نتایج حاصل از روش نظری و آزمون تجربی ملاحظه می‌گردد که این دو روش مطابقت بسیار خوبی در تخمین مدت زمان گرم شدن موتور و یا همان بازه زمانی قبل از باز شدن دماپا برای اولین بار با یکدیگر دارند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که فرض روش حرارتی ظرفیت کلی صحیح است و الگوی رایانه‌ای به کار گرفته شده در این تحقیق، علیرغم تمامی فرضیات ساده‌کننده در نظر گرفته شده برای الگوی موتور- مدت زمان گرم شدن موتور را با دقت خوبی محاسبه می‌کند. پس از اطمینان از صحت الگوی در نظر گرفته شده، راهکارهایی به منظور کاهش مدت زمان گرم شدن موتور ارائه گردید. این راهکارها

مقایسه بین اجزای متفاوت را می‌توان از بررسی تأثیر پیش‌گرمایش دو سیال موجود در موتور بر زمان گرم شدن موتور آغاز نمود. پس از مقایسه تأثیرات پیش‌گرمایش خنک‌کننده و روغن کاملاً مشخص می‌گردد که پیش‌گرمایش خنک‌کننده نسبت به روغن، به‌مراتب تأثیر چشمگیرتری در کاهش زمان گرم شدن موتور دارد. علت این امر را نیز می‌توان در این واقعیت یافت که چون معیار تعیین زمان گرم شدن موتور دمای خنک‌کننده است، بنابراین، اختلاف دمایی که بین روغن و بقیه اجزا در نظر گرفته می‌شود و به صورت افزایش دما به روغن اعمال می‌شود، باید به خنک‌کننده انتقال یابد. از این رو کاملاً واضح است که افزایش دمای اولیه خود خنک‌کننده می‌تواند بسیار مؤثرتر باشد و زمان گرم شدن موتور را بهتر کاهش دهد.

مقایسه نمودارهای رفتار حرارتی خنک‌کننده به ازای پیش‌گرمایش بدنه موتور و بستار، بیانگر این واقعیت است که پیش‌گرمایش بدنه موتور هدف پژوهش پیش رو را بهتر برآورده می‌سازد. بدین معنی که به ازای افزایش دماهای اولیه مساوی برای بدنه موتور و بستار، پیش‌گرمایش بدنه موتور کاهش بیشتری را در مدت زمان گرم شدن موتور موجب می‌گردد. مهم‌ترین دلیل این موضوع را نیز می‌توان این‌گونه عنوان کرد که بدنه موتور در مقایسه با بستار، حجم بیشتری از خنک‌کننده را از خود عبور می‌دهد و بنابراین بدنه موتور که جرم بیشتری نسبت به بستار دارد، توانایی بیشتری را برای گرمایش خنک‌کننده نسبت به بستار خواهد داشت. البته می‌توان یکی دیگر از دلایل این موضوع را سهم بیشتر بدنه موتور از حرارت ناشی از احتراق دانست. اما با توجه به این موضوع که در این جا مقدار حرارت اهمیت چندانی ندارد و این شار حرارتی است که تأثیر اصلی و تعیین‌کننده را دارد و از طرفی سطح داخلی بدنه موتور از سطح داخلی بستار بیشتر است، نمی‌توان در مورد آن اظهار نظر قطعی نمود.

مشاهده رفتار حرارتی خنک‌کننده به ازای پیش‌گرمایش خنک‌کننده و پیش‌گرمایش بدنه موتور و بستار، همان‌گونه که انتظار می‌رود، حاکی از برتری فاحش پیش‌گرمایش خنک‌کننده در امر کاهش زمان گرم شدن موتور می‌باشد که دلیل این امر نیز بر این واقعیت متکی است که بدنه موتور و بستار در راستای کاهش زمان گرم شدن موتور، ناگزیرند اختلاف دمای اولیه خود را تحت پدیده‌های متفاوت انتقال حرارت به خنک‌کننده منتقل کنند، در حالی که افزایش دمایی که برای خنک‌کننده در نظر گرفته می‌شود به صورت مستقیم در کاهش زمان گرم شدن موتور مؤثر خواهد بود و بالتبع تأثیر گذارتر می‌باشد.

مقایسه بستار و روغن نیز مبین برتری پیش‌گرمایش بستار در امر

**Refrence:**

- [1]- Shahbakhti, M, “ Dynamic Modeling of MPFI for Air Fuel Ratio Control During Cold Start and Warm-up Conditions & Investigation Of Effective Factors on Air-Fuel Ratio Mixture Preparation, Pollutants Formation Mechanisms and Emission Reduction Methods in Cold Start and Warm-up Conditions”, M.Sc Thesis of mechanical engineering of K.N.T. University of Technology, 2002
- [2]- Veshagh, A. and Chen, C. “A Computer Model for Thermofluid Analysis of Engine Warm-Up Process” SAE paper 931157.
- [3]- Shayler, P. J. and Christian, S. J. “A Model for the Investigation of Temperature, Heat Flow and Friction Characteristics During Engine Warm-Up” SAE paper 931153.
- [4]-Kaplan, A. and Heywood, J. B. “Modeling the Spark Ignition Engine Warm-Up Process to Predict Component Temperatures and Hydrocarbon Emissions” SAE paper 910302.
- [5]- Incropra, F. and Dewitt, D. , Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley and Sons. 1985.
- [6]- Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc Graw Hill.
- [7]- Li, C.H. “Piston Thermal Deformation and Friction Consideration,” SAE paper 820086
- [8]- Sitkey, G. “Heat Transfer and Thermal Loading in Internal Combustion Engine,” Academic Kiado, Budapest, pp 77-94, 1974
- [9]- Caton, J.A. and Heywood, J.B. “An Experimental and Analytical Study of Heat Transfer in an Engine Exhaust Port,” International Journal of Heat Mass Transfer, Vol. 24, pp.585-591, Great Britain, 1981.

که به صورت پیش گرمایش خنک کننده، بدنه موتور، بستار و روغن بیان شد، بررسی گردید و نهایتاً این نتیجه حاصل شد که راهکار پیش گرمایش خنک کننده درمقایسه با پیشگرمایش اجزای دیگر موتور، هدف یاد شده را به طور مؤثرتری برآورده می سازد و مدت زمان گرم شدن را در موتور احتراق داخلی سریع تر از راهکارهای دیگر کاهش می دهد.