



## طراحی سامانه خنک کاری جداگانه بدنه و بستار مناسب در موتور ملی با دو دمابان

امید فروتن<sup>۱</sup>، آرش محمدی<sup>۲\*</sup>، شهاب علویون<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه علمی کاربردی ایران خودرو، تهران، ایران، [oforoutan@ikco.ir](mailto:oforoutan@ikco.ir)

<sup>۲</sup> دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران، [amohammadi@srttu.edu](mailto:amohammadi@srttu.edu)

<sup>۳</sup> شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، [sh\\_alaviyoun@ip-co.com](mailto:sh_alaviyoun@ip-co.com)

\* نویسنده مسئول

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۱ مرداد ۱۳۹۶

پذیرش: ۱۵ بهمن ۱۳۹۶

کلیدواژه‌ها:

موتور ملی

سامانه خنک کاری (س.خ.)

زمان گرمایش موتور

سامانه خنک کاری جداگانه (س.خ.ج.)

### چکیده

تمایل جهانی به استفاده از موتورهای کم حجم با توان ویژه خروجی قوی و الزامات آلایندگی، باعث بکارگیری فناوری‌های نوین در طراحی موتورهای احتراق داخلی شده است. روشی نوین و مقرون به صرفه استفاده از سامانه خنک کاری (س.خ.) جداگانه بدنه و بستار با دو دمابان است. در این تحقیق ورود سیال خنک کننده به بدنه و بستار به‌طور جداگانه، با دو شار متفاوت و دو دمابان با دمای عملکردی متفاوت انجام می‌گیرد. در این تحقیق پس از الگوبرداری از سامانه خنک کاری جداگانه (س.خ.ج.) موتورهای روز دنیا، طراحی و عملکرد س.خ.ج. بدنه موتور و بستار با دو دمابان بر روی موتور ملی تنفس طبیعی بررسی شده است. برای این منظور، ابتدا مدار خنک کاری موتور در نرم افزار GT-COOL شبیه سازی و با مدار عملکرد موتور در نرم افزار GT-POWER به صورت هم‌زمان در چرخه جدید رانندگی اروپایی (چ.ج.ر.ا.) معادل شبیه سازی می‌شود. برای اعتبارسنجی از نمودار دمای مایع خنک کننده بر حسب زمان در چ.ج.ر.ا. استفاده شده است؛ در انتها اثر جداسازی مدار خنک کاری بدنه و بستار موتور با استفاده از دو دمابان بر زمان گرمایش و توزیع جریان در مبدل و بخاری، مطالعه می‌شود. نتایج نشان دهنده ۱۱٪ کاهش زمان گرم شدن موتور در مقایسه با سامانه خنک کاری معمولی (س.خ.م.) در زمان راه اندازی سرد موتور است.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

## ۱- مقدمه

خنک‌کاری معمول موتورهای احتراق داخلی به دو روش سری و موازی انجام می‌گیرد که در هر دو روش سیال خنک‌کاری قبل از ورود به بستار با جذب حرارت از بدنه پیش گرم می‌شود که باعث خنک‌کاری بیش از حد بدنه به دلیل عدم مهار جداگانه دما و جریان بدنه با دمابان می‌شود. در نهایت باعث افزایش آلاینده‌های مونوکسید کربن و هیدروکربن نسوخته و افزایش زمان گرم شدن موتور می‌شود و تنظیم دمای موتور به دلیل محدود بودن به یک دمابان برای تنظیم دمای نقاط بحرانی، به صورت بهینه نیست.

س.خ. موتور احتراق داخلی به گونه‌ای طراحی می‌شود که دفع حرارت در بدترین شرایط کارکرد موتور یعنی بار کامل در دور موتور بیشینه را تضمین نماید. حال آن‌که این شرایط تنها حدود پنج درصد زمان استفاده وسیله نقلیه را شامل می‌شود. این رویکرد باعث افزایش مصرف سوخت می‌شود که با مدیریت سامانه حرارتی می‌تواند بهبود یابد [۱].

دمای سیال خنک‌کاری به طور مستقیم بر دمای بدنه و عملکرد موتور تأثیر می‌گذارد. مصرف سوخت، بازده موتور وجود آلاینده‌هایی نظیر مونوکسید کربن، هیدروکربن، اکسیدهای ازت و اصطکاک تحت تأثیر دمای س.خ. موتور است. بیشتر مطالعات و آزمایش‌هایی که در گذشته در زمینه س.خ. موتور انجام شده به بهبود توان موتور و کاهش آلاینده‌ها از طریق کاهش خنک‌کاری (افزایش دمای س.خ.) انجام شده است [۱-۳].

به علاوه کاهش خنک‌کاری در موتور از طریق کاهش شار جریان سیال خنک‌کننده می‌تواند مورد نیاز برای تلمبه را کاهش دهد. کربن و اکسیژن برای انجام واکنش کامل و تبدیل به دی‌اکسید کربن به دمای داغ احتیاج دارند. در اثر کاهش دما در طی فرآیند انبساط کربن و اکسیژن به طور ناقص واکنش داده و مونوکسید کربن تولید می‌شود. هیدروکربن نیز حاصل احتراق ناقص در نواحی بسیار غنی و یا بسیار فقیر است [۴]. کاهش زمان گرم شدن موتور و رسیدن به حالت پایا از مزایای افزایش دمای س.خ. است. کاهش خنک‌کاری موتور همچنین باعث کاهش گرانیروی روغن، افزایش روان کاری و کاهش تلفات توانی ناشی از اصطکاک می‌شود [۵]. این اثرات بر روی موتورهای بنزینی نسبت به دیزلی به دلیل دمای سردتر روغن و بیشتر بودن آلاینده‌های مونوکسید کربن و هیدروکربن، شدیدتر است [۶].

در س.خ. معمول به دلیل وابستگی خنک‌کاری بدنه و بستار، خنک‌کاری بدنه بیش از حد لازم انجام می‌شود تا شار سیال خنک‌کننده از افزایش دمای بیش از حد بستار که می‌تواند باعث اثرهایی چون سوختن لائی بستار شود، جلوگیری کند. دمای سرد سیال خنک‌کننده در بدنه، باعث کاهش دمای گازهای حاصل از احتراق و افزایش آلاینده‌هایی نظیر هیدروکربن و مونوکسید کربن و کاهش توان موتور می‌شود [۷].

به همین دلیل بهتر است تا حد ممکن دمای بدنه افزایش پیدا کند تا آلاینده‌هایی نظیر مونوکسید کربن و هیدروکربن نسوخته کاهش پیدا

کند و دمای بستار نیز تا حدی کاهش پیدا کند تا اکسیدهای نیتروژن کاهش پیدا کند.

برای تنظیم دمای بدنه و بستار موتور، به عنوان راهکار می‌توان خنک‌کاری بدنه و بستار به طور جداگانه انجام گیرد؛ که باعث می‌شود مقدار خنک‌کاری بدنه و بستار موتور را به صورت مجزا تنظیم کرد. این روش مزایای بسیاری را در کاهش آلاینده‌ها و کاهش مصرف سوخت ویژه به همراه دارد.

در فاصله زمانی پاشش و احتراق خود به خودی در موتورهای دیزل قطرات سوخت بخار می‌شوند و با هوا مخلوط قابل اشتعال تولید می‌کنند. از آنجایی که تبخیر و اشتعال خود به خودی فرآیندهایی اند که با دما تغییر می‌کنند، کاهش دمای سیال خنک‌کاری تأخیر در اشتعال را افزایش می‌دهد [۸].

کاهش دمای سیال خنک‌کاری باعث کاهش دمای دیوار محفظه احتراق و در نتیجه افزایش هیدروکربن می‌شود. در سوی دیگر، افزایش دما در بستار تأثیر منفی در آلاینده اکسیدهای ازت دارد. چرا که تشکیل اکسیدهای ازت حساسیت زیادی به دمای محفظه احتراق دارد.

از آنجایی که در س.خ. معمول تنظیم جداگانه دمای بدنه و بستار موتور امکان‌پذیر نیست، بنابراین تنظیم دما و کاهش تمامی آلاینده‌ها میسر نیست. دو اشکال عمده در س.خ.م. وجود دارد:

- نخست: حجم زیاد سیال خنک‌کننده در این سامانه موجب افزایش زمان گرم شدن موتور می‌شود.

- دوم: وقتی موتور در حالت بار جزئی عمل می‌نماید، س.خ. باعث دفع حرارت بیش از مقدار لازم موتور می‌شود.

برای غلبه بر این مشکلات نیاز به یک س.خ. پیشرفته است که هدف عمده آن ایجاد توازن بر اساس بهره‌گیری از بیشترین مقدار توان حرارتی و کمترین آسیب به قطعات در موتور است.

روش‌های مدیریت هوشمند خنک‌کاری مانند استفاده از دمابان و تلمبه آب برقی، خنک‌کاری با در نظر گرفتن پدیده جوشش، خنک‌کاری دقیق و مدار خنک‌کاری جداگانه بدنه و بستار موتور راه حل مناسبی برای تنظیم خنک‌کاری موتور است.

با توجه به اینکه بر اساس نتایج حاصل از آزمون‌های پایش آلاینده‌های خروجی موتور، بیشترین مقدار آلاینده‌های موتور در حالت راه‌اندازی سرد ایجاد می‌شود، در این پژوهش با هدف توسعه س.خ. خانواده موتور ملی با الگوبرداری از س.خ. خنک‌کاری موتورهای روز دنیا، استفاده از س.خ.ج. در موتور ملی تنفس طبیعی بررسی می‌شود که از مزیت‌های این طرح می‌توان به کاهش چشمگیر در زمان گرمایش موتور و آلاینده‌های تولیدی با صرف هزینه بسیار کم در مقایسه با سایر روش‌ها اشاره کرد.

به همین منظور در ابتدا اثر س.خ.ج. بدنه و بستار با استفاده از دو دمابان روی کاهش زمان گرمایش موتور در حالت راه‌اندازی سرد بر اساس

این حالت شرایطی شبیه به شرایط س.خ. دوگانه به وجود می‌آید، اما این سامانه در عمل مشکلاتی دارد:

۱- به دلیل حرکت سیال از بالا به پائین در راهگاه‌های ارتباطی بین بستار و بدنه موتور، در صورت تبخیر مایع خنک‌کننده و تشکیل حباب در مسیر، حرکت سیال در جهت عکس حرکت حباب‌ها انجام می‌شود؛ که این مسئله امکان به جمع شدن بخار در بعضی نقاط را به وجود می‌آورد و در این صورت امکان افزایش دما در آن نقاط وجود خواهد داشت.

۲- به دلیل وجود مسأله انتقال حرارت جابه‌جایی آزاد، برای حرکت اجباری سیال که ناشی از اختلاف فشار ایجاد شده توسط تلمبه آب است، در جهت عکس نیروی وارد به سیال در اثر پدیده جابه‌جایی آزاد خواهد شد. این مسأله نیاز به ایجاد اختلاف فشار بیشتر در دو طرف تلمبه آب ایجاد می‌نماید. در نتیجه توان مصرفی تلمبه آب افزایش پیدا می‌کند؛ بنابراین با توجه به مطالعات انجام شده در انواع سامانه‌های خنک‌کاری، س.خ. دوگانه مهم است.

اکثر مطالعاتی که روی س.خ. موتور و بهبود آن صورت گرفته است به کاهش آلاینده‌ها، افزایش توان و کاهش مصرف سوخت ویژه اشاره دارد. این امر در س.خ.ج. با افزایش دما در بدنه و کاهش دما در بستار، محقق می‌شود.

راس و همکاران [۶]، در آزمایشی روی موتوری تک استوانه دو درپچه، با مدار خنک‌کننده مستقل برای بدنه و بستار، تأثیر افزایش دما را بر کاهش تولید هیدروکربن بررسی کردند. آزمایش با دو نوع سوخت متفاوت و به صورت شرایط جاده‌ای اجرا شد. در این آزمایش دمای سیال خنک‌کننده بستار و بدنه موتور به‌طور جداگانه از دمای ۷۱ تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد (د.س.) افزایش یافت.

در زمان افزایش دمای بستار، دمای بدنه ثابت نگه داشته شد و در زمان افزایش دمای بدنه، دمای بستار ثابت نگه داشته شد. سپس مقدار آلاینده هیدروکربن نسوخته در هر یک از بخش‌ها به‌صورت جداگانه با سوخت مرجع ایزوپنتان بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده کاهش هیدروکربن نسوخته از ۱۵۰۰ به ۱۲۰۰ د.د.م. برای بستار و کاهش کمتر آلاینده هیدروکربن از ۱۴۰۰ به ۱۳۰۰ د.د.م. برای بدنه در مقایسه با بستار بود.

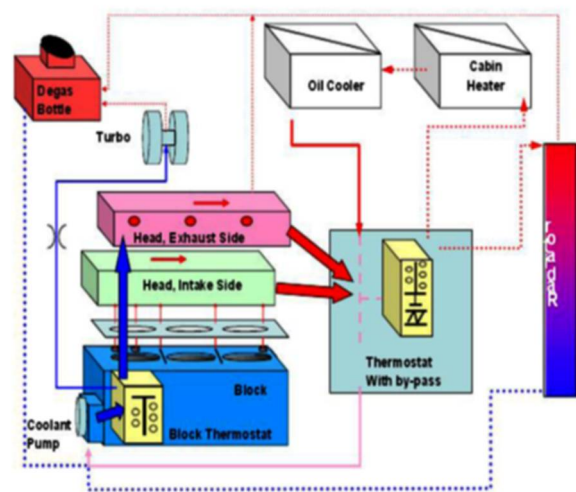
سارویا و همکاران [۱۰] تغییرات هیدروکربن، مونوکسید کربن و مصرف سوخت ویژه را بررسی کردند. در این آزمایش، برای جلوگیری از ورود سیال خنک‌کننده به بستار، از صفحه‌ای فلزی در فضای بین بستار و بدنه موتور استفاده شد. به این ترتیب ورودی سیال خنک‌کننده به داخل بدنه موتور، همان ورودی اصلی و خروجی آن در ۱۰۰ میلی‌متر بالاتر از نقطه مکث پایین<sup>۳</sup> تعبیه شده بود. در بارهای مختلف موتور، سرعت موتور در مقدار ثابت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه نگاه داشته شد. آنها نشان دادند

چ.ج.ر.<sup>۱</sup> شبیه‌سازی و اعتبارسنجی می‌شود. سپس توزیع جریان میان بخاری و مبدل بر اساس نتایج آزمون‌های موتوری و خودرویی پایش و اعتبار سنجی خواهد شد.

## ۲- سامانه خنک کاری جداگانه بدنه و بستار

در سامانه پیشنهادی، خنک‌کاری بدنه و بستار موتور با ورود و خروج جداگانه و مهارشده سیال خنک‌کننده به بدنه و بستار انجام می‌گیرد. به این ترتیب، دمای بدنه و بستار موتور با دو دمابان که جداگانه و با دو دمای عملکردی متفاوت در خروجی بدنه و بستار نصب می‌شوند، تنظیم می‌شود.

در این شرایط، افزایش جداگانه دمای سیال خنک‌کننده در بدنه موتور، باعث کاهش تولید آلاینده‌های هیدروکربن و مونوکسید کربن، کاهش گرانیوی روغن و کاهش مصرف سوخت ویژه می‌شود [۹ و ۱۰]. در سوی دیگر کاهش جداگانه دمای سیال خنک‌کننده در بستار باعث کاهش تولید آلاینده اکسیدهای ازت، افزایش چگالی هوای ورودی و در نتیجه افزایش بازده موتور می‌شود. خنک‌کاری جداگانه بدنه و بستار موتور همچنین باعث بهبود زمان گرم شدن موتور از حالت آغاز سرد می‌شود. شکل ۱ طرحی از س.خ.ج. با استفاده از دو دمابان در موتور فورد اکوبوست را نشان می‌دهد.



شکل ۱. س.خ.ج. موتور فورد ۱ لیتری اکوبوست با استفاده از دو دمابان [۲۷]

با توجه به شرایط عملکردی سامانه‌های خنک‌کاری دوگانه، طرحی که سریع به نظر می‌رسد، معکوس کردن مسیر جریان خنک‌کاری در سامانه‌های خنک‌کاری معمول است [۱۱]. به این ترتیب که جریان سیال ابتدا وارد بستار و سپس وارد بدنه موتور شود که در این صورت سیال در بستار، دمای سردتر و در بدنه موتور دمای گرمتری را دارد. در

<sup>3</sup> Bottom dead center (BDC)

<sup>1</sup> New European Driveline Cycle (NEDC)

<sup>2</sup> Particle per million (PPM)

کاهش ۱,۵ بار در فشار مؤثر اصطکاکی موتور در مقایسه با نمونه مبنا بود.

سوجانیا [۱۷] س.خ. که توسط اسمان و همکاران طراحی شده بود در موتوری نمونه بکار بردند و نتایج آن را به صورت عملی بررسی نمودند. با توجه به کاهش نیاز به شار سیال خنک کننده، آن‌ها قطر چرخ تسمه استاندارد تلمبه آب را افزایش دادند.

باتیستا و همکاران [۱۸] با بکار گرفتن س.خ.ج. در موتور ۱,۴ لیتری سیتروئن C3، کاهش ۲۵ درصدی در زمان گرمایش موتور در حالت راه‌اندازی سرد، کاهش ۶ درجه‌ای دمای نقاط داغ در بستار، افزایش ۲ درجه‌ای دمای بدنه استوانه و در نهایت باعث بهبود عملکرد س.خ. با کاهش ۳,۵ درصدی انرژی مورد نیاز برای این سامانه و هزینه کم برای بهبود عملکرد س.خ. در مقایسه با سایر روش‌ها است.

در این تحقیق، با استفاده از شبیه‌سازی یک بعدی، در ابتدا س.خ.م. موتور ملی توسط نرم‌افزار GT-Suite شبیه‌سازی شده است. پس از اعتبارسنجی توسط داده‌های آزمایشگاهی زمان گرمایش موتور بر اساس چ.ج.را، به عنوان الگوی مبنا برای تحلیل مدار خنک‌کاری جداگانه بدنه و بستار موتور با استفاده از دو دامبان استفاده شد. در این حالت، مقدار شار سیال خنک‌کننده عبوری از هر یک از بدنه و بستار تعیین و اثر آن بر زمان گرمایش موتور در حالت راه‌اندازی سرد و توزیع سیال خنک‌کننده در بخاری و مبدل، بررسی می‌شود.

### ۳- معادلات حاکم

برای شبیه‌سازی س.خ. خودرویی از GT-Cool و برای شبیه‌سازی مدار قدرت موتور از GT-Power از زیر مجموعه نرم‌افزارهای GT-Suite از شرکت Gamma Technology استفاده شده است. این نرم‌افزار توانایی شبیه‌سازی یک‌بعدی سامانه قدرت و س.خ. خودرو را برای شرایط گذرا و پایدار، دارد. پس از شبیه‌سازی قسمت‌های مختلف موتور، سامانه نیرو محرکه و خنک‌کاری به طور همزمان حل می‌شود. حل عددی جریان در مدار شبیه‌سازی شده، به کمک معادله پیوستگی، معادله اندازه حرکت و معادله انرژی انجام می‌پذیرد. معادلات پیوستگی، اندازه حرکت و انرژی در معادله‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_1}(\rho u_1) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left( \frac{\partial u_j}{\partial t} + u_k \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \right) = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} + \rho f_i \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial e}{\partial t} + \rho u_1 \frac{\partial e}{\partial x_1} = \sigma_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{\partial q_j}{\partial x_j} \quad (3)$$

با توجه به حل همزمان مدار عملکرد و خنک‌کاری لازم است انتقال حرارت هدایتی و جابجایی شبیه‌سازی شوند. مقدار انتقال هدایت در واحد سطح و بر واحد زمان را می‌توان با کمک قانون فوریه بیان نمود:

که با استفاده از س.خ.ج. در تمامی بارها بجز ۵ و ۸۵ درصد، کاهش حدود ۲۰ درصدی در مصرف سوخت ویژه را به همراه دارد. همچنین کاهش حدود ۳۰ درصدی را در آلایندگی مونوکسیدکربن و کاهش ۱۷ درصدی آلایندگی هیدروکربن نسوخته را به همراه دارد.

کباباشی و همکاران [۵]، س.خ.ج. را در یک موتور ۱,۳ لیتری چهار استوانه اشتعال جرقه‌ای، بررسی کردند. در این آزمایش، گرم شدن دمای سیال خنک‌کننده بدنه موتور از ۸۰ به ۹۵ د.س.، باعث کاهش گشتاور اصطکاک به مقدار ۴ درصد شد. همچنین کاهش دمای سیال خنک‌کننده بستار از ۸۰ به ۵۰ د.س.، باعث افزایش آلایندگی هیدروکربن نسوخته به مقدار ۱۰ درصد گزارش شد.

فینلای و همکاران [۷ و ۱۳]، س.خ.ج. را برای یک موتور ۱,۱ لیتری چهار استوانه اشتعال جرقه‌ای استفاده کردند. آنها نشان دادند، گرم شدن دمای سیال خنک‌کننده تا ۱۰۰ د.س.، مصرف سوخت ویژه را ۴-۶٪ کاهش می‌دهد. همچنین، آلایندگی هیدروکربن نسوخته نیز به مقدار ۲۰-۳۵٪ افزایش می‌یابد. به همین ترتیب، نشان دادند که استفاده از س.خ.ج.، باعث کاهش نرخ جریان تا ۴۰٪ می‌شود. این امر، به دلیل افزایش سرعت سیال خنک‌کننده درون راهگاه آب، از ۱,۴ تا ۴ متر بر ثانیه است.

گولیمونت و همکاران [۸] تأثیر افزایش دمای بدنه و بستار موتور بر روی آلایندگی هیدروکربن نسوخته را بررسی کردند. آنها نشان دادند با کاهش دمای سیال خنک‌کننده بستار از ۹۰ به ۳۵ د.س.، آلایندگی هیدروکربن نسوخته به مقدار ۳۵-۵۴٪ افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش دمای بدنه موتور به همین مقدار، آلایندگی هیدروکربن نسوخته به مقدار ۱۸-۲۳٪ افزایش دارد.

چانفرا و همکاران [۴] با استفاده از خنک‌کاری جداگانه بدنه و بستار و با افزایش دمای سیال خنک‌کننده از ۹۰ تا ۱۱۰ د.س.، کاهش ۲-۵٪ در مصرف سوخت، ۲۰٪ در تولید مونوکسید کربن و ۱۰٪ در تولید هیدروکربن را گزارش کردند. با استفاده از س.خ.ج. برای موتوری ۳,۸ لیتری، تلمبه سیال خنک‌کننده مکانیکی ۲-۳ کیلووات را با تلمبه برقی ۶۰۰ وات جایگزین کرده است. او همچنین با افزایش دمای سیال خنک‌کننده از ۹۰ به ۱۱۰ د.س.، کاهش هیدروکربن به مقدار ۱۷٪ و مونوکسید کربن به مقدار ۱۵٪ را در پژوهش خود گزارش کرده است.

آپ و همکاران [۱۴] توانستند با استفاده از س.خ.ج. برای موتور ۱,۲ لیتری اشتعال جرقه‌ای، تلمبه سیال خنک‌کننده مکانیکی ۱ کیلووات را با تلمبه برقی ۳۰-۸۰ وات جایگزین نمایند.

اسمان و همکاران [۱۵-۱۶]، اثر خنک‌کاری جداگانه در بدنه و بستار را در موتور ۱,۳ لیتری تنفس طبیعی بررسی کردند. آنها برای شبیه‌سازی از تحلیل‌های یک و سه بعدی استفاده کردند و در ادامه سرعت سیال خنک‌کننده با استفاده از خنک‌کاری جداگانه در بستار به نسبت ۸۰٪ و در بدنه به نسبت ۲۰٪ توزیع گردید. همچنین آنها در قسمت‌های مختلف س.خ. اثر افت فشار و شار حجمی را بررسی کردند که نتایج حاکی از

شبیه‌سازی یک‌بعدی به‌وسیله داده‌های آزمون خنک‌کاری موتور ملی و آزمون خودرویی بر اساس استاندارد آلایندگی چ.ج.ر.ا. اعتبارسنجی شد و در نهایت از همین شبیه‌سازی یک‌بعدی، برای تحلیل و اعتبارسنجی مدار خنک‌کاری جداگانهٔ بدنه و بستار موتور با استفاده از دو دمابان استفاده شده است.

#### ۵- شبیه‌سازی مدار خنک‌کاری موتور ملی تنفس طبیعی

شبیه‌سازی مدار آبی س.خ. موتور ملی را می‌توان به دو بخش مدار داخلی (مدار خنک‌کاری بدنه و بستار) و مدار خارجی موتور (شامل لوله‌ها، مبدل، پنکه، پودمان روغن، تلمبهٔ آب، دمابان، مسیر خنک‌کاری تنظیم‌کنندهٔ سوخت گاز و بخاری) تقسیم‌بندی نمود. هدف از شبیه‌سازی مدار آبی س.خ.، تعیین شار جریان سیال خنک‌کننده در قسمت‌های مختلف مدار خنک‌کاری است.

برای شبیه‌سازی مشخصات موتور مانند حجم، نسبت تراکم، جنس و ابعاد قطعات مختلف موتور و نتایج آزمایش موتور از قبیل داده‌های مصرف سوخت ویژه، نداشت آلاینده‌ها، اصطکاک، عملکرد پنکه و عملکرد تلمبه در دور و بارهای مختلف، استفاده می‌شود.

مدار خنک‌کاری موتور، با شبیه‌سازی راهگاه‌های آب در داخل بدنه و بستار موتور و تعیین قطر، طول، جنس و زاویهٔ خم‌های لوله‌های مدار خنک‌کاری و همچنین شبیه‌سازی مبدل، تلمبهٔ آب، پودمان روغن، پنکه و دمابان انجام می‌شود.

در نهایت موتور و س.خ. به صورت یکپارچه برای تحلیل حرارتی جریان استفاده می‌شود. در جدول ۱ ورودی‌های مورد نیاز نرم‌افزار برای ایجاد شبیه‌سازی نشان داده شده است:

جدول ۱. ورودی‌های مورد نیاز نرم‌افزار برای شبیه‌سازی یک‌بعدی	
مشخصات هندسی موتور	بدنه، بستار، چندراههٔ هوا و دود
مشخصات هندسی س.خ.	مبدل، بخاری، لوله‌ها، دمابان
مشخصات سیال	خنک‌کاری و روانکاری
مشخصات سوخت	بنزین
نقشهٔ عملکردی	تلمبهٔ آب و روغن، پنکه، دمابان
الگوهای خنک‌کاری	هدایتی، جابه‌جایی و تشعی

در مدار خنک‌کاری موتور ملی با تنفس طبیعی، سیال خنک‌کننده پس از عبور از تلمبهٔ آب و پودمان روغن وارد بدنه شده و همزمان با خنک‌کاری بدنه، وارد بستار می‌شود. سپس از بستار موتور خارج شده و وارد محفظهٔ دمابان می‌شود. سه مسیر در محفظهٔ دمابان ملی وجود دارد: مسیر بخاری، مسیر تنظیم‌کنندهٔ گاز و مسیر مبدل. مسیر بخاری وظیفه گرمایش اتاق را بر عهده دارد و در تمامی حالات عملکردی س.خ. این مسیر باز است و مسیر تنظیم‌کنندهٔ گاز در خودروهای گاز سوز استفاده می‌شود. وظیفهٔ آن پیش گرم کردن سوخت گاز برای استفاده در موتور است و این مسیر در خودروهای گاز سوز به طور دائم

$$\dot{q}_x = \frac{\dot{Q}}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

که  $k$  ضریب انتقال حرارت هدایتی است. حرارت به شکل هدایت حرارتی از سطح داخلی دیواره‌های بدنه و بستار به سطح خارجی و مجاور سیال خنک‌کننده انتقال می‌یابد.

انتقال حرارت جابجایی با سیال و سطح جامدی که حرکت نسبی نسبت به یکدیگر دارند، منتقل می‌شود. شار حرارت جابه‌جایی اجباری که به یک سطح جامد با دمای  $T_w$  توسط یک جریان سیال با دمای متوسط  $T$  منتقل می‌شود از معادلهٔ (۵) محاسبه می‌شود.

$$\dot{q} = h_c (T - T_w) \quad (5)$$

که در آن  $h_c$  ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی است. مقدار آن بدین شرح محاسبه می‌شود:

$$\left(\frac{h_c L}{K}\right) = const. \times \left(\frac{\rho V L}{\mu}\right)^m \left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^n \quad (6)$$

ثابت‌های  $m$  و  $n$  تجربی اند که با توجه به فیزیک مسأله و پس از آزمایش‌های متعدد تعیین می‌شوند.

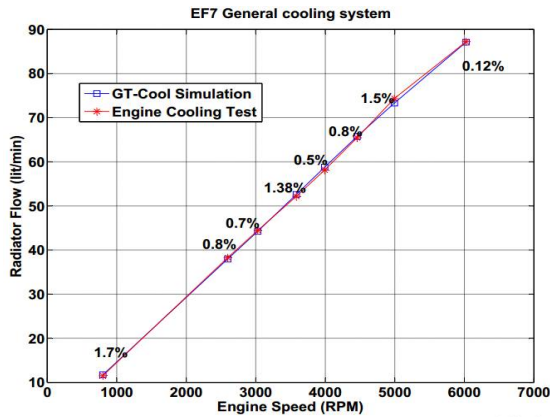
#### ۴- موتور پایه

برای تصویربرداری از محفظه‌های پرخوران پس از روشن شدن موتور ابتدا صبر می‌کنیم تا دمای پرخوران ثابت شود، سپس با توجه به آزمایش‌های قبلی ضریب تابش مناسب را انتخاب و سایر تنظیمات دوربین را اعمال می‌کنیم. لازم به یادآوری است که ضریب تابش توسط آزمایش تجربی در کورهٔ گرمائی مشخص شده است و مقدار دما و رطوبت اتاق آزمون توسط حسگرهای اتاق آزمون مشخص می‌شود.

الگوی استفاده شده برای شبیه‌سازی، موتور ملی ۴ استوانه و حجم ۱۶۵۰ سی‌سی با تنفس طبیعی دارد. مدار عملکرد موتور و خنک‌کاری به‌صورت یک‌بعدی شبیه‌سازی شده است. در این شبیه‌سازی، مدار خنک‌کاری در دو حالت با خنک‌کاری رایج با یک دمابان و خنک‌کاری جداگانهٔ بدنه و بستار با استفاده از دو دمابان به‌وسیلهٔ مجموعهٔ نرم‌افزار GT-Suite شبیه‌سازی شده است.

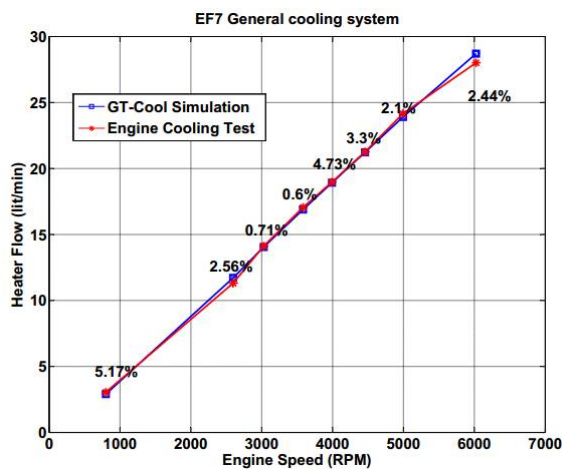
نرم‌افزار GT-Suite نرم‌افزاری توانمند در شبیه‌سازی یک‌بعدی موتورهای احتراق داخلی است. این نرم‌افزار شامل قسمت‌های گوناگونی برای شبیه‌سازی سامانه‌های مختلف خودرو است.

در این مطالعه شبیه‌سازی موتور توسط نرم‌افزار GT-Power و GT-Cool از نرم‌افزار GT-Suite انجام می‌گیرد. شبیه‌سازی مدار عملکرد موتور، توسط نرم‌افزار GT-Power و شبیه‌سازی مدار خنک‌کاری توسط نرم‌افزار GT-Cool انجام می‌شود. در این شبیه‌سازی منحنی مشخصهٔ عملکردی تلمبهٔ آب، دمنده خنک‌کن مبدل موتور و دمابان به‌عنوان ورودی‌های نرم‌افزار GT-Cool وارد شدند. همچنین نمودارهای افت فشار نسبت به شار جریان عبوری برای مبدل و بخاری نیز در نرم‌افزار وارد شدند و در نهایت شبیه‌سازی مدار خنک‌کاری انجام شد.



شکل ۳. مقایسه توزیع جریان حجمی سیال خنک‌کننده عبوری از میبدل در دو حالت آزمایشگاهی و شبیه‌سازی در حالت بار کامل

در شکل ۴ نتایج توزیع جریان حجمی جریان عبوری از بخاری در دو حالت شبیه‌سازی و نتایج آزمایشگاهی بر روی خودروی سمند با موتور ملی در حالت بار کامل از دور آرام تا ۶۰۰۰ د.د.د. در حالت پایا (دمابان به طور کامل باز) [۱۹]، نشان داده است. با توجه به نتایج مشابه توزیع جریان در میبدل در بخاری نیز بیشینه درصد خطا مربوط به دور آرام با مقدار ۵٫۷٪ است؛ که علل خطا می‌تواند مشابه موارد مذکور در توزیع جریان میبدل باشد.

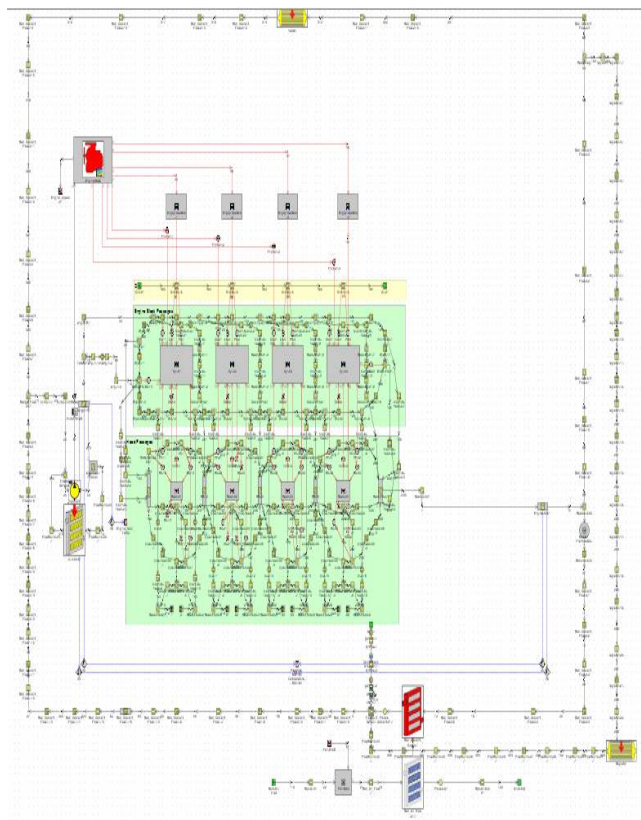


شکل ۴. مقایسه توزیع جریان حجمی خنک‌کننده عبوری از بخاری در دو حالت آزمایشگاهی و شبیه‌سازی در دورهای مختلف و بار کامل

پس از اعتبار سنجی نتایج عددی مدار حرارتی س.خ. موتور ملی با تنفس طبیعی (شکل‌های ۴ و ۵ و ۶)، اکنون نتایج حاصل از حل عددی شبیه‌سازی در حالت گذرا در چ.ج.ر.ا. برای محاسبه زمان گرمایش موتور، با نتایج حاصل از آزمون خنک‌کاری خودرویی، مقایسه شوند. شرایط انجام این آزمون مانند جدول ۲ در نظر گرفته می‌شود. برای اعتبار سنجی زمان گرمایش موتور بر اساس مشخصات آزمون‌های

باز است. ولی مسیر میبدل تا زمانی که دمای سیال خنک‌کننده خروجی از موتور به ۸۶ د.س. نرسد، بسته است. پس از گرم شدن موتور و رسیدن به این دما، این مسیر توسط دمابان باز شده و سیال خنک‌کننده وارد میبدل می‌شود. در آنجا با توجه به ماهیت کاری میبدل (انتقال حرارت جابه‌جایی) دما و فشار سیال خنک‌کاری کاهش پیدا می‌کند و به طور مجدد سیال خنک‌کننده با دما و فشار پایین، برای شروع فرایند خنک‌کاری به تلمبه آب بر می‌شود.

شکل ۲ شبیه‌سازی یک بعدی مدار خنک‌کاری موتور ملی با تنفس طبیعی را نشان می‌دهد. پس از شبیه‌سازی و حل عددی س.خ. موتور ملی با تنفس طبیعی، باید نتایج حاصل از حل عددی با نتایج از آزمون‌های خنک‌کاری در سطح موتور و خودرو مورد نظر، مقایسه گردد.



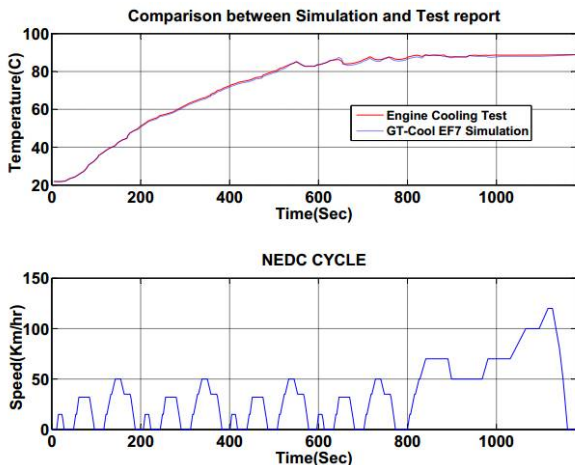
شکل ۲. شبیه‌سازی یک بعدی مدار خنک‌کاری موتور ملی تنفس طبیعی

نمودار شکل ۳ نتایج توزیع شار حجمی جریان عبوری از میبدل در دو حالت شبیه‌سازی و نتایج حاصل از آزمون خنک‌کاری آزمایشگاهی بر روی خودروی سمند با موتور ملی [۱۹] را در حالت تمام بار از دور آرام تا ۶۰۰۰ د.د.د. در حالت پایا (دمابان کاملاً باز) نشان داده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده مقدار بیشینه درصد خطا در دور آرام ۱٫۷٪ است؛ که این خطا می‌تواند ناشی از پیوسته بودن جریان (سه بعدی بودن جریان)، خطای داده برداری نتایج آزمایشگاهی و خطای محاسبات دانست.

نتایج برای شبیه‌سازی رویه آزمون آلاینده‌گی اروپا توسط نرم‌افزار GT-Cool با توجه به داشتن وزن خودروی سمند با موتور ملی (۱۳۴۵ کیلوگرم) و سرعت خودرو در آزمون چ.ج.ر.ا. و بر اساس معادله (۷) در ابتدا نیروی سر چرخ و سپس با توجه به قطر چرخ، توان و گشتاور سر چرخ به دست می‌آید و با توجه به نسبت دنده در جعبه دنده برای هر دنده می‌توان دور، توان، گشتاور و بار موتور را محاسبه کرد. سپس با توجه به الگوی موجود در نرم‌افزار GT-COOL دور و گشتاور موتور بر حسب زمان مطابق رویه آزمون چ.ج.ر.ا. تعریف می‌شود.

$$F = c_1 + c_2 V + c_3 V^2 \quad (7)$$

زمان گرمایش س.خ. شبیه‌سازی شده، با نتایج آزمایشگاهی در شرایط آزمون چ.ج.ر.ا.، در نمودار شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود که دمای سیال خنک‌کننده، حدود ۵۶۱ ثانیه پس از شروع به کار سرد موتور، نوسان می‌کند که علت آن باز شدن مسیر جریان در دمايان می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از شبیه‌سازی و نتایج عملکرد موتور در شرایط آزمایشگاهی، به طور تقریبی یکسان است و بنابر این می‌توان از شبیه‌سازی، برای الگوی س.خ.ج. بدنه و بستار موتور ملی با تنفس طبیعی استفاده نمود.



شکل ۶. مقایسه زمان گرمایش موتور در آزمون خودرویی چ.ج.ر.ا. با نتایج شبیه‌سازی

## ۶- شبیه‌سازی مدار خنک‌کاری جداگانه بدنه و بستار موتور ملی تنفس طبیعی با دو دمابان

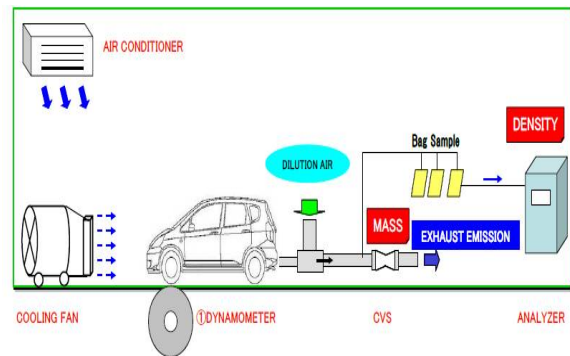
برای شبیه‌سازی مدار خنک‌کاری جداگانه بدنه و بستار در موتور ملی با تنفس طبیعی، از مدار حرارتی به دست آمده برای س.خ.م. موتور ملی استفاده می‌شود؛ که طرح پیشنهادی پس از الگو برداری از س.خ. موتور فورد اکویوست و موتور پژو EBNA پیشنهاد شده است به این ترتیب که با ایجاد تغییر در راهگاه‌های عبوری سیال در بدنه و بستار، بخشی از ارتباط میان مدار خنک‌کاری بدنه و بستار قطع می‌شود. برای این

آلاینده‌گی سطح ۴ اروپا از آزمون نوع اول<sup>۱</sup> مربوط به چ.ج.ر.ا. استفاده می‌شود [۱۹].

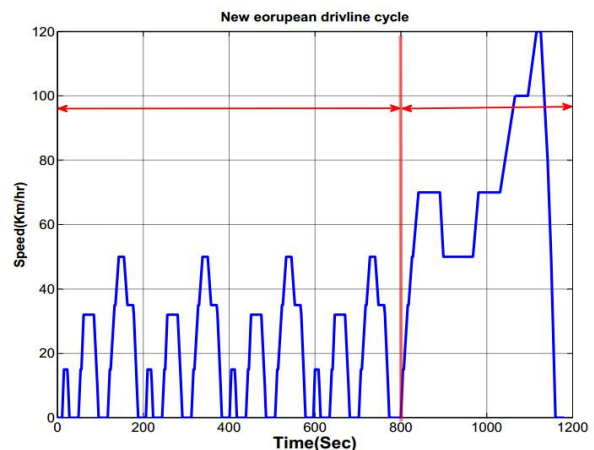
پس از اتمام آزمون، سطح مجاز آلاینده‌ها بر اساس نوع سوخت و مدت زمان گرمایش موتور مورد پایش قرار می‌گیرد که شکل ۵ (الف و ب) رویه اجرای این آزمون روی لگام ترمز را نشان داده است.

جدول ۲. شرایط آزمون آلاینده‌گی چ.ج.ر.ا. [۱۹]

دور موتور	
۸۳۷ د.د.	فشار متوسط ترمزی اولیه
۰٫۴۵ بار	دمای اولیه سیال خنک‌کننده
(۲۰ الی ۳۰ °C)	زمان کل آزمون
۱۱۸۰ ثانیه	مسافت پیمایش آزمون
۱۰٫۹۰۹ کیلومتر	وزن خودروی بدون بار و سرنشین + ۹۰٪ مخزن بنزین
پر + ۱۰۰ کیلوگرم	موارد تحت پایش
آلاینده‌ها و زمان گرمایش	



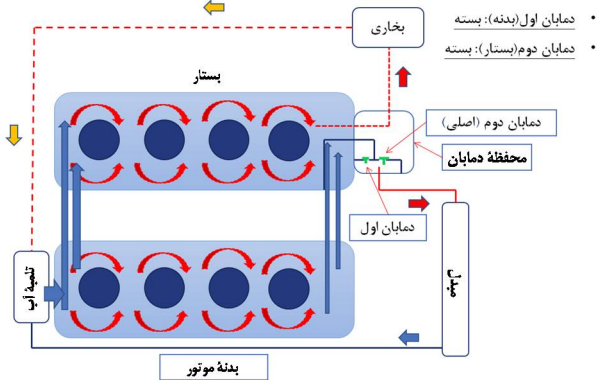
شکل ۵. الف) آزمون نوع اول مربوط به چ.ج.ر.ا.



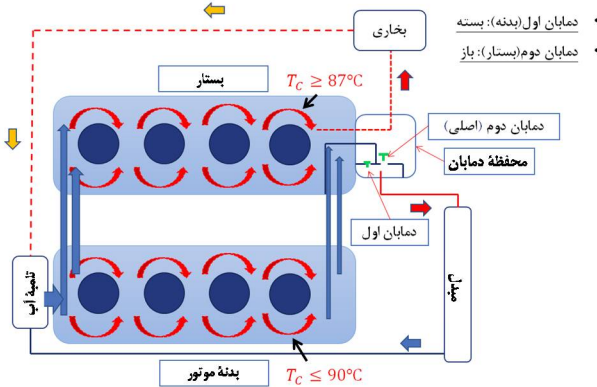
شکل ۵. ب) رویه انجام آزمون چ.ج.ر.ا. بر اساس استاندارد سطح ۴ آلاینده‌گی [۱۹]

<sup>1</sup> Type one

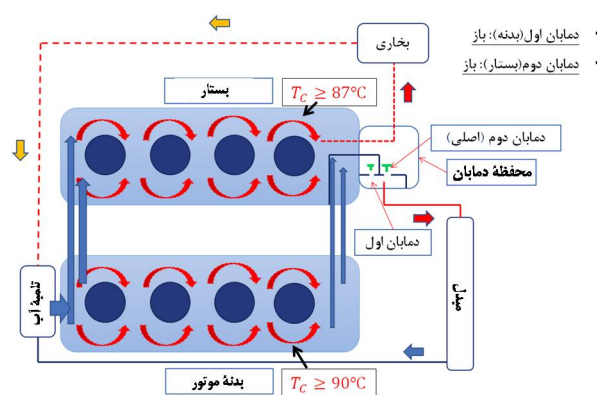
بازشده و آب سمت بدنه به سمت مبدل جریان پیدا می کند. همان طور که اشاره شد این دمابان در حالت استارت سرد برای تسریع فرایند گرم شدن موتور مورد استفاده قرار می گیرد و سیال پس از خنک شدن در مبدل دوباره به سمت تلمبه آب جریان پیدا می کند.



شکل ۸. طرح اولیه مدار خنک کاری جداگانه بدنه و بستار س.خ. موتور ملی با دو دمابان، دمای سیال خنک کاری در بدنه و بستار کمتر از ۸۷ د.س.



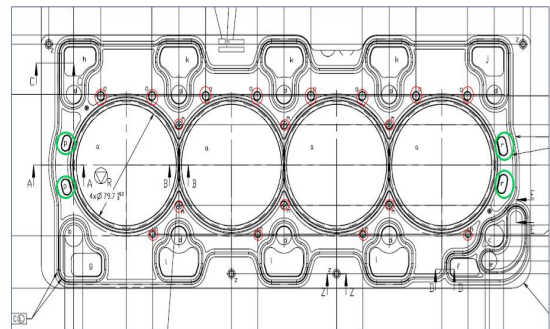
شکل ۹. طرح مدار خنک کاری جداگانه بدنه و بستار س.خ. موتور ملی با دو دمابان، دمای سیال خنک کاری بستار گرمتر از ۸۷ و بدنه سردتر از ۹۰ درجه



شکل ۱۰. مدار خنک کاری جداگانه بدنه و بستار س.خ. موتور ملی با دو دمابان، دمای بستار گرمتر از ۸۷ و بدنه گرمتر از ۹۰

منظور، ابتدا راهگاه‌های ارتباطی میان بدنه و بستار به جز سوراخ‌های ورودی و خروجی در لایط بستار مسدود می شود.

شکل ۷ لائی بستار پیشنهادی با حذف سوراخ‌های مشخص شده به رنگ قرمز و تغییر قطر سوراخ‌های سبزرنگ برای استفاده در س.خ.ج. را نشان می دهد. برای ورود سیال خنک کننده به بستار و خروج سیال از بدنه از سوراخ‌های لوبیایی لائی بستار با قطر مناسب استفاده می شود. هدف از این حداقل تغییرات در لائی بستار، امکان پذیر نمودن طرح پیشنهادی است، در این طرح، دمابان مربوط به بستار هیچ تغییری از لحاظ جایگاه و دمای عملکردی نداشته و فقط سیال خنک کاری بدنه به سمت دمابان اول که در بخش انتهایی بدنه است؛ جریان می یابد که در ادامه به نحوه عملکرد آن اشاره می شود.

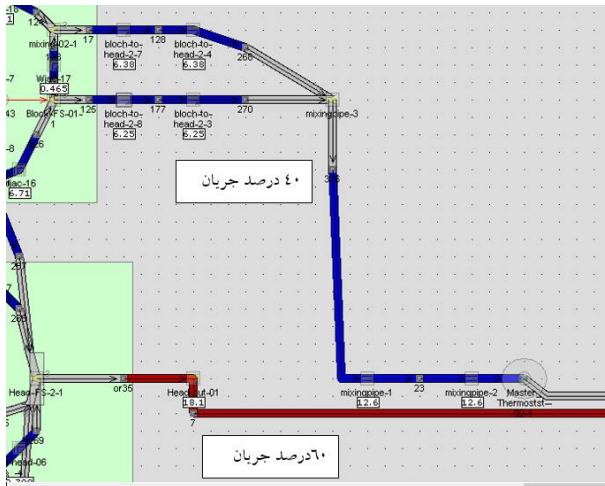


شکل ۷. تغییرات در لائی بستار برای بکارگیری در طرح س.خ. جداگانه بدنه و بستار

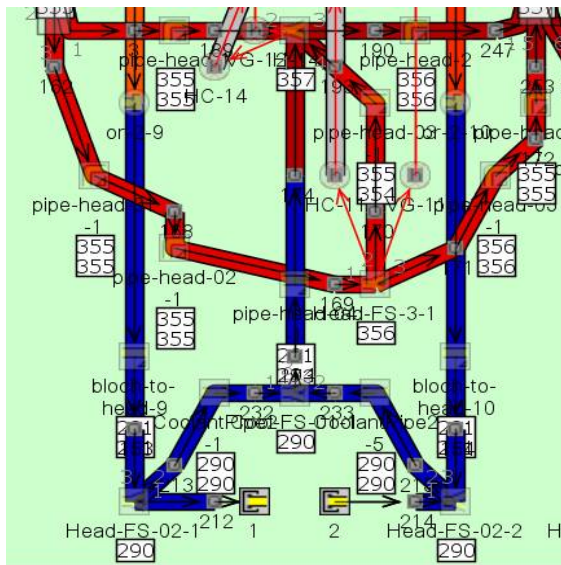
در س.خ. پیشنهادی، سیال خنک کننده پس از خروج از مبدل، بخاری، تنظیم کننده گاز و خنک کن روغن وارد تلمبه و سپس وارد بدنه می شود. در آنجا شار سیال میان بدنه استوانه و بستار به نسبت ۴۰٪ بدنه و ۶۰٪ بستار تعیین شده، تقسیم می شود و از طریق سوراخ لوبیایی لائی بستار وارد راهگاه‌های خنک کاری بستار می شود. به همین ترتیب در خروجی موتور نیز، سیال خنک کننده عبوری از راهگاه‌های خنک کاری بدنه و بستار موتور به طور جداگانه، وارد محفظه دمابان اول و دوم می شوند.

شکل ۸ شمای طرح اولیه س.خ. با مدار جداگانه بدنه و بستار موتور را نشان می دهد. همان طور که در شکل ۸ مشاهده می شود، سیال خنک کاری پس از ورود به بدنه به دو بخش تقسیم می شود؛ بخش اول از طریق سوراخ لوبیایی لائی بستار وارد راهگاه‌های خنک کاری بستار شده و بخش دوم به طور مستقیم وارد بدنه شده و در هر بخش به طور جداگانه عمل خنک کاری انجام می شود. تا زمانی که دمای سیال خنک کاری بدنه به ۸۷ د.س. نرسیده است، آب فقط از مسیر بستار بخاری جریان دارد که این عمل باعث بهبود زمان گرمایش موتور در حالت راهاندازی سرد می شود. با گرم شدن موتور مطابق شکل ۹ زمانی که دمای سیال خنک کاری به ۸۷ د.س. رسید، دمابان دوم باز و سیال خنک کاری وارد مسیر مبدل می شود تا فرایند خنک کاری موتور از طریق مبدل آغاز شود و با افزایش دمای بدنه، زمانی که دمای سیال خنک کاری در بدنه به ۹۰ د.س. رسید، مطابق شکل ۱۰ دمابان اول نیز

در نتیجه برای جلوگیری از آسیب قطعات موتور، تغییراتی در س.خ. پیشنهادی اعمال شد که در این تغییرات جریان با شار کم از سمت بدنه به سمت بستار جریان یافت تا هم مشکل کاهش موضعی دما در نقاط میانی برطرف گردد و هم احتمال گیر افتادن هوا در این راهگاه‌ها به صفر برسد، این تغییرات با در نظر گرفتن محدودیت عدم امکان تغییر طرح کلی س.خ. موتور و الگو برداری از سایر پژوهش‌ها و س.خ.ج. در موتورهای روز دنیا انجام شده است که در شکل ۱۴ طرح اصلاحی آن، نشان داده شده است.



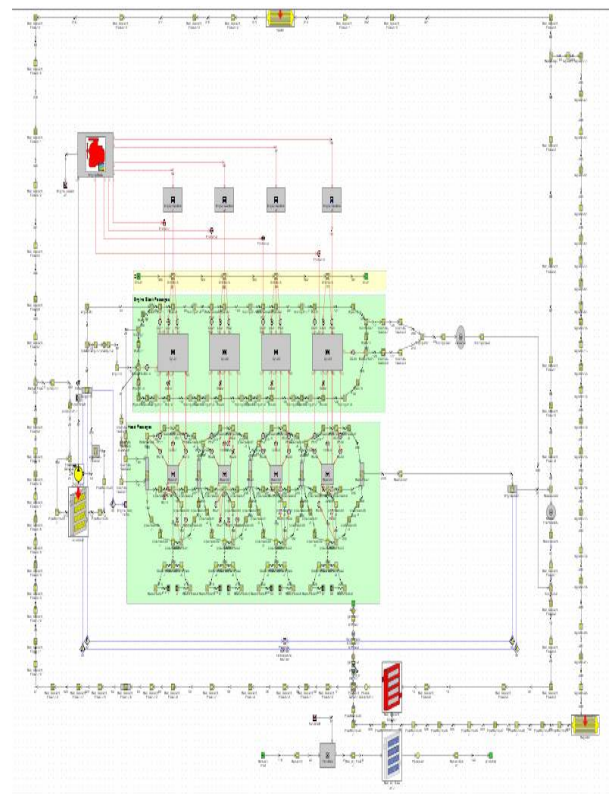
شکل ۱۴. شار سیال در خروجی بدنه و بستار در س.خ.ج. موتور ملی پس از ۱۰۰۰ ثانیه کارکرد موتور، در حالت هر دو دمابان کاملاً باز



شکل ۱۳. دمای سیال خنک کننده در راهگاه بستار یک استوانه

پس از شبیه‌سازی س.خ.ج. بدنه و بستار، س.خ. موتور ملی و بهبود این سامانه، اکنون نتایج حاصل از جداسازی مدار خنک کاری بدنه و بستار، با نتایج س.خ.م.، از لحاظ زمان گرمایش موتور و توزیع شار میان مبدا و بخاری مقایسه می‌شود.

شکل ۱۱ مدار شبیه‌سازی بهبود یافته س.خ.ج. بدنه و بستار موتور ملی در نرم‌افزار GTCOOL را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در س.خ.ج. در حالت کارکردی پایا پس از ۱۰۰۰ ثانیه کارکرد موتور (هر دو دمابان به طور کامل باز) شار سیال خنک کننده بدنه و بستار به صورت جداگانه خارج می‌شود. انتخاب شار بهینه برای هر بخش با در نظر گرفتن حالت بهینه عملکردی هر بخش صورت پذیرد بر این اساس شار سمت بدنه ۴۰٪ کل جریان و بستار ۶۰٪ کل جریان ورودی به موتور است که در شکل ۱۲ شار سیال در خروجی بدنه و بستار در س.خ.ج. موتور ملی را نشان داده شده است. یکی از مشکلاتی که در جداسازی مدار خنک کاری بدنه و بستار موتور ملی با تنفس طبیعی به وجود می‌آید، محبوس شدن سیال خنک کننده در قسمتی از بستار، به دلیل مسدود نمودن راهگاه عبور جریان از بدنه به بستار است. شکل ۱۳ دمای سیال در راهگاه‌های بستار در استوانه اول را نشان می‌دهد.

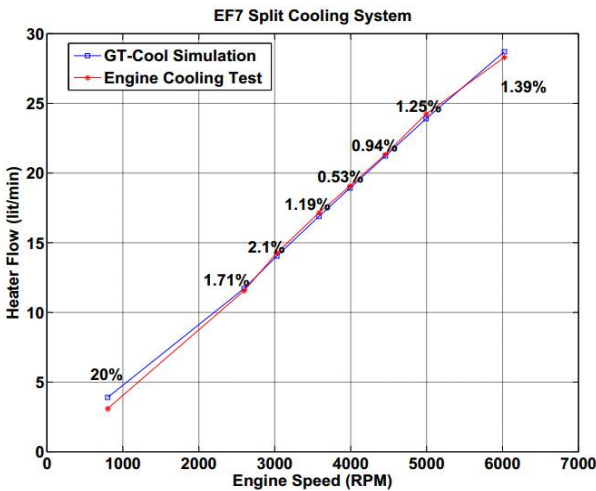


شکل ۱۱. مدار س.خ.ج. بدنه و بستار موتور ملی با دو دمابان

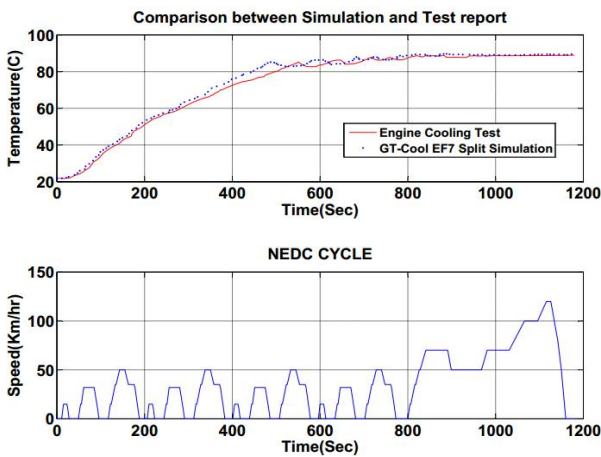
بستار در س.خ.ج. طرح اول همان گونه که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، با مسدود شدن مسیر عبور جریان از بدنه به بستار در بخش‌های میانی، سیال خنک کننده در این نقاط ساکن شده و خنک کاری در این نقاط انجام نمی‌گیرد. در نتیجه دمای سیال خنک کننده کمی گرمتر می‌شود (حدود ۲۰ د.س.) و در مقابل نقاط مورد نظر در بستار به مقدار زیادی گرم می‌شوند (حدود ۸۰ د.س.).

### نتیجه گیری

در این تحقیق ابتدا شبیه سازی مدار خنک کاری و عملکرد موتور ملی تنفس طبیعی، برای محاسبه زمان گرمایش موتور، با استفاده از نرم افزار GT-POWER و GT-COOL به صورت همزمان استفاده شده است. سپس اثر مدار خنک کاری جداگانه موتور با دو دمابان بررسی شده است.



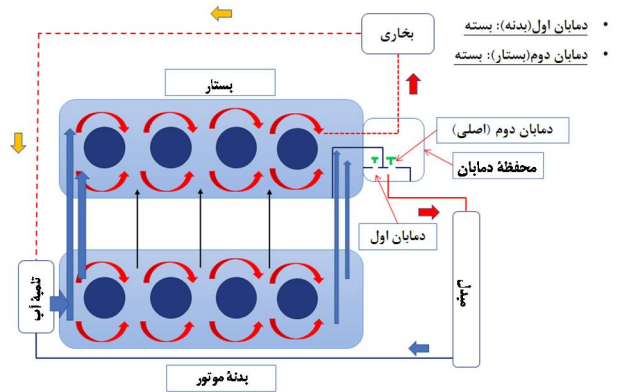
شکل ۱۴. نمودار توزیع جریان خنک کننده عبوری از بخاری در دو حالت آزمایشگاهی و شبیه سازی به همراه خطا



شکل ۱۵. نمودار دمای سیال خنک کننده خروجی از موتور ملی با تنفس طبیعی در س.خ.م.

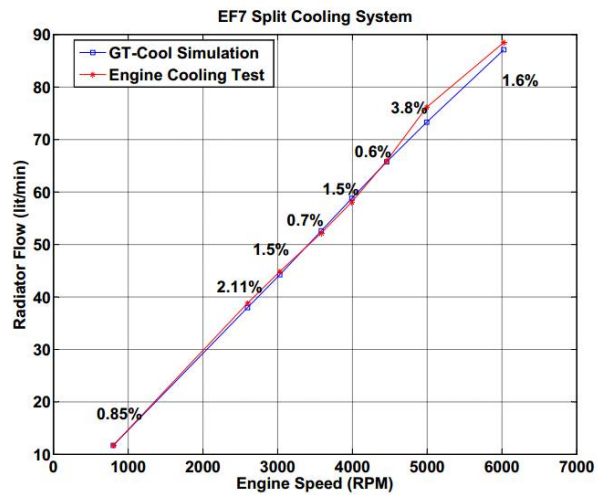
نتایج به دست آمده نشان می دهد، با جداسازی مدار خنک کاری بدنه و بستار در طرح اولیه به دلیل عدم جریان یافتن سیال در برخی نقاط بستار، دما در برخی نواحی با نسبت کمتری افزایش می یابد. به همین دلیل مدار خنک کاری اصلاح شده پیشنهاد گردید که نتایج شبیه سازی این طرح نشان دهنده کاهش ۱۱ درصدی زمان گرم شدن موتور در مقایسه با س.خ.م. در زمان راه اندازی سرد موتور است.

همچنین توزیع شار مناسب بین بستار و بدنه با لایه بستار پیشنهادی (اصلاح شده) سبب بهبود س.خ.، کاهش توان مورد نیاز برای خنک کاری



شکل ۱۶. طرح دوم (اصلاح شده) مدار خنک کاری جداگانه بدنه و بستار س.خ. موتور ملی با دو دمابان، برای جلوگیری از گیر افتادن هوا

در ابتدا بر اساس نتایج حاصل از آزمون خنک کاری آزمایشگاهی بر روی خودروی سمند با موتور ملی [۲۹]، توزیع جریان میان مبدل و مطابق شکل ۱۵ بررسی شد. همان طور که در این شکل نشان داده شده، بیشینه خطا حدود ۳٫۸٪ در سرعت ۵۰۰۰ د.د.د. است.



شکل ۱۶. نمودار توزیع جریان خنک کننده عبوری از مبدل در دو حالت آزمایشگاهی رایج و شبیه سازی به همراه خطا

در شکل ۱۶ توزیع جریان بخاری نسبت به س.خ. رایج مقایسه شده است؛ مشاهده می شود بیشینه خطا حدود ۲۰٪ و در سرعت آرام است. سپس مطابق شکل ۱۷، نمودار تغییرات دمای سیال خنک کننده را در س.خ.ج. بدنه و بستار با دو دمابان، در مقایسه با س.خ.م. بر اساس شرایط آزمون چ.ج.را. [۱۹] نشان داده شده است.

همان گونه که در شکل ۱۷ مشاهده می شود، زمان گرم شدن در س.خ.م. حدود ۵۶۰ ثانیه است که پس از بکارگیری س.خ.ج. زمان گرم شدن سیال خنک کننده در س.خ.ج. بدنه و بستار با دو دمابان به ۵۲۰ ثانیه کاهش یافت که حدود ۶۰ ثانیه (۱۱ درصد) در مقایسه با س.خ.م.، کاهش یافته است و توزیع جریان میان مبدل و بخاری نیز تغییر چندانی نداشته است.

engine, SAE Paper 952536, 1995

[7] Finlay, I.C., Gallacher, G.R., Biddulph, T.W. and Marshall, R.A., The application of precision cooling to the cylinder head of a small automotive petrol engine., SAE Paper No. 880263, 1988

[8] Guillemot, P., Gatellier, B. and Rouveriolles, P., The influence of coolant temperature on unburned hydrocarbon emissions from a spark ignition engine, SAE Paper No. 941962, 1994

[9] Furuham, S. and Suzuki, H., Temperature distribution of piston rings and piston in high speed diesel engine, Bulletin of the JSME, 22(174), pp. 1788-1795, 1979

[10] Li, C.H., Piston thermal deformation and friction considerations, SAE Paper 820086, 1982

[11] Course, W. H., and Anglin, D. L., Automotive Engines, 10th Ed., Mc-Graw-Hill pub, 1995

[12] Rehman<sup>1</sup>, A., Sarviya<sup>1</sup>, R.M., Pandey, S. D. R. Kumar, The Influence of coolant temperature on the performance of a four stroke spark ignition engine employing a dual circuit cooling system, Vol. 12, No. 1, CIGR Journal, 2010.

[13] Finlay, I. C., Tugwell, W., Biddulph, T. W., and Marshall, R. A., The influence of coolant temperature on the performance of a four cylinder 1100cc engine employing a dual circuit cooling., Heat and Mass transfer in Gasoline Engines 1989.

[14] Ap, N. S., Golm, N. C., New concept of engine coolingsystem (Newcool), SAE paper 971775, 1997

[15] Osman, A., Sabrudin, A. S., Hussin, M. S. and Bakri, Z. A., Design and simulations of an enhanced and cost effective engine split cooling concept, SAE Paper 2013-01-1640, 2013

[16] Osman, A., Hussin, M. A., and Zainal Abidin, S. F., Testing and development of an enhanced and cost effective engine split cooling circuit, SAE Paper 2015-01-1650, 2015

[17] Soujanya, C., Sundaram, V., and Kumar, S., Simulation of Split Engine Cooling System, SAE Paper 2015-26-0196, 2015

[18] R. Cipollone, D. Di Battista, A. Gualtieri, A novel engine cooling system with two circuits operating at different temperatures, Journal of Energy Conversion and Management, Vol. 75, pp. 581-592, 2013

[19] IDIADA Automotive Technology SA Engine Cooling & HVAC, IKCO Samand LX (ملی) Engine Cooling & Heat Protection. Sant Oliva (Tarragona) Spain. 2013.

موتور و استفاده از تلمبه آب و مبدل کوچک‌تر و همچنین افزایش سرعت سیال در نقاط داغ بستار می‌شود. این امر باعث کاهش دمای نقاط داغ در بستار و در نهایت باعث جلوگیری در وقوع پدیده خودسوزی در اثر افزایش دمای نقاط داغ می‌شود که می‌توان از مزایای این طرح دانست.

### فهرست علائم

جرم هوا	$m_a$
جرم سوخت	$m_f$
ظرفیت گرمایی ویژه	$C_p$
توان ترمزی	$P_b$
نرخ انتقال حرارت به سیال خنک‌ساز	$\dot{Q}_{cool}$
آنتالپی گازهای خروجی از خودرو	$h_{exh}$
حرارت دفع شده به روغن	$\dot{Q}_{misc}$
توان موتور	$P_u$
انتقال حرارت از موتور به سیال خنک‌کاری	$Q_m$
شار حرارتی	$\dot{q}$
دمای دیواره	$T_w$
ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی	$h_c$
ضریب رسانایی	$K$

### مراجع

- [1] Willumeit, H. P., Steinberg, P., Otting, H., Scheibner, B. and Lee, W., New temperature criteria for more efficient gasoline engines, SAE Paper 841292, 1984
- [2] Einaudi, G. and Mortara, W., Engine cooling electronic control system, SAE Paper 885085, 1988
- [3] Couetouse, H. and Gentile, D., Cooling system Control in automotive engines, SAE Paper 920788, 1992
- [4] Chanfreau, M., Gessier, B., Farkh, A and Geels, P.Y., The need for an electrical water valve in a thermal management intelligent system (THERMISTM), SAE Paper No. 2003- 01-0274, 2003
- [5] Kobayashi, H., Yoshimura, K. and Hirayama, T., A study on dual circuit cooling for higher compression ratio, SAE Paper No. 841294, 427-84, 1984
- [6] Russ, S., Kaiser, E. W., and Siegl, W. O., Effect of cylinder head and engine block temperature on HC emissions from a single cylinder spark ignition



# The Journal of Engine Research

Journal Homepage: [www.engineersearch.ir](http://www.engineersearch.ir)



## Design of split cooling of national engine with two thermostats

O. Foroutan<sup>1</sup>, A. Mohammadi<sup>2\*</sup>, S. S. Alavioun<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Applied Science University of Iran Khodro, Tehran, Iran, [o.foroutan@ikco.ir](mailto:o.foroutan@ikco.ir)

<sup>2</sup>Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran, [amohammadi@srttu.edu](mailto:amohammadi@srttu.edu)

<sup>3</sup>Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran, [sh\\_alaviyoun@ip-co.com](mailto:sh_alaviyoun@ip-co.com)

\*Corresponding Author

### ARTICLE INFO

*Article history:*  
Received: 12 August 2017  
Accepted: 6 April 2018

*Keywords:*  
EF7 engine  
Cooling system  
Warm up time  
Separate cooling system

### ABSTRACT

Due to the global tendency to use downsized engine with higher output power and the legal requirements imposed on pollutants, causes using of new technology in design of IC engines. A new economical method is using of a separate cooling system with two thermostats. In this research entering of coolant to block and cylinder-head carry out separately with two different volumetric flow rate and two thermostats with different performance temperature. In this survey, after benchmarking of cooling circuit of new engines, design and performance of EF7 engine with dual circuit cooling passage was investigated. For this aim, two subset of GT-SUITE are coupled for simulation of cooling passage of national engine. For this purpose, first the engine cooling-circuit is simulated in GT-COOL and coupled with GT-POWER performance circuit in NEDC cycle. Validation of results have been carried out with experimental data of the coolant temperature. Then, the effect of the separate cooling-circuit of the block and cylinder-head using two thermostats on the warm-up time and hot spot temperature in cylinder-head have studied. Results show 11 percent decrease in warm-up time.



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