



## طراحی سامانه خنک کاری هوشمند موتور با دما بان برقی و پیاده سازی در واحد مدیریت برقی

سید نوید مدنی<sup>۱\*</sup>، مهدی نیکخواه<sup>۲</sup>، حمید فغانی<sup>۳</sup>، حسین بستان شیرین<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> مرکز تحقیقات موتور، تهران، ایران، [n\\_madani@ip-co.com](mailto:n_madani@ip-co.com)

<sup>۲</sup> مرکز تحقیقات موتور، تهران، ایران، [m\\_nikkhah@ip-co.com](mailto:m_nikkhah@ip-co.com)

<sup>۳</sup> مرکز تحقیقات موتور، تهران، ایران، [h\\_faghani@ip-co.com](mailto:h_faghani@ip-co.com)

<sup>۴</sup> مرکز تحقیقات موتور، تهران، ایران، [h\\_bostan@ip-co.com](mailto:h_bostan@ip-co.com)

\* نویسنده مسئول

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۵ اسفند ۱۳۹۴

پذیرش: ۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۵

کلیدواژه‌ها:

مدیریت دمایی موتور

دما بان برقی

واحد پایش برقی

توسعه نرم افزار و سخت افزار

### چکیده

در این مقاله از شبیه سازی پایشی برای مدیریت دمایی در یک موتور احتراق داخلی استفاده شده است. بدین منظور در سامانه خنک کاری موتور یک دما بان برقی قرار داده شد و راهبردی خاص پایش در واحد مدیریت برقی موتور برای فرماندهی آن تدوین و اعمال شد. در نتیجه با پایش دمای موتور در حالت های مختلف به وسیله جداول زینت بندی، رفتار متغیرهای مهم موتور از جمله گشتاور، آلایندگی، مصرف سوخت و کوبش تا حدودی بهبود می یابد. فعالیت ها در سه بخش اصلی توسعه نرم افزار، سخت افزار و اجرا آزمون بر روی خودرو و داده برداری تقسیم می شود. بخش اول شامل تدوین طرحی مناسبی برای پایش رفتار باز و بسته شدن دما بان برقی در شرایط مختلف کاری موتور است. این طرح با در نظر گرفتن متغیرهای مهم دیگر همچون دمای هوای چند راهه ورودی موتور و رفتار پایشی پنکه ها، فرمان مناسبی را برای مدیریت دمایی موتور به دما بان برقی می دهد. پس از آماده سازی نرم افزار، سخت افزار لازم برای پیاده سازی طرح که شامل رایانه موتور عمومی، دما بان برقی تک کاره و دوکاره است، آماده سازی شد و فرایند اعمال نرم افزار در رایانه موتور برای اجرا آزمون صورت گرفت. در مرحله پایانی، آزمون مصرف سوخت بر روی خودرو در چرخه آلایندگی استاندارد اروپا در سه حالت با دما بان برقی تک کاره، دوکاره و دما بان مکانیکی مرجع اجرا و تمام متغیرهای مرتبط با رفتار عملکردی و دمایی در رایانه موتور اندازه گیری و ثبت گردید. نتایج بهبودهای قابل قبولی را در گشتاور خروجی موتور، کاهش مصرف سوخت، آلایندگی و رفتار کوبش نشان می دهند.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.



## ۱- مقدمه

امروزه صنایع خودروسازی با چالش‌های بی‌سابقه‌ای در خصوص مسائل انرژی و زیست محیطی روبرو هستند. قوانین و مقررات مرتبط با معیارهای آلاینده‌ی سختگیرانه می‌شوند درحالی که روز به روز قیمت سوخت‌های سنگواره‌ای در تمام دنیا رو به افزایش است. از اینرو خودروسازان بدنال استفاده از فناوری‌هایی هستند تا بتوانند با افزایش بازده قوای محرکه خودرو، مصرف سوخت و آلاینده‌ی را کاهش دهند. یکی از مهمترین پیشرفت‌ها در این زمینه استفاده از ادوات و تجهیزات برقی در سامانه‌های مختلف موتور خودرو است که در سالهای اخیر شتاب چشمگیری داشته است.

طراحان توانسته اند با استفاده از حسگرها، عملگرها و سامانه‌های پایش پذیر قابلیت‌های جدیدی در خودرو ایجاد نمایند و کارایی سامانه‌های موتوری را ارتقا دهند. سامانه خنک‌کاری نیز یکی از مهمترین سامانه‌های موتوری است که نوآوری‌های جدیدی را در سالهای اخیر تجربه کرده است و محققان و طراحان بسیاری در این زمینه فعالیت‌های گوناگون اجرا داده اند. در سال ۲۰۰۶ چاستین راهبردهای مختلفی در خصوص خنک‌کاری موتورهای احتراق داخلی طراحی و آزمون‌های گوناگون انجام داد و از بین چندین طرح بهترین طرح را برای خنک‌کاری مناسب موتور با کمترین توان مصرفی انتخاب نمود [۱].

در سال ۲۰۰۳ چالگرن و بارون از یک مدل مدیریت دمایی در خودروی نمونه استفاده کردند که قابلیت کاهش مصرف سوخت تا ۵ درصد را دارا بود [۲].

ابرت و همکاران در سال ۲۰۰۴ از روشی در مدیریت دمایی موتور استفاده کردند که توانست زمان گرمایش موتور را پس از روشن شدن بهبود دهد [۳].

در سال ۲۰۰۵ لاپتوسفسکی طرحی ارائه نمود و به‌وسیله آن توانست زمان گرمایش موتور و توان مصرفی مصرف کننده‌ها در سامانه خنک‌کاری را کاهش دهد. این طرح روی ۶۰ خودروی دیزل آزمون شد و نتایج قابل قبولی حاصل گردید [۴].

در سال ۲۰۱۱ پارک طرح مدیریت دمایی برای خودروهای دورگه یا هیبرید ارائه داد [۵].

چو و همکاران تأثیر استفاده از تلمبه آب برقی را در کاهش مصرف و بهبود متغیرهای خنک‌کاری مطالعه کردند [۶].

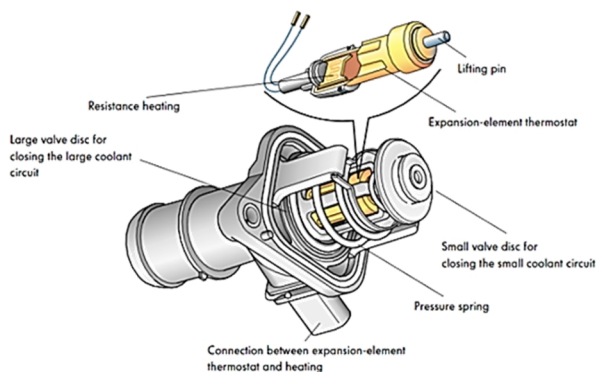
در تحقیق حاضر امکان استفاده از یک دمابان برقی تک کاره و دوکاره در سامانه خنک‌کاری موتور EF7 خودروی سمند بررسی شده است.

در ادامه راهبرد پایشی اجرا مدیریت دمایی در موتور ملی با دمابان برقی طراحی گردید و توسعه نرم‌افزاری به‌وسیله نرم‌افزارهای تخصصی اجرا گرفت. با توجه به اینکه امکان تغییر در واحد مدیریت برقی در موتورهای فعلی بسیار سخت یا عملاً غیرممکن است، سخت افزار لازم برای اجرا این آزمون نیز طراحی و ساخته شد. سپس آماده سازی مدار خنک‌کاری جدید بر روی خودرو صورت گرفته و آزمون‌های متفاوتی طراحی و اجرا

شد. نتایج نهایی بهبود قابل قبولی را در متغیرهای خنک‌کاری، مصرف سوخت و گشتاور نشان می‌دهد.

## ۲- دمابان برقی

نحوه عملکرد دمابان برقی همچون دمابان مکانیکی است با این تفاوت که عامل باز و بسته شدن آن، علاوه بر انرژی گرمایی آب موتور، انرژی برقی است که توسط علامتی از واحد مدیریت برقی موتور به گرمکن درونی آن اعمال می‌شود (شکل ۱). آغاز بازشدگی دمابان‌های مکانیکی در یک نقطه است که معمولاً در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد است و بسته به طراحی آن، نقطه کامل بازشدگی آن نیز در یک دمای خاص صورت می‌گیرد، در نتیجه پایش باز و بسته شدن آن تقریباً غیرممکن است. از مزایای اصلی دمابان برقی پایش این دماها در پیمایش‌های مختلف بازشدگی، به‌وسیله یک جریان برقی است. این قابلیت کمک مؤثری در مدیریت دمایی موتور به‌مراه دارد به نحوی که موتور می‌تواند در محدوده‌های دمایی بزرگتری کار کند.



شکل ۱: شمایی از دمابان برقی و جزء گرمکن درونی آن

دلیل اصلی استفاده از راهبرد مدیریت دمایی در موتور، بهبود متغیرهای عملکردی مؤثر همچون افزایش گشتاور خروجی، کاهش مصرف سوخت و کاهش آلاینده‌ی است.

با استفاده از دمابان برقی و پایش دمای کارکرد موتور می‌توان به این اهداف دست یافت؛ بدین صورت که با پایش بسته ماندن دمابان در شرایط نیمه بار در چرخه آلاینده‌ی، موتور در شرایط گرمتری کار می‌کند (دمای حدود ۱۱۰ درجه سانتیگراد) و بدین ترتیب مقدار مصرف سوخت و آلاینده‌ی تا حدی کاهش می‌یابد. در شرایط تمام بار با باز نمودن دمابان در دماهای پایین (حدود ۸۰ درجه سانتیگراد)، مقدار کوبش در استوانه‌های مختلف به دلیل گرمی هوا کاهش می‌یابد که نهایتاً افزایش در گشتاور خروجی را نتیجه خواهد داد [۷].

شکل ۲ نمودار عملکردی دمابان برقی استفاده شده در این مقاله را نشان می‌دهد. منحنی قرمز رنگ مقدار درصد علامت اعمال شده به

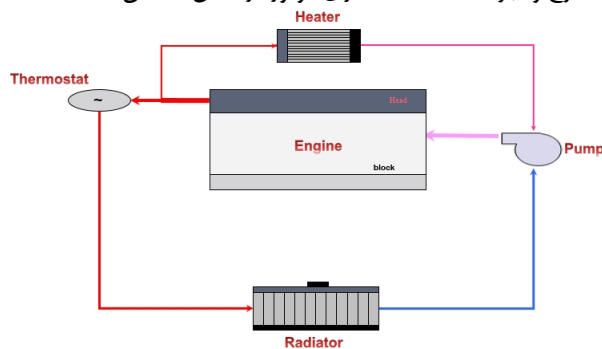
### توسعه نرم‌افزار

به طور کلی برای پایش هر مجموعه مکانیکی- برقی در موتور نیاز به شناخت اجزای مختلف آن مجموعه و آشنایی با نحوه عملکرد آنها است. دمايان برقی دارای یک بخش مکانیکی است که همانند دمايان مکانیکی معمولی عمل می‌کند و بخش پایشی آن شامل یک گرمکن برقی است که توسط یک ولتاژ خروجی کنترل می‌شود.

همانطور که پیشتر اشاره شد، اساس کار این دمايان شبیه به کار دمايان‌های معمولی است و برای باز کردن مسیر مبدل حرارتی از ذوب کردن پارافین بهره می‌جوید؛ با این تفاوت که دمای شروع به ذوب شدن این پارافین حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است و برای پایش پذیر کردن آن، از یک گرمکن برقی در میان پارافین آن استفاده می‌شود که در شرایط مورد نیاز با گرم کردن پارافین، آنرا مجبور به ذوب شدن کنیم. در این قسمت توسعه نرم‌افزار از دو وجه توضیح داده می‌شود. بخش اول شبیه‌سازی اجرا شده در از دیدگاه عملکرد سامانه خنک‌کاری است. در بخش دوم نرم‌افزار عملکرد در سامانه ECU توضیح داده شده است.

### شبیه‌سازی سامانه خنک‌کاری

در حالتی که موتور در حالت نیمه‌بار کار می‌کند، داشتن دمای زیادت‌ر موجب بهسوزی سوخت می‌شود. به طوری که در دماهای زیادت‌ر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بسیار مطلوب‌تر خواهد بود و موجب کاهش مصرف سوخت و مقدار آلایندگی می‌گردد. حال آنکه در شرایطی که در حالت تمام‌بار (مثل حالت تپه نوردی) خودرو در حال حرکت است، افزایش دمای محفظه می‌تواند منجر به کوبش گردد که برای موتور بسیار خطرناک است بنابراین لازم است دما در محفظه مقداری کاهش یابد. طرح و اجزاء سامانه خنک‌کاری موتور در شکل ۳ نشان داده شده است.



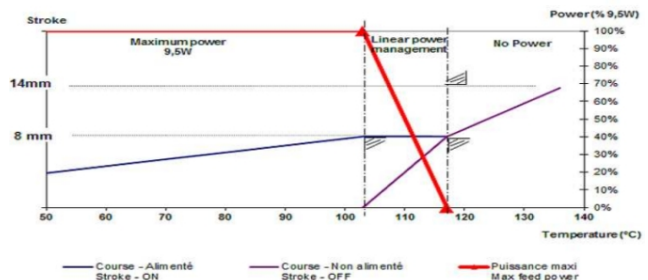
شکل ۳: شماتیک سامانه خنک‌کاری

سیال خنک‌کاری پس از عبور از تلمبه آب وارد موتور شده و پس از عبور از بلوک و سرسیلندر وارد محفظه دمايان می‌گردد. در محفظه دمايان قسمتی از سیال به سمت مبدل حرارتی بخاری می‌رود و قسمت دیگر به واسطه عبور از دمايان (در صورت باز بودن) به سمت مبدل حرارتی هدایت می‌شود.

دمايان، منحنی آبی مقدار گشودگی دمايان با اعمال جریان برقی و منحنی بنفش مقدار گشودگی دمايان بدون اعمال جریان برقی است.

در مقایسه با دمايان مکانیکی که در دمای حدود ۹۰ درجه سانتیگراد شروع به باز شدن می‌کند، از فنر قویتری در دمايان برقی استفاده شده است تا در دمای زیادت‌ری شروع به باز شدن کند. همانطور که از منحنی بنفش پیداست بدون اعمال جریان برقی دمايان در دمای ۱۰۲ درجه سانتیگراد شروع به باز شدن میکند و در دمای حدود ۱۱۸ درجه به پیمایش حدود ۸ میلیمتر می‌رسد. همانطور که پیشتر نیز بیان شد در شرایط نیمه بار مقدار جریان برقی اعمال شده از جانب واحد مدیریت برقی کم خواهد بود تا موتور در شرایط گرمتری کار کند.

منحنی آبی رنگ مقدار باز شدن دمايان هنگام اعمال جریان را نشان میدهد. تا دمای ۱۰۲ درجه سانتیگراد که نقطه باز شدن مکانیکی دمايان است جریان اعمال می‌شود و از آن به بعد برای صرفه جویی در انرژی برقی، جریان کاهش می‌یابد و از انرژی گرمایی آب موتور برای باز تر شدن دمايان استفاده می‌گردد. در شرایط تمام بار با اعمال جریان برقی می‌توان نقطه باز شدن دمايان را پایش نمود.

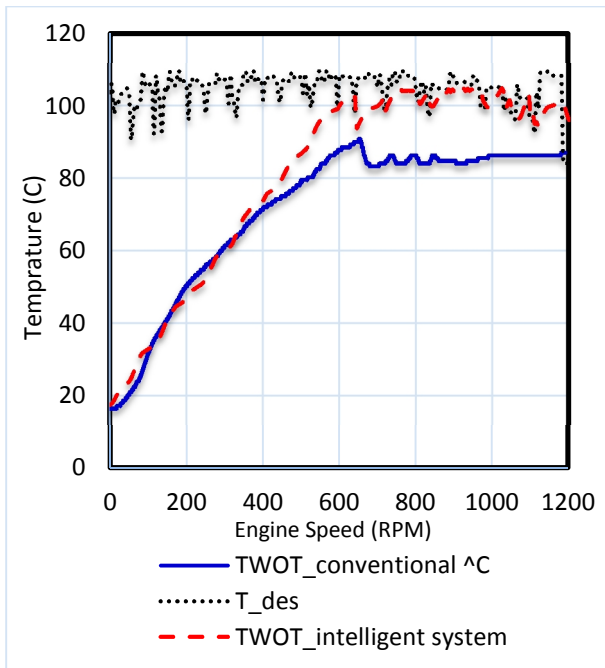


شکل ۲: نمودار عملکردی دمايان برقی

در این تحقیق از دو نوع دمايان برقی استفاده شده است: دمايان برقی تک کاره و دمايان برقی دوکاره. در نوع تک کاره مسیر کنارگذر آب موتور به سمت بخاری جدا از عملکرد دمايان همیشه باز است ولی در مسیر دوکاره با باز شدن مسیر دمايان مسیر کنارگذر بسته می‌شود تا تمام حجم آب موتور به سمت مبدل حرارتی جاری می‌شود تا بیشترین ظرفیت خنک‌کاری صورت گیرد. در این تحقیق از هر دو نوع دمايان برقی در اجرا آزمون‌ها استفاده و نتایج با دمايان مکانیکی مقایسه شده است.

### ۳- شبیه‌سازی

شبیه‌سازی مجموعه دمايان برقی شامل دو بخش عمده است. بخش توسعه نرم‌افزار که وظیفه پایش دمايان را برعهده دارد و بخش توسعه سخت افزار که تهیه و آماده سازی یک رایانه موتور را شامل می‌شود که بتواند عملکرد موتور را در شرایط مختلف کاری پایش نماید.



شکل ۵: نتایج شبیه‌سازی (دمای سیال خروجی از موتور)

همانطور که شکل ۵ نمایش می‌دهد، مقداری فاصله بین دمای مطلوب و دمای موتور در سامانه‌ای با دمابان برقی وجود دارد. حالت نظری این است که این دو بر هم منطبق باشند ولی به دلایلی چون سرعت عملکرد دمابان، قابلیت دفع حرارتی مبدل حرارتی، دمای محیط و ... دو منحنی اختلاف دارند. اختلاف دو نمودار کم است که نشان می‌دهد قابلیت خنک‌کاری به اندازه کافی در سامانه جدید وجود دارد.

#### ۴- توسعه نرم‌افزار رایانه موتور

برای تدوین برنامه پایشی این گرمکن از نرم‌افزار ASCET استفاده شده است. این نرم‌افزار توسط شرکت آلمانی ETAS ارائه شده است که پیشرو در زمینه تجهیزات نگاشت و زینه‌بندی در موتور است. از آنجایی که پایش عملکرد دمابان باید در حالت کارکرد عادی موتور باشد، بنابراین لازم است که ابتدا تمام اصول عملکردی موتور در نرم‌افزار ASCET نوشته شود تا موتور روشن شده و تحت پایش در شرایط کارکرد مورد نظر قرار گیرد. در این تحقیق، این بخش از کار نیز اجرا گردید و تمامی شرایط برای کارکرد موتور در نقاط مختلف آزمون دمابان برقی تحت پایش قرار گرفت.

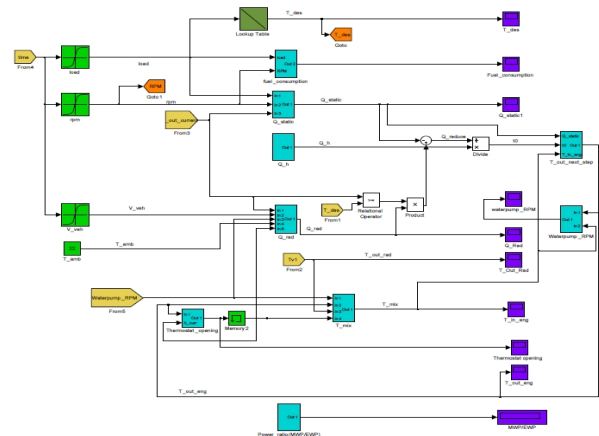
در مرحله بعدی تابع پایشی گرمکن دمابان برقی در محیط ASCET تدوین شد. (شکل ۶) مدار پایشی راهبرد مورد نظر را نشان می‌دهد.

مبدل حرارتی به عنوان پایه اصلی خنک‌کاری وظیفه دفع حرارت را برعهده دارد. با ارتقاء سامانه خنک‌کاری به یک سامانه هوشمند اهمیت مبدل حرارتی دو چندان می‌شود. برای دو منظور لازم است تا گرما از مبدل حرارتی دفع گردد:

۱. گرمای پایا: گرمای تولیدی در دور موتور و بار ثابت برای این که موتور در دمای خاصی ثابت بماند.

۲. گرمای درونی: گرمای لازم که باید از سیال گرفته شود تا موتور از دمایی زیادتر به دمای کمتر کاهش یابد.

با در نظر گرفتن نیاز گرمایشی اتاق، مقدار دبی جریان مورد نیاز گرمکن مشخص می‌شود و می‌توان با استفاده از این طرح‌ها جریان عبوری از مبدل حرارتی (مقدار گشودگی دمابان)، مقدار گرمای مورد نیاز برای دفع در مبدل حرارتی (سرعت بادبزن و تلمبه آب) را مشخص نمود. برای شبیه‌سازی سامانه خنک‌کاری از سیمولینک نرم‌افزار متلب استفاده شده است. در شکل ۴ مدار تشکیل شده در نرم‌افزار نشان داده شده است.

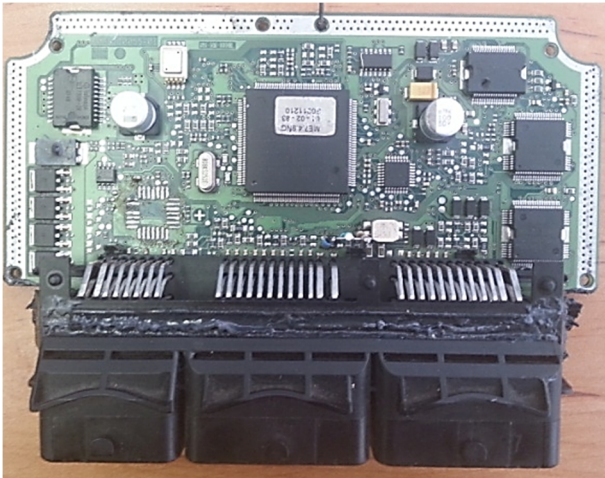


شکل ۴: مدار شبیه‌سازی سامانه خنک‌کاری در نرم‌افزار سیمولینک متلب

نمودارهای شکل ۵ نتایج شبیه‌سازی را برای یک موتور در لحظه گرمایش (شروع به کار تا گرم شدن) و پس از گرمایش و نیز نحوه عملکرد دمابان برقی را به صورت مقایسه‌ای با دمابان معمولی نشان می‌دهد.

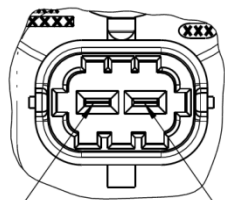
منحنی‌های شکل ۵ شامل (T\_conventional) که نشان دهنده نتایج شبیه‌سازی با دمابان معمولی است، (T\_intelligent system) دمای سیال را در زمانی نشان می‌دهد که از دمابان برقی استفاده شود و (T\_des) نشان دهنده دمای مطلوب سامانه خنک‌کاری است.

در شکل ۷ نمایی از GCU یا رایانه عمومی موتور دیده می‌شود. واضح است که اطلاعات از طریق پایه‌های دسته سیم موتور از حسگرها دریافت و به عملگرها منتقل می‌شود.



شکل ۷: نمایی از GCU یا رایانه عمومی موتور

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود اتصال دمابان برقی یک اتصال ۲ پایه است که در زمانی که رایانه موتور روشن است به پایه شماره ۲ آن ولتاژ ثابت ۱۲ ولت از سمت GCU داده می‌شود و ولتاژ خروجی نیز به پایه شماره ۱ آن داده می‌شود. هرگاه مقدار ولتاژ پایشی برابر صفر درصد باشد گرم کن با بیشترین توان شروع به کار می‌کند و اگر این مقدار برابر ۱۰۰٪ باشد گرم کن خاموش می‌شود.

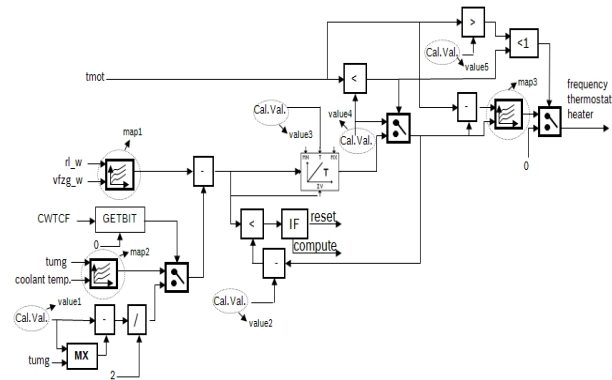


شکل ۸: نمایی از اتصال دمابان برقی

## ۶- اجرا آزمون

برای بررسی اثر مدیریت دما بر مولفه‌های مختلف کارکرد موتور نظیر گشتاور و مصرف سوخت ترکیبی، سه آزمون چرخه استاندارد NEDC بر روی خودروی سورن با موتور EF7 بنزینی و EMS بوش اجرا شد:

- ۱- دمابان اصلی خودرو و مدیریت دمای رایانه موتور Bosch (پایش دما در نزدیک ۹۰ درجه سانتیگراد)
- ۲- دمابان برقی تک کاره با مدیریت دما در بارهای مختلف موتور

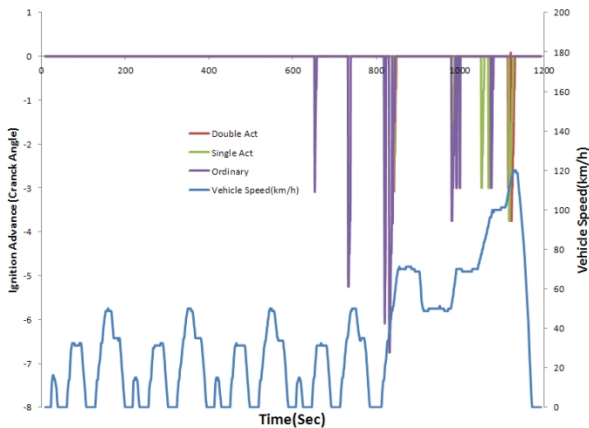


شکل ۶: مدار پایشی راهبرد پایش دمابان برقی

بر اساس منطق استفاده شده در پایش گرمکن نیاز است که بصورت دایم اطلاعات برخی از شرایط کاری موتور و خودرو مانند دمای آب موتور، سرعت خودرو و دمای هوای محیط در اختیار باشد. برای این کار داده‌های مورد نظر از حسگرهایی که بر روی موتور و چرخ‌های خودرو قرار دارند جمع‌آوری شده و به وسیله خوانش مقادیر ولتاژ خروجی از حسگرها توسط واحد پایش برقی عمومی موتور (GCU)، در اختیار تابع پایش گرمکن قرار می‌گیرد. در نهایت با استفاده از نظام پایشی، ولتاژ پایش شده برای عملکرد گرمکن دمابان استخراج می‌شود.

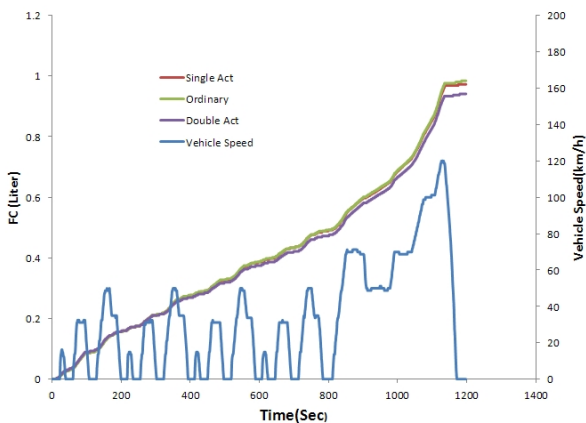
## ۵- توسعه سخت افزار

برای پایش هر مجموعه مکانیکی-برقی لازم است اطلاعات برقی حسگرهای مختلف خوانش شود و نهایتاً پس از پیاده‌سازی نظام‌های پایشی، خروجی‌های مورد نظر به صورت ولتاژ در اختیار عملگرهای مختلف سامانه قرار داده شود. برای این منظور از یک رایانه موتور استفاده می‌شود. رایانه موتور به صورت صفحه‌ای برقی است که توسط یک IC مرکزی کار خوانش حسگرها و پایش عملگرها را اجرا می‌دهد. برای پایش دمابان برقی از GCU که یک رایانه عمومی موتور، طراحی شده توسط کارشناسان بخش زمینه‌بندی شرکت تحقیقات موتور ایران‌خودرو است، استفاده شده است. این رایانه موتور قابلیت روشن کردن موتور و قراردادن موتور در شرایط کاری مختلف را دارد. همچنین این رایانه موتور قابلیت توسعه به تجهیزات برقی مختلف را داراست و با تغییراتی در نرم‌افزار و سخت‌افزار آن، می‌توان از آن برای مقاصد مختلف استفاده نمود. از آنجایی که برنامه پایشی این رایانه موتور توسط نرم‌افزار ASCET به طور کامل تدوین شده و تمامی توابع آن در اختیار است، لذا به راحتی می‌توان برای هر آزمون مشخصی توابع پایشی آن را به توابع اصلی این رایانه موتور اضافه نمود و آزمون‌های مختلف را با تغییرات اعمال شده روی موتور اجرا داد.



شکل ۱۱: شدت کوبش در آزمون های سه گانه

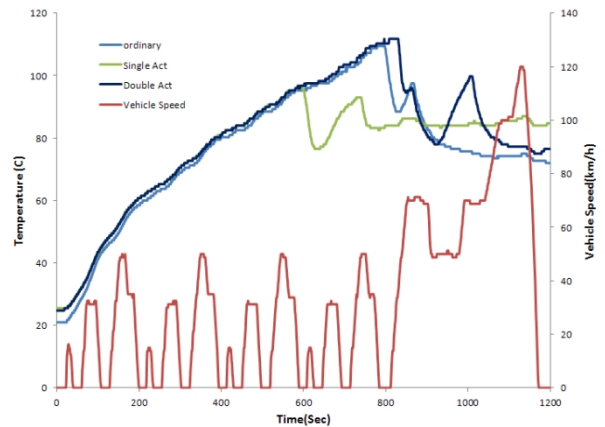
مقدار کوبش در قسمت های درون شهری در حالت استفاده از دما بان برقی زیادتر است ولی با توجه به ضعیفتر بودن بار موتور در این نقاط از چرخه اثر کمی روی مصرف دارد. در قسمت های برون شهری چرخه مقدار کوبش دما بان تک کاره در شتابگیری اولیه بشدت بزرگتر از دو حالت دیگر است و این به دلیل پاسخ دیر هنگام دمای سیال خنک کننده به درخواست کاهش دما است. در ادامه چرخه برون شهری در هر دو حالت دما بان تک کاره و دوکاره شدت کوبش کاهش یافته و به کاهش مصرف سوخت و افزایش گشتاور کمک خواهد کرد. در نهایت مصرف سوخت در آزمون های سه گانه فوق در نمودار زیر آورده شده است:



شکل ۱۲: مصرف سوخت در آزمون های سه گانه

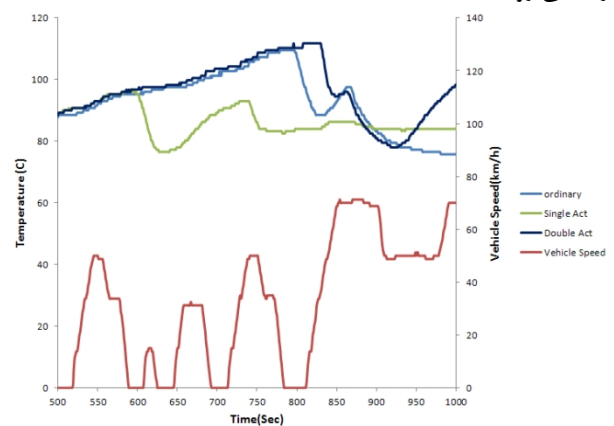
همانطور که مشاهده می شود مصرف سوخت در آزمون دما بان تک کاره و دو کاره کاهش یافته است ولی در آزمون دما بان دوکاره این کاهش مصرف، چشمگیر تر است. در آزمون دما بان تک کاره ۱٫۲٪ و در آزمون دما بان دوکاره ۴٫۶٪ کاهش مصرف سوخت ترکیبی مشاهده می شود.

۳- دما بان دوکاره با مدیریت دما در بارهای مختلف موتور برای قابل مقایسه بودن آزمون ها سعی شده شرایط مرزی نظیر سوخت، فشار هوای داخل چرخ ها، حجم سیال خنک کننده و دمای اولیه آزمون ثابت نگه داشته شوند. نمودار شکل ۹ دمای سیال خنک کننده را در آزمون های سه گانه نشان می دهد.



شکل ۹: دمای سیال خنک کننده در آزمون NEDC

همانطور که مشاهده می شود در آزمون های دوم و سوم در قسمت های درون شهری دمای سیال خنک کننده موتور تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد زیاد می رود.



شکل ۱۰: مقایسه سرعت پاسخگویی سیال خنک کننده در دما بان تک کاره و دوکاره

در آزمون دما بان دو کاره سرعت پاسخگویی پایش دما خیلی گرمتر از آزمون تک کاره است، به طوری که دمای آب در این آزمون ۳۱ ثانیه زودتر آزمون دما بان تک کاره پایین آمده است. شدت کوبش در آزمون های سه گانه در شکل ۱۱ قابل مشاهده است.

## مراجع و منابع

- [1] J. Chastain, "INTERNAL COMBUSTION ENGINE COOLING STRATEGIES: THEORY AND TEST", M.Sc. Thesis, Clemson University, (2006).
- [2] R. Chalgren, and L. Barron, Development and Verification of a Heavy Duty 42/14V Electric Powertrain Cooling System, SAE paper no. 2003-01-3416.
- [3] J. F. Eberth, J. R. Wagner, B. A. Afshar, and R. C. Foster, Modeling and Validation of Automotive Smart Thermal Management System Architectures, SAE paper no. 2004-01-0048.
- [4] J. Luptowski, D. Adekeye, and T. Straten, Coupled Engine/Cooling System Simulation and its Application to Engine Warm-up, SAE paper no. 2005-01-2037.
- [5] S. Park, a Comprehensive Thermal Management System Model for Hybrid Electric Vehicles, Ph.D. Thesis, University of Michigan, 2011.
- [6] H. Cho, D. Jung, Z. Pilipi, D. Assanis, J. Vanderslice, and W. Bryzik, Application of Controllable Electric Coolant Pump for Fuel Economy and Cooling Performance Improvement, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 129 (2007) 239-244.
- [7] J. B. Heywood, Internal combustion engine fundamental, McGraw-Hill, 1988

## ۷- نتیجه گیری

در این فعالیت با اعمال راهبرد پایش دمای سیال خنک کننده، اهداف کاهش مصرف سوخت و آلایندگی و افزایش گشتاور و قابلیت رانندگی محقق شد. این راهبرد قابلیت پیاده سازی روی سایر خودروها با دمایان معمولی را دارد. با توجه به نتایج بدست آمده، استفاده از دمایان دوکاره نسبت به دمایان یک کاره بدلیل سرعت پاسخ زیادتر، اهداف فوق را بهتر محقق می سازد. همچنین با توجه به قابلیت زیادی رایانه موتور عمومی ساخته شده، می توان عملکرد مدیریت دمای موتور را با اضافه کردن تلمبه آب برقی و بادزنها دور متغیر و پایش عملکرد آنها تا حد چشمگیری بهبود بخشید.

تفاوتی کار اجرا شده با کارهای دیگر دارد اعمال داده پیوسته برای دمای سیال خنک کاری منطبق بر آزمون برای کاهش مصرف سوخت و آلایندگی است.

## تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت فنی و مالی شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (اییکو) تدوین شده است.



## Design of Intelligent Cooling System with electrical Thermostat and Implementation of Strategy in Engine Control Unit

N. Madani<sup>1\*</sup>, M.Nikkhah<sup>2\*</sup>, H. Faghani<sup>3</sup>, H. Bostan Shirin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Irankhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, [n\\_madani@ip-co.com](mailto:n_madani@ip-co.com)

<sup>2</sup>Irankhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, [m\\_nikkhah@ip-co.com](mailto:m_nikkhah@ip-co.com)

<sup>3</sup>Irankhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, [h\\_faghani@ip-co.com](mailto:h_faghani@ip-co.com)

<sup>4</sup>Irankhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, [h\\_bostan@ip-co.com](mailto:h_bostan@ip-co.com)

\*Corresponding Author

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 5 March 2016

Accepted: 15 May 2016

#### Keywords:

Engine thermal management

Electric thermostat

Electronic control unit

Software and hardware

Development

### ABSTRACT

In this paper, a control oriented strategy has been used to manage thermal behaviors in an IC engine. For this purpose, an electrical thermostat along with a special strategy in engine control unit (ECU) is utilized to achieve better engine outputs including torque, emission, fuel consumption and knock targets in different engine thermal fields. Our activities are divided into three main categories: software development, hardware development and analyzing results on NEDC test on vehicle. In the software phase, a model was designed to control the electric thermostat through various working conditions. This model presents proper PWM (Pulse Width Modulation) to electric thermostat to control engine thermal management considering other effective inputs like intake air temperature and cooling fans responses. Hardware development includes installation of single-act and double-act electric thermostat on vehicle cooling system. Furthermore, the control software applies on GCU (Global Control Unit) to connect software to hardware on vehicle. Finally, all important parameters are recorded through NEDC test on vehicle with Single-act, Double-act electrical thermostat and compared with results of standard mechanical thermostat. Results show better achievement in torque, emission, fuel consumption and knock outputs.

